

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMDA DİJİTAL DÖNÜŞÜME YÖNELİK UYGULAMALAR VE
POLİTİKALARIN TÜRKİYE İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Işıl AKYOL

TARIM EKONOMİSİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2023

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TARIMDA DİJİTAL DÖNÜŞÜME YÖNELİK UYGULAMALAR VE POLİTİKALARIN TÜRKİYE İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Işıl AKYOL

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Özdal KÖKSAL

Artan dünya nüfusunu besin ihtiyacının karşılanması, artan şehirleşme hızı, iklim değişikliğine bağlı doğal afetler, doğal kaynakların risk altına girmesi, gelişmiş ülkelerdeki gıda kaybı ve israfının artması ve değişen tüketici alışkanlıkları ayrıca eklenen Covid-19 salgını etkileri doğrultusundaki sorunların çözümünde dijital tarım devrimi büyük bir potansiyel olarak görülmektedir.

Araştırma ile tarım sıfır noktasından günümüz dijital dönüşümüne kadarki süreçte gelişimi, dijital tarım kavramına yaklaşımı, dönüşümdeki mevcut durumu, kullanılan teknolojileri, dönüşümdeki hedefleri, teknoloji piyasası, dijitalleşmede engeller ve fırsatları, kırsal alanlara dair sorunlar ve çözümleri, tarımda veri mülkiyeti, ulusal ve uluslararası düzeyde mevcut uygulama ve politikaları ile çok yönlü bir şekilde incelenerek dijital dönüşümü genel bir çerçeve ile değerlendirilmiştir.

Araştırma sonucunda dijital tarımın hızlı gelişimine nispeten hala olgunlaşma sürecinde olması ve bu nedenle tarıma etkileri konusunda henüz yeterli verinin elde edilemediği bir evrede olması dolayısıyla dijital teknolojilerin etkilerinin, sonuçlarının ve ilgili paydaşları (en başta çiftçiler olmak üzere) tam olarak nasıl etkileyeceğinin durum değerlendirmesinde henüz sınırlı bir kavrayışın mevcut olduğu ortaya konulmuştur.

Ağustos 2023, 191 sayfa

Anahtar kelimeler: Dijital tarım, Tarım 4.0, küresel tarımsal sorunlar, tarım robotları, IoT

ABSTRACT

Master Thesis

DIGITAL TRANSFORMATION PRACTICES AND POLICIES IN AGRICULTURE AND EVALUATION FOR TÜRKİYE

Işıl AKYOL

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agriculture Economics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özdal KÖKSAL

Digital agriculture revolution is seen as a great potential in solving the problems in the direction of meeting the food needs of the increasing world population, increasing urbanization rate, natural disasters due to climate change, putting natural resources at risk, increasing food loss and waste in developed countries and changing consumer habits, as well as the effects of the recently added Covid-19 outbreak.

With this research, evolution of agriculture from zero point to today's digital transformation, approach to the concept of digital agriculture, current situation in the transformation, technologies used, targets in the transformation, technology market, barriers and opportunities in digitalization, problems and solutions for rural areas, data ownership in agriculture, current practices and policies at national and international level were examined in a multifaceted way thus digital transformation was evaluated with a general framework.

As a result of this research, it was revealed that there is still a limited understanding of the impacts of digital technologies, their consequences and how exactly they will affect the relevant stakeholders (primarily farmers), as digital agriculture is still in a stage of maturing compared to its rapid development and therefore not enough data is yet available on its impacts on agriculture.

August 2023, 191 pages

Key words: Digital agriculture, Agriculture 4.0, global agricultural challenges, agricultural robots, IoT

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi, öneri ve destekleriyle beni yönlendiren değerli Danışmanım Sayın Doç. Dr. Özdal KÖKSAL ve değerli hocam Prof. Dr. İlkay DELLAL'a ve yine bu çalışma süresince her daim olduğu gibi beni destekleyen canım annem, babam ve kardeşlerim ile değerli dostlarım Gülşah YURTKULU ile Dr. Öğr. Üyesi F. İlknur ÜNÜVAR'a ve yakın dostlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Işıl AKYOL

Ankara, Ağustos 2023

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	10
4. TARIMIN TARİHSEL SÜREÇTE GELİŞİMİ	11
4.1 Sanayi 4.0'dan Tarım 4.0'a: Tarım Sektörüne Bilgi-Teknoloji Yoğun Yaklaşım	25
4.2 Tarımda Dijital Dönüşümün Mevcut Durumu ve Yapısı	34
4.3 Tarımın Dijital Dönüşümünde Engeller ve Fırsatlar	47
5. TARIMIN DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜNDE MEVCUT TEKNOLOJİLER VE VERİ MÜLKİYETİ	59
5.1 Tarımın Dijital Dönüşümünde Mevcut Teknolojiler.....	59
5.1.1 Otonom robotik sistemler	70
5.1.2 Nesnelerin İnterneti (IoT).....	104
5.1.3 Tarımda uygulanan diğer dijital teknolojiler.....	114
5.2 Tarımda Veri Mülkiyeti	121
6. DÜNYA VE TÜRKİYE'DE DİJİTAL TARIMIN MEVCUT UYGULAMA VE POLİTİKALARI	124
6.1 Dünyada Dijital Tarıma Yönelik Uygulama ve Politikalar	127
6.2 Türkiye'de Dijital Tarıma Yönelik Uygulama ve Politikalar	146
7. GENEL DEĞERLENDİRME ve ÖNERİLER.....	166
KAYNAKLAR	175
ÖZGEÇMİŞ.....	191

KISALTMALAR DİZİNİ

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ACATECH	The German Academy of Science and Engineering
AI	Artificial Intelligence
ANN	Artificial Neural Networks
BM	Birleşmiş Milletler
CGIAR	The Consultative Group on International Agricultural Research
CIMMYT	International Maize and Wheat Improvement Center
CPD	Carrier Phase Differential
CPS	Cyber-Physical System
ÇATAK	Çevre Amaçlı Tarım Arazileri Koruma
ÇAYKUR	Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü
ÇKS	Çiftçi Kayıt Sistemi
DB	Dünya Bankası
DEMETER	Development of a European Multimodel Ensemble system for seasonal to inTERannual prediction
DESIRA	Digitisation: Economic and Social Impacts in Rural Areas
DIGITAL	The Digital Europe Programme
DİTAP	Dijital Tarım Pazarı
DÖ	Derin Öğrenme
DTÖ	Dünya Ticaret Örgütü
eNAM	National Agriculture Market
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FaST	The Farm Sustainability Tool
GDS	Geometric Direction Sensor
GIS	Geographic Information Systems
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSMH	Gayri Safi Milli Hâsıla

GYSH	Gayri Safı Yurt ii Hâsıla
HMI	Human Machine Interface
ICT	Information and Communication Technologies
IoF2020	Internet of Food and Farm 2020
IoT	Internet of Things
IRRI	The International Rice Research Institute
ITU	International Telecommunication Union
İHA	İnsansız Hava Aracı
İKA	İnsansız Kara Aracı
KDS	Karar Destek Sistemi
KOBİ	Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler
KSA	Kablosuz Sensör Ağı
LiDAR	Light Detection and Ranging
LTE	Long Term Evolution
M2M	Machine to Machine
MARS	Mobile Agricultural Robot Swarms
MÖ	Makine Öğrenimi
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NFC	Near Field Communication
NIR	Near Infrared
OECD	The Organisation for Economic Co-operation and Development
OTP	Avrupa Birliği Ortak Tarım Politikası
PIR	Passive Infrared Sensor
PLC	Programmable Logic Controller
RFID	Radio Frequency Identification
RGB	Red Green Blue
RHEA	Robot Fleets for Highly Efficient Agriculture and Forestry Management
RTK	Real Time Kinematics
STK	Sivil Toplum Kuruluşları
TAGEM	Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü
TARBİL	Tarımsal İzleme ve Bilgi Sistemi

TARSİM	Tarım Sigortaları Havuzu
TEKEL	Tütün, Tütün Mamulleri, Tuz ve Alkol İşletmeleri Genel Müdürlüğü
TMO	Toprak Mahsulleri Ofisi
TOB	T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNDP	United Nations Development Programme
USAID	United States Agency for International Development
USDA	United States Department of Agriculture
VRT	Variable Rate Technologies
VTOL	Vertical Take-Off and Landing
WSN	Wireless Sensor Network
YSA	Yapay Sinir Ağları
YVÇ	Yüksek Verimli Çeşit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1 Mezopotamya Bölgesi (Verimli Hilal) (Atkins vd. 1998).....	12
Şekil 4.2 İngiliz Tarım Devrimi döneminde bir köyde gerçekleştirilen çitleme hareketi	15
Şekil 4.3 Tarihsel süreçte sanayi devrimleri	25
Şekil 4.4 ICT'nin Tarımdaki Rolü (Sylvester 2017).....	33
Şekil 4.5 Tarım alanında kullanılan farklı teknolojilerin gelişimi	35
Şekil 4.6 IoT veri toplamaya dayalı karar alma sürecinde sistem modeli	37
Şekil 4.7 Bilgisayar alanında yıllara göre hız ve maliyet değişimi.....	49
Şekil 5.1 Tarım 4.0 uygulama alanlarının dağılımı ve ilgili uygulama Örnekleri).....	62
Şekil 5.2 Seçili 148 araştırmada yer verilen teknolojilerin dağılımı	69
Şekil 5.3 Robotların çevreye ve etkileşim mekanizmasına göre sınıflandırılması	71
Şekil 5.4 Tarım teknolojisi pazarında robotik ekipman: Uygulamaya göre gelir pazar payı.....	73
Şekil 5.5 Tarım teknolojisi pazarında robotik ekipman: Bölgelere göre gelir pazar payı.....	74
Şekil 5.6 Dinamik bir ortamda karar verici ile sistem ilişkisine göre otomasyon, otonom ve yarı otonom tanımı	77
Şekil 5.7 Bir traktörü İKA'ya dönüştürmede sensör ve çalıştırma sistemlerinin dağılımı.....	78
Şekil 5.8 Farklı tarımsal faaliyetlerde kullanılan otonom robotlar; a) Prospero (ABD); b) Sweeper (AB); c) Bakus (Fransa); d) RoamIO-HCT (Kanada)....	82
Şekil 5.9 Yabancı otla mücadelede kullanılan otonom bir mobil robot (Gaines 2018)..	84
Şekil 5.10 Tohum ekimi yapan XAVER adlı otonom sürü robotlar.....	89
Şekil 5.11 İHA ve İKA'dan oluşan heterojen bir multi-robot sistemi	90
Şekil 5.12 Tarımsal amaçlı geliştirilen R-50 modelin ilk prototipi	92
Şekil 5.13 Tarımsal amaçlı kullanım için modifiye edilen uçağa pilot kireçtaşı doldururken (Boeing-Stearman-Sol); günümüzde pestisit ya da gübre püskürtme amaçlı tarımda kullanılan bir uçak)	94
Şekil 5.14 Meyve bahçesinde zirai ilaçlama yapan (DJI Agras T30 model) tarım dronu.....	95
Şekil 5.15 İHA tipleri.....	96
Şekil 5.16 Bir hibrit VTOL örneği (Anonymous 2023h).....	97
Şekil 5.17 Farklı İHA tipleri: (a) Sabit kanatlı (b) tekli rotor (helikopter tipi), (c) Quadcopter, (d) Hexacopter, (e) Octocopter (Hanif vd. 2022)	97
Şekil 5.18 NDVI ve bitki sağlığı (Sylvester 2018)	102

Şekil 5.19 Multi spektral kamera sensörlü bir tarım dronu.....	102
Şekil 5.20 Tarımda IoT	108
Şekil 5.21 Sanal Çitleme	109
Şekil 5.22 Tarımda IoT kullanımının hiyerarşik yapısı	110
Şekil 5.23 Tarımda makine öğrenimi tekniklerinden yararlanan dört ana kategori.....	115
Şekil 5.24 Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme arasındaki ilişki	117
Şekil 6.1 Pingali ve Aiyar'ın hesaplamalarına göre 2050 yılına ait kırsal ve kentsel nüfus dağılımı (Serraj vd. 2019)	128
Şekil 6.2 Tarım ve gıda sektörünün dijital dönüşümünde kamu politikalarının rolleri (Kukk vd. 2022)	130
Şekil 6.3 Tarım sensöründen sağlanan verilerin mobil uygulama aracılığıyla çiftçiye aktarımı (Anonim 2020b)	155

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Dijital Tarımda Hedeflenen Sonuçlar).....	39
Çizelge 4.2 Tarım ve Gıda Alanları için Dijital Teknolojiler	40
Çizelge 4.3 2012-2018 yılları arası tarımsal teknoloji (AgTech) alanında seçilmiş bazı şirketlerin satın alımları	45
Çizelge 4.4 Kırsal alanlarda dijitalleşmenin önündeki engeller	53
Çizelge 4.5 Kırsal alanlarda dijitalleşmeyi kolaylaştıran etkenler	54
Çizelge 4.6 Yeni teknolojilerin farklı paydaşlar arasında sunduğu fırsatlar	57
Çizelge 5.1 Çevrimiçi anket ile elde edilen uygulama senaryolarının sınıflandırılması.....	63
Çizelge 5.2 Tarımsal robot sisteminin sınıflandırılması	71
Çizelge 5.3 Tarımsal görevleri yerine getirmede ticari araçlara bağlı olarak geliştirilen İKA'lar	79
Çizelge 5.4 Akıllı çiftlik için İKA'larda gereksinim duyulan diğer özellikler	85
Çizelge 5.5 Tarımda kullanılan sensörler ve görevleri	99
Çizelge 6.1 AB'nin Ufuk Avrupa ve Dijital Programları Kapsamında Bazı Proje Örnekleri.....	136
Çizelge 6.2 Tür ve sağlayıcıya göre Türkiye'de çiftçilerin kullandığı dijital platformlar	161
Çizelge 6.3 Türkiye Tarım Sektörünün Dijital Tarım SWOT Analizi.....	164

1. GİRİŞ

Dünya nüfusu, 1960 yılından 2000’li yılların başına kadar iki katından fazla artış göstermiştir (Anonymous 2009). Nüfus ve bir diğer önemli etken olan gelir artışının sonucu olarak, verimlilikte artışı sağlayan Yeşil Devrim teknolojileri ve tarımsal amaçlı arazi, su ve diğer doğal kaynakların kullanımındaki önemli bir genişlemeden dolayı dünyada tarımsal üretim, 1960 ve 2015 yılları arasında üç katından fazla artmıştır. Bununla birlikte aynı dönem, kayda değer bir sanayileşme süreci ile gıda ve tarımın küreselleşmesine tanık olmuştur. Gıda tedarik zincirleri fiziksel uzaklık çerçevesinde çarpıcı bir şekilde uzarken, işlenmiş, paketlenmiş ve hazır gıdaların tüketimi artmıştır. Dünya tarım sektöründeki tüm bu gelişmelere rağmen, gıda üretimini ve ekonomik büyümeyi artırmak çoğu zaman doğal çevreye büyük bir tahribat da beraberinde getirmektedir. Küresel çapta orman alanlarının neredeyse yarısı tahrip edilirken, yeraltı su kaynakları hızla tükenmekte ve her yıl fosil yakıtların yakılmasıyla iklim değişikliğinden sorumlu milyarlarca ton sera gazı atmosfere yayılmaktadır. Doğal afetlerin görülme sıklığı 1970’lerden bu yana beş kat artmıştır. Doğada gerçekleşen bu büyük tahribatta tarım, sorunun önemli bir parçası olarak gösterilmektedir. Söz konusu tüm bu çıktılar, gıda sistemlerinin sürdürülebilirliğini tehdit etmekte ve dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılama kapasitesini zayıflatmaktadır. Tüm bu bilgiler ışığında geleceğe bakıldığında ortaya çıkan asıl soru, tarım ve gıda sistemlerinin, yüzyılın ortalarında 9 milyardan fazla kişiye ulaşması öngörülen dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılayabilecek olup olmadığıdır. Ayrıca beraberinde gelen diğer bir soru ise kıt arazi ve su kaynakları üzerindeki baskılar ile iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin artması durumunda bile, gerekli üretim artışlarını sağlamada başarının mümkün olup olmayacağıdır. Varılan ortak görüş, mevcut sistemlerin yeterince gıda üretme kabiliyetine sahip olduğu, ancak bunu kapsayıcı ve sürdürülebilir bir şekilde yapabilmede büyük dönüşümler gerektireceğidir (Anonymous 2017).

Dünya nüfusunun 2050 yılında 9 milyar kişiye ulaşacağı ve bu nüfus artışının, kişi başı gelir artışı gibi diğer faktörlerle birlikte gıda talebini önemli ölçüde artıracığı tahmin edilmektedir (Anonymous 2012). Diğer yandan tarım sektörü birçok sorunla karşı

karşıyadır ve gelecekte de olası sorunlarla mücadele edeceği öngörülmektedir (Anonymous 2017). Söz konusu bu sorunların en başında;

- Artan dünya nüfusunun gıda talebinin karşılanması (Birleşmiş Milletlere -BM- göre en büyük nüfus artışı %90 oran ile Asya ve Afrika ülkelerinde beklenmekte),
- Şehirleşme hızının artması (BM'ye göre 2050'de nüfusun 2/3'si şehirlerde yaşayacak),
- İklim değişikliği kaynaklı doğal afetler (rekor seviyeye ulaşan sıcaklıklar, kuraklık, sel vb.),
- Dünya gıda tedarığının yarısını sağlayan ve sayıları 500 milyonun üzerinde olan küçük ölçekli tarım işletmelerinin verimlilikte, sanayileşmiş ekonomilere kıyasla daha geride kalması,
- Ormanların tahrip edilmesi, hayvancılığın sebep olduğu aşırı otlatma, kötü toprak yönetimi sonucu küresel çapta toprak verimliliğinin kaybı, biyoçeşitliliğin tehlike altına girmesi ve su kaynaklarının azalması gibi doğal kaynakların risk altına girmesi,
- Dünya çapında ve daha yoğun olarak gelişmiş ülkelerde karşılaşılan gıda kaybı ve israfının artması (Gıda ve Tarım Örgütü-FAO'ya göre dünya çapında her yıl bir milyar ton gıda israf edilmekte) gelmektedir (Anonymous 2017a).

Tarım sektörü, dünya çapında sürekli bir değişim ve gelişim süreci içerisinde yer almıştır. Günümüzde ise tarım sektörü ile ilgili eğilim; üretimin sürdürülebilirliğinde daha çevreci bir yaklaşımın gerekliliği olmuştur. Tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında, iklim değişikliğinin neden olduğu etkilerin hafifletilmesinde, risk altındaki doğal kaynakların ekonomik ve verimli kullanılmasında, tarım-gıda zincirinin daha etkin hale dönüştürülmesinde ve bunların sonucunda gıda güvencesinin sağlanmasında, çevreci bir yaklaşımın başta yer aldığı, bilgi yoğun ve teknoloji odaklı bir tarım sektörü ile mümkün olacağı ifade edilmektedir (Anonymous 2018). Bu doğrultuda, diğer sektörlerde olduğu gibi tarım sektörünün de dijital teknolojilere yöneldiği görülmektedir. Dijital tarım, e-tarım, akıllı tarım ve tarım 4.0 olarak da ifade edilebilen tarımda dijital dönüşüm, günümüzde halihazırda bazı ülkelerin tarım ve gıda

ürünleri arz zincirindeki belli bazı aşamalarında kullanılmaktadır. Gelecekte de kullanımının artacağı tahmin edilmektedir.

Dijital tarım, McCouch (2018)'a göre, “mevcut tarım-gıda sistemlerinin yönetimini iyileştirmek ve sosyal, ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir olan tamamen yeni sistemlerin keşfini ve tasarımını mümkün kılmak için dijital yenilikleri ve sistem analitiğini ölçekler arasında birleştiren bütüncül, sistem düzeyinde bir yaklaşım” olarak tanımlanmaktadır. Ülkelerin, politikalarını yeniden yapılandırmasında ve tarımsal uygulamalarının da bu kapsamda dönüşüm ve değişim sürecine girmesinde, tarımın dijital dönüşümü çözüm olarak değerlendirilmektedir. Tarımda dijital dönüşümün bahsi geçen sorunlara çözüm olmasının yanı sıra geleneksel tarıma kıyasla; zaman tasarrufu, üretim artışı, düşük maliyet ve çevresel koruma gibi faydalar sağlayacağı da belirtilmektedir (Anonymous 2016).

Dijital dönüşümde rol alan teknolojilere SMS, akıllı telefon uygulamaları, nesnelerin interneti (Internet of Things-IoT), robotlar-insansız hava aracı (Unmanned Aerial Vehicle -UAV), bulut bilişim (Cloud Computing) ve büyük veri analizi (Big Data Analysis) örnek olarak verilebilir. Değer zincirinde kesintisiz veri depolama ve gerçek zamanlı raporlama sağlamanın yanı sıra bulut bilişimi ya da bulut, nesnelerin interneti (IoT), robotik teknolojiler ve dronlar ile farklı kaynaklardan doğrudan elde edilebildiği tarımsal sürece entegre edilebilmektedir. Son olarak, büyük veri analizi, tüm bu farklı kaynaklardan büyük miktarlarda eş zamanlı ve büyük verileri anlamlı bilgiler halinde birleştirmektedir (Özdoğan vd. 2017).

Günümüz tarım sektöründe hâlihazırda pek çok dijital teknoloji kullanılmaktadır. Örneğin, akıllı telefon uygulamaları kapsamında bakıldığında; SMS ile erken uyarı ve tahmin sistemlerinde, yabancı ot türü ve bitki hastalık belirtilerini tanımlamada, alan başına gerekli olan girdi miktarını hesaplamada, üretim kararlarına yardımcı olmak amacıyla arazi seviyesinde hava, toprak ve ürün verilerine ulaşmada ayrıca çiftçilerin su, para ve zamandan tasarruf sağlamaları için sulama sistemlerini cep telefonları ile uzaktan kumanda etmelerinde imkân sağlayan uygulamalar mevcuttur.

İnsansız hava araçları (UAVs) ile insansız kara araçları (Unmanned Ground Vehicles-UGVs) gibi insansız otonom araç kapsamında bakıldığında; Drone gibi insansız hava araçları (UAV), zararlıların ve hastalıkların izlenmesi, ürünlerin bitki sağlık durumlarının hesaplanması, yabani ot türlerinin gerçek zamanlı tespit edilmesi, ot direncinin tespit edilmesi ve pestisitlerin hedefe yönelik uygulaması gibi amaçlarla kullanılmaktadır. 2014 yılında Çin’de “3ZD-10A Extreme Low-altitude Remote Controlled Crop Protection Flying Machines” adıyla kullanılan dronelerin yardımıyla üreticiler, pestisit kullanımını yarıya düşürmüş, su kullanımını neredeyse %90 azaltmış ve işçilik ile malzeme maliyetlerini %70 oranında indirmiştir (Kern 2015).

Robotlar kapsamında da bunlara otonom olan traktörlerin yanı sıra marulu etkilemeden %98 doğrulukla yabani otları yok etmede kullanılan otonom robot ‘Lettuce Bot’, John Deer’in geliştirdiği otonom traktör ‘Spraying Robot Trac-tor’, Fransa’nın (2014) şaraplık üzüm bağlarında yabancı ot mücadelesinde kullanılan otonom robot ‘Vitirover’ ve daha birçokları örnek olarak verilebilir (Kern 2015).

Tüm bu örnekler ışığında, tarım alanında hızla ilerleyen dijital teknolojilerin piyasa hacimlerini önemli bir oranda büyüteceği ve ayrıca tarım sektörünü genç nesiller için daha cazip hale dönüştüreceği öngörülmektedir. Dijital tarım piyasasının 2022-2027 yılları arasında değer bazında %10,5’lik bileşik yıllık büyüme hızıyla 2027 yılına kadar 29,8 milyar ABD dolarına ulaşacağı öngörülmektedir (Anonymous 2022). Söz gelimi, dünyanın önde gelen tohum üretici şirketleri, yeni teknolojiler ve uygulamalar vadeden bilişim firmalarını bünyelerine katmaktadır (Anonymous 2016).

Tarım alanında dijital dönüşüm, BM Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), İktisadi İş birliği ve Gelişme Teşkilatı (OECD) ve Dünya Bankası (DB) gibi uluslararası kuruluşların da (hem iyi uygulama örneklerini inceleme hem de politika belirleme konusunda) çalışma alanları içerisinde yer almaktadır. FAO, tarımda karşılaşılan sorunların çözümüne, dijital tarım kapsamında, e-tarım (e-agriculture) kavramıyla yaklaşmaktadır. FAO’ya göre e-tarım, gelişmiş bilgi ve iletişim süreçleri aracılığıyla tarımsal ve kırsal kalkınmanın geliştirilmesine odaklanan, yeni bir alan olarak görülmektedir. Bu

çerçevede FAO, tarımda dijital dönüşüm için atılacak ilk adımın, her ülkenin oluşturacağı ulusal e-tarım stratejisini olduğunu önemle vurgulamaktadır.

Tüm bu bilgiler ışığında, diğer birçok sektörde olduğu gibi dijital dönüşümden etkilenen tarımın da küresel boyutta yükselen bir rekabet içerisine girdiği söylenebilir. Bundan ötürü tarımsal alanda gerçekleşen inovasyon ve dijitalleşme, ülkeleri hızlı bir adaptasyon sürecine itmektedir.

Bu nedenle bu çalışmada, tarım alanında hızlı değişim ve gelişim içerisinde olan dijitalleşme eğilimi, uygulama ve politikalar yönünden değerlendirilerek söz konusu eğilimin, Türkiye ve ülkeler boyutunda mevcut durumu, yapısı, hazırlık aşamaları, örnekleri, gelişimi, gelecek potansiyelleri ile tehditleri incelenerek yer verilmiştir.

Bu doğrultuda çalışmada ulusal ve uluslararası platformda hazırlanmış olan yayınlar, makaleler, raporlar, yüksek lisans ile doktora tezleri ve konu ile ilgili diğer verilerden elde bulgular ışığında Türkiye tarım sektörünün dijital dönüşümüne yönelik SWOT analizi yapılarak dönüşümün gelişim bu sürecinde etki eden sosyo-kültürel, teknik, ekonomik ve düzenleyici gibi birçok etkin unsur ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı, tarım sektöründe geleceğin taleplerini karşılamada baskı oluşturan; demografik sorunlar, azalan doğal kaynaklar, iklim değişikliği ve gıda israfı gibi etkenlerin neden olduğu açlık ve gıda kıtlığı gibi sorunlar ile mücadelede çözüm sunan ve dördüncü tarım devrimi olarak kabul edilen “Dijital Tarım”ı gelişim boyutunda ve bu çerçevede ortaya koyulan uygulamalar ve politikalar kapsamında incelemektir.

Söz konusu çalışma, Türkiye’de konuyla ilgili yeterli ve istenen düzeyde çalışmaların bulunmaması, ilgili konudaki araştırma açığının kapatılması ve elde edilecek bulgular ışığında tarım politikaları açısından karar alıcılara yönelik öneriler sunulması ve ayrıca konusunda önemli bir kaynak oluşturması nedeniyle seçilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tarımsal dijital dönüşüm kapsamında Türkiye’de konuyla ilgili henüz istenen düzeyde çalışmaların bulunmaması, ilgili konudaki araştırma alanına katkı sağlaması amacıyla bu çalışma ile tarım alanında hızlı değişim ve gelişim içerisinde olan dijitalleşme eğilimi, uygulama ve politikalar yönünden değerlendirilerek söz konusu eğilimin, Türkiye ve ülkeler boyutunda mevcut durumu, yapısı, hazırlık aşamaları, örnekleri, gelişimi, gelecek potansiyelleri ile tehditleri incelenmiştir. Uluslararası literatürde dijital tarım çatısı altında mevcut teknolojileri, uygulamaları, sürecin etkilerini, üreticilerin bu sürece adaptasyonunu ve politika düzeyini inceleme ve değerlendirme çerçevesiyle ele alan birçok araştırma mevcuttur. Bu doğrultuda çalışma ile ilgili ele alınan yerli ve yabancı literatür çalışmalarına ait özetlere aşağıda yer verilmiştir.

Basnet ve Bang (2018) tarafından yapılan çalışmada kısaca ICT olarak bilinen Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin önemini vurgulayarak tarımda bilgi yoğun yaklaşımı dahilinde gerçekleştirilen faaliyetlerin söz konusu teknolojilerin uygulamalarına dayandığını belirtmiştir.

Wiseman vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada tarımsal dijitalleşme adaptasyonunda mevcut veri mülkiyeti tartışmalarını bir engel olarak değerlendirilmiş ve bu sebeple veri mülkiyetinde asıl odak noktasının veri yönetimi olduğu vurgulanmıştır.

Brunori (2019) çalışmasında kırsal alanlara yönelik değerlendirdiği sürdürülebilir dijitalleşmenin gerçekleşmesindeki üç koşulu erişim, tasarım ve sistem karmaşıklığı olarak değerlendirmiştir.

Ar (2019) çalışmasında dijital teknoloji ve hizmet kullanımının beş bin çiftçi üzerinden analiz ederek internet kullanımının %82,3, tarımsal faaliyet amaçlı internet kullanım oranının %2,2 ve akıllı cep telefonu üzerinden en çok kullanılan uygulamanın ise e-devlet (ardından sırasıyla hava durumu, Tapu Kadastro parsel sorgulama, küpe sorgulama vd.) olduğunu ortaya koymuştur.

Saygılı vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’de tarım sektörünün dijital dönüşümü önündeki engellerin tarımsal arazilerin parçalı yapısı, kırsal nüfusun teknolojik beceri ve eğitim noksanlığı, çiftçilerin öz kaynak yetersizliği, bürokratik işlemlerde takipsizlik, devlet desteklerinin yetersizliği ve paydaşlar arası bilgi akışının yetersiz şeffaflığı olduğu tespit edilmiştir.

Mege vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada süt hayvancılığı ile hayvan yönetiminin, robotik ekipman piyasasında küresel pazara hâkim olan uygulamalar olduğu ve süt hayvancılığı uygulamaları kapsamında sağım robotlarının öne çıktığı tespit edilmiştir.

Salam (2020) çalışmasında dijital teknolojilerin adaptasyonu kapsamında üreticilerde öncelikli yaklaşımın “karlılık” etkeni olduğunu vurgulayarak dijital tarım teknolojisi piyasasının daha çok büyük ölçekli tarımsal işletmeleri hedeflediğini dolayısıyla küçük ölçekli tarımsal işletmelerin daha geri planda bırakıldığını değerlendirmiştir.

Lajoie-O'Malley vd. (2020) tarafından yapılan çalışma kapsamında DB, OECD ve FAO gibi uluslararası kurumlara dikkat çekici bir eleştiri yöneltilerek, bahse konu kurumların tarımın dijitalleşmesinde edindikleri vizyonların odağında tarımsal üretimdeki artışa dolayısıyla küresel gıda kıtlığının azaltılmasına yer verildiği fakat çevresel endişelerin göz ardı edildiği belirtilmiştir.

Nicol ve Nicol (2021) tarafından yapılan çalışmada Kanada’daki üreticilerle yapılan bir çalışma ile, tarımda ileri teknoloji uygulamalarının ürün verimi ve kalitesinde artış; tarımsal faaliyetlerde de girdi, zaman ve iş yükü açısından azalış sağlandığı ortaya koyulmuştur.

Demiryürek vd. (2021) tarafından yapılan çalışma kapsamında teknolojik uygulamaların yaşlı üreticiler için uygulanabilir olmadığı, sermaye eksikliğinin tarım sektörünün teknolojik ilerleyişi önündek en büyük engel olduğu ve tarımda etkin veri kullanımı için en az 10 yıllık tecrübenin gerekli olduğu tespit edilmiştir.

Prause (2021), tarımın dijitalleşmesine farklı bir açıdan yaklaşarak tarım teknolojilerinin üreticilerde tarımsal bilgide, beceri ve deneyim kaybı beklentisini ortaya koymuş fakat yaptığı görüşmeler sonucu bu beklentinin belirgin bir şekilde yer almadığını tespit etmiş ve bunun aksine üretici ve mevsimlik tarım işçilerinin, dijital tarım teknolojilerinin kullanımıyla yeni beceriler kazandıklarını söz konusu araştırmayla ortaya koymuştur

Birner vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada gelişmekte olan ülkelerde dijital tarımın olanaklarının büyük ölçüde mekanizasyon düzeyiyle ilişkili olduğu belirtilmiştir.

Maroli vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada 2015-2020 yılları arası IoT uygulamaları alanında yayımlanan makale sayısı kapsamında bu alanda tarım sektörüne en fazla katkısı Çin 'in gerçekleştirdiği ve Çin'i sırasıyla Hindistan ve Hollanda'nın takip ettiği tespit edilmiştir.

Yu vd. (2021) ve Atik (2022), her iki çalışmada da dijital tarım kapsamında veritabanı mülkiyetinin telif hakkıyla korunabileceği savunulmaktadır.

Smidt ve Jokonya (2022) tarafından yapılan çalışmada çoğu düşük gelirli ve küçük ölçekli üreticilerin dijital teknolojileri satın almada zorluk yaşadığı bu nedenle de tarımsal üretkenlik ve ekonomik sürdürülebilirlikte dijital teknoloji kullanımının böylelikle sınırlandığı savunulmuştur.

Ferrari vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada kırsal alanlarda dijitalleşmede itici gücün ekonomik; engellerin ise çoğunlukla sosyo-kültürel ve özellikle yaşlanma ve seyrek nüfusla ilgili demografik sorunlar olduğu ortaya koyulmuştur.

Abbasi vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada 2011-2021 yılları arasında tarımda uygulanan teknolojilerde ilk üç sırayı otonom robotik sistemler (drone gibi), IoT ve makine öğrenimi aldığı ve ayrıca sera ve topraksız tarım sistemlerine (hidroponik,

aeroponik, akuaponik) kıyasla tarla uygulamalarının araştırmalarda daha ağırlıkta olduğu ortaya koyulmuştur.

Ghazali vd. (2022) tarafından yapılan çalışma doğrultusunda yıllar içerisinde araştırmacılar tarafından kullanılan tarımsal dron tipleri arasından Quadcopter tipi dron, boyutu, manevra kabiliyeti ve -diğer dronlara kıyasla- dşşk maliyeti nedeniyle “en çok tercih edilen” olarak bulunurken diğer yandan en yaygın dron uygulama şeklinin ise pşskrtme sistemine bağlı uygulama olduğu bulunulmuştur.

Bulut ve Wu (2022) tarafından yapılan çalışmada binden fazla incelenen yayın kapsamında tarımda IoT ile ilgili en son gelişmelere yer verilirken benimseme sürecinin yavaş gelişimindeki  büyük engelin maliyet (sensör ekipman maliyeti gibi), beceri (teknik uygulamalarda beceri ve uzmanlık yetersizliği gibi) ve standardizasyon (kurumsal engeller, küresel standardizasyon eksikliği gibi) olduğu sonucuna varılmıştır.

Ağızan vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada Türkiye’de tarımsal dijitalleşme sürecinde karşılaşılan engellerin tarım işletmelerdeki farkındalık eksikliği, yatırım maliyetlerinin yüksekliği, dijital okuryazarlık eksikliği, yetersiz altyapı, yerelleştirme eksikliği ve yetersiz politikalar olduğu ifade edilmiştir.

Mcfadden vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada ABD’deki çiftliklerde tarla bitkileri (mısır, soya fasulyesi, buğday -kışlık ekim-, pamuk, eltik ve sorgum) yetiştiriciliği alanında dijital teknoloji adaptasyonunun ilerleme kaydettiği; hayvancılık ile meyve, sebze ve diğer bahçe bitkileri gibi ürünlerde ise adaptasyonun henüz beklenen seviyede olmadığı tespit edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırmanın materyalini, çalışmanın amacına uygun olarak ulusal ve uluslararası platformda hazırlanmış olan yayınlar, makaleler, raporlar, yüksek lisans ile doktora tezleri ve konu ile ilgili diğer veriler oluşturmaktadır. Dünyada ve Türkiye’de bilişim teknolojilerinin yoğun kullanıldığı hassas tarım, akıllı tarım, e-tarım gibi tarım alanındaki dijital dönüşüm uygulamalarına dair örnekler ile politika açısından mevcut durum, yaklaşım ve hedeflerinin araştırılmasına yönelik literatürün değerlendirilmesi ve analizi ile Türkiye için çıkarımlar yapılmasıdır.

İngilizce açılımı Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (güçlü yönler, zayıf yönler, tehditler ve fırsatlar) olarak bilinen SWOT analizi, Stewart (1963)’ın belirttiği üzere “Planlar Sistemi” olarak adlandırılan en eski stratejik planlama çerçevelerinden birinde bir araç olarak tasarlanmıştır (Puyt vd. 2023). SWOT analizi, bir organizasyonun kaynak ve yeteneklerinin analizi ile belirtilen güçlü ve zayıf yönlerinin yanı sıra çevre analizinin tanımladığı tehdit ve fırsatların bir listesidir (Wright ve Pickton 1998). Stratejik mantık, açık bir şekilde, gelecekteki eylem modelinin güçlü yanları fırsatlarla eşleştirmesini, tehditleri savuşturmasını ve zayıflıkların üstesinden gelmeye çalışmasını gerektirir (Pickton ve Wright 1998). Bu doğrultuda çalışmada ulusal ve uluslararası platformda hazırlanmış olan yayınlar, makaleler, raporlar, yüksek lisans ile doktora tezleri ve konu ile ilgili diğer verilerden elde bulgular ışığında Türkiye tarım sektörünün dijital dönüşümüne yönelik SWOT analizi yapılmıştır.

4. TARIMIN TARİHSEL SÜREÇTE GELİŞİMİ

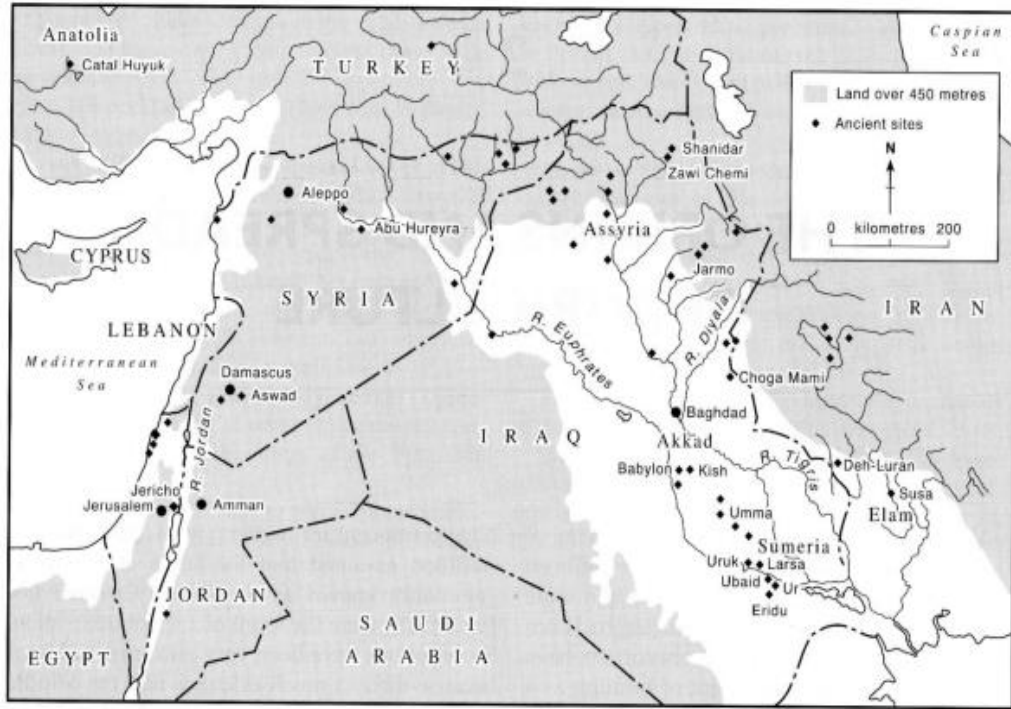
R. Malthus (1798), “İnsanın bu dünya üzerinde nihayetinde besin olmadan yaşayabileceğini varsayan bir yazar bilmiyorum” sözleriyle gıdanın dolayısıyla beslenmenin insanoğlu neslinin devamı için gerekli, kuşku götürmeyen önemini vurgulayarak asla değişmeyecek bir hakikat olduğunu belirtmiştir.

Modern insanın dâhil olduğu, yaklaşık 200.000-300.000 yıldan beri varolan ve taksonomik adıyla *Homo sapiens* olarak bilinen insan türünün varlığını sürdürmesindeki tarihsel süreç dikkate alındığında beslenme ihtiyacını, öncelikle avcılık ve toplayıcılık ile sağladığı bilinmektedir. İnsan türünün tarihsel evrim sürecinde avcılık ve toplayıcılık evresi, bitki ve hayvanları evcilleştirmeye başlamasıyla sona ermektedir. Böylelikle avcılık ve toplayıcılık evresinin sona ermesi ve beraberinde yerleşik hayata geçiş ile ilk tarımsal faaliyetin yapıldığı, Neolitik Çağ dönemi ya da tarımda Neolitik Devrim başlamaktadır.

Neolitik çağa ait bulunan işlenmiş taşlar alet olarak kullanılarak tarımı kolaylaştırmıştır. M.Ö. 10.000 yılında insan türünün yaşamını sürdürmek için tarıma odaklandığı bu dönem, birinci tarımsal devrimin de gerçekleştiği dönem olarak kabul edilmektedir.

Tarımın dünyanın birçok yerinde ortaya çıktığı belirtilmektedir. Buzul Çağı'ndan sonraki küresel iklim değişikliği tarımın, dünyanın çeşitli yerlerinde nispeten kısa bir süre içinde neden birbirinden bağımsız bir şekilde ortaya çıktığını açıklamaya yardımcı olabilir, fakat bu birkaç faktörden sadece biri olmaktadır (Atkins vd. 1998).

Yakın doğunun Mezopotamya (Fertile crescent, verimli hilal) bölgesi günümüzde ziraati yapılan bitki ve hayvanların çoğunun evcileştirildiği yer olmaktadır. Buğday, arpa, çavdar, mercimek, koyun, keçi ve domuz hepsi Mezopotamya'da (Fertile Crescent ya da The Broad Arc) evcileştirilmiştir. Mezopotamya ya da “The Broad Arc” Güney Levant'tan başlamaktadır. Türkiye'nin güneyine, Suriyenin kuzeyine, Zagros dağlarına, İran ve Irak'ın düz çöllerine kadar uzanmaktadır (Çiftçi 2016).



Şekil 4.1 Mezopotamya Bölgesi (Verimli Hilal) (Atkins vd. 1998)

Yerleşik hayata geçişi takip eden süreçte beslenme ihtiyacının karşılanması için bitki ve hayvanların evcilleştirilmesiyle ortaya çıkan tarım, insanlığın uygarlaşma yolunda attığı ilk adım olmuştur. Tarımın insanlık tarihindeki en önemli etkilerinden biri, bu döneme geçişle birlikte nüfusta görülen artış miktarıdır. Üretimle kişi başı tüketilen enerjideki artış, artan nüfus, genişleyen yaşam alanları, evcilleştirilen hayvanların tarımda kullanımı, ortaya çıkan sulama ve ürün muhafaza teknikleriyle üretim fazlası sağlanmış dolayısıyla tarım, insanlığın uygarlaşma yolunda itici güç haline gelmiştir. Nihayetinde birinci tarım devrimi köy, şehir, hiyerarşik devlet ve eyalet gibi oluşumların meydana gelmesini sağlamıştır.

Arap Tarım Devrimi ya da Orta Çağ Yeşil Devrimi, tarım tarihinde yer alan bir diğer önemli dönüm noktasıdır (Dastagiri 2019). Söz konusu devrim, 8. yy. - 13. yy. arası dönemde, dönemin İslam ülkelerinde tarımda kaydedilen tarımsal gelişmeleri kapsamaktadır. Bu dönemde İslam dünyası, tarımda kayda değer ilerlemeler sağlamış, yeni tarımsal ürünler ve tekniklerin dünyanın diğer bölgelerine yayılmasında etkili olmuştur. Özellikle Araplar ile diğer Müslüman tüccarlar arasında gerçekleşen ticaret, sosyo-ekonomik bir ilerleme sağlarken söz konusu ürünlerle beraber tarımsal

tekniklerin (sulama gibi) yayılmasında da asıl rolü oynamıştır. Dönemin İslam ülkelerinde daha önce hiç yetiştirilmemiş ve Hindistan'ın çeşitli bölgelerine ait olan pirinç, pamuk, mango vb. ürünler de böylelikle söz konusu ülkelerde yayılma imkânı bulmuştur (Dastagiri 2019).

Andrew Watson'ın (1974) “The Arab Agricultural Revolution” adlı makalesi ile ele aldığı Arap Tarım Devrimi, 1974 yılından bu yana dünya çapında kabul gören bir kavram olmuştur. Makaleye göre, İslam ülkelerindeki çiftçiler, sulama ve tarım uygulamalarındaki yoğun bilgileri sayesinde Akdeniz bölgesi tarımını genel anlamda dönüştürmüş ve böylelikle verimde artış sağlayarak birçok sayıda şehrin gıda tedarikini sağlamışlardır (Decker 2009). Fakat bu teoriye karşı çıkanlardan biri olan Decker (2009), söz konusu sulama tekniklerinin Yunan ve Romalı çiftçiler tarafından çok daha önceleri kullanıldığını savunmuştur. Bu kapsamda tartışmalar devam etse de söz konusu kavram, tarım tarihindeki yerini korumaktadır.

Tarım tarihini şekillendiren ikinci dönüm noktası, 17. yy. ile 19. yy.'a kadar uzanan dönemde, Britanya'da gerçekleşen İkinci Tarım Devrimi olmuştur. İngiliz Tarım Devrimi olarak da bilinen İkinci Tarım Devriminin oluşum sürecine bakıldığında ise öne çıkan konu, tarımsal devrimin ne zaman ortaya çıktığı tartışmasıdır. Tarımsal devrim kapsamında İngiliz tarım tarihini ele alan bazı kaynaklar, söz konusu devrim sürecini 1700'lerin ortasında ya da 1800'lerin başlarında, bazı kaynaklar ise aksine bu süreci tarihte daha da geriye (13.yy.-15.yy.) giderek başlatmaktadır.

Mingay (1963), İngiliz tarımındaki tarihsel anlaşmazlığı ve kaynaklardaki eksikliği, tarihinde önemli yer edinmiş iki yazarı eleştirerek ortaya koymaktadır. Söz konusu bu yazarlar ve eleştiriye hedef olan eserleri; Lord Ernle'in 1912 yılında yayımlanan “İngiliz Çiftçiliği Geçmiş ve Günümüz (English Farming Past and Present)” ve aynı yıl yayımlanan J. L. Hammond ve Barbara Hammond'ın “Tarım İşçisi (The Village Labourer)” kitaplarıdır. Mingay (1963), söz konusu eserlerde ele alınan tarımsal devrimi; eksik, tarihsel açıdan zayıf, analizden yoksun ayrıca yerel kaynakları ve dönemin mevcut yayınlarının görmezden gelinerek değerlendirilmesini eleştirmektedir. Mingay (1963)'e göre; İngiliz tarım tarihinde önemli yer edinmiş iki kaynak (Ernle ve

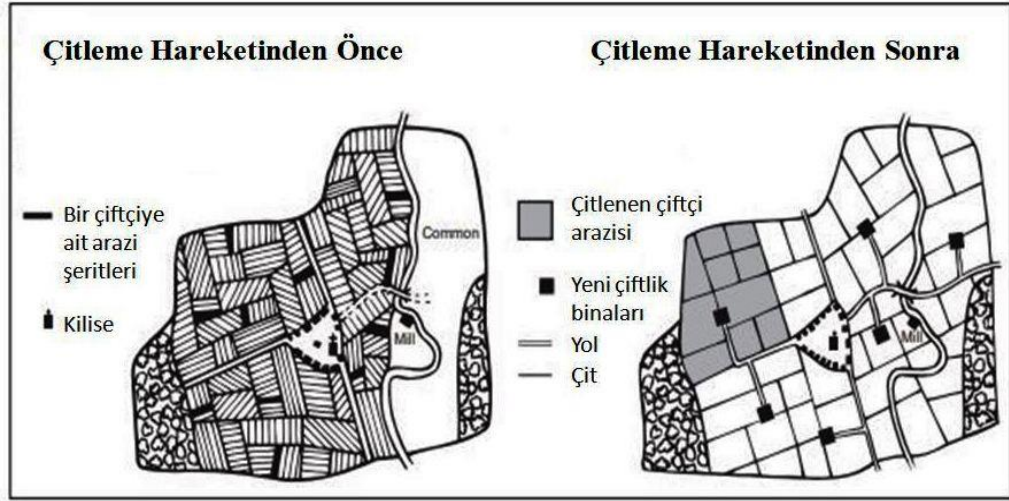
Hammond) ülkenin tarım tarihini orta çağdan yazarların kendi dönemlerine kadar değerlendirmiş olsa da tarihsel açıdan zayıf, o dönemde yazılan yapıtlardan faydalanmayan ve yerel tarihin gözardı edildiği şeklinde değerlendirmektedir.

Mingay gibi diğer tarihçilerin tartıştığı ve ulaşmaya çalıştığı bilgi, İngiliz Tarım Devrimi'nin ortaya çıkışında etkili olan faktörlerin neler olduğu ve ne zaman ortaya çıktığıdır. Günümüz de dâhil İngiliz Tarım Devrimi'nin ne zaman gerçekleştiği sorusu hala tartışmaya açık bir konudur. Tarlow (2007)'a göre dönemin önemli teknolojik uygulama ve tekniklerinin sadece bir kısmının yeni olduğunu aslında diğer uygulama ve tekniklerin hâlihazırda ülkenin diğer kesimlerinde çoktan kullanıldığını dolayısıyla devrimin aslında daha da eski zamanlara dayandığını değerlendirmiştir (Neuss 2015). Kimi tarihçiler ise İngiliz Tarım Devriminin uzun vadede ve kademeli olarak gerçekleştiğini savunmuştur.

İngiliz Tarım Devrimi'ni kaleme alan birçok tarih yazarı, tarımsal devrimin başladığı dönem ile tarihsel gelişim sürecini farklı bakış açılarıyla değerlendirse de öne çıkan iki gelişmenin tarım devriminde yaratmış olduğu etki ve katkı göz ardı edilememektedir.

İngiliz Tarım Devrimi'nin gerçekleşmesinde rol oynayan önemli faktörlerden biri, dönemin öncü olarak kabul edilen tarım uzmanlarının (Tull, Townshend, Coke ve Bakewell) tarım alanında geliştirdikleri yeni metod ve araçlar; bir diğeri ise İngiliz parlamentosunun kararıyla çıkarılan Çitleme Yasası'dır (Enclosure Act). İkinci faktöre detaylı bakıldığında, bahse konu olan Çitleme (Enclosure); köyün açık tarlalarındaki dağınık arazi şeritlerinin bir araya getirilerek birleştirilmesi ve buraları işgal edenlerin, diğer kimselere ait olan hayvanlardan korunması gerekçesiyle araziye çitlerle çevirmesi anlamına gelmektedir. Bu kimseler o dönem dönüşümlü ürün denemelerine girişmek ya da araziye mera ya da ekim alanı olarak kullanma konusunda serbest kalmaktaydılar. Koyun yetiştirmek için büyük çitleme çağı 17. yy.'a gelindiğinde muhtemelen sona ermiş; ancak genişleyen sanayi alanlarını beslemek üzere geliştirilmiş tarım için çitleme ve birleştirme hızla devam etmiştir (Hill 2002). Böylelikle ortak kullanıma açık olan araziler, özel mülkiyete dönüştürülmüş ve ortaya çıkan büyük toprak sahipliliğiyle daha geniş arazilerde ekim olanağı sağlanarak nihayetinde üretim artışı gerçekleştirilmiştir.

Bu tarımsal reformla, İngiliz tarımının yapısı köklü bir şekilde dönüşüm geçirmiş ve bununla beraber Tull, Bakewell vb. tarım öncülerinin geliştirdiği tarımsal teknik, metod ve araçlar da geniş arazilerde uygulama imkânı bulmuştur. Bahse konu olan toprak reformu, her ne kadar eski dönemlere (12.yy.-13.yy.) uzansa da ancak sanayi devriminin gerçekleştiği dönemde hız kazanmıştır (Anonymous 2019).



Şekil 4.2 İngiliz Tarım Devrimi döneminde bir köyde gerçekleştirilen çitleme hareketi (Anonymous 2014)

Çitleme yasası, pozitif sonuçları ortaya koyan bir toprak reformu olmasına karşın, nesiller boyu çiftçilikle uğraşan aileler ile arazisi olmayan ve sadece hayvancılıkla uğraşanların yaşadıkları topraklardan edilmesi, büyük toprak sahipleriyle rekabet edemeyen küçük toprak sahiplerinin işlerini kaybetmesi, işlerini kaybeden yoksul köylülerin şehirlere zorunlu göç etmesi, kentlere göç etmiş köylülerin yoksullukla mücadele etmesi gibi birçok negatif sonucu da doğuran bir hareket olmuştur (Anonymous 2014).

Geliştirilen yeni metod ve araçlar ile toprak reformunun (çitleme) yanı sıra dikkati çeken diğer bir gelişme, yine aynı dönemde uygulamaya geçirilen ekim nöbeti (münavebe) uygulaması olmuştur. Adını uygulandığı yer olan Norfolk'tan alan bu sisteme (The Norfolk Four-Course Rotation) göre; buğday, şalgam, arpa ve yonca

ürünleri münavebeli olarak yetiştirilmiştir (Anonymous 2019). Böylelikle verimlilik artışı sağlanırken, hayvancılığın gelişimine de katkı sağlanmıştır. Özellikle söz konusu bölgede koyun gibi küçükbaş hayvancılığın ağırlıklı olmasıyla nadasa bırakılmayan arazilerde yetiştirilen yonca ve şalgam, kaliteli yem kaynağı olarak hayvancılıkta kullanılmıştır. Arazilerin nadasa bırakılmaması, yetiştirilen yem bitkileriyle (yonca) toprağa azot gibi bitki besin maddelerinin bağlanması, hayvanların şalgam ve yonca gibi kaliteli yem bitkileriyle beslenmesi, hayvancılığın gelişimi sayesinde elde edilen gübrelerin yine bitki yetiştiriciliğinde kullanılması nihayetinde sağlıklı ve verimli bir döngüsel sistemi ortaya çıkarmıştır. Böylelikle toplulaştırma süreciyle daha geniş arazilerde yeni teknik ve metodlar uygulama fırsatı bularak tarımsal verimlilikte artış sağlanmıştır. Bununla birlikte söz konusu dönemde nüfus artışı da yaşanmıştır (Neuss 2015).

Tarımsal gelişmelerin hız kazandığı dönemde, Britanya’da ortaya çıkan diğer bir önemli tarihsel süreç sanayi alanında gerçekleşmiştir. Sanayi ve Tarım Devrimi, kimi kaynaklara göre paralel ilerleyen veya birbirini teşvik eden ya da tarım devriminin öncülük ederek destekliği şekliyle ifade edilmektedir. İngiliz Tarım Devriminin ne zaman gerçekleştiği sorusu gibi söz konusu iki devrimin birbirini nasıl etkilediği de uzmanlar tarafından tartışılan bir diğer konudur.

Sanayi ve Tarım Devriminin kesiştiği bu dönemde, önemli tarımsal reformlardan biri olan çitleme kanunuyla, herkesin kullanımına açık olan araziler özel mülkiyete dönüştürülmüş, bu sebeple birçok çiftçi evsiz ve işsiz bırakılmıştır. Allen (2009b)’ın bulduğu sonuçlara göre; 1500 ile 1800 yılları arasındaki dönemde tarımda çalışan işgücü %75’ten %35’e gerilemiştir (Neuss 2015). Dolayısıyla bazı çiftçiler, yeni toprak sahiplerinin arazilerinde işçi olarak kalırken, diğer çiftçiler ise sanayileşme sürecinin yaşandığı kentsel alanlara göç ederek söz konusu devrim için gerekli işgücünü desteklemişlerdir. Topraksız işçi sınıfını yaratan bir devrim böylelikle bir diğer devrim için gerekli işgücünü sağlamıştır.

İkinci tarım devriminin ortaya çıktığı dönemde, tarım tarihi literatüründe kabul gören bir diğer tarımsal devrim ise İskoçya’da gerçekleşmiştir. “İskoç Tarım Devrimi” olarak

nitelendirilen terim; bazı kaynaklara göre 17. yy. ile 19. yy., bazı kaynaklara göre ise 18. yy. ile 19. yy. arasında İskoçya’da tarım alanında meydana gelen ve içeriğinde tarım alanında yeni uygulamaları, yeni tarım ürünlerini ve tarımsal arazilerde yapılan değişiklikleri barındıran bir devrim olarak açıklanmaktadır. Tarımsal devrim dâhilindeki değişim öncelikle ülkenin ovalarında yer alan tarımsal arazilerin iyileştirilmesi ile başlamıştır. İskoçya’nın düz arazilerinde yüzyıllarca uygulanan geleneksel tarım sistemi, geçimlik tarım olarak “runrig” sistemine dayanmıştır. Runrig sistemi; İskoçya’nın özellikle ova ve adalarında, kiracı olarak yer alan çiftçilere tanınan bir çeşit arazi kullanım uygulaması olarak tanımlanmıştır. Söz konusu büyük araziler, kasaba olarak parsellenerek, tarım işçilerine ait yaşam alanlarını da kapsayan ekililebilir arazi ve mera şeklinde kısımlara ayrılmaktadır. Kiracı olarak çalıştırılan çiftçiler, yine parsellere ayrılan ekilebilir arazilerde belirli aralıklarla yeniden atanmakta, böylece hiçbir çiftçinin en iyi araziye sürekli kullanmasına izin verilmemektedir (Anonymous 2020). 17. yy. sonlarına doğru çıkarılan yasalarla kabul edilen arazi toplulaştırılması sonucu söz konusu sistem de (runrig) ortadan kaldırılmıştır. Bunun sonucunda büyük toprak sahipleri arazilerini tek bir çiftçiye kiralayarak diğer birçok çiftçinin de göçmesine neden olmuştur. Toprak toplulaştırılmasının yanı sıra yonca ve diğer hububat ürünlerinden saman yapma, ekim nöbeti, yeni tarımsal ürünlerin (turp, lahana gibi) ekimi, bataklıkların kurutulması tarım arazilerine dönüştürülmesi vb. İskoç Tarım Devrimi döneminde dikkati çeken diğer uygulamalardan olmuştur. Ayrıca köylülerin beslenmesinde, sonraları oldukça önemli yer tutacak olan patates de ilk defa bu dönemde üretilmeye başlanmıştır (Anonymous 2020).

Malthus (1798) nüfus ve besin arasındaki ilişkiyi “Nüfus, denetlenmediğinde geometrik oranda artar. Besin olanakları ise yalnızca aritmetik oranda artar. Rakamlara biraz yakından bakıldığında birincinin ikinciye kıyasla büyüklüğü görülecektir. Doğamızın besini insan hayatı için gerekli kılan yasası gereği, eşit olmayan bu iki değişkenin etkisinin eşit tutulması gerekir. Bu besin olanaklarının zorluğu nedeniyle nüfusun kuvvetle ve daimî olarak işleyen şekilde denetim altına tutulması gerektiği anlamına gelir” sözleriyle belirtmektedir. Buna göre nüfus ve besin olanakları arasındaki ilişki, insanlık tarihinde çözülmesi gereken başlıca problemlerden biri olarak yerini almıştır. Dolayısıyla tarım tarihinde art arda gerçekleşen devrimler söz konusu ilişkinin bir

gerekliliği olarak ortaya çıktığı kolaylıkla söylenebilmektedir. Bu devrimler, tarım alanında uygulanan yeni teknoloji ve metodlarla nüfusun ihtiyacı olan besin olanakları, verimin artırılması ve üretim alanlarının genişletilmesi ile sağlanmıştır. Fakat ilerleyen yıllarda üretim alanlarının genişletilmesine rağmen toprak verimliliğinin kaybedilmesi, artan dünya nüfusun besin olanaklarını karşılayamayacak duruma getirmiştir. Dolayısıyla Malthus'un nüfus ve besin ilişkisi üzerindeki pesimistik bakış açısı, 19. yy.'ın başlarına gelindiğinde sürekli artan nüfus karşısında gerekli gıda üretimi konusu için de benzer bir pesimizmi yaratmıştır. Buna rağmen Malthus'un, tarımsal üretimin nüfusu beslemede aritmetik artış oranıyla sınıra ulaşacağı teorisinin bilimsel bir dayanağı bulunmamaktadır. Bu teori daha sonraları 20. yy. 'da gerçekleşen ve tarım tarihi için en önemli dönüm noktalarından biri olan "Yeşil Devrim" ile cevap bulmuştur.

Yeşil devrim, 1920-1940 dönemi arası çalışmalarla yavaş yavaş ortaya çıkmaya başlayan, fakat asıl zirvesini 1960'larda gerçekleştirmiş, en önemli tarım devrimlerinden biridir. Daha detaylı anlatımıyla Yeşil Devrim; 20. y.y. dünyasında küresel çapta tarımın, bilimsel alandaki hızlı ilerlemeler, kamu yatırımları ve tarımsal politikalar desteğiyle modern bitki ıslahı, gelişmiş tarım bilimi, inorganik gübre ile pestisit alanındaki gelişmeler çerçevesinde, büyük bir dönüşüm geçirdiği dönem olarak tanımlanabilir. Yeşil Devrim terimi ise ilk defa 1968'de Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Uluslararası Kalkınma Ajansı (United States Agency for International Development-USAID) eski Direktörü William Gaud tarafından kullanılmıştır (Dastagiri 2019).

1960'larda sanayi ülkelerinden sağlanan gıda yardımlarına artan bir bağımlılığa sahip olan özellikle Asya ülkelerinde hızla büyüyen nüfus, açlık ve yetersiz beslenmeye yol açarken, Hindistan'da peşi sıra gerçekleşen kuraklıklar söz konusu dönemde ülkelerin gıda üretim sistemlerindeki güvencesiz durumu ortaya koymuştur (Hazell 2009). Bu nedenledir ki 1967 yılında ABD Başkanı Lyndon B. Johnson tarafından tayin edilen "Dünya Gıda Arzı" panelinde dört temel sonuca ulaşılmıştır (Quimby ve Chapman 1974):

1. Dünya gıda sorununun ölçeği, şiddeti ve süresi o kadar büyüktür ki, insanlık tarihinde eşi benzeri görülmemiş kitlesel, uzun vadeli ve yenilikçi bir çaba, uzmanlaşmak için gerekli olacaktır.
2. Hemen hemen 1985'ten sonra var olacak sorunun çözümü, nüfus kontrol programlarının başlatılmasını talep etmektedir. Yakın gelecek için gıda arzı oldukça önemlidir.
3. Gıda arzı doğrudan tarımsal kalkınma ile ilgilidir ve buna karşılık, tarımsal kalkınma ve genel ekonomik kalkınma, açlık sınırındaki ülkelerde kritik bir şekilde birbirine bağlıdır.
4. Dünya gıda sorununda atağa geçme stratejisi, diğer gelişmiş ülkeler, gönüllü kurumlar ve uluslararası kuruluşlar ile uyum içinde, Amerika Birleşik Devletleri'nin tüm dış ekonomik yardım çabalarını kapsayacaktır.

1967 yılında yayınlanan raporda da belirtildiği üzere dört temel sonuçtan biri olan “Dünya gıda sorununun ölçeği, şiddeti ve süresi o kadar büyüktür ki, insanlık tarihinde eşi benzeri görülmemiş kitlesel, uzun vadeli ve yenilikçi bir çaba, uzmanlaşmak için gerekli olacaktır” maddesinde bahsi geçen çabaya karşılık olarak, dönemin önde gelen vakıflarından Rockefeller ve Ford, bilimsel gelişmelerin, gelişmekte olan ülkelerdeki koşullara aktarılmasına ve adapte edilmesine yardımcı olacak uluslararası bir tarımsal araştırma sisteminin oluşturulmasında öncülük etmişlerdir (Hazell 2003).

Tarım alanında meydana gelen ve sürekli bir değişim sürecini ifade eden yeşil devrim kapsamında gerçekleştirilen ilk girişimler, gelişmekte olan ülkeler için önem arz eden buğday ve pirinç ürünleri üzerine olmuştur. 1960'lı yılların sonunda ise gelişmiş çeşitlerin ıslahı ve ayrıca inorganik gübre kullanımının artması, pestisit kullanımı, diğer kimyasal girdiler ve sulama ile birlikte Asya ve Latin Amerika ülkelerinde ciddi bir verim artışı sağlanmıştır (Hazell 2003). Bahse konu verim artışına ise üç şekilde ulaşılmıştır. Birincisi, ıslahçılar öncelikle bitki patojenlerine karşı doğal olarak ortaya çıkan direnci belirlemiş ve bu özelliği bitkiye melezleme yoluyla sağlamışlardır. İkincisi, ıslahçılar cüce çeşitleri bazı özelliklerle melezleyerek daha fazla gübre kullanabilen daha büyük ve iri tanelere sahip bitki çeşitlerini yaratmışlardır. Kimyasal

gübre kullanımındaki artış, toprak nem içeriğini azalttığı ve ürünün su isteğini artırdığı için, çiftçiler sulamaya daha fazla ağırlık vermek durumunda kalmışlardır. Ve son olarak üçüncüsü, hastalığa dirençli melez çeşitlerin yeni geliştirilen mevcut pestisitlerle birlikte kullanımı sağlanmıştır. Artan üretimleri nedeniyle azot, su, pestisit ve monokültür yetiştiriciliği birleşimi çerçevesinde kullanılan bu tür tohumlara ise “Yüksek Verimli Çeşitler (High Yielding Varieties-HYVs)” adı verilmiştir (Flachs 2016). Yüksek Verimli Çeşit (YVÇ)’lerin kullanımı her ne kadar buğday ve pirinç ürünlerinde ağırlıklı olarak dikkati çekse de diğer gelişmekte olan ülkeler için önem arz eden fasulye, sorgum, darı, manyok gibi ürünlerde de kullanımı söz konusu olmuştur (Hazell 2003).

Yaptığı çalışmalar (özellikle yüksek verimli çeşitleri geliştirmesi) ile küresel çapta bir milyardan fazla insanı açlıktan kurtaran bitki ıslahçısı ve patolog Norman Borlaug, yeşil devrimin babası olarak bilinmektedir (Dastagiri 2019). Öyle ki Borlaug’un, Japon menşeli yarı-cüce buğday çeşidi ile Meksika menşeli buğday çeşidini çaprazlama çalışmalarını gerçekleştirdiği yer günümüzde, “Uluslararası Mısır ve Buğday Geliştirme Merkezi (International Center for Maize and Wheat Improvement-CIMMYT) adıyla hala Meksika’da yer almaktadır (Anonymous 2002). Borlaug, Rockefeller Vakfı ve ABD hükümeti yetkililerinden gelen, Meksika’da tarımsal alanda gerçekleştirilecek modernizasyon projesine önderlik etme teklifinden önce, çalışmalarını DuPont firmasında sürdürmüştür (Hazell 2003).

CIMMYT gibi dönemin bir diğer önemli enstitüsü de “Uluslararası Pirinç Araştırma Enstitüsü (International Rice Research Institute-IRRI)” adı altında söz konusu vakıfların desteğiyle Filipinler’de kurulmuştur. Görüldüğü gibi yeşil devrimin temelini oluşturan ABD’li vakıfların çalışmaları, sanayi devriminden sonra dünya tarihinde yer alacak bir diğer önemli dönüm noktasının gerçekleşmesinde öncü olmuştur. Öyle ki söz konusu vakıflar, devrimin zirve yaptığı 1960’lı yılların öncesinde çalışmalarına başlamıştır. Söz gelimi, 1924 yılında Rockefeller Vakfı’nın finanse ettiği bir program ile Cornell Üniversitesi bitki ıslahçıları, Çin’in Nanking Üniversitesi’ne gönderilerek, bölgenin küçük ölçekli tarımsal işletmelerine modern ıslah yöntemlerinin faydalarını sunmuştur. Yine aynı vakıf, 1950’lerin ortalarında, Amerikalı uzmanları, tarımsal araştırma ve

danışmanlık hizmetlerinde reform ve tarım üniversitelerinin kurulması konusunda tavsiyelerde bulunmak için Hindistan'a göndermiştir (Harwood 2019).

Borlaug, mekik ıslahı (shuttle breeding) adını verdiği hızlı ıslah işlemiyle, daha iri taneli başağa sahip buğday çeşitlerini geliştirmiştir. Fakat bu çeşidin, güçlü rüzgâr ve yağmur yağışı şartları karşısında devrilme gibi bir dezavantajı bulunmaktaydı. Bu sorunu, kendi geliştirdiği buğday çeşidi ile aslı Japonya'da geliştirilen cüce buğday çeşidini melezleyerek elde ettiği yarı cüce bir çeşit (Norin 10) ile çözmüştür. Borlaug'un mekik ıslah yaklaşımı daha sonraları Filipinler'de cüce pirinç çeşitlerinde de denenmiştir. Böylelikle Borlaug, geliştirdiği çalışmalar sayesinde artan gıda üretimine katkısından ötürü 1970 yılında Nobel Barış Ödülü'ne layık görülmüştür (Flachs 2016).

1971 yılında kurulan, "Uluslararası Tarımsal Araştırmalar Danışma Grubu (Consultative Group for International Agricultural Research-CGIAR)" sistemi, 14 ülkede özel ürünler odağında, gıda güvencesi ve ürün verimliliğini geliştirme misyonuna sahip, 15 enstitünün kurulmasını sağlamıştır. Böylelikle CGIAR merkezleri, yeşil devrimin bilim insanlarının çalışmalarını paylaşmasına ve geliştirmekte olan ülkelerdeki yeni tarım uzmanlarının eğitilmesine yardımcı olmuştur (Flachs 2016). Rockefeller, Ford gibi vakıflar ile ABD hükümetinin desteğiyle ortaya çıkan sistemin yardımıyla, Hindistan, Meksika ve Filipinler ürün ıslahı çalışmalarında öne çıkan ülkeler olmuştur.

Yeşil devrim sürecinde geliştirilen YVÇ'lerin, geliştirmekte olan ülkelerin tarım alanındaki adaptasyonu ilerleyen yıllarda hız kazanmıştır. Böylece 1970'li yıllara gelindiğinde, geliştirmekte olan ülkelerin buğday ekili alanlarının yaklaşık %20'sinde, pirinç ekili alanlarının ise %30'unda YVÇ'ler kullanılmıştır. 1990'lı yıllarda ise her iki ürün için söz konusu pay yaklaşık %70'e yükselmiştir. Yüksek verimliliğe sahip çeşitlerle ekiliş yapan üreticiler böylelikle her yıl ekiliş alanlarını da genişletmişlerdir. Nihayetinde 1970 ile 1995 yılları arasında Asya'daki tahıl üretimi iki katın üzerine çıkarken, nüfus da %60 oranında artış göstermiştir. Latin Amerika ülkeleri de tarım alanında benzer kazanımları elde etmiştir. Fakat Sahra altı Afrika'sı için söz konusu gelişim, yüksek ulaşım maliyetleri, zayıf altyapı sistemi, sulamadaki sınırlı yatırımlar,

uygulanan politikaların yetersizliği vb. nedenlerle yeşil devrim sürecinde ilerleme kaydedememiştir (Hazell 2003).

Yeşil devrim, yüksek verimli çeşitlerin gelişimi, sulama altyapısının yayılımı, tarımsal yöntem ve tekniklerin modernize edilmesi, melez tohumların dünya çapında yayılması, inorganik gübre ve pestisitlerin kullanımı gibi dünya tarım alanına sağladığı kazanımlar kadar, birçok eleştiriye de beraberinde getirmiştir. Bu eleştiriler, çevresel, sosyo-ekonomik ve hatta politik çerçevede ele alınan değerlendirmeler olmuştur. Öncelikle ABD'nin 3. Dünya lkeleri'ne, yeşil devrimin doğmasına yol açacak teknolojik alandaki verdiği desteğin, insani yardım çerçevesinden çok, ülkenin politik-ekonomi endişesinden kaynaklandığı şeklinde değerlendirilmektedir (Harwood 2018). Dolayısıyla tarımsal modernizasyondaki amaç, ülkenin politik-ekonomi stratejisinden sonra geldiği söylenebilmektedir. Bununla birlikte tarımda modernizasyon öngörüsünün, yalnızca yeşil devrim dönemine özgü olmayıp hâlihazırda ABD dışında Avrupa tarım alanında da benzer çalışmaların yapıldığı ve benzer öngörülerin paylaşıldığı bilinmektedir. Söz gelimi 1928'de, dönemin önde gelen bir İngiliz tarım bilimcisi, Kraliyet Tarım Komisyonu'na, (Birleşik Krallık'ta olduğu gibi Hindistan'da da) iftlik büyüklüğünün ölçek boyutunda artırılması ve tarımda çalışan kişi oranının %60'dan %20'ye veya daha azına düşürülmesinde bilimsel yaklaşımların kullanılmasını önermiştir (Harwood 2019).

Yeşil devrime yöneltilen eleştirilerden bir diğerisi ise söz konusu dönemi takip eden yıllarda ortaya çıkan çevresel etkilerdir. Yeşil devrim ile ortaya çıkarılan geliştirilmiş yüksek verimli tohumlar, kimyasal gübreler ve pestisitlerin aşırı kullanımı, çevresel zararı da beraberinde getirmiştir. Özellikle yeşil devrim çıktılarından, kimyasal gübre ve pestisitlerin uygun olmayan ölçeklerde aşırı kullanımı, su kaynaklarının kirlenmesine, çiftçilerin zehirlenmesine, yararlı böcekler ile diğer vahşi yaşam formlarının zarar görmesine neden olmuştur. YV'lerden maksimum seviyede fayda sağlamak isteyen çiftçilerin, bunun beraberinde bol miktarda su, kimyasal gübre ve pestisit kullanımını da gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Aşırı su kullanımı, toprak tuzlulaşmasına neden olmuş ve nihayetinde verimli tarım arazilerinin terk edilmesi sonucunu doğurmuştur. Bunun yanında, yine aşırı su kullanımı, yağmur suyuyla yenilenen yeraltı su

kaynaklarının kritik seviyelere düşmesine neden olmuştur. YVÇ'ler ile yoğun bir şekilde monokültür yetiştiriciliğe (başta buğday, pirinç ve mısır olmak üzere) ağırlık verilmesi, ilgili bölgede biyoçeşitliliğe zarar vermiştir. Devrimin getirdiği modern girdilerin, küresel çapta eğitim ve tarımsal yayımın yetersizliği ile girdilerin tüm ülkelere ulaşmayıp adaletsiz dağılımı nedenleriyle negatif etkileri daha çok hissedilmiştir. Ayrıca yeşil devrimle birlikte artan verimlilik sonucu tarımsal ürünlerde fiyatlar gerilemiş fakat girdilerde bu durum aksine yaşanmıştır. Tarımsal girdi (tohum, inorganik gübre, pestisit) başlığı altında daha sonradan alınan politik kararlar ile (sübvansiyon gibi) çiftçilerin girdilere ulaşımı daha sonraları kolaylaştırılmıştır. Tabi bu durum daha sonraları kullanımda artışı destekleyerek, çevresel zararın oluşmasında etken olacaktır. Küçük ölçekli çiftliklerin bir bölümü, yeşil devrimin çıktılarını adapte etmede büyük ölçekli çiftliklerin gerisinde kalmıştır. Buna ek olarak yine dönemle birlikte sağlanan tarımsal teknolojiadaki ilerleyiş, kırsal alanda birçok kişinin işinden edilmesine sebep olarak şehre göçü de desteklemiştir.

Nihayetinde yeşil devrime genel kapsamda bakıldığında, devrimin öncelikle gelişmekte olan ülke toplumlarının beslenme ihtiyaçlarını karşılama yeterliliğinden öte, ülkelere fazla üretim kapasitesi ve yeteneğini sağladığı rahatlıkla söylenebilmektedir. Devrimin sağladığı teknolojiyle, Asya ile sınırlı kalmayıp Latin Amerika, Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkelerinin de gıda güvencesi sağlanmış ve dünya çapında yoksulluk ve açlığa büyük çapta cevap verilebilmiştir. Fakat söz konusu tarımsal ilerleme, Afrika için aynı olmamıştır. Dönemin sağladığı kazanımların yanında beraberinde getirdiği negatif sonuçlar da bilinen bir diğer gerçektir. Bu sonuçlar ekonomik, sosyal ve politik boyutlarda ortaya koyulan eleştiriler olmuştur. Dolayısıyla eleştiriler ışığında devrim, beraberinde getirdiği pozitif ve negatif etkilerin yanı sıra tarım alanının aslında tek boyutlu (üretim gibi) olmadığı, ekonomik, sosyal ve hatta kültürel boyutunun da yer aldığı çok disiplinli bir alan olduğu gerçeğini de beraberinde ortaya koymuştur. Bu yüzdendir ki, 1970'li yıllardan itibaren uluslararası enstitüler, bilim insanı ve ekonomistlerin yanı sıra sosyal bilimlerden de uzmanları kadrolarına dahil etmeye başlamıştır (Harwood 2018). Nihayetinde yeşil devrim yarattığı etkilerle, olumlu ya da olumsuz olarak günümüzde hala değerlendirilmektedir. Diğer bir deyişle, devrin bazı sonuçlarının direkt olmaktan öte, karışık (olumlu ve olumsuz) şekilde verdiği tepkiler,

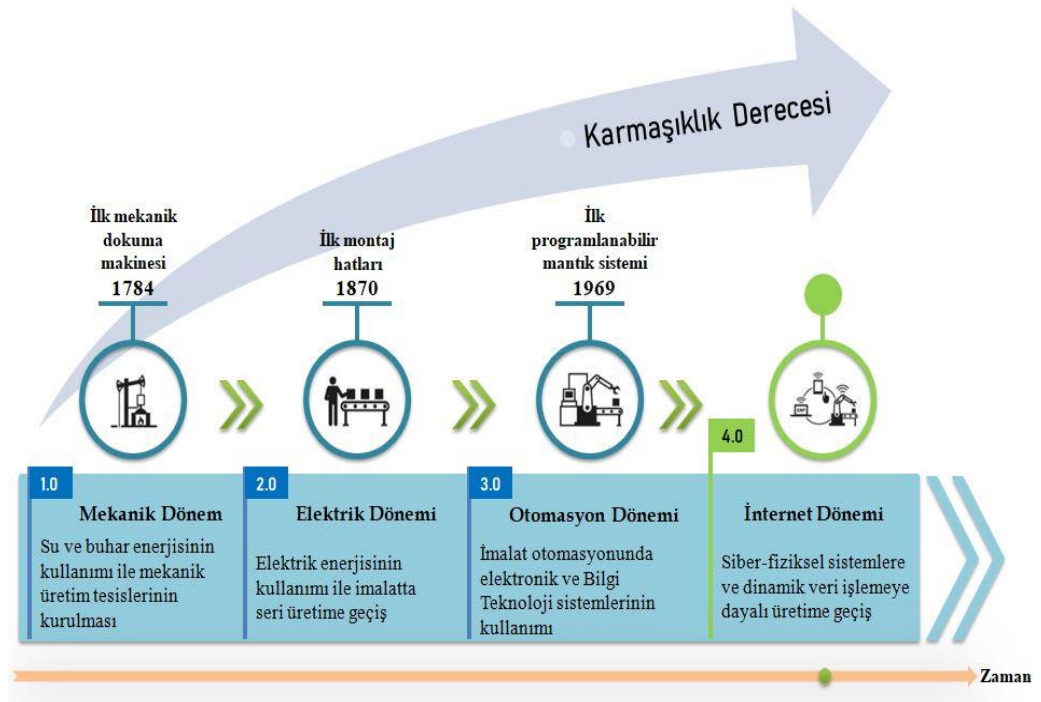
hala uzmanlarca tartişılmakta ve eleştirilere hedef olmaya devam etmektedir. Fakat tartişılagelen olumlu ve olumsuz tüm tepkilere rağmen, tüm bu sürecin, diğer bir deyişle neolitik çağdan yeşil devrim sürecine kadar tarım alanında gerçekleşen, tüm bu radikal değişiklikler, tarımsal sistemi ve tarım tarihini yeniden şekillendiren dönüm noktaları olmuştur. Ve tarihsel sürece bakıldığında, bu istikrarlı dönüşümün daha da devam edeceği söylenebilir.

Sonuç olarak tarihsel süreçte incelenmiş olan tarımın, insanoğlunun varolduğu ilk zamanlardan, günümüze ve daha sonraki nesillerin devamı için beslenme ihtiyaçlarını karşılamada, sürekli bir değişim ve dönüşüm içerisinde olan, içeriğinde birçok disiplini barındıran ve önemi asla değişmeyecek bir alan olduğu kuşku götürmez bir gerçektir. Bu nedenledir ki tarihsel süreçte, içerisinde bulunduğumuz 2000’li yıllarda, yeni bir devrime ihtiyaç olduğu gözlemlenen bir diğer gerçektir. Yeşil devrimle tarımın aslında çok disiplinli bir alan olduğu, sadece üretim boyutuyla küresel çapta yoksulluk ve açlığa cevap verilemeyeceği, birçok gelişmekte olan ülkenin başarılarına rağmen kendi tarımsal devrimini gerçekleştirmeyen Sahra Altı Afrikası’nın tarımsal ihtiyaçlarına cevap verilemediği, yine tarımsal alanda hangi etkenlerin aslında daha önem arz ettiği ve bu sürecin ortaya koyduğu olumlu ve olumsuz nasıl etkilere yol açtığı vb. ıktılar ile oldukça değerli tecrübeler sağlanmışır. Bu nedenledir ki, yeni ihtiyaçları doğuran bu sürecin beraberinde getireceği yeni teknolojilerin, gıda ve evre sistemleri boyutunda sürdürülebilir olması gerekmektedir.

Geçmişte olduğu gibi günümüzde de küresel nüfus artışı ve bu artış için gerekli besin olanaklarının üretilmesi sorunu hala önemini korumaktadır. Yeşil devrimde tecrübe edilen ve günümüzde sonuçları daha derinden hissedilen çevresel etkiler göz önünde bulundurularak, teknolojik alanda yaşanılan gelişmeler tarımı, öncelikle daha çevreci bir yaklaşımın başta yer aldığı, bilgi yoğun ve teknoloji odaklı bir devrime yöneltmektedir. Dolayısıyla gelişen teknolojilerin getirdiği ve içinde bulunan dijital dönemde, tarım alanındaki dördüncü devrimin, dijital dönüşüm çerçevesinde gerçekleştiği söylenebilir. Bu nedenle, tarım alanında hâlihazırda gerçekleşen dördüncü devrim, sonraki bölümlerde dijital devrim boyutu ile ele alınarak değerlendirilecektir.

4.1 Sanayi 4.0'dan Tarım 4.0'a: Tarım Sektörüne Bilgi-Teknoloji Yoğun Yaklaşım

18.yy.'da başlayan teknolojik gelişmelerin etkisiyle ekonomik ve sosyal boyutta köklü değişimlere yol açan sanayi uygulamaları, sadece İngiltere ile sınırlı kalmayıp Batı Avrupa, Kuzey Amerika ve dünyanın geri kalan birçok ülkesine uzanıp uzun vadede gerçekleşecek olan sanayi devrimlerinin oluşumunu başlatmıştır. Sanayi devrimi bu nedenle, tarım sektöründe başlayan ve sanayi sektörüne bağlanan teknolojik dönüşüm ve ilerlemelerin sistematik süreçlerine atıfta bulunmaktadır (Anonymous 2019). Şekil 4.3'de küresel sanayinin günümüze kadar dört devrim ile evrimleşme süreci, özet bilgilerle, görülmektedir.



Şekil 4.3 Tarihsel süreçte sanayi devrimleri

Birinci sanayi devriminden (Sanayi 1.0), dördüncü sanayi devrimine (Sanayi 4.0) kadar geçen süreç dönemsel olarak sırasıyla; mekanik üretim tesislerinin uygulanması (Sanayi 1.0), elektrik ve iş bölümüne dayalı seri üretime geçilmesi (Sanayi 2.0), üretim süreçlerinin otomasyonu (Sanayi 3.0) ve otonom makineler ve sanal ortamlar (Sanayi 4.0) içerikleriyle özetlenebilir (Fırat ve Fırat 2017).

Birinci Sanayi Devrimi, 19.yy.'ın son yıllarına kadar sürerek bu dönemde önemli değişiklikler meydana getirmiştir. Sanayi 1.0, 18. yy. sonlarında, su ve buhar gücüne dayalı mekanik üretime geçişle başlamıştır. Fabrika üretimi İngiltere dışındaki ülkelere genişlemiş, 19.yy.'ın ortalarında demiryolu ağının genişletilmesi, telgraf kullanımı gibi gelişmelerle ulaşım ve iletişim alanlarında da devrim yaşanmıştır. Böylelikle üretimin mekanizasyonu, kişilerin ve malların uzak mesafelere taşınması olanağını sağlamıştır. Ayrıca bu dönemin bir çıktısı olan iş gücü gerekliliği, insanların kırsal alanlardan şehirlere göç etmesinde etkili olmuştur. Kömürün yakıt, demirin de inşaat malzemesi olarak kullanımı, buhar enerjisine dayalı fabrikalar, lokomotifler ve gemiler ile yolların, kanalların ve demiryollarının inşası dönemin dikkat çeken gelişmeleri olmuştur (Fazzin 2020).

19. yüzyılın ikinci yarısında başlayan İkinci Sanayi Devrimi ise kimya, elektrik, petrol ve çelik sanayilerinde bir dizi gelişmeyi içermektedir (Carvalho ve Cazarini 2020). Sanayi 2.0'a geçiş dönemi, iş bölümüne dayalı, elektrik enerjisiyle çalışan ilk montaj hatlarının kitlesel üretim için kullanımıyla başlamaktadır. Söz konusu montaj hatları, 1870'lerde Henry Ford'un sahibi olduğu, Cincinnati ve Chicago'da yer alan mezbahalarda, et paketleme uygulamasında kullanılmıştır (Fazzin 2020). Ayrıca bu dönem, kullanımı artan bir şekilde petrol ve elektrik gibi yeni enerji kaynaklarını da kapsamına almıştır. Kayda değer teknolojik ilerlemelerin dikkat çektiği bu dönemde, otomasyon ve elektriğin kullanımı sayesinde İngiltere başta olmak üzere sırasıyla Almanya, ABD, Fransa, İtalya ve Japonya'da seri üretim katlanarak büyüme göstermiştir. Teknolojik ilerlemelerin çağı olan Sanayi 2.0 döneminin bitişi ise, modern çağın başlangıcı olarak belirtilmektedir (Fazzin 2020).

Üçüncü Sanayi Devrimi'nin gerçekleştiği, 1970'li yılların başına gelindiğinde ise, imalat otomasyonunda artık elektronik ve bilgi teknolojilerinin kullanıldığı görülmektedir. Diğer bir deyişle bilgisayarlı otomasyon dönemine geçiş yapılmıştır. Bilgi teknolojilerinin de başlangıç çağı olan bu dönemde bilgi, dönemin kilit rolünü oynamakta ve programlanabilir mantık denetimcisi (Programmable Logic Controller-PLC) ve internet gibi başlıca iki büyük yeniliğin merkezinde yer almaktadır (Fazzin 2020). Sanayi 3.0 döneminin hızlı ilerleyen teknoloji gelişimi çerçevesinde analog,

mekanik ve elektronik temelli imalat sürecinden, dijital teknolojiye dayanan üretim dönemine geçiş başlamıştır. Kagermann vd. (2013)'nin belirttiği üzere bu dönemde, atom enerjisi, bilgisayar, fiber-optik ve çip gibi mikro-elektronik teknolojilerine dayalı gelişmeler yaşanmış ve yaşanmaktadır (Kılıç ve Alkan 2018). Sanayi 3.0 dijital teknoloji alanındaki gelişmeleriyle, Dördüncü Sanayi Devrimi'ne (Sanayi 4.0) zemin hazırlamış ve 2010'lu yıllar itibarıyla da Sanayi 4.0'a geçiş dönemi başlamıştır.

Sanayi 4.0 kavramı, tam otomatik ve birbirine bağlı sanayi üretimine öncülük eden bir süreç olarak tanımlanmaktadır. İmalat sektörünün ekonomik kalkınması ile bağlantılandırılan söz konusu devrim, ölçeklenebilir¹ bir evrimsel potansiyeli de beraberinde taşımaktadır (Latino vd. 2018). Sanayi 4.0 terim olarak ise 2011 yılında, Almanya'nın Hannover kentinde gerçekleştirilen fuarda, Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi (Acatech) tarafından yayınlanan "Sanayi 4.0 Manifestosu" ile ilk defa kullanılmıştır (Kılıç vd. 2018). Söz konusu terim, bilgi teknolojisi ve entegre otomasyon alanlarıyla direkt bağlantılı değişikliklere atıfta bulunmaktadır. Üretim otomasyonunu teşvik etme ve sonuç olarak, "akıllı fabrikalar (smart factories)" yoluyla verimliliği artırma amacıyla, Sanayi 4.0, daha küçük sensörler ve makinelere uygulanan yapay zekâ yardımıyla internet ve üretim süreçleri arasındaki entegrasyon ile karakterize edilebilir (Carvalho ve Cazarini 2020). İçerisinde bulunan mevcut sanayi devrimi, mobil internet, daha küçük ve ekonomik sensörler, makine öğrenimi ve genel anlamda yapay zekâ gibi yıkıcı yeniliklere² dayanmaktadır (Fazzino 2020).

Küresel imalatla gerçekleşen Sanayi 4.0 ile; IoT ve hizmetleştirme kavramlarının imalat şirketlerine girmesi, dikey ve yatay olarak entegre üretim sistemlerine yol açmakta ve ortaya akıllı fabrikaları (smart factories) çıkarmaktadır. Bu dönüşüm sürecinde imalat sanayini desteklemek ve küresel rekabetçiliği artırmak için, bazı ülkelerdeki karar alıcılar, araştırma ve teknoloji transferi konularında programlar oluşturmuştur. Söz gelimi, Almanya, Avrupa Birliği politikasını giderek daha fazla etkileyen, Sanayi 4.0

¹ Ölçeklenebilir (scalable) kavramı en basit şekliyle, bir girişimin en düşük maliyetle büyüme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır.

² Yıkıcı yenilik (Disruptive Innovation), ilk defa 1995'te Clayton Christensen tarafından kullanılan terim, bir ürünün veya hizmetin başlangıçta bir piyasanın altındaki basit uygulamalarda kök saldığı ve daha sonra sürekli olarak piyasaya girdiği ve sonunda yerleşik rakiplerin yerini aldığı bir süreci tanımlamaktadır.

programını yürürlüğe koyarken, ABD akıllı üretime (smart manufacturing) odaklanmaktadır. Akıllı üretim konusunda, Japonya ve Kore gibi diğer sanayi ülkeleri ise, kendi programlarını oluşturmuşlardır. Bu faaliyetlerin ana amacı, sözde siber-fiziksel sistemlerdir (Cyber-Physical System-CPS): RFID (Radyo Frekansı ile Tanımlama)'ler, sensörler, mikroişlemciler, telematik veya tam gömülü sistemler gibi teknolojilerle donatılmış fiziksel varlıklardır (makine, araç vb.). Kendileri ve çevreleri hakkında veri toplayabilmeleri, bu verileri işleyebilmeleri ve değerlendirebilmeleri, diğer sistemlerle bağlantı ve iletişim kurabilmeleri ve eylem başlatabilmeleri ile karakterize edilirler (Thoben vd. 2017).

Sonuç olarak, bugüne kadar gerçekleşen sanayi devrimlerinin ulaştığı mevcut çağda, gerçekleşen teknolojik ilerlemelerin yalnızca sanayi sektörü ile sınırlı kalmayacağı, sayısız konuda da radikal değişim ve dönüşümleri gerektireceği kuşku götürmezdir. Dolayısıyla günümüzde artan karmaşıklığıyla dijital teknolojiler, birçok alanda önemini giderek artırmaktadır. Tüm bu gelişme ve ilerlemeler ışığında ve yine tarihte de yaşandığı üzere, sanayi sektörünün ilişkili hatta etkileşim içerisinde olduğu alanlardan biri de tarımdır. Sanayi 4.0 çıktılarının tarım sektörünü etkilemesi hatta bir dönüşüm sürecine itelemesi ise, mevcut çağın bir gerekliliği olarak ortaya çıkmıştır.

Geleneksel tarım sisteminden, modern tarım sistemine geçişin yeşil devrim süreciyle başladığını söylemek yanlış olmayacaktır. Hâlihazırda devam eden bu modernizasyon sürecinde; tarım alanında mekanizasyonun hızlı artışı, bilim alanındaki gelişmeler (biyoloji, kimya gibi) ve kazanımlar (yüksek verimli tohumlar, inorganik gübre, pestisit vb.) gibi söz konusu dönemin çıktıları, yeşil devrimin neden başlangıç noktası olduğu yönündeki fikir konusunda yeterli olacaktır. Dolayısıyla teknolojik gelişim sürecinde tarım sistemine bakıldığında, yeşil devrimle gelenekselden mekanikleşen bir dönüşüme geçiş yaptığı; 1990'lı yıllarda ise hassas tarım (precision agriculture) yaklaşımı ile dijital bir dönüşüm sürecine başladığı gözlenmiştir. Ayrıca buna ilave olarak, askeri amaçla kullanılan küresel konum belirleme sistemi (GPS-Global Positioning System) sinyallerinin kamu kullanımına açılması, hassas tarım için başlangıç noktası olarak bilinmektedir (Anonymous 2017b).

ABD Eski Başkan Yardımcısı Albert Arnold Gore Jr., 31 Ocak 1998’de Kaliforniya Bilim Merkezi’nde yaptığı konuşmada “Dijital Dünya (Digital Earth)” kavramını ileri sürmüştür. Söz konusu tarihten bu yana “Dijital Dünya” kavramı, bilim ve teknoloji alanında büyük bir ilgi uyandırmış ve en büyük araştırma konularından biri haline gelmiştir. Dolayısıyla dijitalleşme kavramının farklı alanlardaki gelişimini önemli ölçüde hızlandırmıştır. Bunlar arasında “Dijital Tarım (Digital Agriculture)”, dijital dünya kavramı altındaki en önemli araştırma konularından biri olurken, tarım alanında “bilgi otoyolu”, “dijital dünya” ve “bilgi ekonomisi” tanımlarının da yayılmasını sağlamıştır (Tang vd. 2002). Bu kapsamda dijital tarım, 1990’larda ileri sürülen “dijital dünya” kavramının bir uygulaması ve ayrıca tarımsal üretim prosedürlerine vurgu yapan “hassas tarım” kavramının bir genişlemesidir. Dijital tarım sistemi, toprak koşullarından piyasa değerlendirmesine kadar sadece tarımla ilgili çeşitli verileri değil, aynı zamanda bir dizi tarımsal üretim ve pazarlama sürecinde, en iyi kararların alınmasına yardımcı olan optimal karar işlevlerini içeren bir veritabanıdır (Shen vd. 2010). McCouch (2018) ise dijital tarımı, “mevcut tarım-gıda sistemlerinin yönetimini iyileştirmek ve sosyal, ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir olan tamamen yeni sistemlerin keşfini ve tasarımı mümkün kılmak için dijital yenilikleri ve sistem analitiğini ölçekler arasında birleştiren bütüncül, sistem düzeyinde bir yaklaşım” olarak tanımlamaktadır.

Sanayi ve tarım alanında gerçekleşen devrimlerin, sektörleri etkileşim içerisinde tuttuğu, tarihsel sürecin ortaya koyduğu bir diğer gerçektir. Sanayi devrimlerinin vardığı nokta olan mevcut sanayi 4.0 çağında, tarımın söz konusu devrimin direkt etkisi dışında, dönüşüme hatta dijitalleşmeye iten birçok etkenin daha bulunduğu söylenebilir. Bu nedenle, daha önceleri sadece üretim odaklı bir disiplin olduğu düşünülen tarım günümüzde, değişen ülke ekonomileri, tarım sektöründe çalışan işgücünün azalması, kırsal alanlarda genç nüfusun azalması, gelişen yaşam standartları, değişen tüketici eğilimleri (organik ürün, tarımsal ürünlerde gıda güvenliği ve kalite, protein bazlı ürün talebi vb.), kentleşmedeki artış vb. faktörler çerçevesinde yeniden dönüşüme uğramaktadır. Değişen çevresel şartlar, değişen ekonomilerle toplumların yeniden şekillenen yaşam standartları ve yaşayış şekilleri ve yine gelişen teknolojiler; gıda güvencesi, doğal kaynakların korunması, gıda güvenliği, gıda tedarik zincirinde izlenebilirlik, kaliteli ve ucuz gıdaya erişebilirlik, üretimde çevreci yaklaşım, hayvansal

refah, üretimde sürdürülebilirlik gibi doğrudan tarımla ilgili eğilimleri de beraberinde getirmiştir. Bu nedenle, tüm bu eğilimler kapsamında, tarımın yeni bir devrime itelendiği neticesi kaçınılmazdır. Dolayısıyla, mevcut sanayi devrimi çağında, benzer bir olgunun tarım alanında da başlaması ise oldukça olağan ve beklenen bir durumdur. Bu nedenle belirtilen eğilimlerle birlikte Sanayi 4.0'ın, sürece uyumlu olarak tarım sektörünü etkilemesi ve tarımda yeni bir devrimi tetiklemesi, halihazırda gerçekleşen dördüncü tarım devrimi (Tarım 4.0) için gerekli etkenleri ortaya koymaktadır.

Ele alınan süreç kapsamında sanayi 4.0'dan tarım 4.0'a geçişte dijital yaklaşımın ne olduğu ve hangi tarım tabanlı faktörlerle dönüşüm yönünde desteklendiğinin ardından gelen diğer bir soru ise, yeni tarım sisteminin nasıl bir yapı gerektirdiği olacaktır. Bu nedendir ki, dijital dönüşüm çerçevesinde ve ilgili teknolojinin doğası gereği olarak, öne çıkan başlıca temel unsur bilgi olmaktadır.

Aydın (2019)'ın makalesinde yer verdiği, Mayer-Schönberger ve Lazer (2007)'e göre en eski yönetim anlayışından günümüzün en modern yönetimlerine kadar, bilginin elde edilmesi, işlenmesi, saklanması ve üzerinde karar verilmesiyle yönetimin işlevselliği sağlanmaktadır (Telli vd. 2019). Aydın (2019)'ın belirttiği üzere, tarihsel süreç boyutundan bakıldığında kayıt tutma, tarihte yönetim/iktidar/krallıklar ile yakın ilişki içerisinde ve önemli bir üstünlük olarak değerlendiriliyorsa, günümüzde de dijital veriler ve veritabanları modern devletler için aynı öneme sahip olmaktadır (Telli vd. 2019). Bu doğrultuda, günümüz teknolojisinin ilerleme seviyesinde, sahip olunan dijital veriler ve veritabanları devletlere belirli alanlarda üstünlük sağlayacağı gibi bir değerlendirme yapılabilir. Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley'in 2000 yılında gerçekleştirdiği bir çalışmaya göre, aynı yıl dünya genelinde üretilen toplam veri bir yılda 1 ile 2 eksabayt¹; ortalama bir kişinin bir yılda ürettiği veri ise kabaca 250 megabayt² olduğu ortaya koyulmuştur (Lyman vd. 2000). Şimdilerde ise söz konusu veri üretiminin, saniyede kişi başı 1,7 megabayt olması beklenmektedir (Anonymous 2020c).

¹ 1 Eksabayt (EB), 10¹⁸ bayta eşittir.

² 1 Megabayt (MB), 10⁶ bayta eşittir.

Tarımda dijitalleşme kapsamında bilgi boyutunun neden önem arz ettiği konusunda ise (Anonymous 2018a);

- Günümüze kadar gerçekleştirilen tarımsal genişleme, kentsel gelişim ve arazi tahribatı, tarımın arazi bazında genişleme potansiyelini tüketmesi,
- Doğal yaşam alanlarının daralması,
- Kullanılabilir su kaynaklarının giderek azalması,
- Geçmişten bu zamana kadar genişleyen ve dönüşen tarım sektörünün, temel kaynaklarda sınır düzeye ulaşarak baskı yaptığı için sürdürülebilirliğinin şüpheli olması,
- Geçmişte olduğundan çok daha farklı iklim şartları altında tarımın sürdürülmesi,
- Tarımın, iklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağı olması etkenleri göz önünde bulundurulabilir

Bu doğrultuda, çağımızın koşulları gereği ve söz konusu etkenlerin yarattığı olumsuz etkiler temelinde, günümüz tarım sistemleriyle üretimin sürdürülebilirliğine kuşku ile yaklaşılmaktadır. Bu nedenle bilgi-yoğun tarım, aynı zamanda riskleri yönetip azaltırken, tarım-gıda sistemi boyunca verimliliği ve karlılığı artırmak için ileri düzeyde bilgi ve istihbarat uygulaması içermektedir. Bu durum, üretimin, toprağın ve girdilerin mevcudiyetine bağlı olduğu ve doğanın belirsizliklerine maruz kaldığı günümüz tarım sistemiyle zıttır (Anonymous 2018a). Dolayısıyla detaylı olan tarımsal ilişkilerin anlaşılmasına verilen önem arttığı sürece, söz konusu ilişkilerin daha iyi anlaşılmasındaki bilgi ihtiyacı da o kadar fazla olacaktır. Böylelikle elde edilen mevcut bilginin çokluğu, anlayışta derinliği artırarak nihayetinde daha fazla bilgi/veri toplanmasını gerektirecektir. Sonuç olarak bu durum, son yıllarda giderek daha fazla verinin toplandığı ve gittikçe yoğunlaşan agronomik bilginin geliştirildiği bir döngü olmaktadır (Weltzien 2016).

Tarımsal üretimde hava şartları, girdi ve çıktılar dahilinde birçok veri, yıllar boyunca üreticiler ve ilgili taraflarca çeşitli yaklaşım ve yöntemlerle kayda alınmıştır. Mevcut teknolojik gelişmeler döneminde ise tarımsal araştırmalar ve uygulamalar zamanla

giderek daha bilgi yoğun temele dayanarak gerçekleşmektedir. Diğer bir deyişle, tarımsal üretimde verimlilik gibi birçok etken, tarımsal girdilerden çok, üretilen bilgilerle (bilgi-girdisi) ilerleme kaydedecektir. Tarımda bilgi yoğun yaklaşım dahilinde gerçekleştirilen faaliyetler ise, Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin (Information and Communication Technologies-ICTs)¹ uygulamalarına dayanmaktadır. Küçük ve büyük ölçekli tarım işletmeleri, ICT uygulamalarını tarım değer zincirine dahil ederek; verimliliğin artırılması, kalitenin geliştirilmesi, hizmetlerin genişletilmesi ve maliyetlerin azaltılmasından fayda sağlayabilir (Basnet ve Bang 2018).

Tarımda ICT, içeriğe bağlı olarak e-tarım, akıllı tarım, hassas tarım (PA) veya IoT olarak birbirinin yerine kullanılmaktadır. Sensörler, ICT'nin merkezinde yer almakta ve bu amaçla kullanılan çeşitli algılama cihazları ise sürekli olarak büyük miktarda veri üretmektedir. Veri analitiği uygulaması da tarımda araştırmanın pekiştirilmesine yardımcı olmaktadır. Böylelikle, hava durum tahmini, bitki ve hayvan hastalıkları, sulama yönetimi ve tarımsal girdi ile çıktılarının arz ve talebi gibi tarımda çeşitli konulara ilişkin bilgi vererek söz konusu sorunların çözümüne yardım eder. Bununla birlikte, optimum kaynak kullanımı ve üretimin artırılması konularında da değerli bilgiler sağlayabilir (Basnet ve Bang 2018).

Tarımda ICT uygulamaları, hava durumu, girdiler, piyasalar ve fiyatlar hakkında zamanında ve doğru olarak bilgi toplama ve paylaşımı yaparak; araştırma ve geliştirme girişimlerine bilgi sağlayarak; çiftçilere bilgiyi yayarak; üreticileri ve tüketicileri birbirine bağlayarak birçok işlevi yerine getirebilmektedir (Sylvester 2017). Bu çerçevede, ICT'nin tarımda geniş kapsamda ilişkili olduğu alanlar ve söz konusu alanlardaki rolü Şekil 4.4'de görüldüğü gibidir.

¹ Bilgi ve iletişim teknolojileri; internet, kablosuz ağlar, cep telefonları, bilgisayarlar, yazılım, aracı yazılım, video-konferans, sosyal ağ ve kullanıcılara bilginin dijital bir biçimde erişimini, düzeltilmesini, depolanmasını, iletilmesini ve değiştirilmesini sağlayan diğer uygulama ve hizmetleri de dahil olmak üzere tüm iletişim teknolojilerini ifade eden, genel bir bilgi teknolojisi terimidir.

Mevzuat ve Politika	• ICT, düzenleyici politikaların, çerçevelerin ve ilerlemenin izlenmesindeki yolların uygulanmasına yardımcı olur
Kapasite Geliştirme ve Yetkilendirme	• ICT, kadınlar ve gençler de dahil olmak üzere yerel toplulukların erişimini genişletir, daha yeni iş fırsatları sağlar ve böylelikle geçim kaynaklarını artırır.
Finansal Erişim, Sigorta ve Risk Yönetimi	• ICT, kırsal topluluklar için finansal hizmetlere erişimi artırır, tasarrufların korunmasına yardımcı olur, riski daha iyi yönetmek için uygun fiyatlı sigorta ve araçlar bulur.
Gıda Güvenliği ve İzlenebilirlik	• ICT, uluslararası izlenebilirlik standartlarına uymak için daha verimli ve güvenilir veriler sağlanmasına yardımcı olur.
Geliştirilmiş Pazar Erişimi	• ICT, girdiler için pazar erişimiyle birlikte, ürün pazarlama ve ticaretini de çeşitli yollarla kolaylaştırır.
Afet Yönetimi ve Erken Uyarı Sistemi	• ICT, afet önleme konusunda topluluklara ve hükümetlere gerçek zamanlı olarak eyleme geçirilebilir bilgi sağlarken, aynı zamanda risk azaltma teknikleri hakkında tavsiyelerde bulunur.
Çevresel Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları Teşviki	• ICT, iklim-akıllı çözümlere erişimi ve bunları kullanmak için uygun bilgiyi geliştirir.
Tarımsal Yayın ve Danışmanlık Hizmeti	• ICT, tarım araştırmacıları, tarım yayımcıları ve üreticiler arasında köprü kurar ve böylelikle tarımsal üretimi artırır.

Şekil 4.4 ICT'nin Tarımdaki Rolü (Sylvester 2017)

Gelecekte, ICT'nin tarımdaki rol kapsamının giderek genişleyeceği fikri, ilerleyen teknoloji altyapısı çerçevesinde beklenen bir durum olarak değerlendirilebilir. Bu doğrultuda, bilgi yoğun tarım sistemi için kilit nokta, erişimini genişletmek için giderek daha fazla e-yayıma ihtiyaç duyan çiftçi eğitimi olacaktır. Bilgi yoğun tarımın sermaye gereksinimleri karşılamak için, sisteme nüfuz ettirilen finansal hizmetler; mobil sistemlerle kredi puanlama, ödeme ve tasarruflar ile etkinleştirilebilir. Böylelikle, söz konusu yeniliklerle, mikro üreticiler de dâhil olmak üzere, küçük ve orta ölçekli işletmeleri dışlamaktan ziyade biraraya getiren bir bilgi yoğun tarım sisteminin gelişmesi mümkün olabilir (Anonymous 2018a).

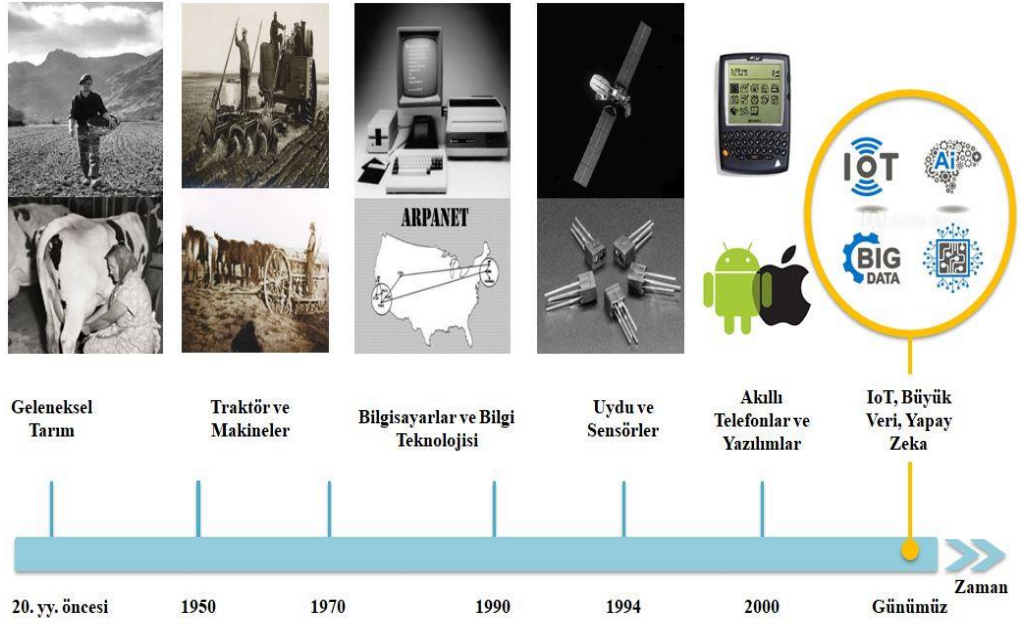
Nihayetinde, tarım sistemlerinin günümüz sorunlarına cevap verebilmedeki gereksinimleri ve böylelikle ortaya çıkan bilgi yoğun yaklaşım çerçevesinde dijital dönüşümde öncelik, sistemin artan bilgi talebinin karşılanması olacaktır. Mevcut kaynak ve şartlar altında, tarımda sürdürülebilirlik hedefinde; toprak tasarrufu, su

tasarrufu, gübre tasarrufu vb. çıktılar sağlamada kilit nokta, dijital tarım teknolojileri olmaktadır.

4.2 Tarımda Dijital Dönüşümün Mevcut Durumu ve Yapısı

Her bir devrim, tarımın yapısını radikal bir şekilde dönüştürmüştür; ilk devrim ile avcılık ve toplayıcılıktan yerleşik tarıma, 18. yy. İngiltere’inde ortaya çıkan ikinci devrim ile yeni metod, araç ve uygulamalara ve üçüncü ile makineler ve teknolojik gelişmelere geçiş yapılmıştır. Günümüzde ise hızlı bir şekilde geliştirilen yeniliklerin yarattığı potansiyellerle yeni bir devrim, tarımı bir diğer radikal dönüşüm sürecine almıştır. Bu nedenle tarımın dijitalleşmesi genel anlamda, sanayi 4.0 ‘ın getirdiği teknolojik gelişmelerin itici gücü temelinde, tarımsal üretim sisteminde yeni metod, uygulama, araç ve teknolojilerin tanıtılması, kullanılması ve yine bu sistem temelinde geliştirilmesi çerçevesinde gerçekleşen radikal bir dönüşüm olarak ifade edilebilir.

Tarım 4.0 adı altında gerçekleşen dönüşümün temelinde yer alan ve geniş kapsamda kullanılan “dijital teknolojiler” in neler olduğundan önce, ne olduğunun netleştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, OECD (2014) dijital teknolojileri; hizmet ve uygulamaların gelişimi de dâhil olmak üzere, dijital içeriğin üretilmesini, toplanmasını, değiştirilmesini, birikimini, birleştirilmesini, analizini, erişimini, araştırılabilirliğini ve sunumunu geliştirmede kullanılan, internet, mobil teknolojileri ile aygıtlar dâhil olmak üzere, bilişim ve iletişim teknolojileri ve veri analitikleri olarak tanımlamaktadır.

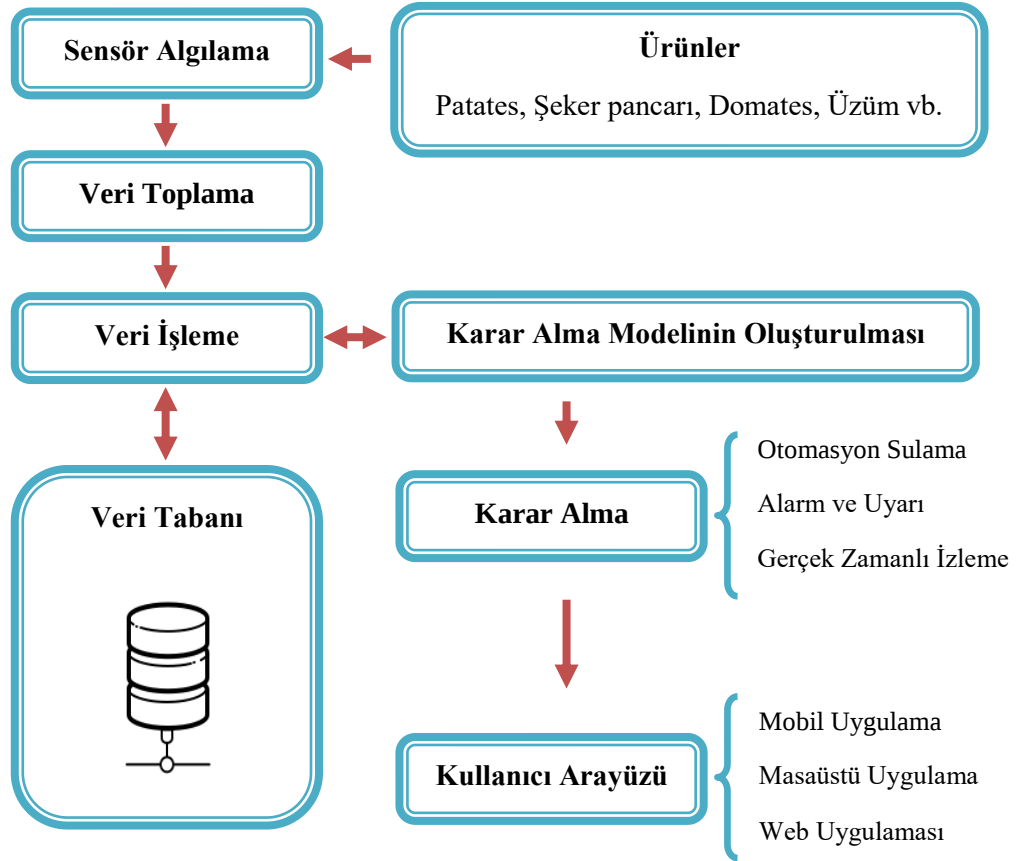


Şekil 4.5 Tarım alanında kullanılan farklı teknolojilerin gelişimi (Basnet ve Bang 2018)

Bahse konu dönüşümün temelindeki mevcut dijital teknolojilere gelmeden önce, tarımı etkileyen teknolojik ilerlemeler birleşiminde, insan gücüne dayalı geleneksel tarımdan bu yana başlıca gelişmeler, genel hatlarıyla Şekil 4.2.1’de görüldüğü gibidir. Söz konusu şekilde, tarihsel süreçte farklı teknolojilerin, tarım alanında yaratmış olduğu dönüm noktası niteliğindeki gelişim basamakları verilmiştir. Bununla birlikte, ilgili şekilde bahse konu olmayan, kimya alanındaki (inorganik gübre, herbisit, pestisit gibi) gelişmeler, yeşil devrimle başlayan seleksiyon teknikleri ve ilerleyen süreçte biyoteknoloji ile genetik alanındaki gelişmeler vb. tarım alanında yer alan diğer önemli dönüm noktalarıdır.

Günümüz üreticilerinin çoğu, çeşitli kaynaklardan elde edilen veri, deneyim ve önerilerin birleşimine dayanarak karar almakta ve alınan bir kararı uyguladıklarında ise, sonuçlar üretim döngüsünün sonuna kadar bilinmeden kalabilmektedir. Bununla birlikte, çok sayıda farklı değişken tarımsal performansı şekillendirdiğinden, ampirik gözlemlerden izole ders çıkarmak da oldukça zor olmaktadır. Bu doğrultuda yola çıkıldığında dijital tarım, bilgileri bağımsız olarak toplayan, entegre eden ve ileten yeni gelişmiş teknolojilerin kullanılmasıyla, tarımsal işletme ve gıda sistemleri boyunca birçok noktada etkili, gerçek zamanlı karar almayı geliştirmede yeni araçlar yaratmakta ve pratik çözümler sunmaktadır. Bu bağlamda dijital tarım sistemi, verileri daha sık ve

doğru bir şekilde toplama ve üretici operasyonlarına değer sağlayan gerçek zamanlı geri bildirim verme potansiyeline sahip olmaktadır (Anonymous 2020e). Teorideki bu açıklamaya uygulamalı yaklaşıldığında ise örneğin; bir arazi çalışmasında, toprak ve bitki seviyesinde bir dizi sensör, toprak sağlığı, su miktarı, ürün verimi ihtiyacı ile bitki zararlıları ve hastalık yoğunluğu gibi birçok farklı etken konusunda gerçek zamanlı bilgi sağlayabilirken, uydu ve dronelar ile hava değişiklikleri, arazi koşulları ve bitki sağlığı durumları takip edilerek izlenebilir. Bunun devamında, karmaşık yazılımlar, aktarılan bu sabit veri akışını analiz edip kullanılabilir bilgi şekline dönüştürüp paketleyerek, çiftçinin cep telefonuna gerçek zamanlı olarak gönderir ve ayrıca çiftçinin daha sonraki aşamada ne yapacağı konusunda rehberlik sağlayabilir. Söz gelimi, bitki gelişimini optimize etmede gerekli faaliyetlerin neler olduğu ya da bitki zararlısı seviyesinin, ürün verimini ya da kalitesini olumsuz yönde etkileyecek bir eşiğe erişip erişmeyeceği gibi konular buna örnek verilebilir (Anonymous 2020e). Bu örnekten de anlaşıldığı üzere; sensör, uydu ve dronelardan elde edilen ham veriler, diğer bir deyişle işlenmemiş veriler, referans ya da analiz için biraraya getirilen istatistiklerdir (Dewi ve Chen 2020). Bu ham verilerin, uzun zamandır varolan dijital tarım uygulamalarından hassas tarım ile IoT veri toplamaya dayalı karar alma sürecinde işlenmesi ve kullanıcıya (üretici) iletilmesi ana hatlarıyla Şekil 4.6'd görüldüğü gibidir.



Şekil 4.6. IoT veri toplamaya dayalı karar alma sürecinde sistem modeli (Dewi ve Chen 2020)

Bu sistem modeline göre; arazide sensörlerle algılanan su seviyesi, sıcaklık, nem oranı, toprak nemi ve ışık gibi faktörlerden elde edilen veriler toplanır, işlenir ve veri tabanında kaydedilir. Bunu takiben sonraki basamaklar ise, verilerin işlenmesi, bir karar modelinin oluşturulması ve model kapsamında analizin gerçekleştirilmesidir. Bu sistem modeliyle, üreticiye gerçek zamanlı mahsul izleme olanağı sağlanırken, ayrıca arazide gerçekleşen nem ya da sıcaklık değişimi gibi durumlar da uyarı olarak iletilir. Böylelikle, üretici mevcut sorunun çözümünde hızlı bir şekilde eyleme (otomasyon sulama gibi) geçebilmektedir (Dewi ve Chen 2020). Yine bu bağlamda, teknolojik uygulamaların çıktılarını daha somut olarak ortaya koymada, hassas tarım kapsamında Kanadalı üreticilerle yapılan bir çalışma¹, bir diğer örnek olarak verilebilir. Kanada'nın Güney Alberta Bölgesindeki üreticilerle yapılan bir çalışma ile tarımda ileri teknoloji uygulamalarının, ürün verimi ve kalitesinde artış, tarımsal faaliyetlerde de girdi, zaman

¹ İlgili anket çalışması, 2018'de Kanadalı üreticilerle e-posta ve cep telefonlarına iletilen mesaj aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. İlgili teknolojileri çiftliklerinde uygulayanların %31'i 2 bin da, %15'i ise 20 bin da arazi büyüklüğüne sahiptir. Ayrıca teknoloji uygulayanların %46'sı 55 yaş üstüdür.

ve iş yükü açısından azalış sağladığı ortaya koyulmuştur (Nicol ve Nicol 2021). Bahse konu çıktılara daha detaylı bakıldığında; yıllık bazda ürün veriminde %20, ürün kalitesinde %16 artış; sulamada %24, gübrelemede %21, herbisit ve pestisit kullanımında ise %14 ve %19 oranında düşüş gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır (Nicol ve Nicol 2021). Bu çalışmaya katılan üreticilerin %81'i herhangi bir hassas tarım teknolojisini uygularken, en çok kullanılan beş teknolojinin ise otomatik direksiyon teknolojisi (%85), verim verilerinin incelenmesi/analizi (%50), hava durumu izleme (%50), uydu görüntülerinin kullanılması (%38) ve GPS toprak örnekleme (%35) olduğu ortaya koyulmuştur. Buna ilaveten dikkat çeken bir diğer sonuç ise, herhangi bir hassas tarım teknolojisi kullanmayanların neden olarak, yüksek yatırım maliyetleri, küçük tarım işletmelerine sahip olmaları ve fazla zaman gereksinimini belirtmeleri olmuştur (Nicol ve Nicol 2021).

Nihayetinde mevcut teknoloji ile ortaya çıkan donanım, algoritma ve yazılımların tarımda mevcut bilgi ve tecrübeler ile birlikte değerlendirilmesi tarımsal işlemlerin kolaylaştırılması, çözüm veya iyileştirme bekleyen sorunlara alternatif çözümler getirilmesini mümkün kılmaktadır. Bilginin elde edilmesi, işlenmesi, depolanması, aktarılması ve kullanılması süreçlerini yöneten teknolojik yöntem, model ve araçların, işlem ve hesaplama gücü yüksek, taşınabilir bilgisayarların ve donanımların piyasada kolay bulunabilirliği ile saha uygulamalarında kullanımı artmış ve kullanım sürecinde elde edilen tecrübeye bağlı olarak da gelişme farklı alanlara da uygulanarak daha da hız kazanmıştır (Türker vd. 2020).

Bu doğrultuda, dijital teknolojilerin tarım alanında yarattığı/yaratacağı potansiyeller çerçevesinde hedeflenen sonuçlar ise Çizelge 4.1'de verildiği gibidir. Genel bir bakışla, söz konusu tabloda verilen, sürdürülebilirlik, sağlık ve refah gibi belirli hedeflerin, tarım alanında yeni olmadığı söylenebilir. Bu nedenle, hala hedefler arasında yer alması, bu konuda istenilen düzeye ulaşılmadığı sonucunu ve ayrıca dijital teknolojilerin sunacağı yaratıcı ve yenilikçi çözümlerle söz konusu hedeflere ulaşılacağı beklentisini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.1 Dijital Tarımda Hedeflenen Sonuçlar (Anonymous 2020e)

Gıdaya Erişim, Sağlık ve Refah	Besleyici ve güvenli olan ve ayrıca sağlığı ve refahı destekleyen gıdalara küresel boyutta erişimin iyileştirilmesi
Sosyal ve Ekonomik Refah	Geniş tabanlı sosyal ve ekonomik refahı teşvik etmek için, adil ve kapsayıcı gıda üretim, işleme ve dağıtım sistemlerinin oluşturulması
Sürdürülebilir Verimlilik	Arazi ve doğal kaynakların verimli ve sürdürülebilir kullanımına dayalı gıda sistemlerinin verimliliğinin artırılması.
Esneklik ve Güvenlik	Hızla değişen fiziksel ve ekonomik şartlarda, artan nüfusun taleplerini karşılamak için gıda sistemlerinin esnekliğinin ve güvenliğinin artırılması
Sürdürülebilir ve Sorumlu İnovasyon	Araştırma, geliştirme ve sosyal yardımlara eleştirel ve kapsayıcı bir yaklaşımla, ortaya çıkan sorunları ve fırsatları ele almak için, yeni bilgi ve uygulama oluşturma kapasitesinin artırılması

Mevcut gelişmeler göz önüne alındığında, tarım alanında mevcut teknolojilere; bulut bilişim (cloud computing), drone, sensörler, küresel konum belirleme sistemi (GPS-Global Positioning System) ve IoT gibi ICT uygulamaları ile Yapay Zekâ (AI-Artificial Intelligence), robotlar, büyük veri (Big Data) vb. örnekler verilebilir. ICT, kullanıcılara hava durum verilerinin toplanmasını, ürün verimlerinin haritalanmasını, tohum çeşitlerinin takip edilmesini, gübre uygulamalarının analiz edilmesini ve aynı zamanda bu kapsamda elde edilen verilerin paylaşılmasını ve büyük veri teknikleriyle yorumlanmasını sağlamaktadır (Leone 2017). Sonka (2015)'ya göre büyük veri kavramı, daha önce ekonomik ve teknik olarak yapılmasının mümkün olmadığı geniş ölçekteki bilgi ve kavrayışların elde edilmesi yeteneğini ifade etmektedir (Zhang vd. 2018). Bu da Keogh ve Henry (2016)'ye göre "belirli eğilimleri ve korelasyonları tanımlamak için son derece geniş bilgi veritabanlarını sorgulayan bilgisayar tabanlı analitik sistemler" kullanılarak elde edilmektedir (Zhang vd. 2018). Böylelikle söz konusu dijital tarım araçlarının kullanımı ve büyük veri analizleri ile sağlanan verimli düzeydeki tarımsal girdi (gübre, herbisit, pestisit gibi) kullanımı ve ayrıca ürün veriminin artırılmasıyla, tarımsal üretimde artış sağlanması hedeflenmektedir. Daha az

tarımsal girdi kullanımının sağlanmasıyla, sürdürülebilir tarımsal üretim hedefine ulaşmada ve bunun yanı sıra çevresel etkilerin azaltılmasında, gelişen ekonomilerde kırsaldan şehre göçle birlikte ortaya çıkan iş gücü probleminin çözümünde ve bunun gibi diğer sorunlara cevap bulmada, dijital tarım teknolojilerinin büyük bir potansiyele sahip olduğu, birçok araştırmacı tarafından ortaya koyulan mevcut durumdur.

Tarımda uygulanmasının güçlü bir etki yaratacağı beklentisi kapsamında, ilgili dijital teknolojilerin daha iyi anlaşılması açısından, Çizelge 4.2 bu içerikte genel bir çerçeve sunmaktadır. Tarım ve gıda alanlarında hâlihazırda varolan olan ve günümüz teknolojisiyle geliştirilen dijital teknolojiler, Çizelge 4.2’de genel bir değerlendirme ile kategorilendirilmiştir.

Çizelge 4.2 Tarım ve Gıda Alanları için Dijital Teknolojiler (Anonymous 2019a)

Teknolojik Amacı	Kategorisi	Alt-Kategorisi
Veri Toplama Teknolojileri	Uzaktan Algılama	Uyduya monte edilmiş veri toplama/İzleme sistemleri
		UAV/Drone’a monte edilmiş veri toplama/İzleme sistemleri
		İçinde insan bulunan hava taşıtıyla veri toplama/İzleme sistemleri
	Yerinde (In situ) Algılama	Su miktarı için sayaçlar
		Su kalite sensörleri ^a , hava kalite sensörleri ^a
		Yerinde meteorolojik sensörler ^a
		Yerinde toprak monitörleri ^a
		Yerinde biyoçeşitlilik, işgalci tür ve zararlı böcek monitörleri
		Bitkisel ürün monitörleri
		Hayvancılık monitörleri
		Hassas tarım makinelerinden elde edilen veri
	Kitle Kaynaklı Veri Toplama	Tarımın çevreye etkileri ile ilgili veri birikiminde “serious game” ^b uygulaması
		Vatandaş Bilimi (Citizen Science) ^c
	Online Gerçekleştirilen Anketler/Nüfus Sayımı	Veri toplama portalları (Örneğin; online nüfus sayımı)
	Finans/Piyasa Kapsamında Veri Toplama	Perakende tarayıcı verisi
		Finans ve piyasa verilerini kayıt altına almada kurumsal yazılımlar (Örneğin; veritabanı giriş sistemleri)

Çizelge 4.2 Tarım ve Gıda Alanları için Dijital Teknolojiler (Anonymous 2019a)
(devam)

Teknolojik Amacı	Kategorisi	Alt-Kategorisi
Veri Analizi Teknolojileri	Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) ve Sensör Tabanlı Analitik Araçlar	Sayısal Yükseklik Modellemesi
		Arazi kullanım-Arazi Örtüsü Haritalaması
		Su Havzaları Modellemesi
		Toprak Haritalama
		Peyzaj Modellemesi
Veri Analizi Teknolojileri	Kitle Kaynaklı Veri Analizi	Sensör ve diğer tarım işletme verilerini eyleme dönüştürebilir bilgilere çevirmek için yazılım (program, uygulama gibi)
		Tarımsal girdi olarak, sensör ya da diğer formdaki tarımsal işletme verilerini kullanarak tarım makinelerini otomatikleştirmek için yazılım ^d
		Tarımsal çıktıları ölçme ve derecelendirmek için yazılım (Örneğin; karkas derecelendirme yazılımı)
		Veri sınıflandırma/etiketlemek için kitle kaynaklı uygulamalar
		Veri temizleme algoritmaları
Veri Analizi Teknolojileri	Derin Öğrenme/AI	Büyük veri analiz algoritmaları
		Makine öğrenimi
		Tahmin analitikleri
		Bulut depolama
		Gizli bilgi işleme ^e
Veri Depolama Teknolojileri	Güvenilir ve Erişilebilir Veri Depolama	Sanal veri merkezleri
Veri Yönetim Teknolojileri	Veri Yönetim Teknolojileri	Dağıtılmış Muhasebe Teknolojileri (Örneğin; Blockchain) Birlikte işlerlik programları ve uygulamaları
Veri Aktarımı ve Paylaşımı: Dijital İletişim; Ticaret, Ödeme ve Hizmet Sunum Platformları	Dijital İletişim Teknolojileri	Dijital veri görselleştirme teknolojileri
		Sosyal Medya
		Web-tabanlı video konferans
		Makine destekli iletişim (Örneğin; chatbot, doğal dil üretme algoritmaları)
		Online mülkiyet hakları ve izne tabi kayıt defterleri
Veri Aktarımı ve Paylaşımı: Dijital İletişim; Ticaret, Ödeme ve Hizmet Sunum Platformları	Online platformlar-mülkiyet hakları, ödemeler, hizmetler ve piyasalar	Online ticaret platformları
		Tarım ve tarımsal-ekosistem hizmetleri için platform tabanlı kitlesel fonlama
		Online ödeme platformları (kamu programları için)
		Hizmet sunum platformları

a. Sensör teknolojisindeki ilerlemeler, yalnızca dijital teknolojilerdeki ilerlemelerden ve özellikle kablosuz sensör ağlarının oluşturulmasındaki ilerlemelerden değil, aynı zamanda fizik ya da kimya alanlarındaki yeniliklerden oluşmaktadır. Örneğin, nanoteknolojideki gelişmeler, günümüzde var olan, en gelişmiş fiziksel sensörlerin geliştirilmesi için kritik öneme sahiptir.

b. Ciddi oyunlar (Serious Games), veri toplama ya da veri işleme için vatandaşların çabasını kullanmak isteyen kamuya açık uygulamalardır. Tarım bağlamında, ciddi oyunlar bugüne kadar öncelikle arazi kullanımı ve arazi örtüsü izleme ve sınıflandırma için kullanılmıştır.

c. Daejeon Deklarasyonuna¹ göre (2015); Vatandaş Bilimi (Citizen Science) teknolojileri “halkın bilim ve inovasyona katılımını” kolaylaştıran teknolojilerdir.

d. Otomatik sağım sistemleri, biçerdöverler ve sulama sistemleri gibi tarım makinelerini otomatikleştiren teknolojilerle ilgili olarak, bu proje sensör ve yazılım bileşenleri ile bu teknolojilerin ilgili hizmetlerine odaklanmaktadır.

e. Gizli Bilgi İşleme (Confidential Computing), veri bilimcisine ya da analistine ifşa edilmeyen, şifrelenmiş veriler üzerinden gerçekleştirilen yasaklanmış bir dizi analitik fonksiyona erişim izni verir.

Çizelge 4.2.’de tarım ve gıda alanında, uzun zamandır piyasada var olan ve kullanılan teknolojik araçlar ile son yeniliklere yer verilmiştir. Söz konusu mevcut teknolojik gelişmeler, tarım alanıyla ilgili verinin analiz, aktarım, yönetim ya da elde edinim yeteneğinin de büyük oranda gelişmesini sağlamıştır. Ayrıca verilen “alt kategori” ile söz konusu teknolojilerde genel bir değerlendirme ve tarım ile gıda sektörlerindeki dijitalleşmeyi yönlendiren etkenler belirtilmektedir (Anonymous 2019a).

Tarım sistemlerinin gelişim sürecine bakıldığında aslında tarım alanında teknoloji kullanımının yeni olmadığı söylenebilir fakat ICT, AI, büyük veri gibi teknoloji alanındaki, radikal inovatif gelişmeler, tarım sektörünü değiştirecek büyük bir potansiyele sahiptir. Diğer yandan bu potansiyelin yaratacağı olumlu ve olumsuz etkiler ise ilerleyen bölümlerde ortaya koyulacaktır. Bahse konu değişime tekrar dönüldüğünde söz gelimi, dünyanın, tamamiyle makine tarafından yönetilen, ilk mahsul hasadı (ekiliş ve diğer tarımsal işlemlerde insan eli değmeksizin) 2017 yılında gerçekleştirilerek, “akıllı tarım” ya da “e-tarım” olarak da bilinen dijital tarıma bir kilometre taşı olarak

¹Ekim 2015’te G. Kore’nin Daejeon şehrinde, OECD ülkelerinin ve yükselmekte olan ekonomilerinin bilim ve teknoloji bakanlarının görüş birliğine vardığı, ileriye dönük bilim, teknoloji ve inovasyon politikaları gündemi üzerine dünya kamuoyuna sundukları ortak bir deklarasyondur.

eklenmiştir (Anonymous, 2020f). Bilindiği üzere, dijital teknolojilerin, tarım alanında hâlihazırda kullanımı uzun zamandır söz konusudur. López ve Corrales (2018) Microsoft'un Cortana Intelligence Suite'in¹ kullanımı da dahil olmak üzere akıllı tarım yaklaşımları şu anda, Hindistan ve Kolombiya gibi ülkelerde de olmak üzere, dünya çapında ürünlerin en uygun ekim tarihlerini belirlemede kullanıldığını belirtmiştir (Rose ve Chilvers 2018). Lottes vd. (2017) 'ne göre insansız hava araçları (UAVs) ya da dronlar yabancı otların tanımlanmasına (Rose ve Chilvers 2018) yardımcı olmak için kullanılırken, Driessen ve Heutinck (2015) belirttiği üzere robotlar ise çiftçilere süt sağımında (Rose ve Chilvers 2018) ve Fennimore (2017) eklediği üzere yabancı otların ayıklanmasında yardım sağlamaktadır (Rose ve Chilvers 2018).

Mevcut dijital tarım teknolojileri, bazı ülkelerin tarımsal üretim sistemlerinde belli bir düzeyde uygulanmakta ve ayrıca bu alandaki dijital inovatif yaklaşımlar da teşvik edilerek, sektör ayrıca desteklenmektedir. Kimi araştırmacılar, kamu ve özel sektörden gelen işaretlerin, Tarım 4.0'ın ardında büyüyen bir ivmenin varolacağı fikrini öne sürmektedir (Rose ve Chilvers 2018). Özellikle son yıllarda, tarım ve gıda sektöründeki dijital teknoloji pazarının ivme kazanarak büyümesi de bu fikri desteklemektedir. Söz gelimi, tarım ve gıda alanında sundukları inovatif çözüm ve yaklaşımlarla startup'lar², bu kapsamda sahip oldukları pazar payıyla dikkat çekici bir örnektir. Örneğin, AgFunder adlı şirketin kendi veritabanına göre; 2019 yılı itibarıyla, tarım ve gıda sektörü kapsamında dünya çapında kayıtlı startup sayısı 29.939'dur (Anonymous 2019b). Birkaç ülke üzerinden daha detaylı örnekler verilirse; Hindistan'da, tarımsal teknoloji (agritech) sektöründeki startup sayısı 450'nin üzerinde (Anonymous 2019c) iken, bu sayı İsrail'de 400'ün üzerinde (Anonymous 2017c), Brezilya'da 338, ABD'de sadece agritech alanında 1.000'in üzerinde (Anonymous 2020g) ve Kanada'da tarım-gıda teknoloji sektöründeki startup sayısı ise 500'e yakındır (Anonymous 2020h). Söz konusu sayılar üzerinden bakıldığında, ilgili pazar payının Kuzey Amerika ülkelerinde daha ağırlıkta olduğu görülmektedir. Bu durum, startup piyasasının yanı sıra genel

¹ Cortana Intelligence, verileri, akıllı eyleme dönüştürmede kullanılan, tam yönetimli Büyük Veri ve Gelişmiş Mantıksal Analiz paketidir. Bu teknoloji paketinin desteğiyle geliştirilen ekim uygulamasında, üreticilerin telefonlarına kısa mesajla en uygun ekim tarihi için tavsiyeler gönderilmektedir.

² Bir startup şirketi, genellikle yeni ortaya çıkan, hızla büyüyen ve yenilikçi ürün, hizmet, süreç ya da platform kapsamında uygulanabilir bir iş modeli geliştirerek pazar ihtiyacını karşılamayı amaçlayan bir girişimdir.

dijital tarım piyasası için de geçerlidir. Diğer bir deyişle, genel dijital tarım piyasasına bölgesel olarak bakıldığında, en büyük piyasa payı Kuzey Amerika’da iken, bunu sırasıyla Avrupa, Asya-Pasifik ve Latin Amerika takip etmektedir (Anonymous 2016a).

Hassas tarım, 1990’lı yıllar itibarıyla başlangıç yapan ve dijital tarım piyasasında en büyük paya sahip olan sektördür. Buna göre, hassas tarım pazarı 2020 yılında 7 milyar ABD\$ iken, pazarın yıllık bazda %12,7’lik büyüme hızıyla, 2025’te yaklaşık 13 milyar ABD\$’a ulaşması öngörülmektedir (Anonymous 2020ı). Deere & Company, AGCO, AgJunction ve Trimble hassas tarım sektörünün majör firmaları olup tümü ABD merkezlidir (Anonymous 2020ı). Yine bu kapsamda, 2018 yılı verilerine göre, dünya hassas tarım sektöründe, Kuzey Amerika %41’lik oranla en büyük pazar payına sahip olan bölge olmuştur. Bu sıralamayı, Avrupa yaklaşık %37 ile Asya Pasifik Bölgesi de %17’lik pazar payıyla takip etmiştir. Söz konusu bölgelerin oransal büyüme kaydederek, 2026’da da aynı sıralamada kalması öngörülmektedir (Anonymous, 2019d). Yine 2018 verileri kapsamında bakıldığında, dünya hassas tarım sektörünün yaklaşık %37’lik payına sahip olan Avrupa Bölgesinde dikkat çeken ülkeler ise; Fransa, Birleşik Krallık ve Almanya olmuştur (Anonymous 2019d).

Dijital tarım platformunda dikkat çeken startup’lar piyasa olgunlaşmasını sürdürürken, diğer yandan tarım sektöründe stratejik öneme sahip şirketlerin de hedef noktasında yer almaya devam etmektedir. Bu nedenledir ki, çok uluslu şirketler “birleşme ve satın alma” çerçevesinde tarımsal teknoloji alanındaki birçok şirketi bünyesine katarak, söz konusu piyasanın devimine de katkı sağlamaktadırlar.

Çizelge 4.3 2012-2018 yılları arası tarımsal teknoloji (AgTech) alanında seçilmiş bazı şirketlerin satın alımları (Anonymous 2019e)

Kategori	Satın Alman	Satın Alan	Satın Alım Değeri
Hayvancılık	Farmeron (Hırvatistan)	Virtus Nutrition (ABD)	-
	Silent Herdsman (Birleşik Krallık)	Afimilk (İsrail)	-
	FarmWizard (Birleşik Krallık)	AgriWebb (Avustralya)	8 milyon £
	AGDATA (ABD)	FTG (ABD)	-
Biyoteknoloji & Dijital Bazlı İslah	Ekompany (Hollanda)	Kingenta (Çin)	-
	Divergence (ABD)	Monsanto (ABD)	71 milyon \$
	Bioline (Birleşik Krallık)	InVivo (Fransa)	-
	Douglas Scientific (ABD)	DIAGENETIX (ABD)	-
	Plant Syence (Birleşik Krallık)	Verdesian Life Sciences (ABD)	-
	ATP Nutrition (Kanada)	Cocentric Corp. (Kanada)	-
	Organobalance GmbH (Almanya)	Novozymes (Danimarka)	-
	EnviroFlight (ABD)	Precigen (ABD)	-
Mekanizasyon ve Donanım	Blue River Technology (ABD)	John Deere (ABD)	305 milyon \$
	Precision Farming (ABD)	AGCO (ABD)	-
	Harvest International (ABD)	Clean Seed Capital (Kanada)	13 milyon \$
Tarımsal İşletmelerin Yönetimi	Granular (ABD)	DowDuPont (ABD)	300 milyon \$
	Deveron (Kanada)	Veritas Farm Management	1,5 milyon \$
	Climate Corporation (ABD)	Monsanto (ABD)	~ 1,1 milyar \$
	Agribile (ABD)	Nutrien (ABD)	63 milyon \$
	Geosys (ABD)	UrtheCast Corp (Kanada)	20 milyon \$
	Agronomic Technology Corp (ABD)	Yara International (Norveç)	-

Çizelge 4.3'te tarımsal teknoloji kapsamında gerçekleştirilen, seçilmiş birkaç şirket alımına örnek verilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen satın alımlara dair bazı şirketler sözleşme miktarlarını paylaşırken, bazı şirketler ise bu konuda gizliliği tercih etmiştir. Çizelge 4.3'te "satın alan" sütununda yer alan şirketler, bir sonraki yıl başka bir şirketin bünyesinde yer alabilmektedir. Örneğin, tarım işletmeleri için hava durumunu ve diğer önemli unsurları tahmin etmede makine öğrenimini kullanan Climate Corporation, 2013'te biyoteknoloji devi Monsanto şirketi tarafından, Monsanto şirketi ise 2018'de Alman Bayer şirketi tarafından yaklaşık 63 milyar dolara satın alınmıştır (Sylvester 2018). Dolayısıyla tarımsal teknoloji alanında gerçekleştirilen, şirket alım ve birleşmelerinin, son yıllarda hızlı bir devinim içinde olduğu rahatlıkla söylenebilmektedir. Belirtildiği gibi hızlı bir etkinliğe sahip olan bu sektör, IBM, Microsoft ve Google gibi çok uluslu teknoloji şirketlerinin de hedef pazarında yer almaktadır. Bu doğrultuda bir örnek, Hindistan tarım piyasası üzerinden verilebilir. Hindistan bilindiği üzere, ABD'den sonra en büyük ikinci ekilebilir araziye sahip ülke

konumundadır (Anonymous 2017). Ülkenin tarım sektörü, gayri safi milli hasılaya (GSMH)~ %20 seviyesinde katkı sağlarken, toplam iş gücü oranının ise yarısı, hatta yarıdan fazlasına sahiptir (Anonymous 2016). Dolayısıyla tarım sektörünün büyüklüğüne rağmen sağladığı ekonomik katkı oldukça düşüktür. Bunun nedeni ise, tarımdaki büyük potansiyele rağmen sektörün sahip olduğu uygun olmayan altyapı, çağın gereksinimlerine uygun olmayan ekipman ve araç kullanımı, tedarik zincirindeki yönetim başarısızlığı vb. sorunlardır. Böylelikle bu sorunlar hem yerel hem uluslararası şirketler için potansiyel bir pazar ağı yaratarak, ülkenin tarım ve gıda sektörüne birçok yeni startup'ın eklenmesini desteklemektedir. Söz gelimi Hindistan tarım sektöründe, IBM bünyesine kattığı The Weather Company adlı startup ile (startup'ların yanı sıra) direkt üreticilere hizmet sağlarken (Anonymous 2018b), Google (Anonymous 2019f), ve Microsoft'un Azure FarmBeats'i ise yerel startup'lara bulut platformu kapsamında hizmet sağlamaktadır (Anonymous 2020i).

Sonuç olarak tarımda hızla ilerleyen 4. dönüşüm sürecinin, üretim temelinde olduğu kadar tedarik zinciri ve gıda sisteminde de çağımızın teknolojik gelişimiyle senkronize ilerlemesi kaçınılmazdır. Bununla beraber döneminin mevcut teknoloji hızıyla, tarımdaki 4. devrimin tamamlanmasında çok uzun yıllara ihtiyaç duyulmayacağı beklenebilir. Halihazırda “Tarım 5.0” kavramının literatürde kullanılması da bunu desteklemektedir (Rubio ve Más 2020). Buna rağmen, ülkelerin bu dönüşümde altyapı ve politika esasında adapte olmaları bilinmekle beraber, bu süreçte hangi aşama ve ilerleme düzeyinde olduklarına dair net bilgilere rahatlıkla ulaşılamamaktadır. Yine bu bağlamda, küresel çapta adaptasyon durumu, gelişimi, hızı, sonuçları ile ayrıca ülke bazında ilgili teknolojilerin kullanım oranı, tercih öncelikleri, yaklaşımları ve engelleri gibi birçok başlıkta da benzer durum söz konusudur.

Dönüşüm, tarımın üretim, tedarik ve gıda sistemlerinde varolan sorunların çözümü kadar, yeni girişimlerle sektörün büyümesi ve çeşitliliğini de teknolojik açıdan mümkün kılmaktadır. Bu bölümde değinilen bilgi ve örnekler esasında, mevcut gelişim ve büyüme durumunun özel sektör ayağında daha net görüldüğü ifade edilebilir. Kamu tarafında ise adaptasyon ve gelişim açısından zaman faktörü etken olacaktır. Dolayısıyla tarımdaki mevcut dönüşüm sürecinin hızlı ilerleyeceği öngörüsüyle beraber, kamu ya da

özel sektör temelinde birçok sorunun cevaba kavuşturulması için durum hala olgunlaşma aşamasındadır. Sonuç olarak buradan da anlaşılacağı üzere, tarımda dijital dönüşümün getireceği fırsat, zorluk vb. yönler varolan sınırlı bilgi dâhilinde çoğunlukla öngörüsöl bir şekilde ortaya koyulabilecektir.

4.3 Tarımın Dijital Dönüşümünde Engeller ve Fırsatlar

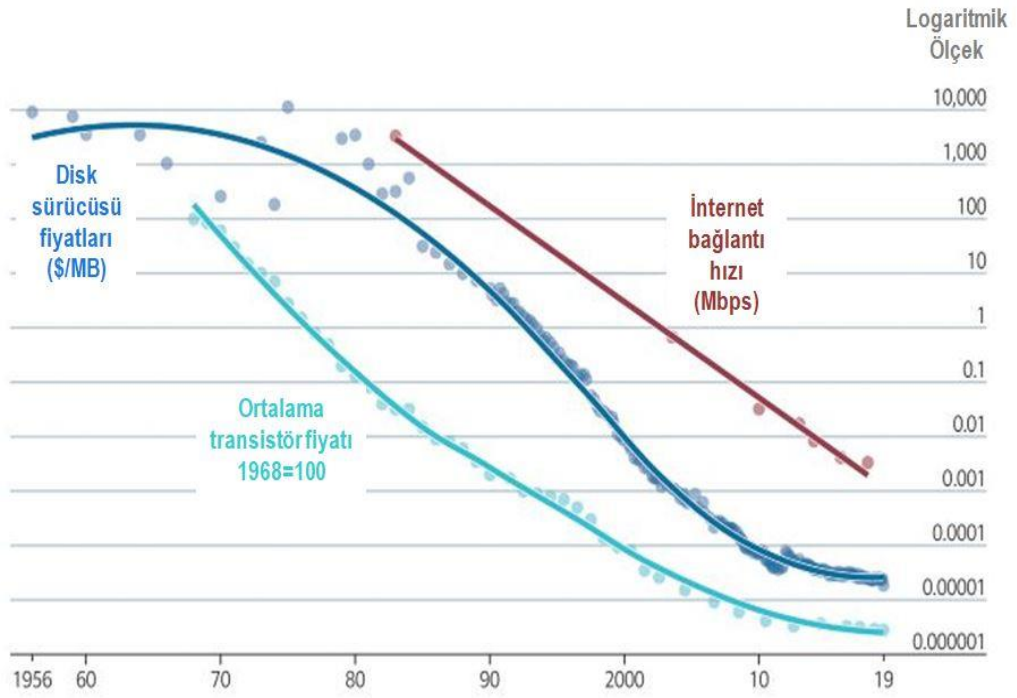
Tarım sektöründe modernizasyon, 20. y.y. başlarında gelişmeye başlayan ve yine aynı yüzyılın ortalarında zirveye ulaşan yeşil devrim ile gerçekleşmiştir. Yeşil devrim, yüksek verimli çeşitler, düşük maliyetli inorganik gübre ve pestisit ile sulama tekniklerini tarım sektörüne sunmuştur. Bu devrimle sağlanan modernizasyon sonucu, gelişmekte olan ülkelerde beslenme ihtiyacını karşılamada kendi kendine yeterlilik ve hatta üretim fazlalığına erişilmiş ve nihayetinde Asya ülkeleri başta olmak üzere, Latin Amerika, Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkelerinde gıda güvencesi sağlanarak yoksulluk ve açlığa geniş çapta çözüm sağlanabilmiştir. Tarım sektöründeki bu modernizasyon dönüşümü, pozitif olduğu kadar ilerleyen yıllarda negatif çıktılarıyla da günümüzde hala tartışılmaktadır. Dolayısıyla bu bağlamda, günümüz tarımsal sorunların çözümünde belirleyici olacak dördüncü devrim teknolojilerinin de olumlu olduğu kadar olumsuz sonuçlarının da beraberinde düşünülmesi bu süreçte olağan bir beklentidir. Ayrıca yeşil devrim döneminin sahip olduğu teknoloji ile dünya çapında yarattığı etki göz önüne alındığında, günümüz teknoloji potansiyeliyle sağlanacak etkinin çok daha büyük ölçekte gerçekleşebileceği değerlendirilebilir.

Günümüz tarım sektöründe yaşanan sorunlar birçok etkenle yeniden şekillenerek daha geniş çapta ve boyutta yaşanmaktadır. Geçmişte olduğu gibi günümüzde de gıda güvencesi ve sürdürülebilirlik gibi kavramlar hala tartışma ve çalışma konusu olmaya devam etmektedir. Bunların yanı sıra tarım-gıda sistemlerinde, özellikle ağırlıklı etkisiyle öne çıkan diğer önemli faktörler; iklim değişikliği ve çevresel bozulma, doğal kaynaklardaki kıtlığın giderek kötüleşmesi ve artan tüketim; teknoloji değişim hızı ve insan-insan ile insan-makine iletişim ağının (hiper bağlanabilirlik) hızında artış; bireysel ya da kitlesel çalışmanın değişen doğası; değişen sağlık sorunları nedeniyle beslenme şekillerindeki değişim ve demografi geçişleri ile kentleşme olmaktadır (Serraj vd.

2019). Bu çerçevede bakıldığında, yeşil devrim ağırlıklı olarak gıda güvenliği ve üretim verimliliğine odaklanmışken, dördüncü devrimin hedefinde yer alan faktörler daha çok çeşitlilik göstermektedir. Yine FAO (2017)'ya göre, genel olarak dünya nüfus büyüme hızının yavaşladığı belirtilse de bazı bölgelerdeki (Asya ve Afrika) devam eden nüfus genişlemesiyle, toplam nüfusun 2050 yılında 9,7 milyar ve 2100'de ise 11,2 milyar kişiye ulaşması öngörülmektedir. Artan nüfusun yanı sıra tarım ve gıda sistemlerindeki diğer önemli bazı etkenler şu şekilde sıralanabilir; küresel ekonomik büyüme ve ticaret, doğal afetler, göç, gıda güvenliği, tedarik zincirinde şeffaflık ve izlenebilirlik vb. Nihayetinde, çağın tarım ve gıda sistemlerinin mevcut durumu çerçevesinde, dijital dönüşümün getireceği zorluklar, engeller ve diğer yandan yaratacağı fırsatların neler olacağının ortaya koyulması önem arz etmektedir.

Tarımda dijital teknoloji kullanımının, tarım ve gıda sistemlerindeki mevcut problemlerin çözümünde ne kadar etkili olacağı sorusunu cevaplamada ya da kanıtlayabilmede yeterli düzeyde veri birikiminin henüz sağlanamadığı söylenebilir. Buna rağmen varolan sorunların dijital teknolojiler için fırsatlar yarattığı günümüzde, yapılan çalışmalar ve analizler, bazı sonuçları ve buna bağlı tahminleri ortaya koyabilmektedir.

Dijital teknolojiler kapsamında yapılan değerlendirmelerde dikkat çeken bir nokta, teknolojik aygıtların geçmiş zamanlara kıyasla günümüzde çok daha düşük maliyetlerle edinimi olmaktadır.



Şekil 4.7 Bilgisayar alanında yıllara göre hız ve maliyet değişimi (Anonymous 2019g)

Maliyetlerin (nominal fiyatlar üzerinden değerlendirildiği) Grafik 4.3.1’de görüldüğü üzere, 20 y.y. ortalarından günümüze kadar ulaşılan süreçte gerilediği anlaşılmaktadır. Söz gelimi, 1956’da 1 megabayt veri depolama maliyeti yaklaşık 9.200\$ (bugünün fiyatlarında 85.000\$) iken, günümüzde 0.00002\$’a mal olmaktadır (Anonymous 2019g). Yine IoT dünyasında kullanılan bir sensörün ortalama maliyeti ise 2004-2014 yılları arasında 1,30\$’dan 0,60\$’a gerilemiştir (Anonymous 2019g).

Dijital tarım kapsamında teknoloji maliyetlerine bakıldığında ise ülkelerin gelişmişlik düzeyleri, kullanılan teknolojinin karmaşıklığı ve tarımsal işletme ölçeği maliyet değişiminde belirleyici olduğu söylenebilir. Söz gelimi küresel boyutta kullanımı gittikçe artan hassas tarım teknolojilerinin, özellikle en üst düzeyde karlılığın ana itici güç olduğu Avrupa, ABD ve Avustralya gibi büyük çiftlik işletmelerine ve geniş ölçekli ekilebilir arazilere sahip ülkelerde, kullanımı en gelişmiş düzeydedir. Diğer yandan küçük ölçekli tarım işletmeleri için söz konusu tüm teknolojiler uygulanabilir olmayabilir ancak üreticiler arasında bu alanda artan bilgi ve farkındalığın uygulanabilir diğer uygulamalarda teşviki artırdığı söylenebilmektedir (Trendov 2019).

Salam (2020) dijital teknolojilerin adaptasyonunda, üreticilerin öncelikli yaklaşımının “karlılık” etkeni olduğunu vurgulayarak dijital tarım teknolojisi piyasasının daha çok büyük ölçekli tarımsal işletmeleri hedeflediğini dolayısıyla küçük ölçekli tarımsal işletmelerin daha geri planda bırakıldığını değerlendirmektedir. Ayrıca Salam (2020) dijital tarım teknolojilerinin adaptasyon ve yayılmasında;

- Söz konusu teknolojilerin adaptasyonunda en önemli konunun yatırım getirisi olduğunu,
- Dijital tarım ekipman ve hizmetlerinde maliyetlerin hala faydalarından daha yüksek olduğunu,
- Tarımsal teknolojinin adaptasyonuna kıyasla tarımsal işletme gelirinin üretici için daha öncelikli olmasından dolayı ve söz konusu alanda maliyetlerin faydadan daha yüksek olmasının üretici motivasyonunu etkilediğini,
- Tarımsal işletmelerde dijital tarım teknolojilerinin uygulanması sonucu muazzam bir veri birikiminin oluştuğu fakat karar verme araçlarının noksanlığından, müdahale ve karar verme aşamalarının üreticiler için oldukça fazla zaman kaybına neden olduğunu,
- Üreticilerin, yerinden ve uzaktan algılama aygıtları vb. teknolojilerin önerileri yerine bireysel tecrübeye dayalı tahminlere daha çok güvendiklerini,

dolayısıyla tüm bu engeller çerçevesinde dijital tarımın karlı bir iş alanı olmadığını değerlendirmektedir.

Küçük tarımsal işletmelerin, dijital dönüşümde, geri planda bırakıldığı fikrini öne süren Salam (2020) gibi, Demiryürek vd. (2021) tarafından Türkiye’de gerçekleştirilen araştırmada, belli bir oranda üreticinin teknolojik uygulamaların küçük tarımsal işletmeler için uygun olmadığı görüşü, ortaya koyulan bulgular arasında yer almıştır. Yine benzer bir yaklaşımı Smidt ve Jokonya (2022) de ele alınmıştır. Güney Afrika bölgesindeki küçük ölçekli tarımsal işletmelere odaklandığı çalışmada Smidt ve Jokonya (2022) çoğu düşük gelirli ve küçük ölçekli üreticinin dijital teknolojileri satın almasının zor olduğunu ve böylelikle bu durumun, tarımsal üretkenlik ve ekonomik

sürdürülebilirlikte dijital teknoloji kullanımını sınırladığı belirtmektedir. Bu nedenle Smidt ve Jokonya (2022) küçük ölçekli tarım sistemlerinin dijital teknolojileri başarılı bir şekilde kullanabilmesinde devlet ve tarım sektöründeki diğer kuruluşlarca desteklenmesi gerektiğini önermektedir. Bu bağlamda tarımın dijital dönüşümünde, küçük tarımsal işletmelerin, tüm teknolojilerin uygulanabilirliği ve hedef pazar olma durumunda, büyük ölçekli tarım işletmeleri kadar avantajlı olmadığı, hem üretici hem konuyla direkt ilgili araştırmalar esasında ortak görüş durumundadır. Bununla birlikte söz konusu argümanın, güçlü ve genel bir çıkarım olması konusunda ise tarımda dijital dönüşümün henüz erken evrelerinde yer alındığı göz önünde bulundurulması gereken bir noktadır. Yine teknolojik uygulamaların yaşlı üreticiler için uygulanabilir olmadığı, sermaye eksikliğinin tarım sektörünün teknolojik ilerleyişi önünde en büyük engel olduğu ve tarımda etkin veri kullanımı için en az 10 yıllık tecrübenin gerekli olduğu tespit edilen diğer önemli bulgular arasında yer almıştır (Demiryürek vd. 2021).

Prause (2021) ise araştırmasında tarımın dijitalleşmesine farklı bir açıdan yaklaşarak tarım teknolojilerinin üreticilerde tarımsal bilgide, beceri ve deneyim kaybı beklentisini ortaya koymuş fakat yaptığı görüşmeler sonucu, bu verinin belirgin bir şekilde yer almadığını tespit etmiştir. Bunun aksine üretici ve mevsimlik tarım işçilerinin, dijital tarım teknolojilerinin kullanımıyla yeni beceriler kazandıkları söz konusu araştırmayla ortaya koyulmuştur. Benzer bir yaklaşımı diğer bir deyişle dijitalleşme sürecinde üretici profiline değişmesi ve “geleneksel tarım bilgisi” kaybı gibi riskleri Martens ve Zscheischler (2022) de öne çıkarmıştır. Bu çalışmaya göre, üreticilerin dijitalleşme kapsamında teknolojiye bağımlı hale gelerek geleneksel üretici profillerini ve daha da önemlisi geleneksel tarım bilgilerini kaybederek teknoloji firmalarına bağımlı birer veri analistlerine dönüşmesi riskinden duydukları endişeyi vurgulamışlardır.

Yine Prause (2021), yaşlı nesil çiftçi ve tarım işçileri için, teknolojiyi daha yakından takip eden daha genç nesile kıyasla, yeni beceriler öğrenmenin daha zorlayıcı olabileceğini dolayısıyla yaşa bağlı olarak işçi sınıfında parçalanmaya katkıda bulunabileceğini değerlendirmiştir. Fakat Prause (2021)’un çalışmasında asıl argüman, tarım sektöründe dijitalleşmenin, tarımsal üretim ve gıda sistemindeki olumlu bakış açısına kıyasla bunun işgücü açısından aynı olmadığı üzerinedir. Almanya’da

gerçekleştirilen bu araştırma, takip eden yıllarda, geliştirilen teknolojik aygıtların, ülkede ağırlıklı olarak mevsimlik göçmen işçiler tarafından yürütülen el emeğinin yerini alabileceği argümanını desteklemektedir. Bu bağlamda söz konusu argümanın tarımda dijital dönüşümle etkilenmesi olağan bir beklentidir. Tarihe bakıldığında hem tarım hem sanayi alanında gerçekleşen devrimler göstermiştir ki, her bir dönüşümle işgücü de yeniden şekillenmiştir. Bununla birlikte sektör farketmeksizin, ivme kazanan teknolojinin insan emeğinin sonunu getirip getirmeyeceği sorusu ise tartışılacak bir diğer konuyu gün yüzüne çıkarmaktadır.

Tarımda dijital dönüşümün faydaları kadar yaratacağı zorluklar ve engeller, ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre farklılık göstereceğini söylemek de mümkündür. Söz gelimi, Birner vd. (2021) geliştirmekte olan ülkelere dijital tarımın olanaklarını büyük ölçüde mekanizasyon düzeyine göre şekillendiğini belirtmektedir. Çiftçiliğin başlıca hayvan ve insan gücüne dayandığı mekanize olmayan tarım sistemlerinde, Sahra Altı Afrika'sındaki çoğu çiftlik gibi, dijital tarımın yayılması kısıtlamalarla karşı karşıyadır (Birner vd. 2021).

Günümüz tarım sektörüyle direkt ve endirekt olarak ilgili mevcut problemlere cevap vermede, tarihsel süreçte tanık olunan birçok yenilik (sanayi devrimi, yeşil devrim) gibi, çağın teknik değişikliklerine gereksinim duyulmaktadır. Dolayısıyla tarım gibi veri üreten bir sektörün çağımızda sürdürülebilir bir çerçevede başarıya ulaşması ve çevresel etkilerinin azaltılması, bu verileri işleyen, uygulayan ve sonuca ulaştıran teknolojilerin yardımıyla mümkün olacağı öngörülmektedir. Nihayetinde tarımda başarılı bir dijital dönüşüm için gerekli teknolojilerin tam kapasite ile çalışarak söz konusu dijital devrimin öngörülen potansiyellerinden faydalanmada uygulama alanındaki engellerin de belirlenerek ortaya koyması gerekmektedir.

Ferrari vd. (2022) tarafından yapılan çalışma sonucu Çizelge 4.4 ve 4.5’de kırsal alanlarda dijitalleşmede engel ile teşvik edici etkenlere yer verilmiştir. Her iki çizelgede teşvik edici etken ve engeller benzer başlıklar altında kategorilenmiştir. Bunlar; sosyokültürel, teknik, ekonomik, çevresel ve düzenleyici-kurumsal olarak kategorize edilmiştir.

Çizelge 4.4 Kırsal alanlarda dijitalleşmenin önündeki engeller (Ferrari vd. 2022)

Sosyo-kültürel Engeller	
Demografik	Yaş sorunları, sosyal izolasyon, seyrek nüfus, mevsimlik çalışma
Güvensizlik	Fon sağlayıcılara güvensizlik, düzenleyicilere güvensizlik, bilgi ve iletişim teknolojileri tedarikçilerine güvensizlik, teknolojiye güvensizlik
Endişe	Teknolojiye bağımlılık endişesi, sonradan ortaya çıkması muhtemel maliyetler endişesi, gizlilik hakkıyla ilgili endişe
Değerler	Geleneğe bağlılık
Yeterlilik	Eğitim eksikliği, bilgi eksikliği, beceri eksikliği, dijital bağlanabilirlik eksikliği
Karmaşıklık	Mevzuat karışıklığı, teknoloji karmaşıklığı, seçim paradoksu
Teknik Engeller	
Bağlanabilirlik	Altyapı noksanlığı, altyapı kalitesinin düşük olması
Güvenilebilirlik	Zayıf güvenilirlik, düşük verimlilik
Kullanılabilirlik	Zayıf ergonomik standartlar, arazide zayıf kullanılabilirlik
Ölçeklenebilirlik	Sınırlı veri depolama, sınırlı bilgi işlem kapasitesi
Ekonomik Engeller	
Maliyetler	Teknoloji maliyeti, modernizasyon maliyeti, bakım maliyeti, maliyet etkinliğinde yetersiz veri, finansman eksikliği
Ölçek	Küçük pazar boyutu, küçük işletme boyutu, atomize iş yapısı*
Düzenleyici ve Kurumsal Engeller	
Veri yönetimi	Veri sahipliğinde belirsizlik, veri yönetiminde belirsizlik
Düzenlemeler	Sık mevzuat değişikliği, teknoloji üzerindeki yasal kısıtlamalar, yetersiz hibe programları kriterleri

* Atomizasyon, arz ve talebin çok sayıda ve çok küçük tedarikçi ve talepte parçalanmasıdır (Anonymous 2022a). Bu bağlamda kırsal alanlar genellikle küçük piyasa oyuncularını ve atomize iş yapılarıyla karakterize edilir (Ferrari vd. 2022).

Kırsal alanların dijital teknolojilerin adaptasyonunda öne çıkan engeller; geleneksel değerlerde bağlılığa önem veren diğer yandan yeniliğe karşı olumsuz bir yönelim söz konusu olan kırsal toplumlarda sosyo-kültürel ve özellikle demografik ve eğitimsel sorunlar temelinde iken teknik engellerde “internete bağlanma” en önemli husus,

teknolojik adaptasyonda “maliyet” ve düzenleyici-kurumsal temelde ise en büyük engel “belirsiz veri sahipliği” olmaktadır (Ferrari vd. 2022).

Çizelge 4.5 Kırsal alanlarda dijitalleşmeyi kolaylaştıran etkenler (Ferrari vd. 2022)

Sosyo-kültürel Etkenler	
Uygulamalı Talepler	Çalışma esnekliği talebi, iş yükünün azaltılması talebi, zenginlik talebi, istihdam talebi, izolasyonu azaltma ihtiyacı
Kültürel Eğilimler	İş birliği ruhu, dayanışma ruhu, kapsayıcılık ihtiyacı*, teknolojik hayranlık, teknolojiye güven
Teknik İtici Etkenler	
Kalite	Teknolojinin basitliği, teknolojide uzmanlaşma, kanıtlanmış güvenilirlik, kanıtlanmış verimlilik
Hizmet	Daha fazla bağlantı, teknoloji kullanılabilirliği, veri kullanılabilirliği
Ekonomik İtici Etkenler	
Piyasa talepleri	Rekabet, tüketici sağlığı endişeleri, yeşil şirket imajı**, şeffaf şirket imajı**, sertifikasyon talebi, organik ürün talebi
Örgütsel	Aracı rollerin varlığı, toplu örgütlenme biçimleri, iş birliği fırsat
İş gereksinimleri	Daha iyi kontrol ihtiyacı, yasal uyumluluğun basitleştirilmesi ihtiyacı, süreç optimizasyonu ihtiyacı, daha iyi planlama ihtiyacı
Finansal	Teknoloji maliyetinin azalması, maliyet etkinliği ihtiyacı
İşgücü	İşgücü noksanlığı, el emeğinin maliyeti
Çevresel Etkenler	
Etki azaltma	Gübre kullanımını azaltma ihtiyacı, böcek ilacı kullanımını azaltma ihtiyacı
Kontrol	Gıda israfını azaltma ihtiyacı, hayvan refahını iyileştirme ihtiyacı, doğal afetleri kontrol etme ihtiyacı
Düzenleyici ve Kurumsal Etkenler	
Mevzuat kısıtlamaları	Vergiler, kısıtlamalar, mevzuata uygunluk ihtiyacı
Ekonomik teşvikler	Finansman programları, sübvansiyonlar, teknolojik adaptasyona yönelik teşvikler, iş birliği desteği
Eğitim desteği	Eğitim programları, teknik mentorluk, eğitim desteği, dijital inovasyon merkezleri
Tanıttıcı	Sonuçların yaygınlaştırılması, dijital girişimciliğin teşviki, dijital inovasyonun teşviki

* Küçük toplulukların doğal iş birliği ve dayanışma ruhu içerisinde "yerel ortama" dahil olma ihtiyacıdır (Ferrari vd. 2022).

**Müşterilerin sağlıklı gıda talepleri çerçevesinde "yeşil" ve “şeffaf” bir imaja sahip olma ihtiyacı gibi piyasa trendlerinden doğan etkenlerdir.

Çizelge 4.5’de yer verilen kırsal alanlarda dijitalleşmeyi kolaylaştıran etkenler incelendiğinde; başlıca teşvik edici etkenler ekonomiktir dolayısıyla bu kapsamda geliri artırma ve üretim kontrolü ihtiyaçları öne çıkarken, bunlar vergiler, sübvansiyonlar, ekonomik teşvikler ve dijital yenilik merkezlerinin yaygınlaşması gibi düzenleyici kurumsal etmenlerle birlikte ele alınmakta, sosyo-kültürel çerçeve ise daha çok genç teknoloji meraklılarıyla şekillenirken, daha az belirgin durumlarıyla çevresel etkenler de geri planda kalmaktadır (Ferrari vd. 2022). Çevresel etkenlere ya da diğer bir deyişle çevresel endişelere dijitalleşme çerçevesinde önemli bir eleştiriyi Lajoie-O'Malley vd. (2020) sundukları çalışma kapsamında yöneltmektedir. Bahse konu çalışmada, DB, OECD ve FAO gibi uluslararası kurumların, tarımın dijitalleşmesi kapsamında edindikleri vizyonların odağında ağırlıklı olarak tarımsal üretimde artışa dolayısıyla küresel gıda kıtlığının azaltılmasına yer verilirken çevresel endişelerin göz ardı edildiği belirtilmektedir (MacPherson vd. 2022).

Nihayetinde bu çalışma kapsamında Ferrari vd. (2022) göre kırsal alanlarda dijitalleşmede itici gücün ekonomik; engellerin ise çoğunlukla sosyo-kültürel ve özellikle yaşlanma ve seyrek nüfusla ilgili demografik sorunlar olduğu ortaya koyulmuştur.

Nüfus artışı ve iklim değişikliği gibi makroekonomik eğilimlerin yanı sıra kaynak verimliliğini ve insan sağlığını hesaba katma aciliyeti ve teknoloji cihazlarının maliyetlerinin düşmesi, teknoloji uygulamalarının tarım sektörüne ilerlemesini sağlamaktadır (Soma vd. 2019). Dolayısıyla düşen maliyetler, 21. y.y.’nin çeşitli açılardan tarıma etki eden sorunları ve ayrıca hızlı ilerleyen teknoloji v.b. etkenlerin varlığında, tarım alanında dijital teknoloji talebinin ilgili taraflarca (çiftçi, şirketler v.b.) daha da artması beklenmektedir. Talebin artışındaki neden ise, bu teknolojilerin çiftçilerin mevcut ve gelecekteki sorunların çözümünde yardım sağlayacak olmalarıdır. Verimin artırılmasında, ekstrem hava sıcaklıkları ile mücadelede, ürün fiyatlarındaki dalgalı seyirden değişen tüketici eğilimlerine ve ayrıca doğal afet ve hastalıklara kadar bu yardımın çeşitli alanlara nüfuz etmesi beklenmektedir (Soma vd. 2019). Böylelikle

yeni teknolojiler, verimliliği artırmak ve pazar ile değer zincirleri boyunca geçen süreyi azaltmak için tarım faaliyetlerini kolaylaştırabilir (Soma vd. 2019).

Dijital teknolojinin etki edeceği bir diğer konu ise, paydaşlar kapsamında tarım ve gıda sistemlerinin yapısını yeniden şekillendirmesi olacaktır. Çiftçi tedarikçileri, distribütörler, perakendeciler ve tüketiciler gibi geleneksel paydaşlara ilave olarak, start-up'ların yeni bir paydaş olarak söz konusu ağa girdiği ve böylelikle tarım ve gıda tedarik zinciri tarafından üretilen verileri analiz etmek için gerekli teknolojileri ve / veya uzmanlığı getirdiği gözlenmektedir (Soma vd. 2019). Bu bağlamda dijital teknolojilerin getireceği yenilikçi tarım uygulamaları, tarım sistemiyle birlikte gıda sistemini de bütünüyle kapsayacaktır. Söz gelimi bu yeni tarım uygulamaları, otonom traktör ya da drone gibi ekipmanlardan, sensörler aracılığıyla tohum ve ürün izlemeye kadar tüm üretim süreçlerini ve araçlarını kapsama yeteneğine sahiptir (Soma vd. 2019). Hâlihazırda tarımsal alanlarda uygulama bulan ve santimetre doğruluğundaki bu yenilikler, girdi maliyetlerini azaltma ve sürekli bir kontrol döngüsü oluşturma yeteneğine sahiptir.

Tarım alanında kullanılan yenilikçi teknolojilerin sağlayacağı fırsatlardan, direkt bağlantılı olan çevre ve üreticilerin yanı sıra tüketici, kamu kuruluşları ve bahsedildiği üzere yeni paydaş veya paydaşların da fayda görmesi söz konusudur. Diğer yandan, bu fırsatların neler olduğu ya da olacağı konusunda, farklı paydaşlar arasında değerlendirmelerin ortaya koyulması henüz erken olmaktadır çünkü söz konusu teknolojilerin tarım-gıda sistemlerinde uygulama oranı, dünya genelinde istenilen seviyeye henüz ulaşmış değildir. Dolayısıyla paydaşlara ilişkin fırsatların, ancak genel başlıklar halinde neler olabileceği ortaya koyulurken, bu fırsatların derinlemesine analizinde, tarımsal dijital teknolojilerin adaptasyonun belirli bir seviyeye ulaşması gerekmektedir. Bir önceki bölümde değinilen start-up sektörü incelemesi ise Kuzey Amerika ülkelerinin bahse konu adaptasyonda önde olacağı sinyali vermektedir.

Çizelge 4.6 Yeni teknolojilerin farklı paydaşlar arasında sunduğu fırsatlar (Soma vd. 2019)

Üretici	▪ Üretim artışı ▪ Girdi maliyetinin azalışı ▪ Hayvan refahının iyileştirilmesi ▪ Karar verme mekanizmasının desteklenmesi
Çevre	▪ Toprak nem seviyesini ölçen sensörlerle daha az su tüketimi ▪ Daha iyi çevre, enerji ve iklimi bakımı
Tüketici	▪ Gerçek zamanlı veri ve üretim bilgisi ▪ Daha iyi ürün kalitesi
Kamu Kuruluşları	▪ Tarımsal işletme ve arazi temelinde doğru değerlendirme ▪ Etkili politika uygulamaları
Yeni paydaşlar	▪ Küçük ve orta ölçekli işletmeler için yeni iş fırsatları ▪ Tarım-gıda sistem değer zincirinde yeni paydaşlar ▪ Start-up sektörünün gelişimi

Çizelge 4.6’da görüldüğü üzere farklı paydaşlar arasında, yenilikçi teknolojilerin sunacağı fırsatların başlıca neler olduğu ya da olabileceğine yer verilmiştir. Bununla birlikte, söz konusu teknolojilerin uygulama seviyesinin halihazırda yeterli düzeyde olmadığı da göz önünde bulundurulduğunda, bu durum, ilerleyen zamanda daha birçok fırsatın eklenme olasılığını da yükseltmektedir.

Tarım 4.0’ın sunduğu robotlar, sensörler ve Büyük Veri analitik platformları gibi araçların tam kapasitede kullanımı gerçekleştirildiğinde, çiftçilerin girdi uygulamalarında daha hassas olmalarını sağlayacaktır. Böylelikle, yeşil devrime kıyasla, Tarım 4.0 araçları ile üreticiler, tek bir hayvan ya da bitkiyi gerçek zamanlı olarak yönetebileceklerdir (Weersink vd. 2018). Dolayısıyla söz konusu aygıtların kullanımı, tarımsal yönetimden çevresel yönetime kadar bağlantılı diğer öğelere de avantaj sağlayacaktır. Garnett vd. (2013)’ne göre bu teknolojilerin bazı çiftçilere daha

az çevresel etki ile daha dar alanlarda, daha fazla gıda üretim fırsatı sunması muhtemeldir ve buna yaygın olarak “sürdürülebilir yoğunlaşma¹” adı da verilmektedir (Weersink vd. 2018). Struik ve Kuyper (2017)’e göre robot teknolojisi, gelişmekte olan ülkelerdeki kentlere göç sebebiyle kırsalda kaybedilen iş gücünün telafisinde yardım sağlayabilir (Rose ve Chilvers 2018). Büyük veri ile girdi maliyetlerinin azaltılmasının yanı sıra üreticilerin gerçek zamanlı karar verme kapasiteleri artırılarak bu çerçevede ürün bazında verim ve gelişimine dair öngörülerde de ilerleme sağlanabilir (Jakku vd. 2016).

Dijital tarım alanında gerçekleştirilen araştırma sayısının uluslararası boyutta gösterdiği artışa bakıldığında, bu alandaki araştırma hızının son birkaç yılda giderek ivme kazandığı rahatlıkla söylenebilir. Kuşkusuz bu ivme doğrudan doğruya dijitalleşmede sunulan teknolojilerin gelişim hızına bağlıdır. Bundan dolayıdır ki dijital dönüşümde ortaya çıkan teknoloji çıktılarına talep arttıkça tarımsal teknolojiye de ilerleme süreci de hızla gelişim gösterecek ve bu süreç sayesinde ortaya koyulan araştırmalar da teşvik görecektir. Bu bağlamda söz konusu devrimin devrim hızına göre çalışmaların da ayrıca güncelliğini koruması, bu alanda mevcut ve ortaya çıkması muhtemel potansiyel analizler, içerisinde bulunan devrim için gerekli olmaktadır. Nihayetinde araştırmalar sonucu ortaya koyulan bulgular, tespitler, tartışmalar dijital tarım kapsamında mevcut ve muhtemel farklı argümanları ortaya çıkarmaktadır. Özellikle daha önce de vurgulandığı üzere tarımın dijital dönüşümünde henüz erken dönemde olduğu göz önüne alındığında, yapılan araştırma sonuçları kadar, öne çıkarılan soruların da önem arz ettiği söylenebilir. Söz konusu soruların, ülkelerin dijital tarım çerçevesinde politik altyapılarını şekillendirmede fayda sağlayacağı ayrıca belirtilebilir. Dolayısıyla ortaya atılan argümanlar halihazırda mevcut sorunların, engellerin, fırsatların ve yine tüm bunlara ait olası potansiyellerinin somutlaştırılarak tanımlanabilmesinde anahtar rolündedir.

¹ Sürdürülebilir yoğunlaşma genel anlamda aynı arazi alanında daha fazla gıda üretme ve verimliliğin artırılmasında yeni tarım sistemleri, vb. bir dizi uygulamaların kullanılmasıdır.

5. TARIMIN DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜNDE MEVCUT TEKNOLOJİLER VE VERİ MÜLKİYETİ

5.1 Tarımın Dijital Dönüşümünde Mevcut Teknolojiler

Tarımda dijital teknolojilerin kullanımı, özellikle önemli role sahip GPS sistemlerinin kullanımıyla gelişen ve Shepherd vd. (2018)'ne göre dijital teknoloji kullanımının köklerinin dayandığı hassas tarım konseptiyle, '90'lı yıllara kadar uzanmaktadır. Hassas tarım konseptinden bir sonraki aşama ise toplanan ham verilerin potansiyelinden faydalanılarak uygulamaya geçirebilir bilgiye dönüştürme yeteneğiyle ayırt edilen dijital tarım aracılığıyla "hassas kararlıya" geçiştir (Beriya 2020). Bu bağlamda Beriya (2020)'nın vurguladığı "kararlı" ifadesinin kararlı tarımdan daha çok tarım değer zincirinde dijital teknolojiler vasıtasıyla alınan karar süreci olduğu değerlendirilmektedir. Çünkü tarımda dijitalleşme kapsamında ifade edilen konseptlerden biri de kararlı tarım (decision agriculture) kavramıdır. Salam ve Raza (2020)'ya göre hassas tarımın bir diğer ifade şekli olarak belirtilen kararlı tarım; "yalnızca yeterli ve gerekli miktarda besin, tohum, su ve diğer çiftlik kaynaklarının uygulanması gibi yeterli miktarda tarım tekniğinin uygulanması süreci" olarak tanımlanmaktadır. Buradan da anlaşılacağı üzere, tarımda dijitalleşme olgusu, Akıllı Tarım (Smart Farming), Hassas Tarım (Precision Agriculture), Kararlı Tarım (Decision Agriculture), Dijital Tarım (Digital Agriculture), Tarım 4.0 gibi kavramlarla literatürde birden fazla farklı biçimde ele alınmıştır. Söz gelimi birçok araştırmacı çalışmalarında dijitalleşme olgusunu farklı terimlerle ifade etmeyi tercih etmişlerdir; Wolfert vd. (2017) ve Blok ve Gremmen (2018) Akıllı Tarım (Smart Farming), Wolf ve Buttel (1996) ve Eastwood vd. (2017) Hassas Tarım ya da Hassas Çiftçilik (Precision Agriculture-Precision Farming), Leonard vd. (2017) Kararlı Tarım (Decision Agriculture), Keogh ve Henry (2016) ve Shepherd vd. (2018) Dijital Tarım, Rose ve Chilvers (2018) Tarım 4.0 (Agriculture 4.0) ya da Fransızca'da ifade edildiği üzere Bellon vd. (2016) Sayısal ya da Dijital Tarım (Agriculture Numérique) (Klerkx vd. 2019).

Tüm bu kavramlar içinden hangisi kullanılırsa kullanılsın tarımda dijitalleşme, tarımsal işletme içi ve dışı (değer zinciri ve gıda sistemi) yönetim görevlerinin hayvan, toprak, su, bitki ve insanları izlemek için sensör, makine, drone ve uydular kullanılarak çeşitli verilere (hava durumu, davranış, bitki sağlığı durumu, tüketim, enerji kullanımı, fiyatlar vb.) odaklanılması olarak tanımlanmaktadır (Klerkx vd. 2019).

Günümüzde tarım sektörüne daha da entegre hale gelen dijital teknolojiler ve bu süreçte beraberinde yarattığı devrim, sektörün mevcut sorunlarına (iklim değişikliği, gıda kıtlığı, su kıtlığı vb.) çözüm bulmanın yanı sıra tarımın sürdürülebilirliği çerçevesinde geliştirilmesini de mümkün kılacak büyük bir potansiyel olarak görülmektedir. Bu potansiyeli mümkün kılan yeşil teknoloji devrimiyle birlikte ilerleyen dönemlerde tarım sektöründe sürdürülebilirlik kavramının, sürdürülebilir dijitalleşme olarak da ele alınması mümkün görülmektedir. Söz gelimi Brunori (2019)'nin kırsal alanlara yönelik değerlendirdiği sürdürülebilir dijitalleşme buna örnek verilebilir. Bu analize göre Brunori (2019) sürdürülebilir kırsal dijitalleşmeyi üç koşulla ele almıştır. Bu koşullardan ilki olan “erişim”, dijitalleşmenin sağlayacağı fırsatlara erişimde gerekli fiziksel, sosyal ve beşerî sermayenin dağılımı ile ilgilidir. Söz konusu teknolojilerin kabullenilememesi ya da geç kabullenışı sosyal gruplar ve bölgeler arasındaki -kırsal alanlarda görülme sıklığı daha yüksek olan- erişim uçurumunu büyütürken sosyal ve ekonomik dışlanmaya sebep olabilmektedir. İkinci koşul dijital teknolojilerin “tasarımı” ile ilgilidir. Diğer bir deyişle üretkenliği, kârlılığı ve sürdürülebilirliği iyileştirmeyi amaçlayan dijital teknolojilerin bu sonuçlara sahip olmak için tasarlanmış olması gerektiğidir. Üçüncü koşul ise dijitalleşmenin meydana getirdiği “sistem karmaşıklığı”dır. Hayatımıza daha fazla veri, dijital platform, araç vb. yayıldıkça daha fazla sosyal uyum ve organizasyonel beceriye gereksinim duyulmaktadır. Diğer bir deyişle sistemin adaptasyona hazır olma becerisine göre inovasyon çıktıları da daha başarılı olmaktadır. Aksi durumda aşırı bilgi yüklemesi, dijital bağımlılık, siber suçlar vb. istenmeyen muhtemel sonuçlar tahmin edilmektedir.

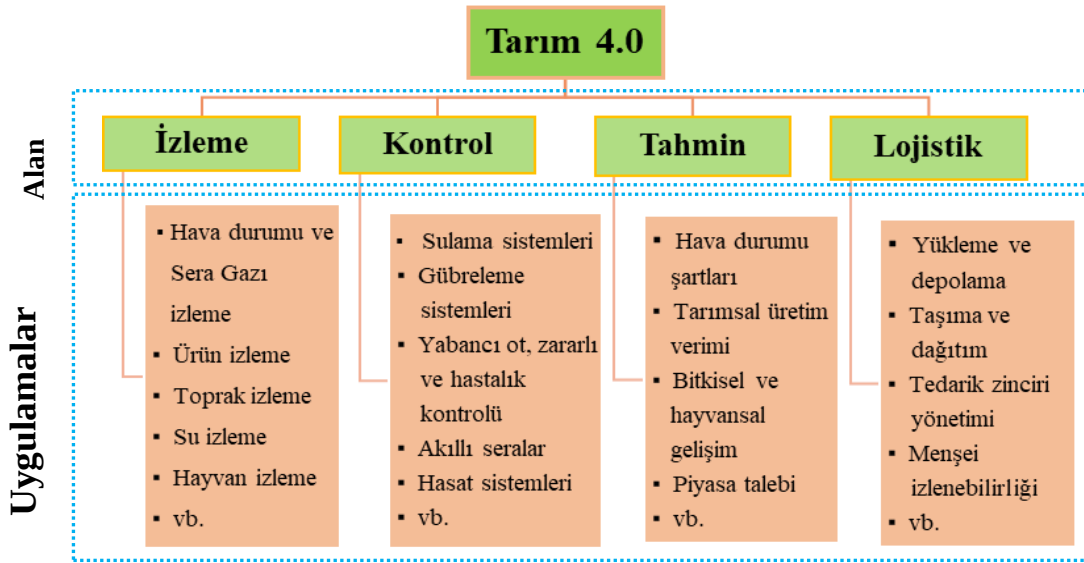
Tarımın dijital dönüşümde olduğu bu dördüncü devrimin, tarım-gıda sistem zincirini temelden değiştirme potansiyel ve etkisinin yanı sıra daha önceki bölümde de değinildiği üzere; tarıma uygulanmasında ekonomik, sosyo-kültürel, teknik, politik,

çevresel etkenler temelinde birçok soruyu da beraberinde getirmekte ve/veya getireceği değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda mevcut ve potansiyel etkileriyle ele alınan dijital teknolojilerin amaçları dahilinde anlaşılması için detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda Trendov vd. (2019) tarafından hazırlanan raporla tarımsal dijital teknolojiler, karmaşıklık ve tarım-gıda sektörüne girme aşamalarına göre düzenlenmiş olan sınıflandırma örnek verilebilir. Bu sınıflandırma ise şu şekildedir;

- Mobil cihazlar ve Sosyal medya
- Hassas tarım ve Uzaktan algılama teknolojileri (IoT, Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System/GNSS)), Gerçek Zamanlı Kinematik (Real-time kinematic/RTK), Değişken Hız Teknolojisi (Variable Rate Technologies/VRT), Hassas Hayvansal Üretim (Precision Livestock Farming/PLF), İHA ve uydu görüntüleri)
- Büyük Veri, Bulut, Analitik ve Siber Güvenlik;
- Entegrasyon ve Koordinasyon (blok zinciri, Kurumsal Kaynak Planlaması (Enterprise Resource Planning/ERP), finansman ve sigorta sistemleri)
- Akıllı sistemler (Derin Öğrenme, Makine Öğrenimi ve Yapay Zekâ ve robotik ve otonom sistemler)

Çalışmanın daha önceki bölümlerinde (Bölüm 4.2’de) tarım ve gıda alanında, uzun zamandır piyasada var olan ve kullanılan teknolojik araçlar ile son yenilikler, teknolojik amaçlarına göre ana ve alt kategori şeklinde detaylı olarak sınıflandırılmıştır.

Tarım 4.0’a, Araújo vd. (2021) tarım-gıda tedarik zinciri ilişkisi ve ana uygulama alanlarının tanımlanabilmesi üzerinden bir analizle yaklaşmaktadır. Bu sebeple Talavera vd. (2017) Tarım 4.0’ı uygulama alanları esasında dört ana kategoride sınıflandırmaktadır: izleme, kontrol, tahmin ve lojistik. Söz konusu dört ana uygulama alanı ve ilgili uygulama örnekleri şekil 5.1’de verilmiştir (Araújo vd. 2021).



Şekil 5.1 Tarım 4.0 uygulama alanlarının dağılımı ve ilgili uygulama Örnekleri (Araújo vd. 2021)

Araújo vd. (2021)'ne göre ana uygulama alanları her ne kadar dört ana kategori altında sınıflandırılmış olsa da bu alanlar oldukça sıkı bir şekilde birbiriyle bağlantılıdır. Söz gelimi akıllı bir kontrol sistemi, veriye dayalı destek sistemlerinin potansiyelinden bütünüyle yararlanmada “izleme” ve mümkün olduğunca “tahmin” işlevlerine gereksinim duymaktadır.

Dijital tarım teknolojilerinde bir diğer sınıflandırma ise Bacco vd. (2020) tarafından, AB'nin bir Horizon¹ projesi olan “Dijitalleşme: Kırsal Alanlarda Ekonomik ve Sosyal Etkiler” ya da kısaca DESIRA² olarak bilinen proje kapsamında tasarlanan konseptle, iki ana başlık altında toplanan yaklaşımdır. Buna göre dijital teknolojilerin, hizmet amaçları ve uygulama senaryoları çerçevesinde sınıflandırılması mümkündür. Bu bağlamda birincisi; siber-fiziksel sistem (SFS/Cyber-Physical System³) kavramsal modeline dayanan dijital araç/araçlar, hizmet amacına göre (diğer bir deyişle izleme ve

¹Horizon projesi, yaklaşık 100 milyar€'luk bir bütçeyle AB'nin araştırma ve inovasyona yönelik temel finansman programıdır.

² DESIRA projesi, Pisa Üniversitesi tarafından koordine edilen, çok taraflı ve disiplinlerarası bir Konsorsiyumda 25 ortak kuruluşu (araştırma enstitüleri, STK'lar ve KOBİ'ler) kapsayan bir Horizon projesidir.

³ Siber-fiziksel sistemler (SFS), fiziksel bir mekanizmanın bilgisayar tabanlı algoritmalar tarafından kontrol edildiği veya izlendiği sistemlerdir.

harekete geçirme katmanı, bağlantı katmanı, bilgi işlem katmanı ve zekâ katmanı); ikinci olarak ise uygulama senaryolarına göre dijital araç/araçlar sınıflandırılabilir. Bir uygulama senaryosunun bağlamı ise, bir dijital aracın tasarlandığı teknik gereklilikleri hesaba katılarak tarım, orman ve kırsal alanlar dâhilinde hizmet ettiği işlev olarak tanımlanmasıdır (Bacco vd. 2020).

SFS ile fiziki-dijital-fiziki döngü tanımlanmaya çalışılmıştır; fiziki dünyadan verilerin toplanıp dijital verilere (fiziki-dijital) dönüştürülmesi böylelikle toplanan verilerin işlenmesiyle kullanıcılara karar ve destek süreci sonunda fiziki dünyada (dijital-fiziki) uygulama imkânı sağlayan döngüdür (Bacco vd. 2020). Bacco vd. (2020)'ne göre çalışmada ele alınan dijital teknolojiler SFS konseptiyle birlikte hizmet amacına göre sınıflandırılabilir. Söz gelimi algılama ve hareket geçirme katmanının bir alt katmanı olarak algılama kapsamında nem, sıcaklık, ışık ölçümü vb. rnek verilebilir (Bacco vd. 2020). İkinci olarak ise yine DESIRA projesi kapsamında yürütülen ve evrimii anket ile elde edilen uygulama senaryolarının sınıflandırılması izelge 5.1'de görülmektedir.

Çizelge 5.1 evrimii anket ile elde edilen uygulama senaryolarının sınıflandırılması (Bacco vd. 2020)

DİJİTALLEŞME		
TARIM		
Bitkisel retim	Ekim	Tarlanın özelliğine göre değişken-oranlı ekiliş (hassas tarım teknikleri)
	Püskürtme	Tanımlanmış yabancı otlara uygulanan akıllı püskürtme sistemleri (hassas tarım teknikleri)
	Gübreleme	Gereksinime göre otomatik gübreleme ve haritalama ihtiyacı duyan sulama yönetimi yazılımı (hassas tarım teknikleri)
	Hasat	Tarla ve serada meyve ve sebze hasadı yapan robotlar. Verim haritalama.
	Zararlı kontrolü	Pestisit püskürten ya da biyolojik kontrol amaçlı toprakta çözünebilir küreler kullanan dronelar
	Dikey tarım	

Çizelge 5.1 Çevrimiçi anket ile elde edilen uygulama senaryolarının sınıflandırılması (Bacco vd. 2020) (devam)

		Seradaki bitkilerin büyüme faktörlerini (soğutma, nem kontrolü, ısıнын yeniden kullanımı, ...) kontrol etmek için yazılım çözümlerinin kullanımının yaygın olduğu yenilikçi uygulama
	İzleme	Veri toplama ve arazi haritalama (bitki sağlığı, mikrobiyolojik tarama, toprak analizi, ...) ve hava istasyonları (hassas tarım teknikleri)
	Modelleme	Bitki fenotipi, talimat haritaları ¹ ve hastalık tahmini için haritaların üretimi.
Hayvansal Üretim	Hayvan refahı ve sağlığı	Sağlık ve refahları için hayvanların takip edilmesi ve davranışlarının analiz edilmesi
	Sürü izleme	Sürü hareketlerinin izlenmesi ve sürü dağılımını önleyen konumlama sistemleri (sanal çitler)
	Yemleme	Doğru rasyonun (miktar ve beslenme kalitesi) otomatik yönetimi
	Süt sağma	Süt hayvancılığı işletmelerinde hayvanları sağmak için yarı otomatik ve otomatik sistemler.
	Üreme	Üreme artışı ve üretkenlik optimizasyonuna yönelik sistemler (ısı izleme, genetik iyileştirme)
	Gübre	Hayvan gübresinin işlenmesi ve yönetimi için otomatik cihazlar (çevre koruma ve sürdürülebilirlik).
	Karkas	Karkasların lojistik yönetimi için yazılım (iç organlardan temizleme işlemi, nakliye ve imha). Takip işlemleri.
Tarım Makinaları	Kiralama	Tarım makinelerini kiralamak için uygulamalar ve hizmetler
	Otonom operasyonlar	Traktör ve tarım makinelerinin otonom sürüş teknolojisi
	Performans	Talimat haritalarının* kullanımıyla makinelerin çalışma performansını iyileştirme
	Birlikte işlerlik	Makineler arası veri alışverişine ve birlikte işlerliği sağlamada farklı iletişim standartlarının ve hizmet mimarisinin (donanım ve yazılım) entegrasyonu
	Bakım	Makine bakımı uygulamaları (dijital kayıtlar)

Çizelge 5.1 Çevrimiçi anket ile elde edilen uygulama senaryolarının sınıflandırılması (Bacco vd. 2020) (devam)

Politika	AB Ortak Tarım Politikası	OTP ile ilgili tüm düzenlemeler (kontroller, raporlar, haberler, OTP yardım hesaplamaları ve danışmanlık hizmetleri)
	Teşvikler	Hibe almaya uygun tarım arazileri hakkında bilgi toplayan bölgesel bilgi sistemleri
Yönetim	Çiftlik Yönetim Sistemleri/ Çiftlik Yönetim Bilgi Sistemleri	Karar destek araçları, iş planlaması, verimlilik, finans ve pazar izleme.
Gıda	Kalite	Yarı mamul/mamul ürünlerde kaliteyi etkileyebilecek fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik parametrelerin ölçümü
	Raf ömrü	Gıda ürünlerinde raf ömrünün tahmin edilmesi için sistemler
	Güvenliği	Tedarik zinciri boyunca riskleri (mikrobiyolojik problemler, pestisit kalıntıları) en aza indirmek için akıllı veri toplama sistemleri
	Tedarik zinciri	Tüm paydaşları bir araya getiren, gıda tedarik zincirini kısaltan ve bürokrasiyi basitleştiren sistemler
	İzlenebilirlik	Üreticiden tüketiciye kadar tarımsal ve hayvan ya da hayvansal ürünlerin izlenmesine yönelik sistemler
KIRSAL ALANLAR		
Ulaşım	Kamu ve özel ulaşım	Kırsal ulaşımın optimizasyonu ve entegrasyonu (otobüs talebi, alternatif ulaşım platformları)
	Araç paylaşımı ve araç paylaşımı	Paylaşım ekonomisine dayalı uygulamalar (araç paylaşımı, kiralama vb.)
Sağlık Hizmeti	e-sağlık/ Teletıp	Evden tıbbi muayeneler, engellilerin sosyal entegrasyonu, kazalar ve doğal afetler için tıbbi yardım
Demografi	Teşvik	Nüfusun az olduğu kırsal alanlarda ev satın almak ve iş kurmak için platformlar.

Çizelge 5.1 Çevrimiçi anket ile elde edilen uygulama senaryolarının sınıflandırılması (Bacco vd. 2020) (devam)

Eğitim	Bilgi	Üreticiler, bilim ve toplum (e-öğrenme) arasında erişim ve bilgi alışverişini kolaylaştıran araçlar
	Öğretim	Eğitim kaynaklarını toplayan platformlar (çevrimiçi kurslar ve eğitim amaçlı izleme araçları)
	Danışma	Tüm tarımsal süreç hakkında tavsiyeler sağlayan, tarımsal ve çevresel danışmanlık yazılımı
	Okul	İzole bölgeler de dahil olmak üzere uzaktan eğitim veren okullar
Devlet Yönetimi	E-devlet	Vatandaşlar ve kurumlar arasındaki resmi kontrolleri ve iletişimi basitleştiren araçlar. Yasalar ve yönetmelikler, idari hizmetler ve dijital kadastro veritabanları
Yasalık	Yolsuzluk	Kamu güvenliği ve şirket varlıklarının korunmasında yasa dışı faaliyetleri karşılaştırmak
	Komşuluk Alanı Gözetimi ²	Mahalle/köyde yaşayanların güvenlik hizmeti verebileceği platformlar
	Çevresel Suçlar	Vatandaş katılımının teşviki (ormanların yok edilmesi, kundakçılık, yasa dışı atık boşaltmada raporlama).
	Dolandırıcılık	Ticari dolandırıcılık (örnek; ürünlerin özgünlüğü), kurumlara karşı dolandırıcılık (ör. OTP parametreleri)
Kültürel Miras	Çevrimiçi keşif	İnteraktif bölge haritaları, kültürel ve çevresel miras hakkında bilgi içeren web siteleri
	Bölgesel tarih	Coğrafi alanların tarihini anlatan dijital araçlar; ağırlıklı olarak turistler için
Turizm	Teşvik	Yerel turizmin teşviki için kamu ve özel girişimler (bilgi ve deneyimlerin paylaşımı)
	Sunulan aktiviteler	Doğa parkurları, bisiklet yolları, yürüyüş planlaması, ticari faaliyetler (oteller ve yerel mağazalar) hakkında bilgiler
	Piyasa fiyatları	Fiyatların dinamik bir yapı kapsamında tahmini

Çizelge 5.1 Çevrimiçi anket ile elde edilen uygulama senaryolarının sınıflandırılması (Bacco vd. 2020) (devam)

Enformas-yon ve Teşvik		girişimcilikte teşvik edilmesi (kırsal alanlarda yeni faaliyetler)
	Teşvikler	Üretken faaliyetlerin gelişimini teşvik eden (basitleştirme ve teşvik ile) sistemler
	Paydaş katılımı	Girişimciler ve üreticiler arasındaki iş birliğini destekleyen ve geliştiren uygulamalar (veri ve deneyim paylaşımı).
Çevre ve İklim	İzleme	Ekosistemlerin ve iklim değişikliğinin takibi. Çevresel etkilerin tahminleri ve değerlendirmeleri.
	Koruma	Sorunları yetkililere bildirme, yabancı/istilacı türlerle mücadele etme ve doğal alanların korunmasını teşvik etme
	Müdahale	Üretim süreçlerinin sürdürülebilir yönetimi ve faaliyetlerin etkisinin en aza indirilmesi için akıllı sistemler
	Bilgi ve iletişim	Doğayı koruma değerlerine ilişkin kamuoyu bilincini artırmaya yönelik araçlar
Altyapı	Bağlantı	Kırsal nüfusun kalkınması için bağlanabilirlik (internet) sağlayan dijital altyapı Örnek; akıllı köy
Kaynaklar	Toprak	Tarımsal toprağın fiziksel ve kimyasal parametrelerin izlenmesi ve analizi.
	Su	Su yönetimi (yağmur suyunun yeniden kullanımı) ve suyun tedarik planlaması (iklim verileri ve su altyapısı)
	Enerji	Biyokütleden enerji tedarikini, termal enerji kontrolünü ve tüketim izlemeyi optimize etme
	Atık	Atık ve tarımsal yan ürünlerin yönetimine yönelik uygulamalar (geri dönüşüm, azaltma, değerlendirme vb.)
	Hava	Hava kalitesi parametrelerinin takibi ve tahmin edilmesi
	Dijital veri	Açık veritabanları, hava durumu verileri ve konumsal veriler (tarım ve ormancılık) sunan internet siteleri ve platformları

¹Talimat haritası (prescription map), değişken oranlı kontrolörlerin gerçek zamanlı GPS sensör bilgilerini kullanarak uygun uygulamayı uygun konuma uygulayabilmeleri için oran bilgilerini içeren coğrafi referanslı bir harita

²Genellikle basit nitelikte, toplumda hızla yayılan suçlar karşısında yerel halkın yaşadıkları yeri daha güvenli bir hale getirmek için etkili önlemler almasına ve güvenlik güçlerine gerekli bilgileri sağlamasına yarayan katılımcı bir sistemdir (Ömürgönülşen vd. 2010)

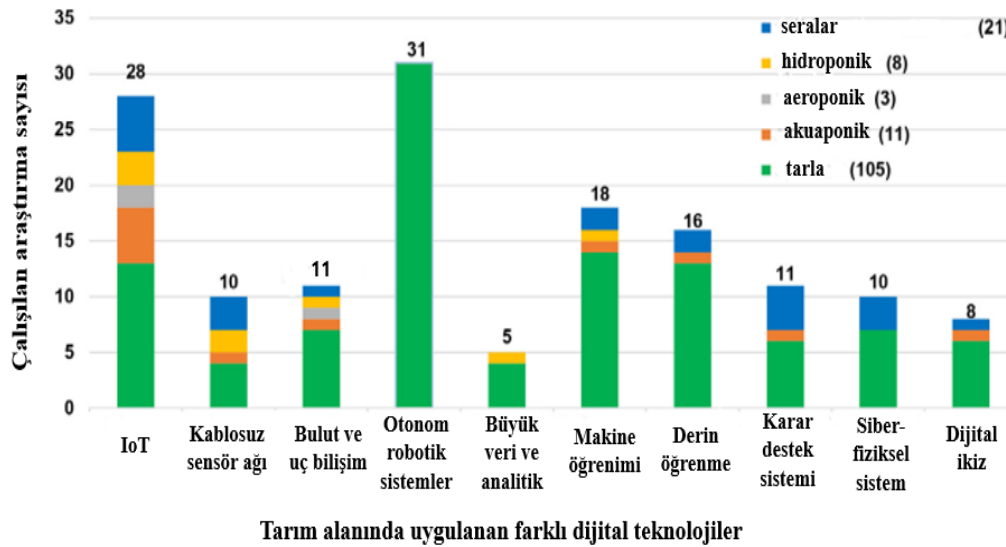
Söz konusu çevrimiçi anket ve toplanan yanıtların analizi çerçevesinde çalışma dâhilindeki dijital araçlar (dolayısıyla çok geniş kapsamlı olmamakla birlikte) Çizelge 5.1’de konuya göre gruplandırılmış olarak uygulama sınıfları vurgulanmıştır (Bacco vd. 2020).

Dijital teknolojilerin sınıflandırılmasında başka bir yaklaşım ise Birner vd. (2021)’ne aittir. Bu yaklaşıma göre dijital teknolojiler iki ana gruba ayrılabilir; fiziki olan ve olmayanlar inovasyonlar. Tarım makineleri ya da hayvanlara takılan sensörler gibi - cisimleştirilmiş- fiziki cihazlar olarak bitkisel ve hayvansal üretimde kullanılan hassas tarım teknolojileri; danışmanlık uygulamaları, çiftlik yönetim yazılımı ve çevrimiçi platformlar gibi fiziki olmayan yazılım araçları örnek verilebilir (Birner vd. 2021).

Buraya kadar detaylı örneklerle verilen tüm bu yaklaşımlardan da anlaşılacağı üzere tarım 4.0 kapsamında dijital teknolojilerin sınıflandırılması, birçok farklı tespit ve değerlendirmeyi içermektedir. Bu nedenle devrim içerisindeki devrimin çıktıları olan - mevcut ve potansiyel- teknolojilerin ilerleyen dönemlerde yeni kategoriler sunacağı gibi, mevcut sınıflandırmaları da tümüyle değiştirebileceği de söylenebilir. Dördüncü devrimle aynı doğrultuda sınıflandırmanın da dinamik bir yapı gösterdiği dolayısıyla yeni gelişmelerle birlikte daha birçok farklı yaklaşımın ortaya çıkacağı öngörülen bir sonuçtur.

Son birkaç yılda hızla gelişim gösteren dijital teknolojiler -çalışmanın bu bölümüne kadar- tarım sektörü çerçevesinde “dijital teknolojiler” başlığı altında genel bir konseptle ele alınarak incelenmiştir. Bir sonraki bölümde, ilgili sektör kapsamında, bu teknolojilerin neler olduğu ayrıntılı olarak ele alınacaktır. Bu bağlamda söz konusu teknolojilerin ele alınış sıralamasına/önceliğine ise “Tarımın dijitalleşmesi sürecinde kullanılan teknolojiler hangileridir?” sorusu doğrultusunda yaklaşılacaktır. Bu doğrultuda Abbasi vd. (2022)’nin gerçekleştirdiği çalışma sonucu elde edilen veriler, bu soruya ışık tutarken ayrıca ele alınacak dijital teknolojilerin sıralamasında rehber olarak kullanılacaktır.

Tarımda dijital teknolojilerin uygulanması konsepti kapsamında 2011-2021 yılları arasından seçilerek incelenen 148 bilimsel yayının incelenmesi sonucunda ulaşılan dijital teknolojilerin dağılımı Şekil 5.2’de görüldüğü gibidir (Abbasi vd. 2022).



Şekil 5.2 Seçili 148 araştırmada yer verilen teknolojilerin dağılımı (Abbasi vd. 2022)

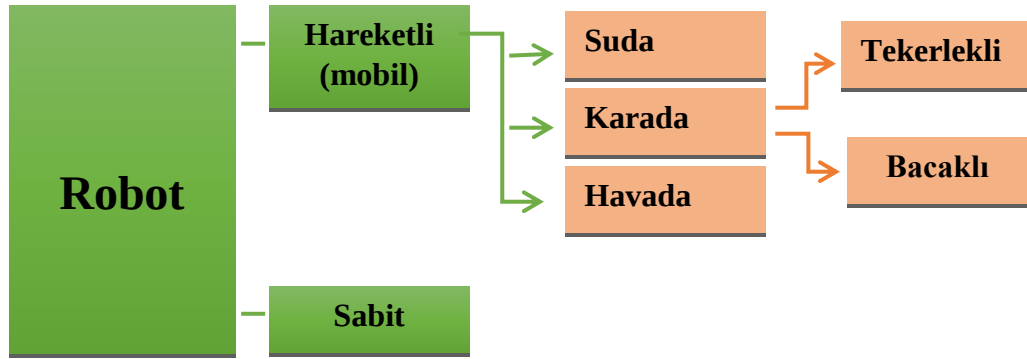
Tarım sektörünün dijitalleşmesinde akıllı tarım konseptini kullanan Abbasi vd. (2022)’ne göre Şekil 5.2’de belirtilen sayılar belirli bir dijital teknoloji kullanan araştırma sayısını, yığılmış sütun grafikteki farklı renkle belirtilenler ise tarımsal işletme çeşitlerini vurgulamaktadır. Bu çizelgeye göre 2011-2021 yılları arasında tarımda uygulanan teknolojilerde ilk üç sırayı otonom robotik sistemler (drone gibi), IoT ve

makine öğrenimi almaktadır. Ayrıca sera ve topraksız tarım sistemlerine (hidroponik, aeroponik, akuaponik) kıyasla tarla uygulamalarının araştırmalarda daha ağırlıkta olduğu görülmektedir.

5.1.1 Otonom robotik sistemler

Tarım sektöründe “otomasyon”u Ceccarelli vd. (2022), tarımsal üretim sistemlerinde doğrudan insan müdahalesini azaltan ya da tamamen ortadan kaldıran ve ayrıca hassasiyeti artıran, tarımsal faaliyetlerde ise fiziksel faaliyetler ile insan karar verme sürecinin yerini makine ve ekipmanların alması olarak tanımlamaktadır. Otonom araçların tarihine bakıldığında ise çalışmaların (temel olarak direksiyon sistemi üzerine) endüstri çapında –tarım sektörü de dâhil- otomatik kontrolün tanıtıldığı 1950’li ve 1960’lı yıllara dayandığı söylenebilmektedir (Wilson 2000). Günümüz tarım sektöründe kullanılan otonom araçlarda, otomotiv endüstrisinde bulunan sensör teknolojileri ile algoritmalar kullanılmaktadır (Christiansen vd. 2016).

Genel olarak robotların sınıflandırılması çok karmaşık olduğundan bazı kriterler sadece kısmen bir sınıflandırmayı tanımlamaktadır (Dobra 2014). Söz gelimi robotların karmaşıklıklarına, insanlara (veya hayvanlara) benzerliklerine, hareket tarzlarına göre sınıflandırmalar çok çeşitli şekillerde oluşturulabilir (Wahde 2012). En genel haliyle robotlar, çalışma ortamlarına göre “sabit ve hareketli robotlar” olarak sınıflandırılabilir (Sachi ve Kumar 2020). Sachi ve Kumar (2020)’a göre öngörülemeyen ve zamanla değişen durumlara göre tasarlanan mobil robotlar için hareket mekanizmalarındaki farklılıklara göre üç ana ortam vardır: su, kara ve hava. Diğer yandan hem suda hem karada hareket eden amfibi robotlar da bulunduğu gibi aynı şekilde karasal mobil robotlarda da tekerlek ya da bacakların yanı sıra palet de olabilmektedir.



Şekil 5.3 Robotların çevreye ve etkileşim mekanizmasına göre sınıflandırılması (Sachi ve Kumar 2020)

Değinildiği üzere genel olarak robotların sınıflandırılması karmaşık iken Jin vd. (2021)'nin de belirttiği üzere günümüz tarım robotlarında da farklı alan tanımları ve sınıflandırma yöntemleri bulunmaktadır. Bu doğrultuda Jin vd. (2021)'ne göre tarımsal robot sisteminin sınıflandırılması Çizelge 5.2'de görülmektedir.

Çizelge 5.2 Tarımsal robot sisteminin sınıflandırılması (Jin vd. 2021)

Tarımsal üretimi türü	Bitkisel üretim, hayvancılık, su ürünleri yetiştiriciliği
Faaliyet alanı	Fenotipleme, izleme, haritalama, çevre temizliği, sağlığın korunması vb.
Akıllı sistem seviyesi	Uzaktan denetim, insan-robot iş birliği, tamamen otonom
Çalışma modu	Seçici, seçici olmayan
Hareket kabiliyeti	Sabit, hareketli (mobil)
Ortam	Hava, yer

Tarımsal robot teknolojisi ekim, hayvancılık, su ürünleri yetiştiriciliğinde geniş çapta uygulanmaktadır (Jin vd. 2021). Yine Jin vd. (2021)'ne göre operasyon uygulama modu ile teknik seviye birleştirildiğinde, tarım robotları seçici ve seçici olmayan robotlar olarak çalışırlar; seçici olmayan robotlar, hedef bireyi ayırt edemedi çalışın sistemler

iken seçici olarak çalışan robotlar ise, bireysel tarımsal hedeflerin makine görüşü ve diğer teknolojilere dayalı olarak tanımlanması, konumlandırılması ve teşhisi yoluyla seçici çalışmayı gerektiren robotik ekipmanlardır. Söz gelimi seçici olmayan robotlara, bitkisel üretimde kullanılan sürücüsüz traktörler ve hayvan beslemede kullanılan insansız makineler; seçici çalışan robotlara ise otonom çalışan hasat makineleri ile püskürtme, yabancı ota mücadelede kullanılan robotlar örnek verilebilir.

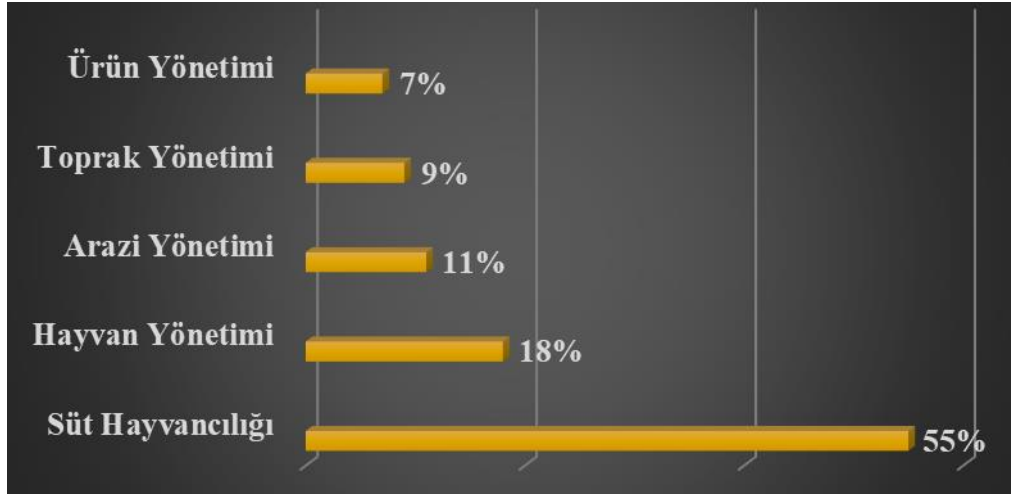
Tarım sektöründe robotik çözümler (yarı veya tam otonom) üretim yönüne ve tarımsal işletme türüne bağlı olarak farklı ölçeklendirmeye hazır olma seviyeleri sergilemekte ve söz konusu bu tür çözümler orta gelirli ülkelerde sınırlı örneklerle, yüksek gelirli ülkelerde ise daha belirgin olmaktadır (Ceccarelli vd. 2022). Ceccarelli vd. (2022)'ne göre yüksek gelirli ülke çiftlikleri için tasarlanan robotlar, düşük-orta gelirli ülkelerdeki koşullara uyum sağlayamamaktadır. Çünkü yüksek gelirli ülkelerde pamuk hasat makineleri tek seferlik hasat için geliştirildiğinden, bir sezonda birden fazla hasadın gerçekleştiği Hindistan ya da Batı Afrika gibi ülkelerde yüksek verimle çalışmamaktadır.

Küresel tarım robotlarına (süt sağım robotları, İHA/Dron, otomatik hasat sistemleri, sürücüsüz traktörler vb.) ait pazar büyüklüğünün 2021'de 4,9 milyar ABD dolarından 2026'da 11,9 milyar ABD dolarına çıkması beklenmektedir (Anonymous 2023). Söz konusu pazar büyüklüğünün 2028 yılında ise 15,67 milyar ABD dolara ulaşması tahmin edilmektedir (Chauvin 2022). Otomasyonu teşvik eden artan nüfus ve yine artan işgücü eksikliği; otomasyonun maliyetini azaltan IoT ve navigasyon teknolojilerinin gelişimi ve COVID-19¹ pandemisi söz konusu pazarın büyümesinde etkili olmuştur (Anonymous 2023).

Tarım-gıda alanında, sektöre bağlı olarak, robotik entegrasyon heterojen bir yapı sergilemektedir (Mege vd. 2019). Diğer bir deyişle her sektörün faaliyet alan ve ihtiyacına yönelik robotik ekipman tercihinde çeşitlilik görülebilmektedir. Söz gelimi

¹ Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, koronavirüs hastalığı (COVID-19), SARS-CoV-2 virüsünün neden olduğu bulaşıcı bir hastalık olarak tanımlanmaktadır.

robotik uygulamalar; tarımda ekim, bitki yetiştiriciliği, hasat vb. iken gıda ve içecek endüstrilerinde başlıca uygulama ise paketlemedir (Mege vd. 2019).



Şekil 5.4 Tarım teknolojisi pazarında robotik ekipman: Uygulamaya göre gelir pazar payı (Mege vd. 2019)

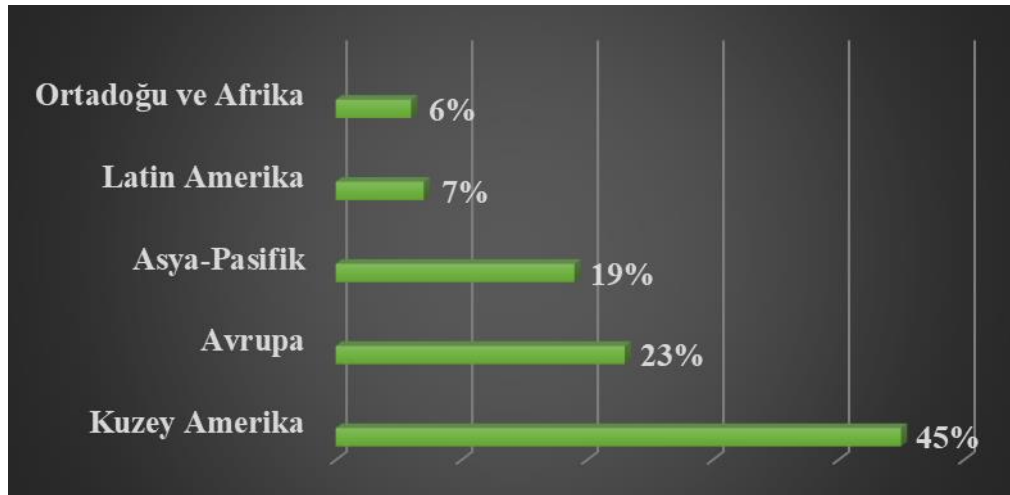
Şekil 5.4’de süt hayvancılığı ile hayvan yönetiminin, robotik ekipman piyasasında küresel pazara hâkim olan uygulamalar olduğu görülmektedir. Tarımda yönelime bakıldığında ise; toprak yönetimi uygulaması kapsamında sürücüsüz traktörler, tarımda kullanılan dronlar ve pivot sulama sistemleri; süt hayvancılığı uygulamaları kapsamında sağım robotları öne çıkmaktadır (Mege vd. 2019).

Tarım-gıda sektöründe farklı faaliyet alanlarına göre tasarlanan ve güçlü ilerleyen gelişim hızıyla günümüz küresel tarım robotu pazar büyüklüğünün, yakın gelecekte de söz konusu büyümeyi artırarak devam ettirmesi tahmin edilmektedir. Tarımsal ürünlerde, sürdürülebilirlik çerçevesinde, yüksek verim ve daha iyi hasat kalitesi için artan talep ve ayrıca buna paralel olarak artan teknolojik ilerlemeler, küresel tarım robotu pazarının büyümesini teşvik eden etkenler arasında yer almaktadır. Tarımda dijital dönüşümle birlikte birçok teknoloji şirketinin yönünü çevirdiği tarım sektörü için yeni bir paydaş rolünün de eklendiği söylenebilir. Büyüklüğü artış gösteren ve ayrıca gelecekte de artmaya devam etmesi beklenen küresel tarım robotu pazarında faaliyet gösteren yeni şirket ve yatırımcıların bu alanda çalışmak için oldukça istekli oldukları

rahatlıkla söylenebilir (Sahoo vd. 2022). Bu kapsamda tarım robotu pazarında yer alan başlıca şirketlere örnek olarak ise aşağıdakiler verilebilir (Chauvin 2022);

- DeLaval (İsveç)
- GEA Group (Almanya)
- Autonomous Tractor Corporation (ABD)
- AGCO (ABD)
- Lely (Hollanda)
- Autonomous Solutions Inc. (ABD)
- Harvest Automation (ABD)
- John Deere (ABD)
- Clearpath Robotics (Kanada)
- Deepfield Robotics (Almanya)

Yukarıda verilen şirket örneklerinden de anlaşılacağı üzere küresel robot pazarının önde gelen şirketlerini Kuzey Amerika ve Avrupa ülkeleri oluşturmaktadır. Şekil 5.5'te ise söz konusu alanda, ilgili bölgelere ait pazar payı, oranlarıyla ortaya koyulmaktadır.



Şekil 5.5 Tarım teknolojisi pazarında robotik ekipman: Bölgelere göre gelir pazar payı (Mege vd. 2019)

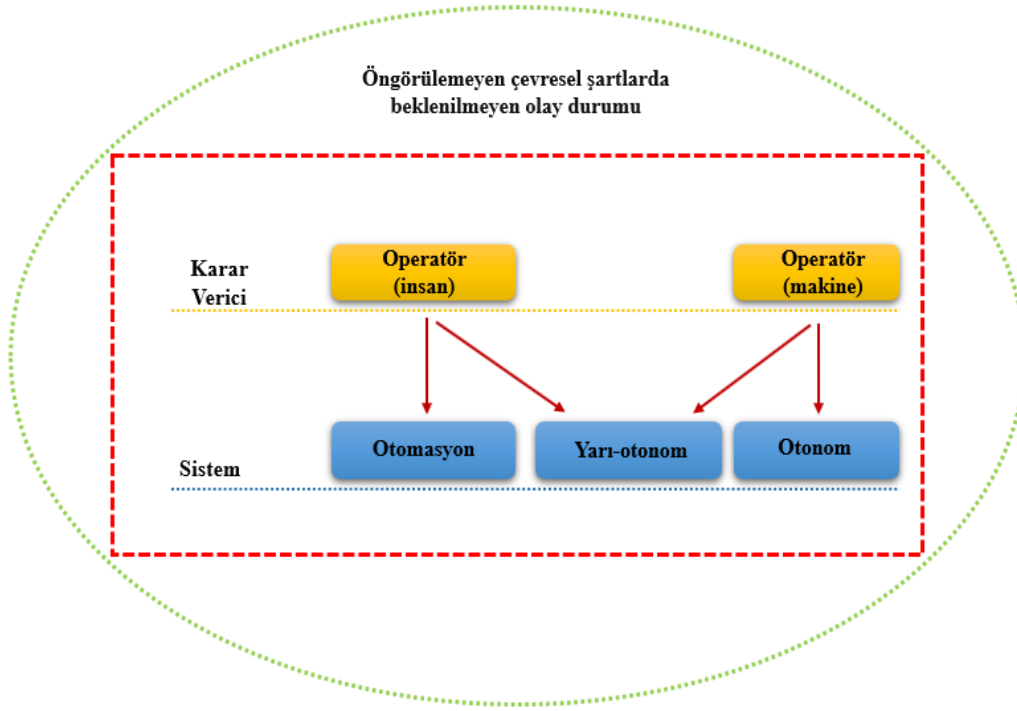
Şekil 5.5'te görüldüğü üzere küresel tarım robotu pazarında mevcut hakimiyet Kuzey Amerika bölgesine aittir. Bu pazar hakimiyetini sağlayan nedenlerin; yüksek işgücü maliyeti, hız kazanan teknolojik ilerlemeler, tarımda ileri teknolojilerin erken benimsenmesi ve bu bölgedeki önemli oyuncuların varlığı olduğu söylenebilir (Mege vd. 2019). Bir diğer dikkat çekici bölge ise Avrupa'yı takip eden Asya-Pasifik bölgesidir. Bu bölgenin küresel tarım robotu pazarında dikkat çeken pazar payı, artan hükümet desteği ile artan teknolojik ilerlemeler gibi etkenlere dayanmaktadır (Mege vd. 2019).

Tarımsal robotik sistemler, günümüz geleneksel tarım sistemi içerisinde mevcut sorun ve ihtiyaçların giderilmesinde kullanılan çözüm üretici ekipmanlar olarak yer almaktadır. Dijital dönüşüm doğrultusunda modernleşen çiftliklerde, üretimde artan verimlilik, daha az iş gücü, daha az kimyasal kullanımı, daha az çevresel etki vb. beklentilerin sürdürülebilirlik çerçevesinde gerçekleştirilmesi hedeflenen amaçlardır. Dijital tarım konsepti çerçevesinde modernleşmesi beklenen geleneksel tarım sistemlerine entegre olacak robotların, benimsenerek, yakın bir gelecekte sistemin ayrılmaz bir parçası olacağı ise beklenen bir sonuçtur. Bununla birlikte bu parçanın daha da büyüyerek sistemin bütününe dönüşmesi olasılığı da dijital dönüşümün beraberinde getirdiği sorulardan biri olmaktadır. Diğer bir deyişle gelecek yıllarda tam otonom tarımsal işletmelerin varlığından söz etmek mümkün olacak mı? Söz gelimi tarımda halihazırda kullanılan sürücüsüz traktörler, benimsenme ve gelişim sürecinde oldukça ileri seviyede olan robotik sistemlerdir. Bu doğrultuda geleneksel tarım sistemlerindeki robotik entegrasyonun ne oranda gerçekleşeceği sorusuna karşılık cevap/cevaplar henüz belirsizdir. Ayrıca tarımsal dijital dönüşüm dünyanın bazı bölgelerinde hızla yayılırken diğer ülkelerin bu yeni teknolojilerden yararlanma imkanının ne oranda gerçekleşeceği de akıllara gelen bir diğer argümandır. Tüm bu sorular bir yana tarımda robotik sektörün, muazzam iş ve istihdam potansiyeline sahip, gelişmekte olan bir pazar olarak, genç neslin tarıma çekilmesinde ve tarımsal üretimi artırmada kesinlikle yardımcı olacağı bu kapsamda hedeflenen beklentilerdir (Sahoo vd. 2022).

Tarım sektöründe büyüyen kullanım oranlarıyla otonom robotik sistemler tohum ekimi, sulama, gübreleme, ilaçlama, bitki izleme-fenotipleme, çevresel izleme, hastalık tespiti, yabancı ot-zararlı kontrolü ve hasat gibi uygulamaları otomatikleştirme yetenekleriyle son yıllarda önemli ölçüde gelişim göstermektedir (Abbasi vd. 2022). Abbasi vd. (2022)'ne göre tarım sektöründeki hareketli otonom robotik sistemler, insansız kara araçları (İKA'lar) ve insansız hava araçları (İHA'lar) olarak sınıflandırılabilir.

İnsansız kara araçları (İKA'lar): İnsansız araçların, hava, kara ya da deniz gibi sınıflandırılması fark etmeksizin, günümüzde en önemli özellikleri otonom olmalarıdır (Zhou 2020). Kelime kökeni olarak “αυτο” (öz, kendi kendine) ve “νομος” (kural, yasa) sözcüklerini içeren otonom; insansız araçlar bağlamında kullanıldığında ise insan müdahalesi gerekmeksizin, belirlenen kurallar çerçevesinde tasarlanan görev/görevleri kendi kendine uygulayabilme yeteneği olarak açıklanabilmektedir (Zhou 2020).

Norris ve Patterson (2019)'na göre otomatik sistem, otonom sistem ve yarı otonom sistem kavramları literatürde bir noktada iç içe geçmektedir. Bu sistemler arasındaki farklılığı ortaya koyan faktör, söz konusu sistemlerin beklenmedik olaylara verdikleri tepki eyleminde, sisteme doğrudan dahil olan insan kontrolünün katılım seviyesidir. Bu doğrultuda otomasyon, bir görevi tamamlamada insan karar ve mantığını basitçe (hızlı ve verimli bir şekilde) yerine getiren bir sistem ya da daha ayrıntılı bir ifadeyle operasyon sırasında hiçbir kararın alınmadığı ve tüm operasyonların, bilinen (veya varsayılan) bir referans çerçevesinde önceden belirlenmiş bir dizi görevin gerçekleştirilmesi iken; otonom, kararların sistem içinde verildiği ve insan kararını içermeyen bir sistemdir (Norris ve Patterson 2019). Bu doğrultuda tam otonom bir sistem ise, bir insan tarafından daha önceden programlanmamış, bilinmeyen ve beklenmedik olaylara karşı yapay zekâ aracılığıyla kendi kendine yanıt verebilen sistemdir (Norris ve Patterson 2019). Söz konusu sistemlerin, karar verici-sistem ilişkisi Şekil 5.6 ile daha basit bir şekilde ifade edilmektedir.



Şekil 5.6 Dinamik bir ortamda karar verici ile sistem ilişkisine göre otomasyon, otonom ve yarı otonom tanımı (Norris ve Patterson 2019)

Norris ve Patterson (2019)'na göre yarı otonom ise, dışardan gelen beklenmedik olaylara karşı, çalışma esnasında makine kararı ile insanın (bir miktar doğrudan kontrol sağlayarak) sürecin bir kısmına dâhil olduğu bir sistem olarak tanımlanabilir. Bu nedenle, yarı otonom sistemler otomasyondan daha bağımsız ve çevik; tam otonoma göre ise daha az kendine yeterlilik becerisine sahip olan sistemlerdir.

Sylvester (2018)'ın belirttiği üzere FAO ve Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU- International Telecommunication Union) otonom insansız sistemlerin kullanımını şu şekilde tanımlamaktadır: Eyleme geçirilebilir gerçek zamanlı kaliteli verilere erişim ve tarımsal ürünlerin izlenmesi açısından tarımsal üretimde en acil zorlukların bazılarını destekleme ve irdelemede oldukça önemli bir teknolojidir (Mammarella 2022).

Geleneksel tarımı büyük oranda etkileyerek tarımın modernleşmesinde önemli rol alan yeniliklerin başında gelen traktör, tarımsal işletmelerde işlerin çoğunun yürütülmesinde merkezi bir araç kullanılmıştır. Uygun ekipmanlarla donatıldığı takdirde, toprak işleme,

ekme, gübreleme, ilaçlama, taşıma, biçme ve hatta hasat işlemlerini yapabilen traktörler (Santos vd. 2020), günümüzde üretilen konvansiyonel traktörlerin ABD’de ortaya çıktığı 1910-1940 yıllardan bu yana, tarımsal üretim sisteminin vazgeçilmez bir parçası olmuştur (Lankenau ve Winter 2019). Bu nedenle farklı görevlere uyarlanabilme yetenekleri, traktörleri otomasyon için birincil hedef haline getirmiştir (Santos vd. 2020). Özellikle GNSS’nin (sivil) toplumun kullanıma açıldığı 1995 yılından bu yana çeşitli traktörlerde otomasyon çalışmalarına yönelik uluslararası düzeyde çok sayıda yaklaşım araştırılmış ve geliştirilmiştir. Dolayısıyla geleneksel tarımın vazgeçilmez aracı olan traktörler, tarımda dijital dönüşümün gerçekleştiği dördüncü devrim içerisinde bir üst seviyeye geliştirilerek günümüzde insansız kara araçları (İKA) olarak uyarlanmaya çalışılmıştır. Şekil 5.17’de söz konusu traktör otomasyonuna yönelik bir örneğe yer verilmiştir.



Şekil 5.7 Bir traktörü İKA'ya dönüştürmede sensör ve çalıştırma sistemlerinin dağılımı (Santos vd. 2020)

*Elektronik kontrol ünitesi

**Bir sistemi kontrol eden ve onu hareket ettiren elemanlara verilen genel bir isimdir.

GPS sistemi rehberliğinde daha önceden belirlenen rotada traktörün hareket edebilmesine olanak sağlayan otomatik dümenleme sistemleri böylelikle traktörlerin otomasyonunda yer almaya başlamıştır. 1995'i takip eden yıllarda söz konusu otomasyonun da teşvikiyle öncelikle ABD'de, daha sonra 2000'li yıllarda da Avrupa'da tarımsal amaçlı İKA'lar geliştirilmeye başlanmıştır (Santos vd. 2020). Tarım sektöründe ilk girişimler Çizelge 5.3'de de görüldüğü üzere, traktöre dört GPS antenli bir konum sistemi entegre ederek otomatik bir kontrol sisteminin kullanılmasına imkân sağlayan ve bu sistemi 1996 yılında geliştiren Stanford Üniversitesi olmuştur (Santos vd. 2020).

Çizelge 5.3 Tarımsal görevleri yerine getirmede ticari araçlara bağlı olarak geliştirilen İKA'lar (Santos vd. 2020)

Enstitü	Yıl	Açıklama
Stanford Üniversitesi (ABD)	1996	4 GPS anteni kullanan büyük ölçekli tarımsal işletmelere yönelik otomatik traktör
Illinois Üniversitesi (ABD)	1998	Yapay görmeye ¹ dayalı bir sensör, Gerçek Zamanlı Kinematik ² GPS ve Geometrik Yön Sensörü ³ kullanan bir yönlendirme sistemi
Carnegie Mellon Üniversitesi (ABD) - Demeter projesi	1999	Tarımsal faaliyetler kullanılmak üzere tasarlanan kendinden itişli saman makinesi
Carnegie Mellon Üniversitesi (ABD) – Otonom pestisit püskürtme projesi	2002	Pestisit püskürtmeye yönelik kara aracı
LASMEA-CEMAGREF (Fransa)	2001	Bu çalışmada, tek sensör olarak bir taşıyıcı faz diferansiyel GPS (CP-DGPS) ⁴ kullanılarak araç yönlendirme sağlama olasılığı araştırılmıştır.
Florida Üniversitesi (ABD)	2006	Yapay görme ve LİDAR'a ⁵ dayalı narenciye bahçeleri için otonom bir yönlendirme sistemi
Aarhus Üniversitesi ve Kopenhag Üniversitesi (Danimarka)	2008	İnsansız bir traktöre bağlı otomatik sıra içi yabancı ot kontrol sistemi
RHEA ⁶ konsorsiyumu (AB)	2014	Ağaçlara yönelik fiziksel/kimyasal yabancı ot kontrolü ve pestisit uygulamalarında iş birliği sağlayan traktör filosu (3 birim)
Carnegie Mellon Üniversitesi (ABD)	2015	Meyve bahçesi çalışmalarına yönelik sürücüsüz araçlar
Leuven Üniversitesi (Belçika)	2015	Rotadan sapma/Yalpalama dinamiklerine yönelik model tahmin kontrolü kullanan traktör rehberliği

¹ Machine vision olarak da bilinen, tarımda bitki, meyve, olgunluk, hastalık, böcek tespiti, verim tahmini, görüş tabanlı otonom robotlarda navigasyon vb. amaçlarla kullanılan entegre dijital teknoloji uygulamasıdır.

² Real Time Kinematics (RTK) olarak bilinen, düzeltme verilerini kablosuz olarak hareketli bir alıcıya gönderen sabit bir baz istasyonu kullanarak GNSS konumlarının doğruluğunu artırmak için kullanılan bir tekniktir.

³ Geometric Direction Sensor (GDS) olarak bilinen, aracın yön açısını tespit etmek için kullanılan bir sensördür.

⁴ Carrier Phase Differential (CPD) GPS tarımda, rastgele şekillendirilmiş bir yol/arazi boyunca traktör için yüksek doğruluk, yuvarlanma, eğim ve yalpalama olmaması ya da konumda kayma olmamasını sağlayarak yörüngesini kontrol eden bir otomatik yönlendirme sistemidir.

⁵ Işık Algılama ve Menzillendirme (Light Detection and Ranging) LiDAR, darbeli lazer biçiminde ışığı kullanarak dünyanın değişken mesafelerini ölçen bir uzaktan algılama yöntemidir.

⁶ Yüksek Verimli Tarım ve Orman Yönetimine yönelik Robot Filoları (Robot Fleets for Highly Efficient Agriculture and Forestry Management) olarak bilinen RHEA, enerji ve zaman, ürün kalitesi ve güvenliğini en üst düzeye çıkarırken kimyasal ürün kullanımını en aza indirerek tarım ve ormancılık faaliyetlerinde yabancı ot ve zararlı yönetimi için küçük, güvenli, yeniden yapılandırılabilir, heterojen ve tamamlayıcı robotlardan oluşan bir filoyu bir araya getirerek tarım ve ormancılıkta geleneksel ilerleme biçimini değiştirmek amacıyla , 2010-2014 yılları arasında gerçekleştirilmiş bir AB projesidir.

Konulandırma ve yönlendirme, navigasyon, planlama ve algılama için ileri teknolojilerle donatılan mobil kara robotları, tarım da dâhil olmak üzere maden ve orman endüstrilerindeki hâlihazırda kullanımlarıyla avantajlarını göstermiş teknolojilerdir (Santos vd. 2020). İKA'lar, Tarım 4.0 çerçevesinde tanımladığında ise,

en basit haliyle insan operatörü olmadan karada çalışan tarımsal robotlar olarak ifade edilmektedir (Abbasi vd. 2022).

Santos vd. (2020) göre İKA'ların genel olarak ana bileşenleri; hareket ettirici aparat ve manipülatör için bir platform, navigasyon için sensörler, denetleyici bir kontrol sistemi, kontrol sistemi için bir arayüz, cihazlar arasında bilgi alışverişi için iletişim bağlantıları ve donanım ile yazılım araçları arasındaki entegrasyon için de bir sistem mimarisidir (Abbasi vd. 2022).

İKA'lar kontrol sistemi açısından uzaktan çalıştırılabilir (arayüz aracılığıyla operatör kontrolüne dayalı) ya da tamamen otonom (sadece yapay zeka teknolojilerine dayalı) olarak; hareket sistemleri açısından ise tekerlek, palet ve bacak yapılarına dayalı olarak sınıflandırılmaktadır (Abbasi vd. 2022). Şekil 5.8'de farklı tarımsal faaliyetlerde kullanılan bacaklı (a); tekerlekli (b,c) ve paletli (d) hareket sistemlerine sahip otonom robot örneklerine yer verilmiştir. Santos vd. (2020)'nin de araştırmasında belirttiği üzere “bacak” sistemine sahip robotlar her ne kadar engebeli arazide avantaja sahip olsa da tekerlekli sistemler düz arazide daha yüksek hız avantajına sahiptir. Bu nedenle Santos vd. (2020) göre her iki hareket sisteminin birbirini tamamlayarak oluşturdukları tekerlekli-bacak sistemlerini daha avantajlı hale getirmektedir. Tarım teknolojilerinin henüz olgunlaşma sürecinde olduğu göz önünde bulundurulduğunda tarım robotu kategorilerinin sürekli genişlemekte olduğu rahatlıkla söylenebilir. Dolayısıyla bu kapsamda uygulama alanlarının çeşitliliği doğrultusunda tarım robotlarını tarla robotları, meyve ve sebze robotları ve hayvancılık robotları olarak ayırmak da mümkündür (Cheng vd. 2023).



Şekil 5.8 Farklı tarımsal faaliyetlerde kullanılan otonom robotlar; a) Prospero (ABD); b) Sweeper (AB); c) Bakus (Fransa); d) RoamIO-HCT (Kanada)

Şekil 5.8’de farklı hareket sistemleri üzerinde geliştirilmiş otonom İKA örneklerine yer verilmiştir. David Dorhout tarafından geliştirilen Prospero (a) basketbol topundan biraz daha büyük bir ebata sahip mikro-tohum ekici otonom bir robottur. Toprak üzerinde rahat hareketini sağlayan alüminyum bacakları sayesinde toprağa tohum ektikten sonra o noktayı spreyle işaretleyip tekrar aynı görevi yerine getirmektedir (Anonymous 2023a).

AB tarafından finanse edilen bir araştırma projesi (2015-2018) olan Sweeper (b), seralarda tatlı biber hasadı gerçekleştiren otonom bir robottur (Arad vd. 2020). Sweeper’ın genel çalışma prensibi, ürün tespiti ve lokalizasyonu, kavrama pozisyon tahmini ve hareket kontrolü için algoritma ayrıntıları şeklinde açıklanabilir (Arad vd. 2020). Şekil 5.8’de görüldüğü üzere Sweeper her ne kadar tekerlek hareket sistemine sahip olsa da toprak zemin yerine, beton zemine sahip seralarda (diğer bir deyişle iç

mekanda) hareket edebilen bir robottur. Sweeper, ticari bir serada bu tür bir performans sergileyen ilk tatlı biber hasat robotudur (Arad vd. 2020).

Bakus (c) ise 2016 yılında kurulan Fransız Vitibot firmasının üzüm bağları için geliştirdiği elektrikle çalışan otonom bir robottur (Anonymous 2020a). Bakus, %45 arazi eğimine sahip üzüm bağlarında hareket ederek hem gece hem gündüz görüş sağlayabilen 3-boyutlu kamerası sayesinde ve ayrıca çeşitli ekipmanların takılmasını da sağlayan yapısıyla toprağı gevşetme, yaprak ve yabancı otları kesme ve pestisit püskürtme gibi farklı görevleri yerine getirebilen dört tekerlekli otonom bir robottur (Anonymous 2020a).

Son olarak RoamIO-HCT (d), yine 2016 yılında kurulan Kanadalı Korechi firmasının geliştirdiği paletli otonom bir robottur. Bu robot, tarla sürme, tohum ekme, yabancı ot temizleme, taşıma, biçme, toprak örneğı alma ve veri kaydı gibi tekrarlayan görevleri gerçekleştirmede gereken işgücünü azaltarak üreticilerin zorlu ortamlarda harcadıkları zamanı azaltmayı amaçlamaktadır (Anonymous 2023b).

Tam otonom mobil robotlar herhangi bir operatöre ihtiyaç duymayan, kendi kararlarını verebilen, belirsiz arazi ve sürekli değişen ortamlarda hareket ederek görevini yerine getirebilen teknolojilerdir (Sachi ve Kumar 2020).



Şekil 5.9 Yabancı otla mücadelede kullanılan otonom bir mobil robot (Gaines 2018)

Şekil 5.9’da ecoRobotix¹ firmasına ait tekerlekli otonom bir mobil robot örneği görülmektedir. Yerleşik bir kamera, GPS rehberliği, bir dizi sensör ve güneş enerjisi aracılığıyla çalışan söz konusu otonom robot, ekin sıralarını takip ederek sıralar içinde ve arasında yabancı ot varlığını tespit etmek için tasarlanmıştır. Buna göre robot, iki robotik kolla her bir otu bir mikro doz herbisit ile hedef almaktadır (Gaines 2018).

Tarımsal altyapının ülkeden ülkeye farklılık gösterdiği göz önünde bulundurulduğunda, İKA’lar tarımsal işgücü eksikliğinin giderilmesinde (Bonadies ve Gadsden 2019) ya da tarımda işgücü ihtiyacının azaltılarak verimliliği artırmada (Bonadies vd. 2016) gittikçe popülerlik kazanan bir teknoloji olarak ifade edilmektedir. Bununla birlikte (genel olarak İHA’larda da görüldüğü üzere) İKA’ların diğer önemli amaçları arasında; mahsulün üretim döngüsünde gıda güvenliğini iyileştirmek/sağlamak (Bonadies ve Gadsden 2019) ve geleneksel traktör ve aletlerin kullanımıyla ulaşılamayan çok eğimli üzüm bağları veya benzer tarlalar gibi (Mammarella 2022) zor arazi şartlarında kullanım kolaylığı sağlamak olarak belirtilebilir. Ayrıca Bitki fenotiplemede

¹2011 yılında kurulan özellikle tarlalarda yabancı ot mücadelesine yönelik tam otonom robot geliştiren ve tarım sektörüne yönelik hassas, güvenli, güvenilir ve uygun fiyatlı robotik çözümler sunmayı hedefleyen İsviçreli bir start-up firmasıdır.

robotlarıyla manuel ölçümü zahmetli, zaman alıcı, hataya açık ve maliyetli olan bitki fenotipleme alternatif olarak daha büyük kolaylık ve avantaj sağlayan bitki fenotipleme robotları (Atefi vd. 2021) bunlara ek olarak İKA'lar; toprak örnekleme, hassas ilaçlama, yabancı ot mücadelesi ve mahsul hasadının yanı sıra çim biçme, arazi etüdü vb. gibi daha geniş tarımsal uygulamalar için kullanılabilir (Bonadies vd. 2016).

Tarımsal robotlar ebat, ağırlık, hız, taşıma kapasitesi gibi başlıca niteliklerin yanı sıra, Çizelge 5.4'te de yer verildiği üzere, akıllı çiftlik bağlamında bu konseptin gereksinimlerini karşılamak için bazı ek özelliklere ihtiyaç duymaktadır (Santos vd. 2020).

Çizelge 5.4 Akıllı çiftlik için İKA'larda gereksinim duyulan diğer özellikler (Santos vd. 2020)

Özellik	Açıklama
Küçük ebatlı robotlar	- Geleneksel tarım araçlarının büyüklüğüne kıyasla küçük ebatlı robotların aynı işi başarabilmesi, - Küçük ebatlı robot kullanımında bir dizi robotun görevi başarısızlığa düşse bile multi-robot sisteminin göreve devam ettirebilmesi (görevi yeniden planlama) - Küçük ebatlı robotların düşük ağırlık avantajları ile toprağı daha az sıkıştırması
Esneklik	- Tarımsal robotların birçok farklı görev (ekim, ilaçlama vb.) ve farklı ortama (farklı ekin, farklı ekin sıra tipleri vb.) uyum sağlayabilmeleri, - Tekerlekler arası sabit mesafeye sahip geleneksel traktörlere kıyasla tekerlekler arası mesafeyi kontrol edebilen mobil robotların farklı koşullar altında farklı mahsullere uyum sağlayabilmesi
Manevra	Bacaklı robotlar tekerlekle birleştğinde daha avantajlı özelliklere sahip tekerlek-bacaklı robotlar ortaya çıkmaktadır. Böylece tekerlekler hızlı ilerleme ve yönlendirme sağlarken, bacaklar ise iz genişliği kontrolü ve arazi adaptasyonu sağlayarak robotun gövde eğimini ve yerden yüksekliğini kontrol ederler. Dolayısıyla robotların, farklı arazilere uyum sağlayarak ve sürülmemiş araziye de minimize ederek küçük yarıçaplı dönüşler gerçekleştirebilmesi
Direnç	Robotların arızalardan ve hatalardan kurtulabilme yeteneği, karlılığı sağlamada dayanıklı olması ve ayrıca manuel-otonom çalışma modu arasında geçiş kolaylığı sağlaması

Çizelge 5.4 Akıllı çiftlik için İKA’larda gereksinim duyulan diğer özellikler (Santos vd. 2020) (devam)

Özellik	Açıklama
Yeterlilik	▪ Robotların enerji tüketimi, herbisit ve gübre kullanımı, operatör riski, ekin hasarı ile toprak sıkışmasını minimize ederek geleneksel çözümlerden daha verimli olmalı
İletişim	▪ Akıllı çiftliklerde iletişim, büyük veri tekniklerinden yararlanmada yeterli veriyi toplama ve bulut sağlayıcılarınca sunulan farklı hizmetler aracılığıyla bulutla iletişim sağlamada SFS ve IoT’den faydalanmalı
Mekanik elektrik/elektronik arayüzlerin standardizasyonu	ve ▪ İlgili ticari ekipmanlar, endüstri sektöründe benimsenmeden önce iyi tanımlanmış standart ve prosedürlere uyum sağlamalı
Güvenlik	▪ Tarımsal robotlarda güvenlik üç aşamada ele alınmalı: insan, mahsul ve robotlara düzeyinde diğer bir deyişle insan ve robotlar için oluşabilecek tehlike durumlarının tahmininde, mahsul içinse ekin sıralarını doğru bir şekilde takip edebilmede. Bu doğrultuda hangi yaklaşım olursa olsun söz konusu sistemlerin yönetmelikleri karşılamada ve bu alanda sertifika alabilmesinde ilgili standartlar dikkate alınmalı
Çevre dostu etkisi	▪ Tarımsal robotların üretimde verimliliği artırmak, herbisit ve gübre kullanımını minimize etmek vb. amaçlar ulaşmada fosil yakıt tüketen teknolojiler yerine elektrikli araç kullanımının tercih edilmesi
Donanım	▪ Robotik sistemlerin tarım sektöründe kademeli ve daha kolay uyum sağlamasında, geleneksel ve yeni teknolojiler arası bağlantıya izin veren çözümler sunulmalı
HMI*	▪ Tarımsal faaliyetler yerine getirilirken operatörlerin robotlarla iletişim kurması kapsamında HMI* taşınabilir cihazlara (akıllı telefonlar, tablet vb.) uygulanabilir olmalı
Otonomi	▪ Akıllı çiftlik konseptine yönelik gerekli iki otonomi, davranışsal otonomi ve operasyonel otonomi: otonom robotlarla ilişkilendirilen davranışsal otonomi söz konusu teknolojinin yapay zekâ yeteneklerine (görevi yerine getirirken oluşan belirsizliklerle çözüm bulma kabiliyeti) dayanırken; operasyonel otonomi ise yine otonom robotların insan müdahalesi olmadan tarımsal operasyonlarda (yakıt ikmali, pestisit/herbisit doldurma, şarj vb.) devamlılığı kaybetmemeleri diğer bir deyişle akıllı çiftliklerde insan müdahalesi gerektiren mevcut operasyonların tam otomatik hale getirilmeli

*İnsan-makine arayüzü (Human machine interface) olarak bilinen teknoloji, bir kişiyi bir makineye, sisteme veya cihaza bağlayan bir kullanıcı arayüzü veya kontrol panelidir.

Dijital dönüşüm, yalnızca tarımsal üretim sistemi temelinde tekniksel değil ayrıca yasal düzenlemeler gereksinimi temelinde de değişim gerektiren bir süreçtir. Bu nedenle mevcut tarımsal dijital devrimle ortaya çıkan bir diğer önemli gereksinim de tarımsal robotların mevzuat ve standartlar temelinde yapılandırılması olmaktadır. Çünkü tarımsal robot sistemlerinin mevcut geleneksel sisteme entegre olması ya da uzun vadede geleneksel sistemin yeniden yapılandırılması, ilgili ticaret politikalarının uluslararası platformda olgunlaştırılması ve söz konusu bu sistemlerin üreticilerce benimsenmesi gibi süreçlerin gelişim ve teşvikinde yasal düzenlemeler oldukça önemli rol oynamaktadır. Söz gelimi her ne kadar birçok araştırma İKA’larda gereksinim duyulan muhtemel özellikleri ortaya koymuşsa da tarım sektörü kapsamında üretilen robotların ticarileşme sürecine yönelik dünya genelinde kabul görmüş, kapsayıcı bir standardizasyon henüz bulunmamaktadır. Diğer yandan dünya çapında kabul gören "ISO18497:2018—Tarım makineleri ve Traktörler—Yüksek Düzeyde Otomatikleştirilmiş Tarım Makinelerinin Güvenliği—Tasarım İlkeleri" adıyla, ekipman kullanımından ziyade tasarıma odaklanan bir standart bulunmaktadır (DeBoer vd. 2022). Söz konusu standart (ISO18497) çerçevesinde ele alınan konular ise engel algılama, bir insan veya hayvan algılandığında sesli veya görsel alarm ve maksimum çalışma hızıdır (DeBoer vd. 2022). Dolayısıyla ele alınan konulardan da anlaşılacağı üzere mevzuatın işçi sağlığı ve güvenliğine odaklandığı görülmektedir. Otonom mahsul ekipmanı ya da mahsul robotları ile ilgili olarak özel sigorta, yükümlülük, fikri mülkiyet veya veri koruma kurallarını içeren bir düzenlemeye sahip bir ülke ise henüz bulunmamaktadır (DeBoer vd. 2022).

Tarım robotları, teknoloji alanında kaydedilen son gelişmeler sayesinde farklı senaryolara uygulanabilen ve kategorileri sürekli genişleyen sistemler olarak, kısa bir zaman dilimi içerisinde hem pazar büyüklüğü hem teknolojik gelişim ayağında önemli bir sıçrayış yaşamıştır. Söz konusu bu ilerleme GPS, sensör gibi teknolojilerin kullanılmaya başlandığı hassas tarım uygulamalarından, yabancı ot ayıklama, hasat etme gibi fonksiyonlara sahip otonom mobil robotların geliştirildiği ve böylelikle dijital teknoloji ve verinin sektöre entegre olduğu günümüzde daha iyi anlaşılmaktadır. Buraya kadar teknolojik gelişimde pozitif yönlerine değinilen tarımsal robotik sistemlerinde, Cheng vd. (2023) enerji tüketimi, GNSS doğruluk duyarlılığı, robot üretim maliyeti ve

robotik sistemlerin bakımı gibi çok az araştırılmış veya ortaya çıkma aşamasında yeni olan diğer konulara da işaret etmektedir. Söz konusu bu konular, otonom robotik sistemlerin mevcut ve potansiyel sorunlarını ortaya koymaktadır. Bir diğer dikkat çekilen konu ise çoklu robot sistemleridir. Shamshiri vd. (2018)'ne göre söz konusu sistem, otonom sistemlerin tarımsal işletmelerdeki görevleri başarılı bir şekilde yürütebilmesinde araştırılması gereken başlıklardan biri olmaktadır. Söz gelimi (yine bu bölümde) yer verilen Prospero (a), sürü davranışı konseptiyle diğer özdeş robotlarla çalışmak üzere tasarlanmış otonom bir robottur. Sürü robotlar, işgücü, enerji ve zamandan tasarruf sağlaması beklenen, yüksek maliyetli ve büyük ebatlı tarımsal makinelere karşılık, çok sayıda benzer robotun sürü davranışı sergilediği bir sistem olarak tanımlanabilir. Ya da daha tekniksel olarak, yerel algılama, iletişim ve merkezi olmayan bir kontrol sistemiyle¹ koordine edilen otonom sürü robot sistemidir. Sürü robot sistemleri konusunda hâlihazırda mevcut çalışmalar da bulunmaktadır. Bu kapsamda Ulm Uygulamalı Bilimler Üniversitesi (Almanya) ile AB araştırma fonu iş birliği projesi olan MARS (Mobile Agricultural Robot Swarms) diğer bir deyişle Mobil Tarımsal Robot Sürüleri söz konusu sürü robot sistemlerine örnek olarak verilebilir (Anonymous 2023c). Bu robot projesini, ABDli Agco firmasına bağlı bir kuruluş olan Alman Fendt şirketi daha sonra “XAVER” adı altında, Şekil 5.10'da görüldüğü üzere, seri üretime hazır olarak geliştirmeye başlamıştır (Anonymous 2023c).

¹ Merkezi olmayan kontrol, mantık fonksiyonları ile giriş/çıkış fonksiyonlarının ayrı ekipman parçalarında veya alt sistemlerde bulunduğu ve temelde birbirinden bağımsız olarak işlev gördüğü bir kontrol sistemidir.



Şekil 5.10 Tohum ekimi yapan XAVER adlı otonom sürü robotlar (Anonymous 2023c).

Şekil 5.10’da görüldüğü üzere xaver adlı sürü robotların araziye nakliyesini (b) tohum tedariki, pil şarjı ve hassas navigasyon görevlerini üstlenen bir lojistik bir araç sağlamaktadır. Üretici, bulunduğu herhangi bir yerden görev planlama, canlı izleme ve tohum verilerinin yönetimini bir tablet (a) aracılığıyla gerçekleştirmektedir. Elektrikle çalışan ve tüm verilerin işlendiği kendi bulut sistemine bağlı olan her bir robotun kendi entegre ekim ünitesi bulunmaktadır. Sonuç olarak söz konusu sürü robotlarla daha az enerji, daha az girdi (pestisit, gübre, tohum), toprak yapısında daha az zarar, daha az CO₂ salınımı, daha az ses kirliliği, daha az iş gücü vb. hedeflenmektedir (Anonymous 2023c).

Sürü robotlar ayrıca büyük ölçekli tarımsal görevleri yerine getirmede, yüksek popülasyonu sayesinde görevleri paralel bir şekilde bölerek daha verimli tamamlayabilmektedir (Atefi vd. 2021). Böylelikle zamandan da önemli ölçüde tasarruf sağlanmaktadır.

Sürü robotlar, Şekil 5.10 örneğinde olduğu üzere, benzerleriyle bir filo diğer bir ifadeyle homojen bir çoklu robot yapısı oluşturabilir ya da bunun aksi, Şekil 5.11’de yer alan hava-kara robot takım örneğinde olduğu gibi, heterojen bir multi robot sistemi de

mümkün olabilmektedir. Söz gelimi Şekil 5.11’de yer alan heterojen robot sistemi ile sera ortamında İHA ile daha yüksek irtifadaki nem, sıcaklık, parlaklık, CO₂ yoğunluğu ölçülürken; İKA ile de yer sıcaklığı ve nem parametrelerinde ölçme çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Roldán vd. 2016).



Şekil 5.11 İHA ve İKA’dan oluşan heterojen bir multi-robot sistemi (Roldán vd. 2016)

Günümüz tarımsal robot pazarında halihazırda hem uygulamada olan robotlar hem prototip aşamada olan mevcut birçok otonom sistem bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak yabancı ot kontrolü ve hedeflenmiş püskürtme robotları, tarla keşif ve veri toplama robotları, hasat robotları verilebilir. Bazı robotlar hâlihazırda şirketlerin piyasaya sunduğu geliştirilmiş teknolojileriyle ticari olarak uygulanabilir halde iken, bazı robotlar ise, faaliyetleri çerçevesinde, daha iyi performans sergileyebilmeleri için teknik açıdan geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Diğer yandan otonom robotik sistem alanındaki gelişim hızı göz önünde bulundurulduğunda tarım sektörünün yeni aktörlerinin (statrt-up, teknoloji şirketleri vb.) de itici gücüyle gelecek 10-15 yıl içerisinde daha büyük bir sıçrayış ve aynı zamanda hata oranı çok daha düşük seviyelere ulaşmış robot sistemlerinin varlığı öngörülebilir.

İnsansız hava araçları (İHA'lar) : Weis (2007) geçmişten günümüze küresel gıda ekonomisinin doğasını anlamada tarımsal değişim hızını “modern küresel gıda ekonomisinin kökenleri, bir zamanlar bin yıllık dönemler, ardından yüzyıllık ve şimdilerde ise sadece on yıllık dönemlere sıkıştırılmış olan bir dizi devrimsel değişime kadar uzanabilmektedir” şeklinde ifade etmektedir. Weis’in da belirttiği üzere tarımda yapısal değişimler sürecin hızlanarak kısaldığı artık çok daha kısa dönemler içerisinde gerçekleşmektedir. Özellikle dijital teknolojilerin tarım sektörüne belli bir düzeyde entegre olduğu günümüz dijital devrimi içerisinde bu hız çok daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Söz gelimi bu teknolojiler içerisinde, tarımda kullanımı keskin bir şekilde artış gösteren insansız hava araçları (İHA'lar) bu duruma örnek gösterilebilir (Klauser ve Pauschinger 2021).

En basit şekliyle genel olarak İHA'lar, uzaktan yönetilebilen ve dolayısıyla pilota ihtiyaç duymayan, 25 kg civarında veya daha düşük ağırlıktaki araçlar olarak; 5 kg'dan daha düşük ağırlığa sahip olanlar ise mikro-İHA olarak tanımlanmaktadır (Velusamy vd. 2021). İHA'lar ya da daha yaygın kullanılan adıyla dronlar geliştirildikleri ilk dönemlerde, askeri ve güvenlik amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktaydı (Kim vd. 2019). Tarihte bilinen ilk İHA'lar 19.yy'da askeri amaçla kullanılan balonlara kadar uzanabilmektedir. Japonya Tarım, Orman ve Balıkçılık Bakanlığının teklifiyle İHA çalışmalarına başlayan Yamaha Şirketi (Japonya), 1980'li yılların sonu ile 1990'lu yılların başında tarımsal amaçlı pilotsuz helikopter kullanımını gerçekleştirmiştir. Şekil 5.12'de söz konusu Yamaha şirketinin geliştirdiği pilotsuz helikoptere ait ilk modelin prototipi görülmektedir.



Şekil 5.12 Tarımsal amaçlı geliştirilen R-50 modelin ilk prototipi (Anonymous 2023g)

Ticari amaçlı kullanılmaya başladıkları dönem ise 1980’li yılların erken dönemine kadar uzanmaktadır (Mazur 2016). Gelişen teknolojiyle birlikte İHA’ların kullanımı doğal afet yönetimi, trafik, vahşi yaşam gözlemciliği, sosyal medya gibi birçok farklı alana kadar genişlemiştir. Ve tabi İHA’ların aktif olarak kullanıldığı bir diğer alan da tarımdır. Günümüz tarım sektöründe kullanılan robotik sistemler arasında popüleritesi gittikçe artan dronların küresel piyasa büyüklüğü 2021 yılında 1,7 milyar dolar olarak ortaya koyulurken (Anonymous 2023d), 2028 yılında bunun 6,37 milyar dolara ulaşacağı öngörülmektedir (Anonymous 2023e). Tarım dronu pazarında öne çıkan bazı firmalar şu şekildedir;

- DJI (Çin)
- AeroVironment (ABD)
- AgEagle Aerial Systems Inc. (ABD)
- PrecisionHawk, Inc. (ABD)
- Israel Aerospace Industries (İsrail)
- Microdrones (Almanya)
- Parrot Drones (Fransa)

Yukarıda yer alan bazı şirketlerin kuruluş yılları (AeroVironment 1971, Israel Aerospace Industries 1953) oldukça geriye giderken, diğer firmaların (DJI 2006, AgEagle 2010, PrecisionHawk 2010, Microdrones 2005) çoğu 2000’li yıllarda kurulmuştur. Tarımsal dronların küresel pazarına ise ağırlıklı olarak Kuzey Amerika kıtası hakimdir (Anonymous 2023d). Bu durum, ilgili firma örneklerinde de görüldüğü üzere ABD’li firma sayısı ile daha rahat anlaşılmaktadır. Diğer yandan Çin merkezli DJI firması da küresel dron pazarında önemli bir yere sahiptir. Ayrıca bu çalışmanın daha önceki bölümlerinde de değinilen tarımsal teknoloji alanında gerçekleştirilen şirket alım ve birleşme hızının, dron piyasası için de aynı olduğu söylenebilir. Söz gelimi 2009 yılında kurulan ve dron pazarında önde gelen firmalar arasında yer alan İsviçre merkezli senseFly adlı dron şirketi, 2021 yılında ABD merkezli AgEagle Aerial Systems tarafından satın alınmıştır. Ayrıca senseFly şirketi (2009) bir Parrot Drones (1994) yan kuruluşu olup 23 milyon ABD dolarla AgEagle Aerial Systems şirketinin bünyesine katılmıştır (Anonymous 2021).

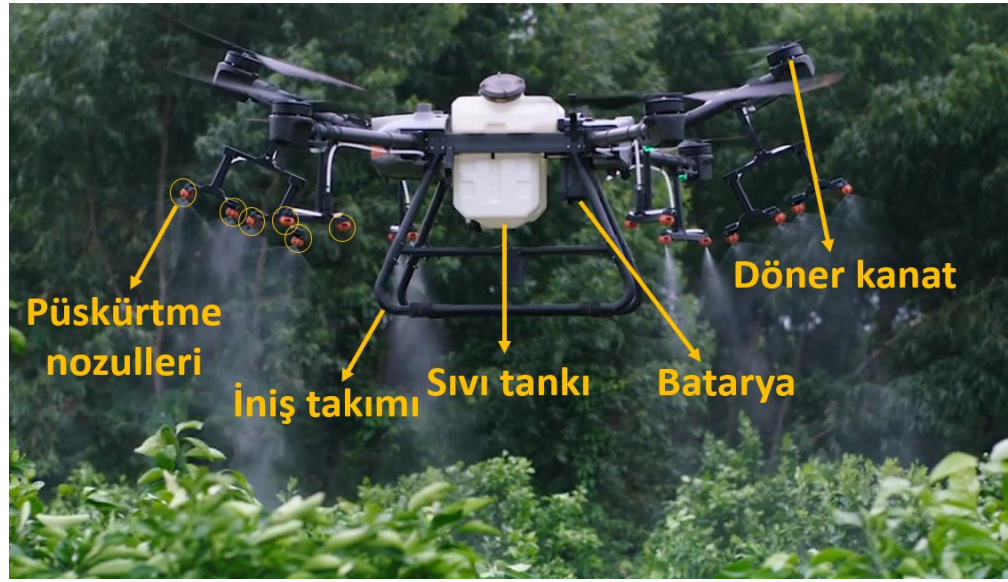
Tarihte, tarım ve havacılık ilişkisine dair temeller uçakların ABD’de pamuk tarlalarında kullanıldığı 1917-1918’li yıllara kadar uzanmaktadır (Weick 1976). Bununla birlikte tarımsal amaçlı uçak kullanımına dair ilk bilgi 1921 yılında ABD’de tırtıl istilasına karşı mücadelede kayda geçmiştir (Weick 1976). Şekil 5.13’deki sol fotoğrafta, II. Dünya Savaşı sırasında eğitim amaçlı kullanılan bir uçağın daha sonra tarımsal amaca uygun olarak modifiye edilerek kullanıldığı görülmektedir (Joiner 2012).



Şekil 5.13 Tarımsal amaçlı kullanım için modifiye edilen uçağa pilot kireçtaşı doldururken (Boeing-Stearman-Sol); günümüzde pestisit ya da gübre püskürtme amaçlı tarımda kullanılan bir uçak (Air tractor-Sağ) (Joiner 2012)

Günümüzde ise uçaklar ve helikopterler, geniş alanlara uygulanabilme avantajlarıyla pestisit ya da gübrelemede hala kullanılmaktadır. Bunun aksine, Zwetsloot vd (2018)'nin belirttiği üzere AB'de ise, özellikle ekolojik nedenlerle, 2009 yılından bu yana havadan gerçekleştirilen tüm spreyci uygulamaları yasaklanmıştır (Klauser ve Pauschinger 2021). Bilindiği gibi günümüz tarım sektöründe asıl hedef ve bununla birlikte tarımda yeni teknolojilere neden ihtiyaç duyulduğunda asıl cevap, sürdürülebilir yoğunlaşmadır, diğer bir deyişle girdilerin ve çevresel etkinin azaltılmasıyla birlikte verimliliğin ve verimin (çıktının) artırılmasıdır (Tümen ve Özertan 2020). AB'deki bu yasaklamaya rağmen, 2019'da püskürtme donanımına sahip dronların kullanımına izin veren ilk Avrupa ülkesi İsviçre, bu durumu pestisit uygulanmasında kullanılan dronları, ilgili düzenleyici çerçevede kara ekipmanlarıyla aynı şekilde ele alarak çözüm yoluna gitmiştir (Klauser ve Pauschinger 2021). Çünkü ülkenin daha önceden tercih ettiği helikopterlere kıyasla dronlar, kara ekipmanlarında olduğu gibi, çevreye daha az zarar vermesi buradaki temel argüman olmuştur (Klauser ve Pauschinger 2021).

İHA'lar bilgi ve iletişim teknolojilerini, robotları, yapay zekayı, büyük veriyi ve IoT'yi biraraya getiren ve dolayısıyla kullanım alanları da artan teknolojilerdir. Tarım sektöründe dronlar zirai ilaçlama, gübreleme, tohum ekimi, haritalama, ürünün büyüme değerlendirimi gibi uygulama alanlarına sahiptir (Kim vd. 2019). Bunun yanı sıra hayvan tespiti, sulama, toprak ve saha analizi gibi diğer uygulama alanları da bulunmaktadır (Klauser ve Pauschinger 2021). Söz gelimi bu uygulamalara bir örnek olarak Şekil 5.14'de Çin merkezli DJI firmasına ait zirai ilaçlama gerçekleştiren tarım dronu örneği görülmektedir.



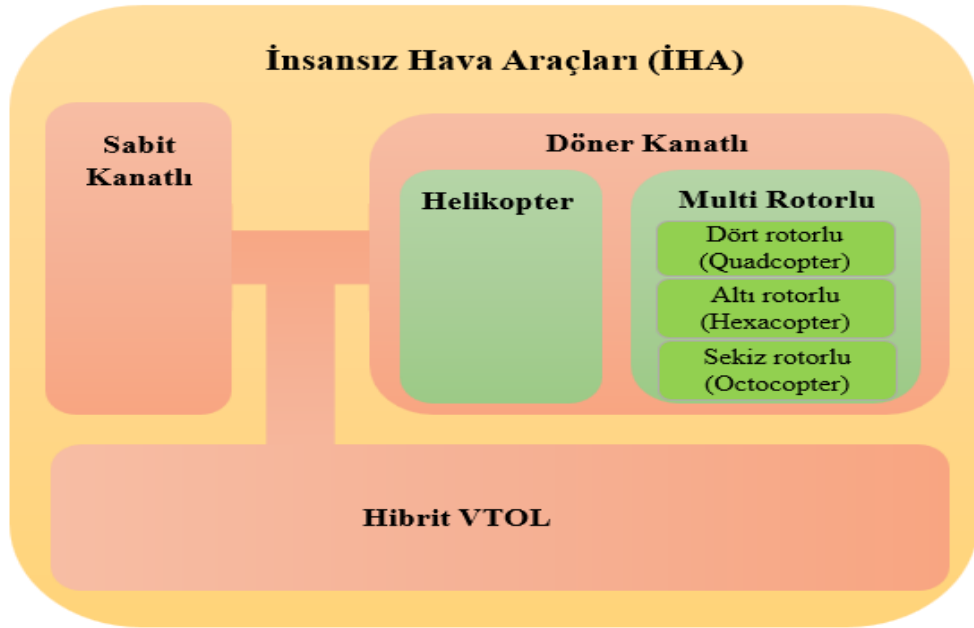
Şekil 5.14 Meyve bahçesinde zirai ilaçlama yapan (DJI Agras T30 model) tarım dronu (Anonymous 2023f)

İHA'ları rotor sayısı, hızı, uygulama alanı ve mekanizmasına göre çeşitli kategorilerde incelemek mümkündür (Velusamy vd. 2021). Pilot ihtiyacı olmadan uçuş gerçekleştirebilen radyo kontrollü İHA'larda iki tip platform bulunmaktadır. Bunlar sabit kanatlı ve döner kanatlı İHA'lardır. Görünüşte bir uçağa benzeyen sabit kanatlı İHA'lar itme ve aerodinamik kaldırma kuvveti ile uçarken (Kim vd. 2019); döner kanatlı İHA'lar ise bunu rotorların¹ pervaneleri döndürmesiyle elde edilen kaldırma kuvveti ile sağlamaktadır (Oktay ve Özen 2021). Ayrıca döner kanatlı İHA'lar yatay ya

¹ Rotor, elektrik motoru, elektrik jeneratörü veya alternatördeki elektromanyetik sistemin hareketli bir bileşenidir.

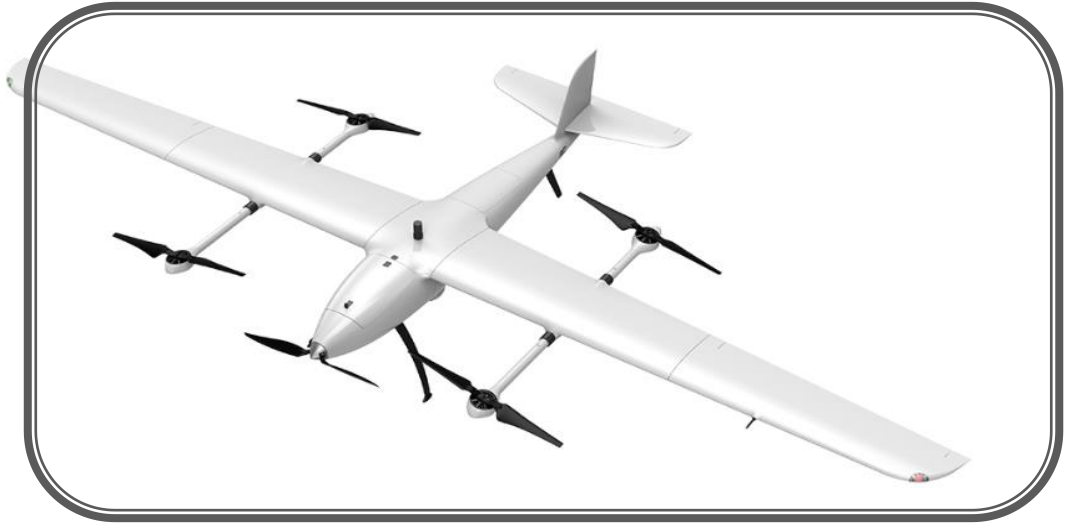
da dikey ekseninde hareket etme kabiliyetine de sahiptir. Bunu sağlayan ise rotorun farklı hızlarda dönmesiyle hava aracının merkezindeki gövde eksen takımında gerçekleştirilen rotasyon hareketleridir (Oktay ve Özen 2021).

Döner kanatlı İHA'lar helikopter ve multi rotorlu olarak iki sınıfa ayrılırken; multi rotorlu İHA'lar ise sahip oldukları rotor sayısına göre alt kategorilere ayrılmaktadır. Bunlardan dört rotora sahip olanlar “Quadcopter”, altı rotora sahip olanlar “Hexacopter” ve sekiz rotora sahip olanlar “Octocopter” olarak adlandırılmaktadır (Kim vd. 2019). Söz gelimi Şekil 5.14’de yer alan tarım dronu bir Hexacopter örneğidir. Şekil 5.17’de ise söz konusu farklı dronlara ait görsellere yer verilmiştir. Bununla birlikte hem sabit kanatlı hem multi rotor yapısını bünyesinde barındıran bir diğer İHA ise “Hibrit Dikey Kalkış ve İniş” ya da kısaca Hibrit VTOL¹’dir (Velusamy vd. 2021). Bu tip dron örneğine ise Şekil 5.16’da yer verilmiştir.



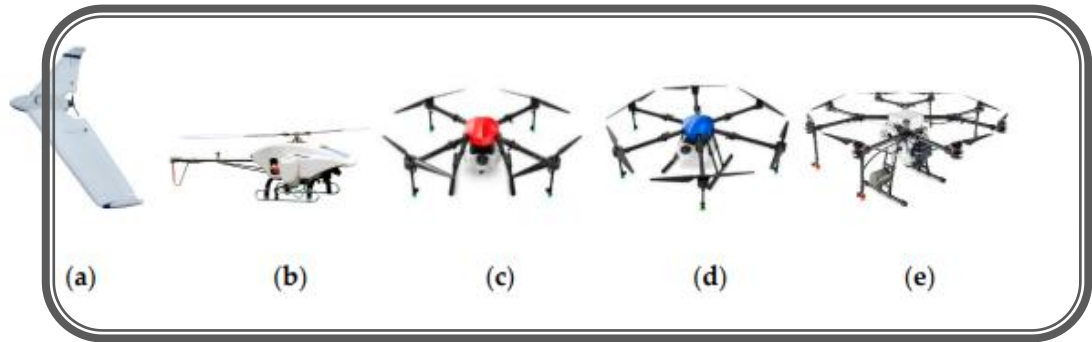
Şekil 5.15 İHA tipleri

¹ Vertical Take-Off and Landing



Şekil 5.16 Bir hibrit VTOL örneği (Anonymous 2023h)

Şekil 5.16 örneğinde görüldüğü gibi hibrit VTOL hem sabit kanat hem multi-rotor özelliklerini sisteminde birleştirmiş bir dron tipidir. Bununla birlikte her iki sistemin avantajlarına da sahiptir. Hibrit VTOL dronları, multi rotorlu sistemlere benzer şekilde kalkış verimine ve aynı zamanda sabit kanat sistemindeki uçuş verimliliğine sahiptir (Velusamy vd. 2021).



Şekil 5.17 1Farklı İHA tipleri: (a) Sabit kanatlı (b) tekli rotor (helikopter tipi), (c) Quadcopter, (d) Hexacopter, (e) Octocopter (Hanif vd. 2022)

Şekil 5.17’de görüldüğü üzere, sabit kanatlı (a) ve multi rotorlu (c, d, e) dronlar arasında yapı farklılığı bulunmaktadır. Bununla birlikte bu farklılıklar ayrıca uçuş süreleri, dayanıklılık ve enerji türleri açısından da mevcuttur (Velusamy vd. 2021).

Ghazali vd. (2022)’nin çalışmasına göre yıllar içerisinde araştırmacılar tarafından kullanılan tarımsal dron tipleri arasından Quadcopter tipi dron, boyutu, manevra kabiliyeti ve -diğer dronlara kıyasla- düşük maliyeti nedeniyle en popüler (%54) olarak bulunmuştur. Bu çalışmaya göre sıralamadaki diğer dron tipleri ise şu şekildedir: tekli rotor (%17), Hexacopter (%15), sabit kanat (%8) ve Octocopter (%6). Diğer yandan popüleritesine rağmen Quadcopter tipi dron, uygulamada tercih edilecek en uygun dron tipi olmamaktadır (Ghazali vd. 2022). Pestisit/gübre püskürtme ve tohum ekimi uygulamalarında (maliyetin göz ardı edildiği durumlarda) fazla yük taşıyabilme kabiliyeti nedeniyle hexacopter veya octocopter; izleme ve haritalama görevleri için ise daha uzun uçuş süresi ve menzil alanı nedeniyle sabit kanatlı dron tercih edilmektedir (Ghazali vd. 2022).

Literatür kapsamında dronlara bir de en yaygın uygulamaları açısından yaklaşıldığında ise (inceleme için seçilen iki çalışmada) farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Küresel dron pazarının hızlı gelişen yapısı ve her iki çalışmanın yapıldığı yıl bazında farklılık göstermesi (dolayısıyla incelenen makale sayısındaki farklılık) bunun muhtemel nedeni olarak değerlendirilebilir. Diğer yandan seçilen makalelerde farklı sonuçlara ulaşılması günümüz tarımsal değişim ve gelişimindeki ilerleme hızının bir diğer çıktısı olarak değerlendirilebilir. Bu doğrultuda dijital tarım kapsamında kısa vadede robotik sistemler ile diğer ilgili teknolojilerin sınıflandırma, uygulama alanı, üreticilerce tercih edilen teknolojilerde değişiklikler ya da tamamıyla yeni teknolojilerin eklendiği durumlar öngörülebilir.

Dron uygulamaları bazında makale incelemelerine geri dönüldüğünde öncelikle Tsouros vd. (2019)’ne göre literatürde kayıtlı en yaygın dron uygulamaları şu şekilde sıralanmaktadır: yabancı ot haritalama ve yönetimi, bitkisel ürün gelişimi izleme ve verim tahmini, bitki sağlığı izleme ve hastalık tespiti ve sulama yönetimi ve bitki

ilaçlamasıdır. Diğer yandan Ghazali vd. (2022)'nin 50'den fazla makale araştırmasına dayalı gerçekleştirdiği incelemede ise püskürtme sistemine (%37) bağlı uygulama şekli en yaygın dron uygulaması olarak bulunmuştur. Bunu sırasıyla: arazi haritalama ve toprak analizi (%26), bitkisel ürün gelişimi izleme (%23), hayvancılık (%9) ve ekim (%5) izlemektedir. Dron uygulamaları arasından en az araştırılan uygulama ise tohum ekimi olmuştur (Ghazali vd. 2022). Daha önce de değerlendirildiği üzere söz konusu drone uygulama alanlarının sıralamasında değişiklik olabileceği gibi teknolojinin de yardımıyla yeni uygulama alanlarının eklenmesi de muhtemeldir.

Tarım dronlarının farklı alanlarda uygulanabilmelerinde sensörler büyük etkindir. Sensörler sayesinde tespit ve elde edilen verilerle üreticiler işletme bazında herhangi bir soruna zamanında müdahale etme ve üretim parametreleri (besin eksikliği, su seviyesi, bitkisel hastalıklar vb.) ile bilgi sahibi olarak buna göre planlarını gerçekleştirme fırsatı bulabilmektedir. Dolayısıyla kızılötesi, multispektral kamera vb. uygun sensörlerle donatılmış İHA'lar, üreticilerin zemin seviyesinde keşfedemediği bitki örtüsü, yaprak alanı ve yansıma indeksleri gibi verilerle ürünlerde tespit edilemeyen dinamik değişiklikleri inceleme fırsatı sağlamaktadır (Abbasi vd. 2022). Tarımda kullanılan sensör tiplerine Çizelge 5.5'de yer verilmiştir.

Çizelge 5.5 Tarımda kullanılan sensörler ve görevleri (Maddikunta vd. 2021)

Sensör	Açıklama
Konum tabanlı	Tarımsal arazilerde farklı alan ve noktaların konumunu belirlemede, üreticilere bitkisel gelişimin farklı safhalarında yardımcı olmada, bitkisel gelişimde sulama, gübreleme ve yabancı ot takibi için tarlada konum göstermede
Elektrokimyasal	Sensör elektrotlarının toprak içerisinde iyonları tespit etmesiyle toprağın besin değerlerini ile pH seviyesini saptamada
Sıcaklık ve Nem	Tarla ve seralarda nem ve sıcaklık seviyelerini ölçmede ve izlemde böylelikle uygulanacak gübre ve su miktarının doğru ölçüde uygulanmasında

Çizelge 5.5 Tarımda kullanılan sensörler ve görevleri (Maddikunta vd. 2021) (devam)

Sensör	Açıklama
Optik	Işık demetlerini elektrik sinyallerine dönüştürme prensibiyle çalışan bu sensörler tarımsal uygulamalarda İHA'larda kullanılmaktadır. Bu optik sensörlere şunlar örnek verilebilir: RGB kamera¹, dönüştürülmüş NIR² kamera, altı bantlı multispektral kamera³, yüksek spektral çözünürlüklü spektrometre vb. a) <i>Görünür Işık (RGB)</i> İHA'larda yaygın şekilde kullanılan Görünür Işık Sensörleri (RGB), nispeten uygun maliyeti, hafifliği ve tek bir örnekte bütün bir alanın görüntüsünü yakalayarak harita oluşturmada son derece iyi olup diğer yandan çok sayıda tarımsal parametreyi analiz etmede gerekli olan ve görünmeyen ışık spektrumunda var olan spektral bilgileri sağlamada ise yetersizdir. b) <i>Multi-spektral</i> İHA tabanlı tarımsal analizlere oldukça uygun olan multi-spektral sensörler, olağanüstü mekansal çözünürlüğe sahip görüntüler yakalar ve ayrıca birden fazla ışık bandının sağladığı veriler sayesinde hassas analitik çalışmaların yürütülmesini ve yaprak vb. diğer bitki kısımları hakkında fikir üretilmesine olanak sağlar. Bu tür sensörlerin sağladığı verilerin eksikliğinde, bitki hastalıkları, yabancı ot, zararlıların erken tespiti ve bitkisel biyokütlenin hesaplanması neredeyse imkansızdır. c) <i>Hiper-spektral</i> Ayrıntılı görüntü yakalama yeteneğine sahip ve İHA'larda başarılı bir şekilde kullanılabilen bu sensörler, yakalanan ışığı ölçen alan detektörleriyle donatılmıştır. Böylelikle veri işleme ve tarım ile ormancılıkta karar verme gibi süreçlerde başarı sağlamaktadır.
Termal kızılötesi	Yine İHA'lara monte edilebilen bu tip sensörler, sıcaklığı mutlak sıfırdan yüksek olan tüm nesnelerin sıcaklığını yakalar ve görüntülerini oluşturur. Daha sıcak görüntülerin sarı renk ve daha soğuk görüntülerin mavi renkte sunulduğu renkli görüntüler oluşturabilen termal sensörler de mevcuttur. Bu sensörler genel olarak tarımsal ürün ve toprağın çeşitli koşullarının izlenebilmesinde yardım sağlamaktadır. Söz gelimi toprak ve ürünün su stresini hesaplayarak sulama yönetimi/programlaması, çeşitli ürün hastalıklarının tespiti/öngörüsü, toprak dokusunun haritalanması, hasat için mahsul olgunluğunun izlenmesi, ürünün verim haritalaması vb.

¹ Işığı kırmızı, yeşil ve mavi (Red-Green-Blue) dalga boylarında yakalayarak canlı ve nesnelerin renkli görüntülerini sunmak için kullanılır.

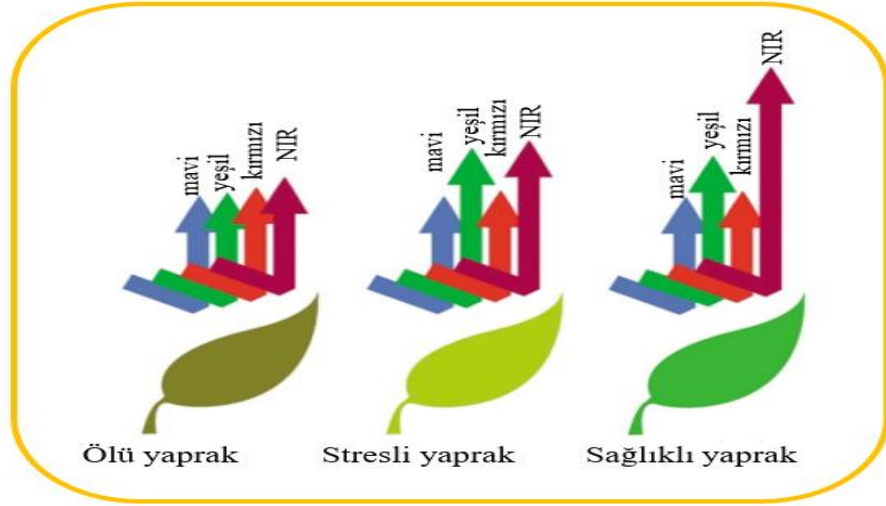
² Near-Infrared (yakın kızılötesi) görünürde kırmızı tonlara bitişik düşük frekanslı radyasyon içeren dalga boyudur. Tarımda NIR kamerasıyla toprak koşullarında, bitki sağlığında vb. küçük ölçekli farklılıklar tespit edilir.

³ Tarımsal amaçlı multispektral kameralar, ekinlerin ve bitki örtüsünün renkli ve renkli-kızılötesi görüntülerini üretmek için yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi dalga boylarındaki ışığı yakalar.

Çizelge 5.5'te verildiği üzere tarımda kullanılan İHA tabanlı sensörlerden hangi alanlarda faydalandığı ortaya koyulmuştur. Söz gelimi İHA tabanlı sensör tekniklerine, ilgili çalışmalar kapsamında bakıldığında bitkisel gelişim takibi ile ürün verim tahmininde en yaygın uygulama RGB ve multispektral sensörlerle, sulama yönetimi termal ve/veya multispektral sensörlerle gerçekleştirildiği söylenebilmektedir (Tsouros vd. 2019).

İlerleyen teknoloji sayesinde dronlarda bilgi işlem platformları ve sensörler bir gerekliliğe dönüşmüştür (Kim vd. 2019). Bir navigasyon sistemi olan GNSS ile dron konumunu doğru bir şekilde sağlamada, gerçek zamanlı kinematik ile GNSS'in konumunda daha yüksek doğruluk (2-3cm) saptamada ve LİDAR cihazıyla (lazer aracılığıyla) da 3 boyutlu haritalama işleminde yararlanılmaktadır (Kim vd. 2019). Ayrıca multi-spektral ve hiper-spektral hava ve uydu görüntüleri, toprağı ot ya da ormandan ayırt edebilen, stres altındaki bitkileri tespit edebilen ve bitkisel ürün ile bitkisel gelişim aşamaları arasında ayırım yapabilen Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI¹) haritalarının oluşturulmasına yardımcı olmaktadır (Sylvester 2018). NDVI'da temel prensip, yaprakların yakın kızılötesinde (NIR) fazla ışık yansıtmasına dayanmaktadır (Sylvester 2018). Şekil 5.18'deki örnekte görüldüğü üzere bitki susuz kaldığında ya da strese girdiğinde, yapraklar NIR ışığını daha az yansıtmaktadır. Böylelikle dronlar, bitki sağlığı ve ayrıca toprak koşullarını doğru bir şekilde analiz etmede kızılötesi, multispektral ve hiperspektral sensörlerden yararlanmaktadır (Sylvester 2018).

¹ Normalized Difference Vegetation Index, bitki örtüsünün görünür ve yakın kızılötesi yansıması arasındaki farkı tanımlayan boyutsuz bir indeks olup arazi alanındaki yeşilin yoğunluğunu tahmin etmek için kullanılmaktadır.



Şekil 5.18 NDVI ve bitki sağlığı (Sylvester 2018)



Şekil 5.19 Multi spektral kamera sensörlü bir tarım dronu (Happich 2016)

Maddikunta vd. (2021) göre tarımsal amaçlı İHA'ların kullanımında başlıca gerekenleri şu şekilde sıralamaktadır: üretici topluluklarının teknolojilerden daha kolay faydalanabilmesinde İHA'lar için *yasal düzenleme*; elde edilen verilerin bulut ya da benzer bir depolama ağına iletilmesinde *internet ağı bulunurluluğu*; pek çok sayıda uygulama gerçekleştiren İHA'ların elde ettiği yüksek çözünürlüklü görüntü, verilerin analizi vb. için *veri depolama* çözümleri; verileri siber saldırılardan korumada ve

tarımsal uygulama sırasında gizliliği sağlamada *güvenlik ve gizlilik* çözümleri (güvenlik için blokzincir¹ tabanlı teknolojiler, gizlilik için ise iyi düzenlenmiş bir mevzuat gibi); İHA'ların toprak nemi takibi, analiz için gerçek zamanlı veri iletimi, yabancı ot tespiti gibi yüksek enerji gerektiren çok sayıdaki uygulamaya yerine getirebilmede *verimli ve düşük enerji tüketim* ihtiyacı; herhangi bir üreticinin karmaşık teknolojileri kullanabilmede ve ayrıca benimsemesinde İHA teknolojisinin *kullanıcı tarafından kabulü*; İHA aracılığıyla toplanan verilerin kullanımı çoğunlukla yasal bir çerçeveye oturtulmadığından veriler yasa dışı toplanmaya ve kullanılmaya eğilimli olduğundan yasa dışı faaliyetleri önlemede *operasyonel etik* çözümler; İHA'nın uçuş yüksekliği ya da güneşin açısı bazen üretilen sonuçlar üzerinde önemli etkiye sahiptir dolayısıyla analizde hatalı sonuçların üretilmesi üreticiler için yüksek riske sahip pahalı sonuçlara yol açabilir ve bunun için de *sonuçların doğruluğu* önem arz etmektedir.

Günümüz tarımsal teknolojilerinin üreticiler için zemin seviyesinde sağladığı avantajları, İHA'lar ise havadan gerçekleştirmektedir. Diğer bir ifadeyle kuş bakışı gözlem sağlayan İHA'lar, sensörler yardımıyla, gözle görülemeyen verileri de dahil ederek, üreticiler için daha ayrıntılı ve daha kolay ulaşılabilen veriler sağlayarak mevcut ve potansiyel sorunların tespit, öngörü ve karar verme süreçlerinde büyük imkân sağlamaktadır. Dolayısıyla İHA ve sensör sistemlerin sağladığı hassas ölçümler sulama, gübreleme, hastalık ve zararlılarla mücadelede gerekli olan verilerin işlenerek üreticiler için anında karar verme, hatta öngörü sağlamada ve en önemlisi bunları minimum maliyetle gerçekleştirmesinde katkı sağlamaktadır.

İHA'ların geniş uygulama alanlarının sağladığı avantajlarla kullanım oranlarında artış sağlanırken diğer yandan bu uygulamaların kullanımlarını sınırlandıran engeller de bulunmaktadır. Bu doğrultuda incelenen İHA bazlı çalışmalar neticesinde: İHA'ların üreticilerce etkin kullanım ve adaptasyonunda eğitim gereksinimi (Tsouros vd. 2019); sınırlı uçuş süreleri (Tsouros vd. 2019, Velusamy vd. 2021, Abbasi vd. 2022); değişen hava şartlarında (rüzgârlı, yağmurlu vb.) çalışma yetersizliği (Abdullahi vd. 2015,

¹ Dijital para birimlerini, varlıkları ve emtiaları besleyen blokzincir (blockchain) teknolojisi, mutabakatla güncellenen dağıtılmış bir veritabanı ya da paylaşılmış kayıt (muhasabe) defteri içeren sistem olarak tanımlanabilir. Bir blokzincir ağı açık veya özel olabilir.

Srivastava vd. 2019, Tsouros vd. 2019); İHA kullanımına ilgili mevzuat ve ulusal kurallar çerçevesinde uyulması ve ayrıca ilgili mevzuatların yeterli düzeyde olmaması (Abdullahi vd. 2015, Tsouros vd. 2019); yüksek yatırım maliyeti (Tsouros vd. 2019, Velusamy vd. 2021); düşük kapasiteli batarya ve ayrıca batarya kapasitesinin artırılması durumunda ise İHA'nın ağırlığına negatif yönlü etkisi (Srivastava vd. 2019, Abbasi vd. 2022) ve ayrıca çoğu İHA'da uzaktan kontrol sinyali ile birlikte batarya ömrüne bağlı olarak sınırlı uçuş menzili (Srivastava vd. 2019) engeller arasında öne çıkanlar olmaktadır.

Tarımsal faaliyetlerde günümüz teknolojilerin sunduğu çözüm ve avantajlar sektörün mevcut sorunlarına büyük ölçüde etki ederek diğer yandan bu potansiyellerini de hızla geliştirmeye devam etmektedir. Bu teknolojilerden sadece bir tanesi olan İHA'lar ise sektörün tüm sorunlarına cevap veremese de entegre edilmiş teknolojik bir sisteme katkı sağlayarak sorunlara cevap vermede büyük potansiyele sahiptir. Gündemdeki tarım 4.0 gelişmeleri bir yana şimdilerde tarım 5.0'ın konuşulmaya başlandığı bu hızlı gelişim sürecinde, bahse konu teknolojilerin sunduğu çözüm potansiyellerinin de yakın gelecek daha da artacağı öngörülebilmektedir.

5.1.2 Nesnelerin İnterneti (IoT)

"Nesnelerin İnterneti" ya da kısaca IoT (Internet of Things) olarak bilinen bu terim, ilk kez 1999 yılında Kevin Ashton tarafından ortaya atılmıştır (Tzounis vd. 2017). IoT'nin küresel çapta kabul görmüş bir tanımı henüz bulunmasa da (Lillestrøm 2021), Elijah vd. (2018) IoT'yi "benzersiz tanımlayıcılar ve insandan insana ya da insandan bilgisayara etkileşim gerektirmeden bir ağ üzerinden veri aktarma yeteneği sağlanan birbiriyle ilişkili bilgi işlem cihazları, mekanik ve dijital makineler, nesneler, hayvanlar veya insanlardan oluşan bir sistem" şeklinde tanımlamaktadır. IoT 'de kelime olarak yer alan "nesneler (things)", internet üzerinden Kablosuz Sensör Ağları (WSN)¹, Radyo Frekansı

¹ Wireless Sensor Network, radyo frekansı alıcı-vericileri, sensörler, mikrodenetleyici ve güç kaynaklarından oluşan bir sistemdir.

ile Tanımlama (RFID)¹, Bluetooth², Yakın Alan İletişimi (NFC)³, Uzun Dönemli Evrim (LTE)⁴ ve diğer çeşitli akıllı iletişim teknolojileri aracılığıyla ilişkilendirilmektedir (Khanna ve Kaur 2019). Günümüz internetinde son kullanıcılar çoğunlukla insanlar iken IoT'nin, insan olmayan varlıkların interneti olarak, birçok sayıda makineden makineye (M2M)⁵ iletişime olanak sağlaması beklenmektedir (Tzounis vd. 2017). Dolayısıyla IoT kısaca “internet üzerinden ilişkilendirilen şeyler” olarak da tanımlanabilir (Khanna ve Kaur 2019). Diğer bir ifadeyle IoT, fiziksel nesnelerin de iletişim kurduğu internetin bir sonraki aşamasıdır (Verdouw vd. 2016)

IoT kavramında karşılaşıldığı gibi, yapısı ya da diğer bir ifade şekliyle mimarisinde de küresel çapta kabul gören bir fikir birliği henüz yoktur (Sethi ve Sarangi 2017). Bu nedenle farklı araştırmacılar tarafından sunulan farklı IoT yapıları mevcuttur. Söz gelimi Ning ve Wang (2011) geleceğin IoT yapısına iki bakış açısıyla yaklaşmıştır. Buna göre görme, tatma, hissetme, kontrol ve hatta karar verebilme fonksiyonlarını barındıran insan sinir sistemine benzer bir model; bir diğeri bir toplumdaki bireyler arasındaki ilişkiye dayanan sosyal organizasyon çerçevesi modelidir (Ning ve Wang 2011). Ning ve Wang (2011)' a göre geleceğin IoT'leri, yüksek oranda kombinasyon ve uyumluluk ile karakterize edilmektedir. Bir diğer farklı bir IoT yapısına da Tzounis vd. (2017) çalışmasında yer vermiştir. Bu çalışmaya göre IoT yapısı üç katmandan oluşmaktadır: algılama, ağ (veri aktarımı) ve uygulama (veri depolama ve işleme) katmanı (Tzounis vd. 2017). Söz konusu bu katmanlar daha detaylı olarak;

- *Algılama katmanı*, sensörler aracılığıyla çevre hakkında bilginin algılanıp toplandığı fiziksel katmandır (Sethi ve Sarangi 2017). Bu katmanda WSN, RFID ve NFC gibi

¹ Radio Frequency Identification teknolojisi, etrafında anten sarılı olan bir mikroçip (etiket) ve bir okuyucudan oluşan otomatik tanıma sistemidir. Veri ve enerji transferi, etiket ve okuyucu arasında herhangi bir temas olmadan sağlanmaktadır.

² Kısa mesafede bir cihazdan diğerine ses ve veri sinyallerini göndermek için yaygın kullanılan kablosuz iletişim teknolojisi.

³ Near Field Communication, iki elektronik cihazın kolay, basit ve güvenli haberleşmesini sağlayan (RFID tabanlı) kısa mesafe kablosuz iletişim teknolojisi.

⁴ Long Term Evolution, bir hücresel ağdaki mobil aygıtların veri ağlarına erişimlerini sağlayan dördüncü nesil hücresel ağ teknolojisi.

⁵ Machine to machine, kablolu ve kablosuz dâhil olmak üzere herhangi bir iletişim kanalını kullanan cihazlar arasındaki doğrudan iletişimidir.

teknolojiler yer almaktadır (Tzounis vd. 2017). Verdouw vd. (2016) ise bu katmana “aygıt katmanı” adını vermiştir.

- *Ağ katmanı*, diğer akıllı nesnelere, ağ cihazlarına ve sunuculara bağlanmaktan sorumlu olan katmandır. Yine bu katmanın özellikleri ile sensör verilerinin iletimi ve işlenmesinden faydalanılır (Sethi ve Sarangi 2017).
- *Uygulama katmanı*, kullanıcıya özel hizmet uygulamalarını sunmaktan sorumlu katmandır. Akıllı evler, akıllı şehirler ve akıllı sağlık gibi IoT’nin konuşlandırılabilceği çeşitli uygulamaları tanımlamaktadır (Sethi ve Sarangi 2017).

Diğer yandan Sethi ve Sarangi (2017) yukarıda belirtilen katmanların IoT’nin ana fikrini tanımlada yeterli fakat konunun araştırılması temelinde ise yetersiz kaldığını vurgulamıştır. Böylelikle Sethi ve Sarangi (2017) çalışmasında beş katmanlı IoT yapısını ele almıştır. Bunlar: algılama, taşıma, işleme, uygulama ve iş olarak adlandırılan katmanlardır (Sethi ve Sarangi 2017). Bu yapıda yer alan ‘algılama’ ile ‘uygulama’ katmanlarının fonksiyonları, üç katmanlı yapıdaki uygulama ile aynı olduğundan Sethi ve Sarangi (2017) geriye kalan üç katmanı şu şekilde açıklamaktadır:

- *Taşıma katmanı*, bluetooth, NFC, RFID vb. ağlar aracılığıyla sensör verilerini algılama katmanından işleme katmanına aktarır.
- *İşleme (ara yazılım) katmanı*, taşıma katmanında gelen büyük miktardaki veriyi depolar, analiz eder ve işler. Bu katman, veritabanı, bulut bilişim, büyük veri işleme modülleri gibi birçok teknolojiyi kullanır.
- *İş katmanı*, uygulamalar, iş ve kâr modelleri ve kullanıcı gizliliği de dâhil olmak üzere bütün IoT sistemini yönetir.

Üç ve beş katmanlı IoT yapıların yanı sıra literatürde “Bulut ve Sis Tabanlı Yapılar”, “Temsili Yapılar” ve “Sosyal IoT” olarak adlandırılmış farklı yapılar da mevcuttur (Sethi ve Sarangi 2017). Literatürde yer verilen farklı yapı örneklerinden anlaşılacağı üzere, IoT alanının henüz olgunlaşma sürecinde olduğu bununla birlikte tarım da olduğu

gibi diğer sektörlerde de büyük etkiye yaratacak potansiyele de sahip olduğu söylenebilir.

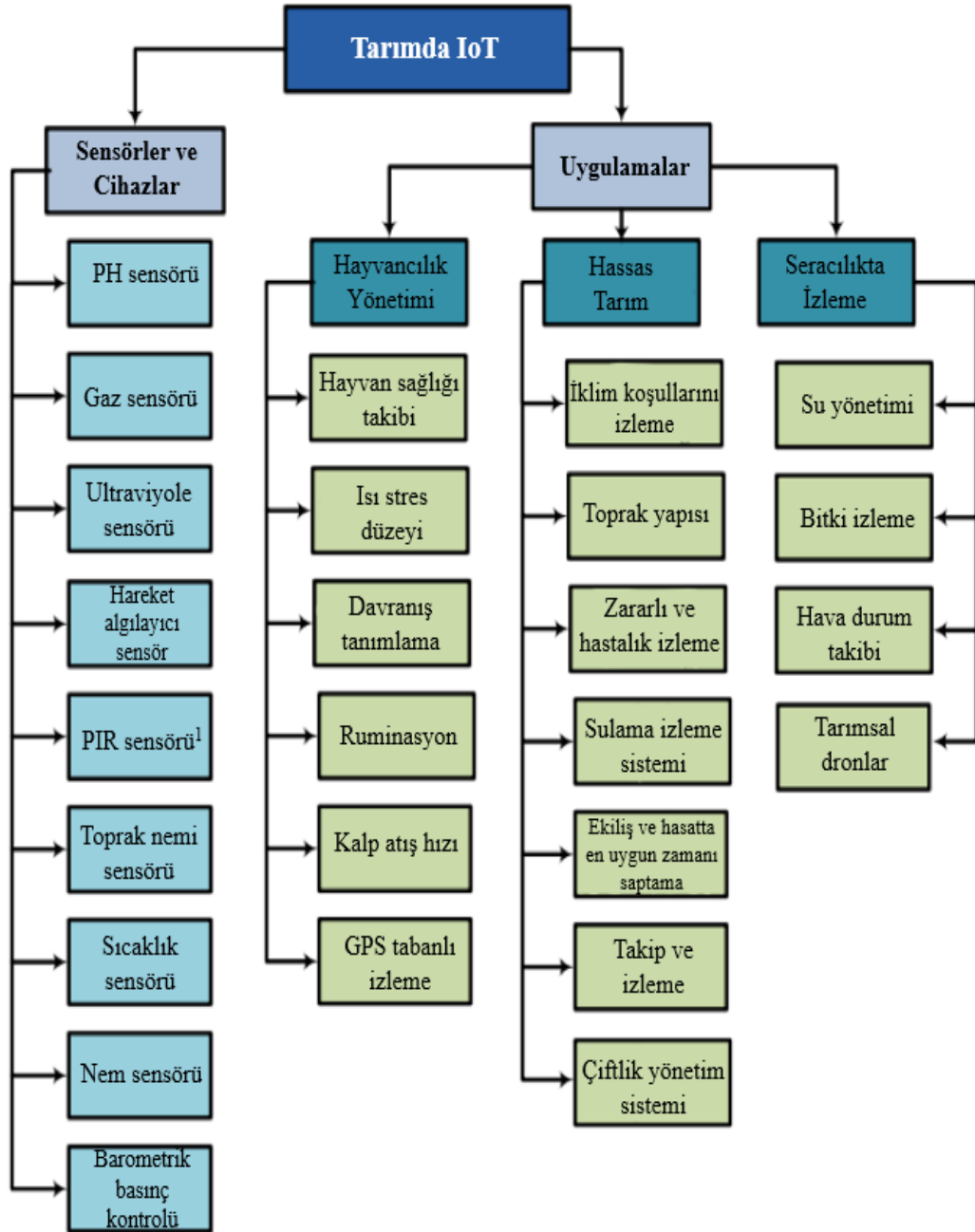
Çevreleri ile tanımlama, iletişim ve etkileşim kurma yeteneğine sahip “şeyleri” tanımlayan IoT paradigması, sahadaki parametreler için gerçek zamanlı esnek kontrol mekanizması sağlayarak çeşitli tarımsal uygulamalar için potansiyel bir çözüm sunmaktadır (Ohja vd. 2015). Söz konusu bu potansiyel IoT tabanlı tarımsal uygulamalara,

- RFID etiketlerini kullanarak uygun maliyetli tarımsal tedarik zinciri yönetimi,
- Açık meralarda hayvan hareketinin uzaktan izlenmesi,
- Çiftliklerde otomatik zararlı sayımı ve uzaktan raporlama,
- Pestisit spreylerinin -kullanıcı tanımlı olarak- belli bir oran ve zamanda uzaktan kontrolü ve programlanması,
- Büyük ölçekli tarımsal alan su kaynağında kaçak tespiti ve uzaktan su akış kontrolü,

örnek verilebilir (Ohja vd. 2015). Verdouw vd. (2016) ve Talavera vd. (2017)’ne göre ise IoT'nin tarım sektöründeki ana uygulaması “izleme” iken bunu “kontrol” ve “çalıştırma/işletme” izlemektedir (Maroli vd. 2021).

Canlı ve cansız nesnelerin, bazı benzersiz meta veriler veya tanımlayıcılarla eşleştirildiği bir mekanizma olan IoT (Bhatnagar vd. 2020), fiziksel nesnelerin birbiriyle iletişim kurmasına, bilgi paylaşmasına ve kararları koordine etmesine olanak sağlamaktadır (Ferrag vd. 2020). Fiziksel dünya ile bilgisayar tabanlı sistemler arasında köprü benzeri bir bağlantı sağlayan IoT ile tarımda başlıca faydalanılmak istenen, asgari düzeyde insan müdahalesi ile verimliliği ve (ölçümde) doğruluğu artırmaktır (Bhatnagar vd. 2020). İlgili sensörler ile donatılan IoT ile mahsul verimi, yağmur tahmini, toprak besini, zararlı istilas vb. diğer değerli bilgiler üreticilere sağlanabilir (Bhatnagar vd. 2020); yine ilgili sensörler ve kablosuz iletişim sistemi ile donatılmış IoT platformu kullanılarak sıcaklık, nem, toprak pH'sı gibi veriler toplanarak (Junaidi vd. 2021)

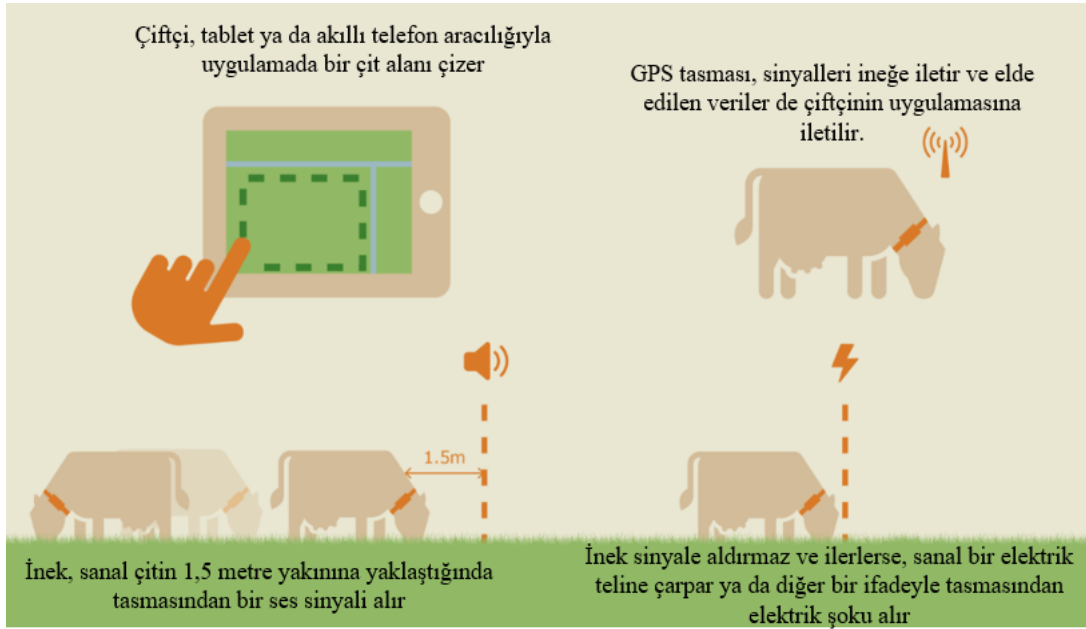
istenilen hedef doğrultusunda analizler gerçekleştirilebilir. Şekil 5.20’de tarım sektöründe mevcut IoT ve sensör tabanlı uygulamaların sınıflandırılmasına yer verilmiştir.



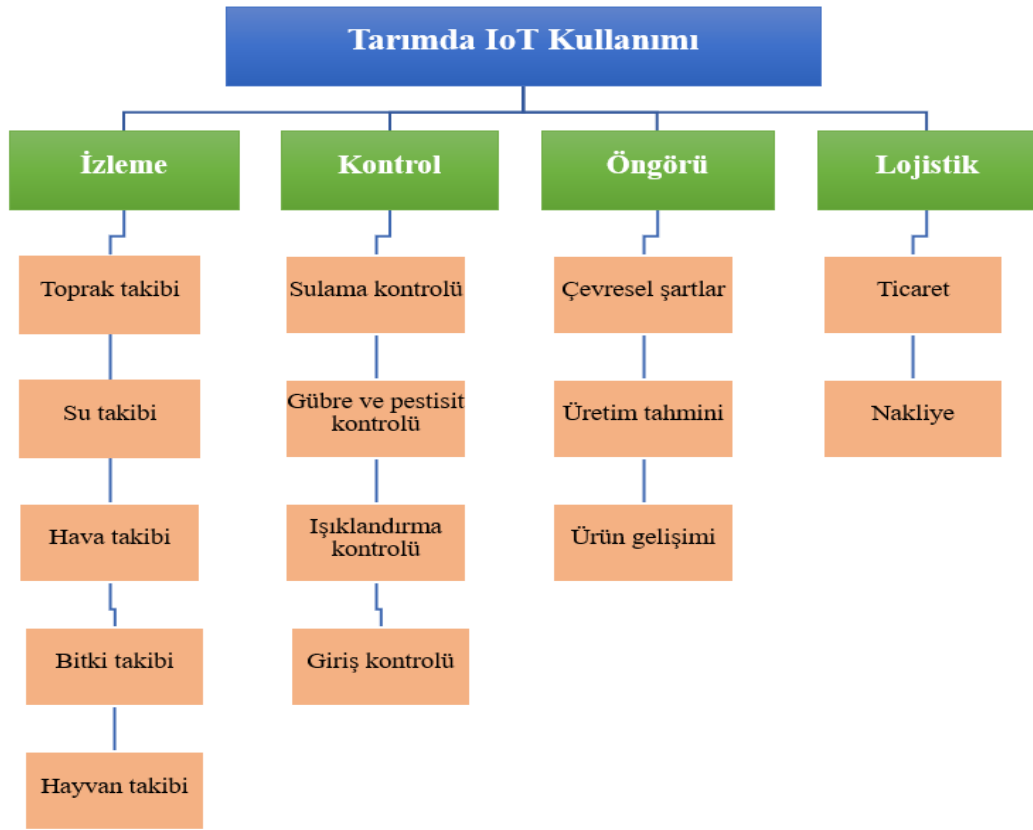
Şekil 5.20 Tarımda IoT (Farooq vd. 2019)¹

¹ Pasif kızılötesi sensör (passive infrared sensor), görüş alanındaki nesnelerden yayılan kızılötesi ışığı ölçen elektronik bir sensördür.

IoT tabanlı çözümler ile bitki yetiştiriciliğinde gübre, pestisit, verim tahmini vb. parametrelerde üreticiye detaylı bilgi sağlanabilir; tarımsal arazilerde toprak tipine göre ihtiyaç duyulan sulama oranı, toprak nemi sensörleriyle belirlenebilir ve hayvancılıkta hareketlilik, sağlık seyri ve gerçek zamanlı takip yapılabilir (Lillestrøm 2021). Ayrıca herhangi bir fiziksel engelin olmadığı fakat tıpkı fiziksel çitlemede olduğu gibi kontrollü takibin yapılmasına olanak sağlayan sanal çitleme, bir diğer IoT tabanlı çözümlere örnek verilebilir (Lillestrøm 2021). Söz konusu uygulamaya dair örnek, açıklamalı olarak, Şekil 5.21’de görülmektedir.



Şekil 5.21 Sanal Çitleme (Hogewerf 2023)



Şekil 5.22 Tarımda IoT kullanımının hiyerarşik yapısı (Bhatnagar vd. 2020)

Çeşitli yazılım endüstri ile araştırma merkezleri, IoT'nin tarımda kullanım ve etkisini araştırırken, ayrıca bu alandaki başlıca araştırma konularını ortaya çıkarmak için de incelemelerine devam etmektedir (Bhatnagar vd. 2020). Şekil 5.22'te ise çalışmanın hiyerarşik yapısı, dört ana çalışma alanı ve ilgili alt alanlarına yer verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere IoT tarımda sunduğu geniş kullanım alanlarıyla ve ilgili diğer aygıtlarla oluşturduğu sistem aracılığıyla üreticilere, ürünlerinin hemen hemen tüm gelişim safhaları ile sonraki aşamalarda kontrol ve yönetiminde geniş fırsatlar sağlama potansiyelini ortaya koymaktadır. IoT, söz konusu potansiyelleri açık sistemlerde olduğu gibi sera gibi kapalı sistemlerde de sağlayabilmektedir. Söz gelimi Şekil 5.22'te "Kontrol" çalışma alanı altında yer verilen ışıklandırmada, Yoo vd. (2007) verdiği örnekte seralarda KSA (Kablosuz Sensör Ağ) tabanlı bir sistemle kavun ve lahana yetiştirilen seralarda bitki gelişimi izlenirken çevresel şartlar da kontrol edilmiş ve bu da sistemin ışıklandırma kontrollü özelliği sayesinde ışığı değiştirilebilmesiyle sağlanmıştır (Bhatnagar vd. 2020). Şekil 5.22'te verilen "giriş kontrolü" başlığı altında ise, Roy vd.

(2015) tarlaya izinsiz bir giriş tespit edildiğinde bir mesaj aracılığıyla üreticinin cep telefonuna uyarı iletebilecek bir sistem önermişlerdir (Bhatnagar vd. 2020).

IoT'nin, buraya kadar belirtilen uygulama (pestisitlerin belli oranda ve zamanda uygulanması vb.) ve kullanım alanlarındaki (ürünün izlenmesi, kontrolü vb.) örnekleri doğrultusunda girdilerin azaltılmasıyla sağladığı ya da sağlayabileceği ekonomik avantajlar kadar, tarımsal uygulamaların -günümüz tarımsal hedefler arasında yer alan- çevreye olan olumsuz etkinin de azaltılabileceği beklentisi de bulunmaktadır. Nihayetinde üreticilere sunduğu birçok fırsat ve potansiyel çözüm ile IoT'nin tarımda büyük bir etki yaratması mümkündür.

IoT uygulamaları imalat, lojistik, sağlık hizmeti gibi birçok endüstride uygulama fırsatı bulmuş teknolojilerdir (Lilleström 2021). IoT'nin bu fırsatı son yıllarda tarım sektöründe de yakalamasına rağmen “benimseme” aşamasında beklentilerin gerisinde kalmaktadır (Bulut ve Wu 2022). Barenkamp (2020)'ın belirttiği üzere IoT girişimlerindeki payın büyük çoğunluğu imalat endüstrisi gibi erken benimseyen sektörlerin elindedir (Bulut ve Wu 2022). Özellikle IoT Analytic (2020)'in 2020 yılı verilerine göre tarım (%4)'ın, imalat sektörüne (%22) kıyasla sahip olduğu düşük pay, bu durumu daha net ortaya koymaktadır (Bulut ve Wu 2022). Bulut ve Wu (2022) binden fazla inceledikleri yayın kapsamında tarımda IoT ile ilgili en son gelişmeleri ve benimseme sürecindeki söz konusu yavaş gelişimi araştırmak amacıyla çalışmayı gerçekleştirmiştir. Bulut ve Wu (2022) bu çalışma kapsamında genel sektör için literatürde en çok atıfta bulunulan “üç büyük” engelin: maliyet (sensör ekipman maliyeti gibi), beceri (teknik uygulamalarda beceri ve uzmanlık yetersizliği gibi) ve standardizasyon (kurumsal engeller, küresel standardizasyon eksikliği gibi) olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca yine bu çalışmada, Bulut ve Wu (2022) önerilen IoT çözümlerinin çoğunun sınırlı kapsamda bağımsız sistemler olmasında ve ticari IoT girişimlerinin çoğunun çevresel şartlardan korunaklı kapalı sistemlere yönelik uygulamalara odaklanılmasında temel iki nedenin “bağlantı” ve “veri yönetimi eksikliği” olduğunu vurgulamıştır.

IoT'nin tarım sektöründe benimsenme yavaşlığına rağmen son yıllarda tarım alanında IoT ile ilgili çalışılan yayın sayısında artış kaydedilmiştir. Özellikle IoT alanındaki yayınlar 2000'li yılların başında ortaya çıkarken, tarım sektörünün dâhil olduğu çalışmalar ise 2010 yılında başlamış ve 2015 yılı itibarıyla da çalışma sayısında ciddi bir sıçrama yaşanmıştır (Bulut ve Wu 2022). Söz gelimi 2015-2020 yılları arası IoT uygulamaları alanında yayımlanan makale sayısı dikkate alındığında, bu alanda tarım sektörüne en fazla katkıyı Çin gerçekleştirirken aynı dönemde bu ülkeyi sırasıyla Hindistan ve Hollanda takip etmiştir (Maroli vd. 2021). Bir diğer dikkat çekici konu ise özellikle IoT uygulama alanları arasından son yıllarda tarım tedarik zinciri alanındaki araştırma sayısında gözlemlenen artıştır (Maroli vd. 2021). Dolayısıyla bu doğrultuda IoT girişimlerinin daha ağırlıklı olarak literatürde yer verildiği, tarım sektöründeki benimsenme yavaşlığına bağlı olarak saha çalışmalarının istenilen düzeyde olmadığı anlaşılmaktadır.

Yıllar içinde KSA'lar çevresel izleme, hassas tarım, makine ve işlem kontrol otomasyonu ve izlenebilirliğe odaklı akıllı tarım ve gıda üretiminde uygulanmıştır (Elijah vd. 2018). Tzounis vd. (2017) geleneksel KSA'yı, son zamanlarda iletişim açısından daha genel standartları benimseyerek, internete uzaktan erişime izin vererek ve izleme ve/veya kontrolü iyileştirmeyi amaçlayan verilerin meta-işlenmesi için akıllı algoritmalar uygulayarak IoT dostu-KSA'ya dönüştüğü şeklinde yorumlamıştır. Elijah vd. (2018) ise IoT ile birlikte, akıllı tarım için KSA kullanımından, akıllı tarım için ana itici güç olan IoT'ye doğru bir paradigma kayması olduğunu vurgulamıştır. Kablosuz iletim, kablolu ve donanımda önemli bir azalış ve basitleştirme avantajı sağlarken ayrıca yine bu teknoloji bakım karmaşıklığını ve maliyeti azaltmaktadır (Wang vd. 2006). IoT ise KSA, RF tanımlama, bulut bilgi işlem, ara yazılım sistemleri ve son kullanıcı uygulamaları gibi halihazırda var olan çeşitli teknolojileri entegre etmektedir (Elijah vd. 2018). Yine bu doğrultuda, dağıtılmış verileri gerçek zamanlı olarak işlemek için gereken algoritmalar, düşük güce sahip bir KSA düğümünde yerel olarak çalıştırılmayacak kadar karmaşık iken IoT bağlamında, tüm nesneler birbirine bağlı olacağından hesaplama yükü kolayca buluta kaydırılabilir ya da birden fazla birbirine bağlı cihaz arasında dağıtılabilir (Tzounis vd. 2017). Günümüzde ise tarım alanında

KSA, daha yaygın olarak çiftçilikte kalite ve verimi artırmak için tarımsal izlemede kullanılmaktadır (Prodanovi'c vd. 2020).

Tarımsal alanda IoT uygulama ve teknolojileri ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında ortaya çıkan bir diğer önemli konu başlığı ise söz konusu teknoloji ve uygulamaların yine tarım sektöründe karşılaştığı engeller olmaktadır. Bu kapsamda literatürde değinilen birkaç engele yer verilecektir. Söz gelimi Verdouw vd. (2019)'ne göre IoT tabanlı teknolojilerin tarımsal alanda karşılaştığı bazı engeller;

- IoT aygıtlarının zorlu ortam şartlarında (açık hava, soğuk hava deposu vb.) ve ücra yerlerde (tarla gibi) çalışmaları ve yine bu şartlardan dolayı doğan enerji ihtiyacı ve kırsal alanlarda internet bağlantı sorunları,
- Tarımsal ürün yetiştirme sürecinin göreceli olarak yavaş olması ve yine üretim sürecinde çevresel şartların (hava şartları gibi) belirsizliği nedeniyle IoT tabanlı teknolojilerin karşılaştığı geçici engeller,
- Organizasyonel bir sorun olarak yüksek sayıdaki küçük ve orta ölçekli işletme varlığı ve buna bağlı olarak mali kaynak, teknik uzmanlık ve yönetim becerilerinde yetersizlik ayrıca bu durumun doğal bir sonucu olarak veri sahipliği, gizlilik ve güvenlikle ilgili kullanıcı konularından doğan endişeler,
- Sundmaeker vd. (2016) ile Verdouw vd. (2017)'nin de çalışmalarında yer verdiği üzere, tarım ve gıda alanındaki mevcut IoT uygulamaları ve teknolojilerinin hala tamamlanmamış, sorunsuz entegrasyondan yoksun ve özellikle daha ileri çözümlere sahip uygulamalarında, gelişim hala deneysel aşamadır.

Bhatnagar vd. (2020) ise, IoT tabanlı akıllı tarım sisteminde hizmet kalitesinin verimli bir şekilde sürdürülmesi; yine akıllı tarım sistemlerindeki uygulamalarda uygun IoT teknolojilerinin seçimi; doğal afetleri en son politikalar çerçevesinde ele almada uygun karar verme sisteminin varlığı ve temiz bir çevre için tarımsal üretim sonrası ortaya çıkan artık sorununun IoT teknolojilerinde karşılaşılan zorluklar arasında yer vermiştir.

Bir diğerk çalışma kapsamında ise tarımda IoT teknolojilerinde karşılaşılan zorluklar: kesintisiz ağ bağlantısı, eksiksiz bilgi hizmet alımı, kesintisiz operasyonel hizmet, güvenlikle ilgili sorunlar, devam eden hizmetlerin uygun yönetimi, hizmetlerin doğru tanımlanması, standardizasyon, ara taşınabilirlik, bilgi gizliliği, nesnelerin fiziksel güvenliği, veri gizliliği, veri şifreleme ve özel spektrum olarak sıralanmıştır (Khanna ve Kaur 2019).

Nihayetinde IoT teknolojilerinin gelişiminde ve tarımsal uygulamalarında ayrıca doğru, sürdürülebilir ve kaliteli hizmet verebilmesinde mevcut ve potansiyel engellerin ortaya koyulması da büyük önem arz etmektedir.

5.1.3 Tarımda uygulanan diğerk dijital teknolojiler

Makine Öğrenimi : Makine öğrenimi (MÖ), birçok farklı alana (bilişsel bilim, optimum kontrol ve diğerk birçok bilimsel, mühendislik ve matematik disiplini gibi) uzanan ve resmi olarak öğrenme sistemlerine ve algoritma teorisine, performansına ve özelliklerine odaklanan disiplinler arası bir araştırma alanıdır (Cravero vd. 2022). Ya da diğerk bir deyişle MÖ, belirlenen problemi, probleme özgü elde edilen verilere göre yorumlayan ve karar veren algoritma yöntemleridir (Dolcel vd. 2021). Dolayısıyla MÖ birçok uygulamasıyla neredeyse hemen her bilimsel alana nüfuz ettiği belirtilebilir. Algoritmalar, problemlere (ilgili veriler temelinde) en iyi çözümü sunabilecek şekilde kurgulanmaktadır. Bu nedenle MÖ için birçok algoritma yöntemi (K-en yakın komşu algoritması, basit (naive) bayes sınıflandırıcı, karar ağaçları, yapay sinir ağları vd.) geliştirilmiştir (Dolcel vd. 2021).

MÖ, geri bildirim yapısına bağlı olarak üç sınıfa ayrılır: denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme (Cravero vd. 2022). Cravero vd. (2022) göre veri analizlerinde denetimli öğrenme ve denetimsiz öğrenme; karar verme problemlerinde ise pekiştirmeli öğrenme tercih edilmektedir.

MÖ'nün birçok alanda olduğu gibi tarım sektöründe de uygulama alanı genişdir. Bu doğrultuda Liakos vd. (2018) 2004-2018 yıllarında ele aldığı literatür incelemesine göre tarımda MÖ uygulamalarından faydalanan başlıca dört ana kategori şunlardır: ürün, su, toprak ve hayvan yönetimi (Benos vd. 2021).



Şekil 5.23 Tarımda makine öğrenimi tekniklerinden yararlanan dört ana kategori (Benos vd. 2021)

Liakos vd. (2018) araştırmada dikkate aldığı 2004-2018 yıllarındaki döneme kıyasla Benos vd. (2021) MÖ araştırmalarının çok daha artış kaydettiğini belirttikleri 2008-2020 yıllarında (Şekil 5.23'de yer verilen kategoriler arasından) ürün yönetiminin MÖ kapsamında en çok araştırılan kategori; diğer üç kategorinin (su, toprak ve hayvan yönetiminin) literatüre katkı açısından hemen hemen aynı oranda olduğunu tespit etmiştir. Benos vd. (2021) tarımda MÖ çalışması kapsamında elde ettiği önemli sonuçlar şunlardır:

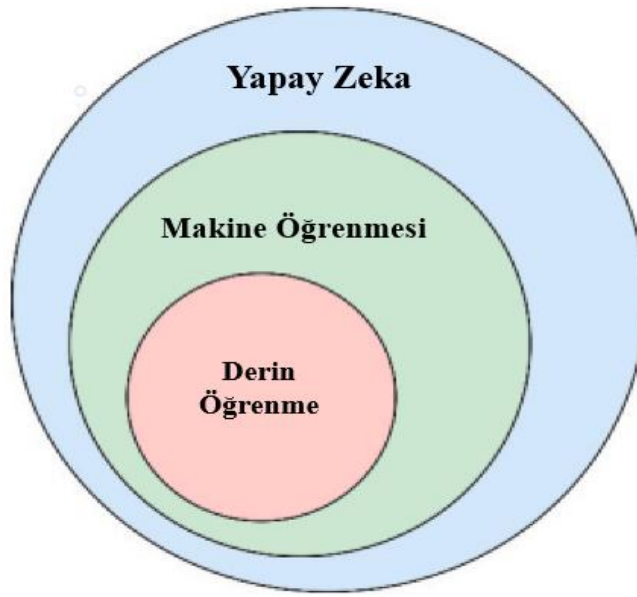
- MÖ kullanılarak en çok incelenen tarımsal ürün ağırlıkla mısır iken bunu buğday, pirinç ve soya fasulyesi takip etmiştir. Hayvancılık yönetiminde ise koyun ve keçilerle birlikte sığırlar öne çıkmıştır.
- Tarım alanlarından elde edilen heterojen verilerin işlenmesi amacıyla geliştirilen çeşitli makine öğrenimi algoritmaları doğrultusundaki MÖ modellerinden en verimli olanın Yapay Sinir Ağları¹ (YSA) olduğu kanıtlanmıştır.
- MÖ uygulamaları için ölçüm değerlerinin elde edilmesinde en yaygın yöntem uzaktan algılama teknolojileridir (İKA'lar da dahil olmak üzere İHA ve uydu görüntülemeleri). Bilindiği üzere uydular ile görüntüleme daha geniş alanlardan üzerinden sağlanırken İHA'lar çeşitli hava koşulunda yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlama yetenekleriyle uydulara karşı gittikçe daha fazla yer edinmektedirler.
- Tarımda MÖ uygulamalarına odaklanan literatür incelemelerine coğrafi açıdan bakıldığında, gelişmiş ve gelişmekte olan toplam 55 ülke sıralamasında birinci Çin, ikinci ABD ve üçüncü ise Hindistan olurken bölgesel bazda en fazla katkıyı Asya ülkeleri, en az katkıyı ise Afrika ülkelerinin yaptığı vurgulanmıştır.

Tarımda MÖ karşılaşılan zorluklara gelindiğinde ise Benos vd. (2021) göre bunlar: ICT'nin yüksek maliyetleri, geleneksel uygulamalar ve bilgi eksikliği dahil olmak üzere birçok nedenden dolayı çiftliklerde sensörlerin uygulanmasıyla ilişkili olması; mevcut veri setlerinin çoğunun gerçekçi vakaları yansıtmaması; daha verimli makine öğrenimi algoritmalarına ihtiyaç duyulması; çiftçilerin büyük çoğunluğunun makine öğrenimi konusunda uzman olmaması ve bu nedenle makine öğrenimi algoritmaları tarafından elde edilen temel kalıpları tam olarak kavrayamamasıdır.

Derin Öğrenme :Derin Öğrenme (DÖ), çoklu işleme katmanlarına sahip derin bir katman kullanarak soyutlamaları bir dizi algoritmayla modellemeye çalışan bir makine öğrenimi dalıdır (Cravero vd. 2022). DÖ, YSA'lara (girdi, gizli ve çıktı'dan oluşan 3

¹ YSA'lar (Artificial Neural Networks/ANNs), insan beyninin sinir ağlarından esinlenerek, fiziksel bir olayı açıklayan temsili verilerden örneklerle öğrenmeye olanak tanımaktadır. YSA'ların belirgin bir özelliği de bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında ilişki geliştirebilmeleri ve böylelikle temsili veri setlerinden yararlı bilgiler çıkarabilmeleridir.

katman yapısına) kıyasla birden fazla gizli katmana sahip olduklarından YSA'ların çok daha gelişmiş bir modeli olarak tanımlanabilmektedir (Bal ve Kayaalp 2021). Yapay zekâ alanında büyük ilgi gören DÖ, doğal dil işleme, sürücüsüz araçlar, görüntü işleme, yüz tanıma, kişiselleştirilmiş alışveriş planlaması gibi birçok alanda kullanılmakta (Bal ve Kayaalp 2021) ve bunlar arasından doğal dil işleme ve görüntü sınıflandırması daha ön plana çıkmaktadır (Cravero vd. 2022). Yapay zekâ ve uygulamalarından makine öğrenmesi ile derin öğrenme arasındaki ilişki yapısına Şekil 5.24'de yer verilmiştir.



Şekil 5.24 Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme arasındaki ilişki (Cravero vd. 2022)

Tarım alanındaki çalışmalarda MÖ ve DÖ tabanlı algoritmaların kullanıldığı alanlar ise şunlardır: Bitki tanımlama (Tarımsal İzleme ve Bilgi Sistemi/TARBİL istasyonlarından sağlanan görüntüler üzerinden DÖ algoritmaları aracılığıyla bitki türlerinin sınıflandırılması gibi), bitkilerde hastalık tespiti, yabancı ot ve zararlı tespiti, toprak haritalama, kuraklık indeksi ve tarım araçlarının belirlenmesi ve verim tahminidir (Bal ve Kayaalp 2021). Tarımda DÖ uygulamalarına ek olarak tarımsal ürün yönetimi, meyve sayımı su yönetimi ve toprak yönetimi de verilebilir (Albahar 2023). Bal ve Kayaalp (2021)'ın literatürde 2016-2020 yıllarını ele aldıkları incelemede söz konusu yapay zekâ uygulamalarında kullanılan en popüler tarım ürünleri buğday, mısır, pirinç, domates, şeker kamışı ve soya fasulyesi olmuştur. Albahar (2023)'ya göre tarımda DÖ

ile ilişkili belirli zorluklar ise şunlardır: donanım ve yazılımların yüksek maliyetleri, DÖ metodlarının (doğruluk ve verimlilik açısından) sınırlı olması, yüksek kaliteli veri noksanlığı, veri setlerinin yetersizliği, DÖ kullanıcılarının eğitimi için gerekli süre ve hesaplama kapasitesinin mevcudiyetidir.

Büyük Veri : Büyük veri dört özellik temelinde tanımlanmaktadır. Bu özellikler hacim, hız, çeşitlilik ve doğruluktur (Cravero vd. 2022). Osinga vd. (2022)'ne göre bu dört özellik şunları ifade etmektedir:

- *Hacim*, sorunu çözmeye gerekli veri boyutunun çok büyük olduğu ve kapasitesinin giderek arttığı,
- *Hız*, gerçek zamanlı karar vermenin gerçekleşmesinde gerekli veri ve modellerin çok hızlı işlenmesi ihtiyacı,
- *Çeşitlilik*, karar vermede heterojen verilerin birlikte işlenmesi gerekliliği,
- *Doğruluk*, karar vermek için gerekli verilerde belirsizlik olması ayrıca veri kaynağında artışla beraber verilerde doğruluğun her zaman garanti edilememesi,

Büyük veri tek başına işlevini yerine getirebilen bir teknoloji değildir. Bu nedenle makine öğrenimi, bulut tabanlı platformlar, görüntü işleme, modelleme ve simülasyon, istatistiksel analiz, NDVI bitki örtüsü endeksleri ve coğrafi bilgi sistemleri (GIS) gibi diğer teknolojilerle birlikte kullanılmaktadır (Cravero vd. 2022).

Tarımda büyük veri ise verilere dayalı karar vermede temel olarak veri analizi ile birlikte mevcut tüm modern teknoloji olarak ifade edilmektedir. Yine tarımda büyük veri; hava ve iklim değişikliği, arazi, hayvan araştırmaları, tarımsal ürünler, toprak, yabani otlar, gıda bulunurluğu ve güvenliği, biyolojik çeşitlilik, çiftçilerin karar verme süreçleri, çiftçi sigortası ve finansmanı, uzaktan algılama gibi tarımın çeşitli alanlarında kullanılmıştır (Cravero vd. 2022). Tarımsal uygulamalarda neredeyse son on yıldır teknolojileriyle literatürde mevcut olan büyük veri, bu süre zarfında tarımda henüz yaygın bir şekilde uygulanmadığı ve dolayısıyla hala erken bir gelişme aşamasında olduğu düşünülmekteydi (Osinga vd. 2022). Şimdilerde ise bu alanda kazanılan

tecrübeler, uygulamalar ve ayrıca yeni büyük veri ve yapay zekâ uygulamaları ile geliştiği değerlendirilmektedir (Osinga vd. 2022).

Tarımda büyük veri uygulamalarına dair zorlukların, tarımsal veri setlerinin (toprak, iklim, tohum, yetiştirme uygulamaları, sulama tesisleri, gübreler, böcek ilaçları, yabani otlar, hasat vb.) birçok çeşitli verileri içermesinden ötürü özellikle veri toplama, depolama ve analiz gibi farklı aşamalarda ortaya çıktığı görülmektedir (P.S. ve Chintala 2020). Buna ek olarak Cravero vd. (2022) veri yönetişimi, eğitim ve beceri, tarımsal işletme ölçeği, kırsal alanlardaki altyapı ve büyük verinin özellikleri (hacim, hız, çeşitlilik ve doğruluk) ile ilişkili zorluklara da yer vermiştir.

Tarımda karşılaşılan sorunları iyileştirmede kullanılan birçok yeni teknoloji çeşitli açıdan (uygulama alanları, mevcut sınırlamalar gibi) ele alınarak incelenmiştir. Bunlara ek olarak tarımda mevcut diğer teknolojiler ise özetle şunlardır:

Dijital ikiz: Bir ürünün, sürecin veya ortamın gerçek zamanlı senkronize edilmiş sanal temsili olarak tanımlanan bu terim, yüksek doğruluklu modelleme ve simülasyon yoluyla dijitalleşmeyi elde etmede yeni bir yol sunmaktadır (Purcell ve Neubauer 2022). Diğer bir ifadeyle gerçek hayattaki bir nesnenin davranışını yansıttığı ve ömrü boyunca sanal bir alanda ifade ettiği dijital eşdeğeridir (Verdouw vd. 2020). Dijital ikiz, çiftçilerin arazideki (gözlem ve diğer manuel eylemler gibi) görevleri yerine getirmede fiziksel yerine (yakın) gerçek zamanlı dijital bilgilere dayalı operasyonları uzaktan yönetebilmesini sağlayabilir (Verdouw vd. 2020).

İmalat sektörü, akıllı şehirler, sağlık ve tarım sektörü dijital ikiz'i benimseyen alanlardan birkaçıdır (Purcell ve Neubauer 2022). Tarımsal dijital ikiz uygulama alanları ise: tarımsal ürünler (izleme, kaynak optimizasyonu ve bitkisel yetiştirme desteği); hayvancılık (izleme, yönetim ve optimizasyon); kentsel, kontrollü ortam ve akuaponik tarım; politika, çevre ve altyapı; ürün tasarımı, akıllı hizmetler ve makine yönetimi ve tedarik ve değer zinciridir (Purcell ve Neubauer 2022).

Karar destek sistemi: Bilindiği üzere tarımda (ekonomik, çevresel ve tarımsal ürün temelinde) büyük ölçüde veri ortaya çıkmaktadır. Bu verilerin uygulanabilir bilgiye dönüşmesinde Karar Destek Sistem’leri devreye girmektedir. Bu doğrultuda tarımsal KDS, çiftçilerin farklı koşullar altında karar alma sürecini destekleyerek bir tavsiye listesi sağlamak amacıyla çeşitli kaynaklardan gelen verileri kullanan bir insan-bilgisayar sistemi olarak tanımlanabilir (Zhai vd. 2020). Söz konusu tarımsal KDS’lerde en son karar yine çiftçiye ait; belirli bir eyleme özgü olduklarından tarımsal faaliyetlerin yönetiminde birden fazla sayıda (KDS) ihtiyaç duyulmakta; öneri oluşturulurken bazı temel etkenlerin (iklim değişikliği, araziye bağlı toprak değişkenliği, bitki hastalığı vb.) gözardı edilmesi net karar oluşumuna engel olmaktadır (Zhai vd. 2020). Zhai vd. (2020) tarımsal KDS’ler kapsamında inceledikleri makalelere göre söz konusu sistemlerin uygulama alanlarını şu başlıklar altında toplamıştır: tarımsal görev planlaması, su kaynaklarının yönetimi, iklim değişikliği adaptasyonu ve gıda israfı kontrolü.

Bulut ve Uç Bilişim: Hizmetlerin sanallaştırıldığı, bir havuzda toplandığı, paylaşıldığı ve minimum yönetim çabası ile hızlı bir şekilde tedarik edilip yayınlanabileceği bir hizmet gibi her şeyi sağlamaya yönelik bir bilgi işlem paradigması; Uç bilişim ise bulut hizmetleri lehine aşağı akış verileri ve IoT hizmetleri lehine yukarı akış verileri üzerinde ağırlıklı Uç noktasında hesaplama yapılmasına izin vererek etkinleştiren teknolojiler olarak tanımlanmaktadır (Kalyani ve Collier 2021). Uç bilişim, bulut bilişimin sorunlara çözüm sunmaktadır. Tarımsal faaliyetlerde yüksek verim sağlamada ise bu iki teknolojinin birleştirilerek kullanılması gereklidir.

Veri toplama ve uzaktan depolama, ICT kaynaklarına düşük maliyetli erişim, çevrimiçi tarım uzmanları danışmanlığı, arazi kayıtları otomasyonu ve hava tahmini, Bulut Bilişimin tarımda sunduğu önemli rollerdir. Sürekli ve yüksek hızlı ağ bağlantısı, güvenlik ve gizlilik ise tarımsal alan kullanımında karşılaşılan zorluklarıdır. Uç bilişim ise temel olarak hasare tespiti, tarım ürünlerinin güvenlik izlenebilirliği, insansız tarım makineleri, tarım teknolojisinin teşviki ve akıllı yönetim gibi tarımsal uygulamalara katkıda bulunmaktadır (Kalyani ve Collier 2021).

5.2 Tarımda Veri Mülkiyeti

Günümüz çiftçiliğinin teknoloji alanındaki bilgi ve beceri yetersizliği, ilgili teknolojilerin kullanımında önemli bir engel teşkil ederken teknoloji sağlayıcı şirketlerden hizmet alımını da zorunlu hale getirmektedir. Bu durum ilerleyen dönemlerde teknolojiye daha yatkın olan nesilin, günümüz çiftçilerin yerini alması durumunda teknoloji sağlayıcılarının tarımsal faaliyetlere direkt katılımını zamanla azaltacağı şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca veri mülkiyeti çerçevesinde kavram netliği, tarımsal üretim sürecinde mülkiyetin nerede başladığı, kime ait olduğu ve bu konuda çiftçi endişelerinin neler olduğu şimdilik cevap beklenen öncelikli sorulardır.

Tarımsal veriler, gıda üretimi sırasında çeşitli işlem ve cihaz aracılığıyla üretilen ve toplanabilen; çevre, tarımsal faaliyet ve sistem yönetimi dâhilinde amaca göre kategorize edilebilen ve temel olarak hesaplamaları ya da karar vermeyi besleyen ham verilerdir (Yu vd. 2021). İzleme sistemleri temelinde üretilen tarım verilerinin çiftçi, toprak sahibi ve farklı teknoloji sağlayıcıları biraraya getirdiği bir ekolojide, fiziki bir tarım emtiasının üretimi için her bir paydaşın belli oranlarda katkısı bulunmaktadır (Yu vd. 2021). Buna rağmen Yu vd. (2021) bu süreçte üretilen tarım verilerinin sanal ürün olmasından dolayı ortak bir mülk olmadığını belirterek ayrıca ABD yasalarının verileri (tarım verileri de dâhil olmak üzere) “olgusal gerçekler” olarak sınıflandırdığı bilgisini vermektedir. Buna ek olarak tarım verilerinin, fikri mülkiyet olarak tanımlanabilmesinde ise yaratıcı öğeye sahip olmaması nedeniyle Yu vd. (2021) yasal çerçevede çiftçilerin, kendi arazilerinden üretilen "ham" verilerin sahibi olmadığını; ham tarım verilerinin düzenlenmesi, yönetilmesi ya da başka unsurlarla ilişkilendirilmesi durumunda ise bu çerçevede bir veritabanı mülkiyetinin telif hakkıyla korunabileceğini ifade etmektedir. Benzer bir bilgiyi de Atik (2022) dijital tarımı, kişisel veri odaklı olmayan bir sektör olarak tanımlayarak veritabanı mülkiyetinin telif hakkıyla korunabileceği şeklinde vermektedir.

Günümüzde 194 ülkeden 137'si veri ve gizliliğin korunmasını yasalarla güvence altına almıştır (Anonymous 2023). Sanal ortamda daha fazla sosyal ve ekonomik etkinlik gerçekleştiğinde kişisel bilgilerin toplanması (tüketici rızası olmaksızın), kullanılması ve

üçüncü taraflarla paylaşılması endişeleri, gizliliğin ve veri korumanın önemini daha artırarak ülkeleri bu kapsamda ilgili yasaları düzenlemeye itmektedir (Anonymous 2023l). Söz gelimi Avrupa Parlamentosu’nun 14 Mart 2023 tarihinde onayladığı ve son aşamada olan (Anonymous 2023m) “Veri Yasası”nı Atik (2022), dijitalleşmede gelişmekte olan tarım sektörü açısından ele almıştır. Söz konusu yasanın tarım verilerine nasıl etki edeceğini inceleyen Atik (2022):

- Veri Yasası, çeşitli hükümlere sahip olmasıyla birlikte temel kavramların tanımları ve hükümlerin kapsamı dijital tarım sektörü açısından oldukça sınırlı olduğundan sektörün dijitalleşmede hedeflerine ulaşmak için daha ayrıntılı kurallara gereksinim duyacağı,
- Sektörün yasal çerçevede düzenlenmesi hedefinde daha ayrıntılı kurallara gereksinim duyacak olan mevcut yasanın, yine mevcut sektör sorunlarını ancak kısmen hafifletebileceği,
- Bir diğer önemli konu ise bu düzenlemeyle önerilen veri haklarının devredilemez veya vazgeçilemez olduğunun açıkça beyan edilmediği,

konularına dikkat çekmiştir. AB veri stratejisinin temel sütunlarından biri olan Veri Yasası, IoT cihazları tarafından üretilen verilerin kullanımına ilişkin kuralları belirlemektedir (Anonymous 2022f).

Birçok çiftçinin tarım verilerinin paylaşımı konusunda çekinceleri bulunmaktadır (Wiseman vd. 2018, Yu vd. 2021, Anonymous 2021b). Çiftçiler açısından tarım verilerini kullanabilmede üretilen tarım verilerinin çok fazla, karmaşık ve zor işlenebilir olması, eğitim ve dijital beceri yetersizliği, veri sahipliğindeki kafa karışıklığı ve finansal kaynak yoksunluğu bazı engelleri teşkil etmektedir (Anonymous 2021b). Dolayısıyla bu engellerin çözümünde öncelikle çiftçilerin dijital dönüşüm içerisindeki dönem itibarıyla tarım verilerinin değeri ve potansiyeli konusunda bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda ise çiftçilerin tarım verilerine dayalı elde edecekleri faydalar çiftçilere net bir şekilde sunulmalıdır. Tarımsal faaliyetlerde sağlanacak işçilik ve idari yük azalışı ve yine tarım verileri sayesinde sağlanacak geliştirilmiş yönetim ve

karar alma mekanizmaları ile üretimde maliyet düşüşü buna örnek olarak verilebilir. Bu nedenle çiftçilere dijital beceri ve bilgi kazandıracak eğitimler, yatırım maliyetleri konusunda endişeleri azaltmada finansal yardımlar, danışmanlık hizmetleri, tarım verilerinde taraflar (çiftçi, sektör, teknoloji sağlayıcı gibi), kullanım, sahiplik, gizlilik gibi konularda çiftçi endişelerini ortadan kaldıracak yasal çerçeve düzenlemesi vb. ülkelerin tarımsal dijitalleşme hedefinde üreteceği politikalarla desteklenmelidir.

Tarım sektöründeki veri mülkiyeti kavramı ve önemi hususunda öne çıkan genel fikre, Wiseman vd. (2018) ise karşı bir argüman sunmaktadır. Wiseman vd. (2018)'ne göre veri mülkiyeti, faydasız ve dikkat dağıtıcı olduğundan yasal çerçevede yaklaşım ve mücadele konuları yerine, ilgili taraflara tarım verilerinin nasıl toplandığı, kontrol edildiği ve erişildiği konularında “verilere katkıda bulunan” ve “toplayan” taraflar arasındaki ilişkide şeffaflık ve güvenin nasıl geliştirileceğine odaklanılması gerektiğini savunmaktadır. Diğer bir deyişle Wiseman vd. (2018) tarımsal dijitalleşmenin adaptasyonunda mevcut veri mülkiyeti tartışmalarını bir engel olarak değerlendirmekte ve bu sebeple veri mülkiyetinde asıl odaklanılması gereken konunun veri yönetimi olduğunu vurgulamaktadır.

Veri mülkiyeti, ilgili teknolojilerin kullanımı temelinde çok uluslu şirketlerle sözleşme imzalayan çiftçiler açısından elde bulundurulması gereken bir güç müdür ya da mülkiyet olgusu ilgili alanın gelişiminde bir engel midir sorularında çözümün, devam eden dijital dönüşüm sürecinde olgunlaşmış bir seviyeye ulaşıldığında şekil bulacağı tahmin edilmektedir.

6. DÜNYA VE TÜRKİYE’DE DİJİTAL TARIMIN MEVCUT UYGULAMA VE POLİTİKALARI

Acemoğlu ve Robinson (2013) teknolojik gelişimin önemi ve etkisi konusundaki görüşlerini “teknolojik değişim refahın lokomotiflerinden yalnızca biridir; fakat muhtemelen en hayati olanıdır. Yeni teknolojilerden yararlanamayan ülkeler refahın diğer lokomotiflerinden de fayda göremediler” şeklinde ifade ederken aslında günümüz dünya eşitsizliğinin nedeninde Sanayi Devrimi’nin getirdiği teknolojilerden diğer ülkelerin faydalanma imkânı bulamamasını vurgulamıştır (Acemoğlu ve Robinson 2013). Benzer bir görüşü de Pingali ve Aiyar (2019) vermektedir. Buna göre, Yeşil Devrim’de ilk harekete geçip fayda sağlayanların günümüz gelişen ekonomileri olduğu belirtilmektedir. Söz konusu ekonomilerin büyümesinde şimdilerde tarım daha az katkı sağlasa da bahse konu dönemde tarımsal dönüşümün yapısal dönüşümü tetiklediği şüphe götürmemektedir (Serraj vd. 2019).

Sanayi Devrimi’nin yarattığı radikal değişim rüzgarının benzerini Yeşil Devrim de tarım alanında gerçekleştirmiştir. Yeşil Devrim, olumlu etkileri (tohum ıslahı, verim artışı, makineleşme gibi) kadar, bu sürecin hem çıktısı hem üretim artışında aracı olan herbisit, pestisit ve inorganik gübre (aşırı) kullanımı ile sonrasında neden olduğu olumsuz çevresel etkiler sonucu günümüzde hala tartışmaların odağı olabilmede güncelliğini korumaktadır. Pingali (2012), Yeşil Devrim’de odaklanılan hedeflerin tarımsal üretim artışı ve gıda güvencesi olduğunu belirtirken, gelecek tartışmaların merkezinde ise gıda ile besine erişim ve agroekolojik sistemlerin sürdürülebilirliğinin yer alacağını vurgulamıştır (Serraj vd. 2019).

Geleneksel üretimi geride bırakıp mekanikleşen tarım sektörü, şimdilerde ise dijitalleşme süreci içerisinde. Söz konusu dijitalleşme sürecinin her ülke için aynı düzeyde (ekonomik altyapı, teknik altyapı vb. nedenlerle) gelişmesinin mümkün olmayacağı tahmin edilse de Yeşil Devrim’den sonra tarım alanındaki en büyük dönüm noktasının Tarım 4.0 diğer bir ifadeyle Dijital Tarım olduğu gerçeği kaçınılmazdır. Ayrıca günümüz dijital teknolojilerin sunduğu hizmet, erişim alanı, gelişim hızı vb. mevcut ve muhtemel özellikleriyle birçok alanda yaratacağı değişimler göz önüne

alındığında tarım sektöründe (ekonomi bilimi, sosyal bilimler gibi birçok disiplini bünyesinde barındıran), bu etkinin ne kadar daha büyük ve çok yönlü olacağı fark edilebilir. Böylece mevcut devrimin uzun vadede tarımda, kullanılan teknoloji çeşitliliğinden üretim şekline, kırsal toplum yapısından tedarik zincirine, ekolojik etkilerden ülkelerin ulusal politikalarına kadar etki edeceği öngörülebilir.

Tarımın dijitalleşmesinde ele alınan çalışmalarda genellikle karşılaşılan iki önemli terim: veri (data) ve bilgi (information)'dir. Bilgi, öncelikle her bir disipline göre farklı anlamlar taşımaktadır. Burrell (2003), veri (data) ve bilgi (information) terimlerini şu şekilde ifade etmektedir: “veri (data), gözlem yoluyla toplanan sayısal veya diğer bilgilerin temel bireysel öğeleridir; ancak bağlam olmadan kendi içlerinde bilgiden yoksundurlar”; “bilgi (information), veriler ve verilerin bir araya getirildiği bağlam aracılığıyla iletilen imkân dahilinde analiz ve yorumlamaya uygun olandır” (Zins 2007). Buradan anlaşılacağı üzere veri, bilginin hammadresidir. Bu çalışma dahilinde dikkat çeken bir nokta da incelenen uluslararası literatürde yer alan “data, information, knowledge” gibi kelimelerin türkçeleştirilmesinde yaşanan karmaşadır. Bu konuda Uçak (2010), “data”, “information” ve “knowledge” terimlerini kesin sınırlarla ayıran tanımlar ile kullanımları arasında çelişkinin mevcut olduğunu ve bu durumun karmaşayı daha da artırdığını belirtmektedir.

Son yıllarda tarım sektörü için “bilgi” yapısının dahi değiştiği söylenebilir. Bilgiye dijital tarım açısından yaklaşıldığında geleneksel bilginin şekil değiştirdiği değerlendirilebilir. Söz gelimi tarımsal üretimde çiftçinin artık gözü ve kulağı denilebilecek sensörlerin algıladığı veriler (data), sanal ortama aktarılıp ilgili teknolojik platformlar aracılığıyla işlenerek analiz ve karar verme süreçlerinde kullanılacak birer “bilgi (information)”ye dönüşmektedir. Dolayısıyla üreticilerin soyut denilebilecek geleneksel bilgisi, dijital teknoloji aracılığıyla “bayt” formatında daha da somutlaşan bir tarımsal girdiye dönüşmektedir denilebilir. Bu olası fikri, dijital tarım sürecinde ortaya çıkan (yasal olarak sınıflandırılmasında henüz evrensel bir netlik olmasa da) veri mülkiyeti kavramı destekleyebilir. Bilginin tarımsal bir girdi olması konusunda benzer bir yorum da şu şekildedir: “genellikle bu şekilde adlandırılmasa da bilgi (information) girdileri her zaman hem bitki hem hayvan yetiştiriciliği için önemli bir girdi olmuştur”

(Anonymous 2023ı). Ayrıca dijital tarımın, bilginin sonraki nesillere aktarım şeklini de değiştirme potansiyelini elinde tuttuğu yine bu doğrultuda yorumlanabilir. Dolayısıyla (nesiller arası sözel olarak aktarılan) geleneksel bilginin aksine, bayt¹ formatına dönüştürülen tarımsal bilgiler için ayrıca depolama hacminin de artması gerekmektedir. Bu bağlamda, Weis (2017) ABD'de 450 milyon akre (182 milyon hektar) alanda üretilen mısırın yılda 14,4 milyon gigabayt² veri ürettiği tahmini ile bu konuya iyi bir örnek vermektedir (Carolan 2020). Bu da tarımsal işletmeler ve kırsal alanlar için teknik altyapının değişimi yönünde bir fikir vermektedir. Tabi bu fikir, tarım alanındaki dijitalleşmede öngörölebilecek sadece bir örneği teşkil etmektedir. Daha önce değinildiği üzere yine bilgi kapsamında ortaya çıkan veri mülkiyeti de tarımsal dijitalleşmenin bir diğer çıktısıdır. Nihayetinde dijital tarım çağında bayt formatında üretilen bilginin, geleneksel bilginin yerini almasının muhtemel sonuçları, bu durumun bütünüyle mümkün olup olmadığı ya da ölkelerin dijitalleşmedeki adaptasyon hızı düşünöldüğünde bu iki bilginin aynı çerçevede birlikte ele alınıp alınamayacağı akla gelen başlıca sorular olmaktadır.

Bu çalışma ile dijitalleşme yolundaki tarım, sıfır noktasından itibaren gerçekleşen tüm devrimleriyle ele alınıp günümüze kadar bir yol rotası çizilerek ortaya çıkış, etki ve çıktıları doğrultusunda öncelikle bir rehber ve en önemlisi mevcut devrim konusunda oluşturulacak fikir/fikirler için de bir zemin oluşturulmaya çalışılmıştır. Yine bu çalışma ile tarım sektörüyle ilişkilendirilen (olgunlaşma sürecindeki) dijital teknolojilerin neler olduğu, mevcut durumları, kullanım alanları ve engelleri daha yakından incelenmiş ve ayrıca potansiyelleri konusunda da beklentilerin mutlak olduğu ifade edilmiştir. Nihayetinde bu çalışma kapsamında belirtilen teknolojilerin değerlendirilebilmesinde bakış açısı yaratılmaya çalışılarak bu doğrultuda ölkelerin mevcut politikalarına geçişte zemin oluşturulmak istenmiştir. Çalışmanın önceki bölümlerinde yer yer tarımdaki dijital teknolojilerin engelleri arasında ulaşılan bir sonuç da bu teknolojiler için bir standardizasyon oluşturulmasında yasal bir zeminin hala sağlanamadığı olmuştur. Devrimsel değişimler artık on yıllık dönemlere sıkıştırılmış (Weis 2007) iken bu doğrultuda politikaların hızla geliştirilmesi tek başına elzem olduğu kadar mevcut

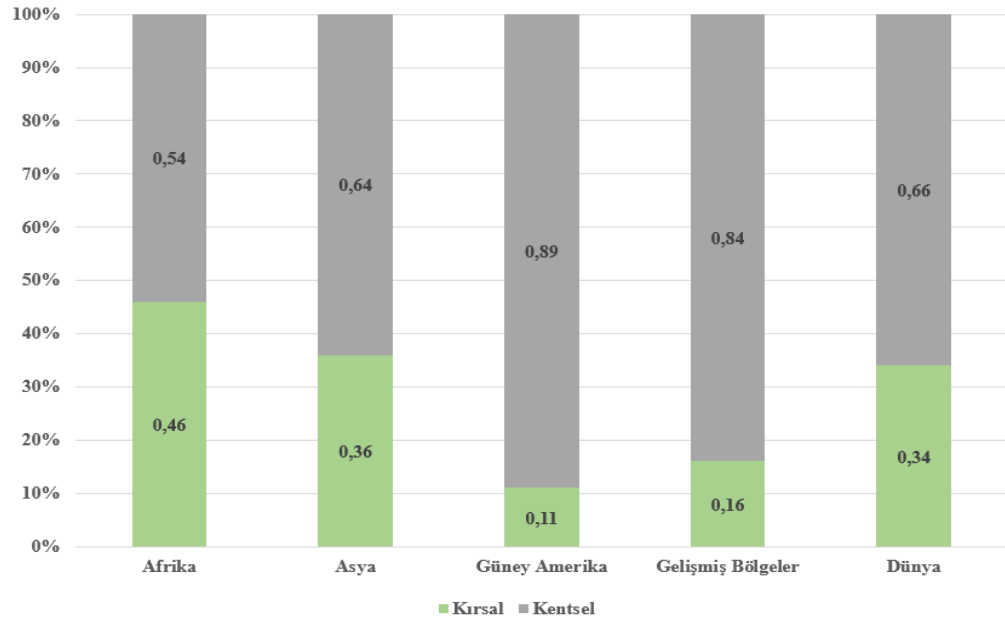
¹ Bir bilgisayarda depolanan ve 8 bite eşit bir veri birimidir.

² Bir bilgisayarda depolanan ve 1 milyar bayta eşit bir veri birimidir.

teknolojilerin geliştirilmesinde, muhtemel teknolojilerin ise ortaya çıkışında ve tarımın yeni paydaşları denilebilecek teknoloji şirketleri ile çiftçi ilişkileri açısından da büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda, tarımda halihazırda kullanılan dijital teknoloji ve uygulamaların politika zemininde Türkiye ve diğer ülkeler tarafından nasıl ele alındığının daha yakından incelenmesi dijital dönüşümün mevcut durumunu daha anlaşılır kılacaktır.

6.1 Dünyada Dijital Tarıma Yönelik Uygulama ve Politikalar

Dijitalleşme, birçok ülkede e-devlet çatısı altında hizmet, sağlık, eğitim vd. alanlardaki uygulamalarda hâlihazırda kendini göstermiştir. Bu alandaki gelişim, bazı gelişmiş ülkelerde sabit ve mobil bağlantılarla neredeyse evrensel erişim düzeyinde iken, gelişmekte olan ülkelerdeki ilerleme ise mobil hizmetlerin yaygınlaşmasıyla gerçekleşmektedir (Trendov vd. 2019). Yeşil Devrim'den bu yana tarım alanında en önemli hedeflerden biri artan dünya nüfusun besin ihtiyacını karşılamak olmuştur. Bilindiği üzere FAO'nun 2050 yılı dünya nüfus öngörüsü 9,1 milyardır. Buna göre Pingali ve Aiyar'ın, FAO'nun istatistik verilerine dayanarak, hesapladıkları kırsal ve kentsel nüfus dağılım tahmini Şekil 6.1'de görülmektedir (Serraj vd. 2019). Dolayısıyla nüfus artış tahminleri doğrultusunda besin ihtiyacını karşılama hedefi hala önemini korurken bu amaca ulaşmada yöntem ve araçlar günümüzde değişiklik göstermektedir.

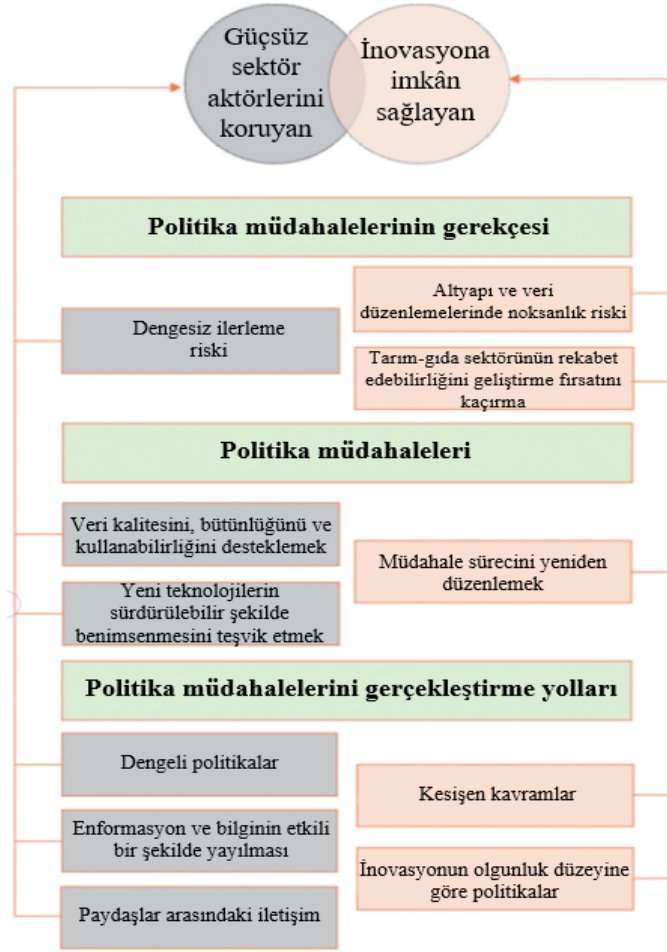


Şekil 6.1 Pingali ve Aiyar'ın hesaplamalarına göre 2050 yılına ait kırsal ve kentsel nüfus dağılımı (Serraj vd. 2019)

Mevcut devrimde çözüme, daha ileri teknoloji aygıtların tarımsal üretim sistemine nüfuz edilerek üretim artışının sağlanmasında daha az girdiyle ekolojik tahribatın en aza indirgenmesi ve sürdürülebilir olması hedefleriyle yaklaşılmaktadır. Bununla birlikte mevcut hedeflere ulaşmada gerekli bir diğer çözüm süreci üretici koşulları için gerekmektedir. Dijital dönüşüm için kırsal alanlarda gerekli teknolojilerin kullanım ve erişiminde altyapının uygun olması, teknolojilerden yine kullanım ve fayda sağlamada üreticilerin eğitim ve dijital beceri sahibi olması ve üreticilerin teknolojik yatırım gerçekleştirebilmelerinde finansal desteklerin varlığı başlıca önem arz eden ve ülkelerin politika araçlarıyla desteklenmesi gereken konulardır. Şimdilerde mevcut dijital teknolojilerin kullanıldığı en yaygın politika alanları su kalitesi ve biyolojik çeşitlilik; en yaygın politika mekanizmaları ise yayım hizmetleri ve bilgi sağlama ile tarımsal-çevresel ödemeler ya da sübvansiyonlardır (Anonymous 2019a). Tarımsal-çevresel ödemeler ya da sübvansiyonlar başlığı altında örnek olarak, geliştirdiği ve uyguladığı bazı programlarıyla ABD; dijital tarım programını devlet destekleri ve çevresel düzenleme denetimiyle geliştiren Almanya verilebilir.

Mevcut yayım hizmetlerinin yanı sıra gelecek vaad etmesi beklenen bir yenilik alanı da -Fabregas vd. (2023)’nin kullandığı üzere- “Dijital Tarımsal Yayım”dır. Bahse konu yayımın cep telefonları ve ICT teknolojileriyle desteklenerek bulunulan yerel koşullar, çiftçi bilgileri ile tecrübeleri ve girdi konularında kolaylık sağlaması beklenmektedir (Madon vd. 2023). Bilindiği üzere gelişmekte olan ülkelerde tarımsal yayımları erişebilir kılmada en önemli araç olan cep telefonları, dijital tarım sürecinde de önemini koruyarak akıllı cep telefonları ve diğer dijital teknolojilerle çiftçilere geniş ölçekte erişilebilir kaliteli tarımsal bilgileri sunmada fayda sağlaması beklenmektedir (Madon vd. 2023). Söz gelimi Demiryürek vd. (2021)’nin yürüttüğü çalışmada, çiftçilerin akıllı cep telefonu kullanım oranının %94 olduğu ve bunu sırasıyla hava durumu, ürün fiyatları, gübreleme, ilaçlama ve sulama zamanı gibi bilgilerin takibi amacıyla kullandıkları ortaya koyulmuştur.

Tarım ve gıda sektörünün adil ve güvenilir bir temelde dijital dönüşümünü sağlamada önemli role sahip olan kamu politikalarının, kamu çıkarlarını, çiftçilerin ve pazarlık gücü zayıf veya daha az organize olan diğer tedarik zinciri aktörlerinin çıkarlarını koruması; dijitalleşmenin geliştirilmesi ve uygulanması doğrultusunda sunduğu fırsatlara açık olması ve gerekli inovasyonu sağlaması beklenmektedir (Kukk vd. 2022). Tarım ve gıda alanlarının dijitalleşmesinde kamu politikalarının yerine getirmesi gereken rollere Şekil 6.2’de yer verilmiştir.



Şekil 6.2 Tarım ve gıda sektörünün dijital dönüşümünde kamu politikalarının rolleri (Kukk vd. 2022)

Kuzey Amerika ve Avrupa ülkelerinde tarımsal teknoloji (otonom robotlar, IoT, yapay zeka vb.) kullanımı yaygınlaşırken Hindistan, Çin ve Brezilya gibi ülkelerde de hızla benimsenmekte; (jeopolitik açıdan) güney ülkelerini oluşturan tarımsal ekonomilerde ise söz konusu teknolojilerin maliyeti önemli bir engel teşkil ettiğinden, telefon uygulamalarının gelecek on yıl daha dijital tarımda kilit rol oynayacağı beklenmektedir (Stephenson vd. 2021).

Dijital teknolojilerin neden olabileceği olası negatif sonuçlardan kaçınmada ülkelerin dijital dönüşüme imkân verebilen, belirli riskleri bertaraf edebilecek, verimli, adil, güvenilir, sorumlu ve işlevsel açıdan yaklaşabilen politikalara ihtiyacı vardır. Ulusal stratejilerinde tarım sektörünün dijital dönüşümüne daha geniş kapsamlı yer veren ve

bununla birlikte tarımsal teknoloji üretimi ve kullanımında önde gelen ABD, AB ve Avustralya gibi ülkeler ayrıca incelenerek dijital tarım kapsamında mevcut durum ve politikalarına yer verilmiştir.

ABD ve Dijital Tarım: 1980'li yılların ortalarında GPS, GIS ve tarımsal bilgi hizmet sistemleri aracılığıyla yayılan uzaktan algılama verilerine dayalı hassas tarımı uygulamaya başlayan ABD, günümüzde yine hassas tarım sistemi karar desteği için yoğun veri kaynaklarına sahip ulusal ve bölgesel tarımsal bilgi ağları ve ilgili politikalar, kurallar ve yasalar tarafından desteklenmektedir (Serraj vd. 2019). Tarımda 5G teknolojisinin yayılmasını teşvik etmek amacıyla gelecek on yılda kırsal alanlar için 5G'ye 9 milyar dolar yatırım yapılması planlanmaktadır (Qin vd. 2022). Yine yatırım yönüyle ABD, tarım teknolojileri firmalarına da büyük destek sağlamakta ve yine teknolojilerin geliştirilmesi kapsamında ABD Tarım Bakanlığı (United States Department of Agriculture) aracılığıyla girişimci ve araştırmacılara çeşitli veri ve bilgi erişimini de kolaylaştırmaktadır (Hansen vd. 2022). Veri kapsamında ise 2015 yılında bir ABDli çiftlik bürosunun, çiftlik verileri için gizlilik ve güvenlik seti oluşturmada öncülük ettiği de bilinmektedir (Farooq vd. 2019). Ülkenin tarımsal veri tabanı, ABD tarım sektörü için elinde tuttuğu önemli bir güçtür.

Dijital tarımın benimsenmesi çerçevesinde McFadden vd. (2023)'nin ABD'deki çiftlikleri ele aldıkları çalışmada dikkat çeken çıkarımlar şunlardır;

- Dijital tarım teknolojilerinin, özellikle mısır, soya fasulyesi, buğday (kışlık ekim), pamuk, çeltik ve sorgum üretimi yapan çiftliklerde (çoğu otomatik dümenleme ve kılavuz sistemleri¹ gibi teknolojileri kullanılıyor olsa da) benimsenme durumu beklentinin aksine tümü için mümkün değildir.
- Dijital tarım teknolojilerinin benimsenmesi kapsamında elde edilen veriler, başlıca tarla bitkilerinde (mısır, buğday, çeltik gibi) tüm yıllar için mevcut değilken, mevcut

¹ GNSS donanımlı araçların arazideki konumunu görselleştirerek yine konuma bağlı hataları azaltmak için kullanılan teknolojilerdir. Bu kapsamdaki daha yeni teknolojiler ise traktörlerin neredeyse tamamen otomatik yönlendirilmesini sağlayarak çiftçilerin araçta geçirdikleri zamanı büyük ölçüde azaltmaktadır.

olanlarda dahi bu veriler tüm teknolojiler için mevcut değildir. Ayrıca hayvancılık ve bazı ürünlerde (meyve, sebze, diğer bahçe bitkileri gibi) veri durumu ise ulusal çapta temsili düzeyde değildir.

- Üreticilerin beceri ve tecrübelerinin dijital tarımı benimsemedeki rolü göz ardı edilmemelidir. Teknolojik açıdan bilgi sahibi olan ve olmayan çiftçi arasındaki fark şimdilerde yüksek olsa da bu fark (teknolojiyi yakından takip eden) genç neslin tarım sektöründe yer edinmesiyle önemini zamanla kaybedecektir.
- Dijital teknolojinin benimsenmemesi (sadece teknoloji alım noksanlığına bağlı olmaksızın çeşitli nedenlerle) durumu küçük ölçekli çiftlikler, daha düşük ürün verimi, daha az ürün yönetimi tavsiyelerinin kullanılması ve teknik ya da danışmanlık hizmetlerinin sınırlı istihdamı ile ilişkili olma eğilimindedir. Dolayısıyla dijital tarımı benimseyenlerde ise bu durum tam aksi eğilimdedir.

Yine McFadden vd. (2023) dijital tarımı benimsemede: toprak ve arazi özelliklerinin değişikliği, tarımsal işletme ölçeği ve beklenen verimlilik etkileri, çiftçinin eğitim, tecrübe düzeyi ve risk algıları, yine çiftçinin teknolojiye bakış açısı gibi başlıca incelenen faktörlerin yanı sıra daha önce yeterince değinilmeyen: teknoloji maliyetleri, USDA programları, teknolojilerin iş gücü tasarrufu sağlayan faydaları ve teknik ya da danışmanlık hizmeti satın alımı gibi faktörlere de verilmiştir. Söz konusu nedenler arasında USDA programları, ülkenin dijital tarım alanında mevcut politikaların durumu açısından önem arz ettiğinden daha detaylı incelenecektir.

Son yıllarda ABD’de birkaç program geliştirilmiş ve uygulanmış olmasına karşın dijital tarımın kullanımını doğrudan etkileyen Federal programlar konusunda önemli bir çalışma bulunmamıştır (McFadden vd. 2023). Diğer yandan USDA ve diğer Federal ajansların yönettiği programlar çiftçilerin tarımsal girdi seçimlerinde direkt etki sağlamaktadır (McFadden vd. 2023). McFadden ve Hoppe (2017) buna örnek olarak, çevresel etkilerden yüksek derecede etkilenen arazilerin tarımsal amaçlı kullanılmaması karşılığında sözleşmeli çiftçilere yıllık kira ödenmesini sağlayan Arazi Koruma Programı (Conservation Reserve Program)’nı vermiştir. McFadden vd. (2023)’nin çalışmada yer verdiği diğer programlar ise şunlardır:

Koruma Yönetim Programı (The Conservation Stewardship Program), 2008'den bu yana doğal kaynak endişeleri konusunda çevresel performanslarını iyileştirmeleri (dönüşümlü otlatma, organik tarıma geçiş, ekoloji dostu zararlı yönetimi gibi) için çiftçilere yıllık ödemeler sağlayan bir USDA koruma programıdır. Bu programa, dijital tarımla (hassas tarım teknolojilerinin kullanımıyla) sağlanan çevresel iyileştirmeler de dâhildir.

Çevresel Kalite Teşvik Programı (The Environmental Quality Incentives Program), bu program tarım arazilerinde korumaya yönelik uygulamalar yapan çiftçilere mali yardım -ödemeler- sağlamaktadır. Ayrıca bu program aracılığıyla çiftçiler, bir ya da daha fazla dijital tarım teknolojisiyle kolaylaştırılmış korumaya yönelik uygulamalar için de USDA'dan yardım alabilmektedir.

Ülkedeki diğer program ya da girişimlerin, çiftçilerin dijital tarımı benimsemesini teşvik edebilmede doğrudan olmasa da zincirleme etkileri bulunmaktadır. Whitacre vd. (2014) ile USDA (2019)'nın verdiği örnekte birçok dijital teknolojinin çalışabilmesi (ya da daha iyi çalışabilmesi) için internete geniş bant erişimi gerektiği belirtilmiş ve bu tür bir erişimin olmaması da dijital tarım teknolojilerinin benimsenmesinin önündeki en büyük engel olarak tanımlanmıştır (McFadden vd. 2023). Geniş bant ve ilgili altyapıyı finanse ederek çeşitli programları yöneten USDA'nın Kırsal Alan Hizmetleri gibi programları, çiftçilere dijital teknolojileri benimsemeye veya benimsemelerini geliştirmede doğrudan mali yardım sağlamasa da söz konusu benzer programların hızlandırıcı bir etkiye sahip olduğu açıktır (McFadden vd. 2023). Astill vd. (2020)'ne göre USDA Kırsal Kalkınma Ajansı, 2010-2018 yılları arasında 280 dijital altyapı projesinde 3,4 milyar dolar finansman sağlamıştır (McFadden vd. 2023).

ABD, dijital tarımdaki faaliyetlerini henüz direkt olmasa da ulusal tarım programları aracılığıyla dolaylı olarak uygulamaktadır. Ülkedeki son durum ise Mcfadden vd. (2023)'nin çalışmasıyla anlaşılmıştır ki tarla bitkileri (mısır, soya fasulyesi, buğday - kışlık ekim-, pamuk, çeltik ve sorgum) yetiştiriciliğinde dijital teknolojilerin

benimsenmesinde ilerleme kaydedilirken, hayvancılık ile meyve, sebze ve diğer bahçe bitkileri gibi ürünlerde bu durum henüz beklenen aşamada değildir.

Dijital tarım teknolojilerinin benimsenmesinde bir diğer önemli etken de bilindiği üzere kablosuz ağ bağlantısıdır. Bu çalışma kapsamında incelenen çalışmalarda da vurgulandığı üzere dijital teknolojilerin başarılı bir şekilde benimsenmesi ve uygulanmasında olanak sağlayan ağ bağlantısı büyük önem arz etmektedir (Khanna ve Kaur 2019, Verdouw 2019, Bacco vd. 2020, Ferrari vd. 2022, Bulut ve Wu 2022). Bu çerçevede Bernhardt vd. (2021) ABD'deki dijital tarımı “altyapı” açısından ele alarak ülkenin ilgili teknolojileri benimsemesini teşvik edecek sağlam geniş bant internet yollarından yoksun olduğunu (diğer bir deyişle veri ağı altyapısının kalitesinin hala yetersiz olduğu) ve asıl sorunun veri teknolojisinin her çiftlikte ve tarlada kullanılabilir hale getirilmesiyle ilgili olduğunu vurgulamıştır. Bernhardt vd. (2021) bu duruma çözüm olarak ise ağ katmanlarının (omurga bağlantısı¹, bölgesel ağ altyapısı -verilerin çiftlikten en yakın omurgaya kablosuz aktarımı- ve sensör/makine verilerinin toplanması için yerel sensör ağları) dikkate alınması gerektiğini sunmuştur.

AB ve Dijital Tarım : Tarım sektöründe dijitalleşmenin kapsayıcı, yapıcı, mevcut sorunlara çözüm sunabilmesi ve ilgili tüm paydaşlarca erişilebilir olabilmesini sağlayan önemli araçlardan biri politikalarlardır. Bu hedefler doğrultusunda dijital teknolojilerin tarımda daha sorumlu, güvenli, erişilebilir ve planlı yayılabilmesi, mevcut olanların geliştirildiği ve yenilerin üretildiği, politikalara bağlıdır. Tahmin edileceği üzere dijital teknolojilerin tarımsal üretim sistemine nüfuz ettikten sonra geleneksel döneme ait regülasyonların yeterli gelemeyeceği dolayısıyla yerini dijital çerçevede geliştirilen politikaların alacağı söylenebilir. Dijitalleşmenin çeşitli politika alanlarındaki (çevre, enerji, ekonomi, eğitim gibi) hızla dönüşümü, ülkelerin analog dönemden dijital döneme geçişte ihtiyaç duyduğu bir süreçtir. Bu doğrultuda gösterilecek en iyi örneklerden biri, 2030 yılına kadar toplum ve ekonomi temellerinde dijital dönüşümü

¹ Yüksek hızlı bant genişliği bağlantıları ve yüksek performanslı sunucular/yönlendiriciler gerektiren internet üzerindeki en büyük veri bağlantılarıdır. Omurga ağları, internet servis sağlayıcılarının çevrimiçi bilgileri güvenli bir şekilde tutma ve sürdürmede tutarlı bir yol sağladığından öncelikle ticari, devlet, askeri ve eğitim amaçlı kuruluşlara aittir.

gerçekleştirmeyi hedefleyen AB'dir. Komisyon'un 2021 yılında sunduğu AB'nin 2030 Dijital On Yıl (Digital Decade) hedeflerine ulaşmak için dijital beceriler, dijital altyapılar, işletmelerin dijitalleştirilmesi ve kamu hizmetleri alanlarında üye devletlerle yıllık iş birliği mekanizmasına dayalı bir yönetim çerçevesi oluşturulmuştur (Anonymous 2021a). Bugünlerde ise AB, dijital stratejisi çerçevesinde Veri Yönetişimi Yasası, Dijital Piyasalar Yasası, Dijital Hizmetler Yasası, Veri Yasası ve AI Yasası gibi mevcut taslak yasaları düzenleme çalışmalarına devam etmektedir (Mikkelsen vd. 2023).

AB'nin dijital dönüşüm hedeflerine ulaşmada büyük ölçekli dijital projeler önemli bir yer almaktadır. AB'nin dijital tarım kapsamında sektörün sürdürülebilir ve yenilikçi temelde rekabet gücünü artırma, tarımsal veri ekosistemini geliştirme, doğal kaynak kullanımını optimize etme, verileri güvenli, şeffaf ve sorumlu paylaşma ve dijitalleşmenin etkisini maksimize etme gibi ve diğer hedeflerle tamamlanan ve devam eden projeleri önemli bir yer almaktadır.

Ufuk 2020 (Horizon 2020), AB'nin 2014-2020 yılları arasında yaklaşık 80 milyar Euro (€)'luk bütçeyle gerçekleştirdiği araştırma ve inovasyon fon programıdır. Ufuk 2020 programı kapsamında tarım alanında gerçekleştirilen projelerde yatırımın iki önemli dijital teknoloji alanı, robotik sistemler ve IoT/dijital platformlar olmuştur (Anonymous 2023j). Bu program çerçevesinde tarımda kullanılmak üzere dijital teknolojileri araştırma ve geliştirme hedefleriyle tamamlanan ve devam eden projeler şunlardır: IoF2020, DEMETER, ATLAS, SmartAgriHubs, agRoBofood, Romi ve Pantheon. Süreci tamamlanan Ufuk 2020 programının yerini ise, 2027 yılına kadar sürmesi planlanan, yine bir araştırma ve inovasyon fon programı olan Ufuk Avrupa (Horizon Europe) almıştır (Anonymous 2023j).

AB'nin Ufuk Avrupa (Horizon Europe) programı, tarım-gıda sektöründe araştırma ve inovasyon yoluyla sürdürülebilir ve kapsayıcı gıda sistemlerinin geliştirilmesine; Dijital Avrupa Programı (DİJİTAL) programı ise tarımda inovasyonu ve dijital dönüşümü teşvik eden kapsamlı bir yaklaşımla, sektörün ekonomik ve çevresel performansını

artırmayı, doğal kaynak kullanımını optimize etmeyi ve Yeşil Mutabakat¹ ve Ortak Tarım Politikası hedeflerine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır (Anonymous 2023i). Dijital Avrupa (7,6 milyar € değerinde) ve Ufuk Avrupa (95,5 milyar € değerinde) programları AB'nin ana bütçe programlarındandır (Anonymous 2022b).

Ufuk Avrupa programı altında, veri paylaşımı ile büyük verinin etkileri ve AB çapında üretimin izlenmesi için sensör verilerinin ölçeklendirilmesi (gerçek zamanlı) başlıkları altında ve tarım-çevre koşulları çerçevesindeki projeler; Dijital Avrupa programı kapsamında doğal kaynak kullanımını optimize etmek ve tarım sektöründe veriye dayalı yenilikleri yönlendirmek için güvenli ve sorumlu veri alışverişi, işleme ve analizi sağlayacak ortak bir Avrupa tarımsal veri alanının oluşturulması kapsamındaki yürütülen projeler Çizelge 6.1'de görülmektedir (Anonymous 2023i).

Çizelge 6.1 AB'nin Ufuk Avrupa ve Dijital Programları Kapsamında Bazı Proje Örnekleri (Anonymous 2023i)

Ufuk Avrupa Programı	
Proje Bilgileri	Hedef
ScaleAgData <u>Maliyet</u> 7.496.558 € <u>Süre</u> 01.11.2023- 31.12.2026	Avrupa tarım sektörünün genel rekabet edebilirlik ve sürdürülebilirlik performansı ile Ufuk Avrupa aday ortaklığı "Veri Tarımı" ve Toprak Misyonu çalışmalarına katkıda bulunmak.
CrackSense <u>Maliyet</u> 7.499.294 € <u>Süre</u> 01.11.2023 – 31.12.2026	▪ Pilot faaliyetlerle gerçek zamanlı sensör verileri sağlayacak algılama teknolojilerini geliştirip yükselterek narenciye, nar, sofralık üzüm ve kirazda meyve çatlaması sorununu çözmek ▪ Toplanan sensör verileri, Dünya Gözlem Verilerini (Copernicus² tarafından sağlanan, örneğin Sentinel) ve çevresel koşulları yansıtan diğer veri kümelerini kapsayacak şekilde AB çapındaki veri kümelerine yükseltilmesi ve bu verilerin, incelenen mahsullerin tarımsal üretimini izlemede ve çiftçilerin ve yetiştiricilerin kaynaklarını verimli bir şekilde yönetmelerini ve eylemlerinin sürdürülebilirliğini sağlamada kullanmak

¹ AB'nin 2050'ye kadar net sera gazı emisyonlarının sıfırlanması ve ekonomik büyümenin kaynak kullanımına bağlılığının sona ermesi gibi temel hedefleri içeren yeni büyüme stratejisidir.

² Avrupa Birliği'nin Dünya Gözlem Programıdır. Avrupa vatandaşlarının yaşam kalitesini artırmak için hizmet sağlayıcılar, kamu yetkilileri ve diğer uluslararası kuruluşlar tarafından kullanılan Dünya gözlem verilerinin lider sağlayıcısıdır.

Çizelge 6.1 AB'nin Ufuk Avrupa ve Dijital Programları Kapsamında Bazı Proje Örnekleri (Anonymous 2023i) (devam)

Ufuk Avrupa Programı	
Proje Bilgileri	Hedef
AgriDataValue <u>Maliyet</u> 7.145.500 € <u>Süre</u> 01.11.2023 – 31.01.2029	Akıllı Tarım ve tarımsal çevre izlemede "Çığır Açan" olmayı ve yenilikçi, akıllı ve çok teknolojik, tamamen dağıtılmış bir platform platformu sunarak akıllı tarım kapasitelerini, rekabet gücünü ve adil geliri güçlendirmek
DIVINE <u>Maliyet</u> 3.954.798 € <u>Süre</u> 01.10.2022 – 30.09.2025	Yaygın olarak paylaşılan verileri birleştiren tarımsal bir veri ekosistemi geliştirerek ve aynı zamanda veri paylaşım planlarında tasarlanan endüstri liderliğindeki pilot uygulamaları gerçekleştirerek tarımsal veri paylaşımının mali faydalarını ve katma değerini göstermeyi amaçlamak
DİJİTAL Programı	
Proje Bilgileri	Hedef
AgriDataSpace <u>Süre</u> 01.10.2022 – 31.03.2024	Veri odaklı yenilikleri teşvik eden doğal kaynak kullanımının izlenmesi ve optimize edilmesi için yeni fırsatlar yaratmak üzere güvenli, güvenilir, şeffaf ve sorumlu bir şekilde veri paylaşımını, işlenmesini ve analizini kolaylaştıran tarım için bir Avrupa veri alanının yolunu açmak
AgriFoodTEF	Sürdürülebilir ve verimli gıda üretimini teşvik etmek için Avrupa çapında fiziksel ve dijital tesis ağı olarak inşa edilen proje, tarım sektörünün dijitalleşmesinden kaynaklanan etkiyi en üst düzeye çıkarmayı amaçlayan gerçek dünya koşullarında üçüncü taraf yapay zekâ ve robotik çözümlerin değerlendirilmesine ve doğrulanmasına yardımcı olan hizmetler sağlamak

Dijital Avrupa programı altında ayrıca endüstrinin ve kamu sektörünün dijital dönüşümünü sağlamak için teknolojik uzmanlık ve deney olanakları sağlayacak Avrupa Dijital İnovasyon Merkezlerinin (European Digital Innovation Hubs) oluşturulması projesi de yer almaktadır (Anonymous 2023i). Bu inovasyon merkezlerinin temelleri, Ufuk 2020 programı kapsamında oluşturulan Dijital İnovasyon Merkezleri (SmartAgriHubs, agRoBofood gibi)'nden elde edilen tecrübelerle dayanılarak atılmıştır (Anonymous 2023i). Yine bu program kapsamında finanse edilen ve tarım sektörünü etkileyecek önemli bir strateji de Avrupa Bulut ve Uç stratejisidir. Avrupa Bulut ve Uç stratejisi, ortak Avrupa tarımsal veri alanı için buluttan uca altyapıların ve hizmetlerin tam olarak kullanımını sağlama açısından tarım sektörüne önemli bir katkıda bulunması beklenmektedir (Anonymous 2023i).

AB'nin tarım alanında dijital çözüm sunan bir diğer strateji ise Tarladan Sofraya (Farm to Fork) stratejisidir. Bu strateji, dijital çözümler gerektiren sürdürülebilir gıda üretimi için zorlu 2030 hedefleriyle AB Yeşil Mutabakatının merkezinde yer almaktadır. Yeşil Mutabakat'ın politika hedefleriyle uyumlu olan ve bu politikaları doğrulama fırsatı veren IoF2020¹ projesi de bu doğrultuda verilebilecek birçok örneği bünyesinde barındırmaktadır. Söz gelimi bu proje kapsamında gerçekleştirilen çalışmalardan, tarla tarımında pestisit kullanımını optimize etmek ve mahsulleri tüketim için güvenli hale getirmek için IoT teknolojilerinin başarıyla kullanımı örnek olarak verilebilir (Anonymous 2023i).

Yine bu süreçte şekillenen yeni Ortak Tarım Politikası (2023-2027), dijitalleşme, bilgi ve inovasyon konularının da dahil olduğu yeni hedefler etrafında yapılandırılmıştır. Dolayısıyla tarım ve kırsal alanlarda dijitalleşmeyi artırmak için OTP araçlarının kullanılması büyük önem arz etmektedir. Bu çerçevede sürdürülebilir ve rekabetçi tarım için çözümlerin üretilmesi ve yeniden kullanılması için temel bir platform olan Besin Maddesine Yönelik Çiftlik Sürdürülebilirlik Aracı (Farm Sustainability Tool for Nutrients), OTP stratejik planlarının bir bölümüne verilebilecek somut bir örnektir. FaST, sürdürülebilir çiftlik ve arazi yönetimi için kapsamlı bir dijital ekosistem temelini atılmasına yardımcı olarak, çiftçilerin idari karar verme süreçlerini destekleme ve daha fazla çiftlik karlılığına ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunma hedefleriyle akıllı telefon, tablet ve bilgisayar üzerinden çalıştırılabilen bir dijital tarım aracıdır (Anonymous 2022d).

AB tarımının dijitalleşme sürecinde hedeflenen politikalar, bu dönüşüm sürecinde ve öncesinde mevcut olan sorunlara cevap olarak üretilmektedir. Dolayısıyla olgunlaşma döneminde olan ve gelişen bu süreç, birçok sorunu ve yine bu doğrultuda yeni birçok politikayı da beraberinde getirecektir. Şimdilerde AB'nin tarımda dijitalleşme yolunda vurguladığı başlıca engeller (Anonymous 2023k) ise şunlardır:

¹ Gıda ve Çiftliğin İnterneti 2020 (Internet of Food and Farm 2020), IoT çözümlerini farklı tarımsal alan ve uygulamalardaki etkinliğini gösterme hedefiyle tamamlanmış bir Ufuk 2020 projesidir. Bu proje, IoT teknolojilerini kullanarak tarla tarımı, meyve yetiştiriciliği, sebze yetiştiriciliği ile et ve süt üretimine yönelik hayvancılık kapsamında toplam 19 kullanım senaryosunu Avrupa'nın farklı bölgelerinde gerçekleştirmiştir.

- *Bağlantı sorunları:* Dijital teknolojilerin kırsal alanlarda benimsenmesini engelleyen güvenilir ve uygun fiyatlı internet erişiminde yoksunluk,
- *Sınırlı düzeydeki fayda farkındalığı:* Çiftçilerin birçoğunun dijitalleşmenin potansiyel faydalarının farkında olmaması ve yeni teknolojileri uygulamada gerekli beceri ve kaynak noksanlığı,
- *Sistemin birlikte çalışabilirliği:* Farklı dijital platformların birbiriyle uyumlu olmaması durumunda veri paylaşımı ve farklı uygulamaların entegre edilmesinde yaşanan zorluklar,
- *Çiftçi becerileri:* Dijitalleşmeden maksimum yararlanmada gerekli dijital becerilere sahip olunmaması,
- *Fayda-Maliyet oranı:* Özellikle küçük ölçekli çiftçiler için yeni dijital teknolojileri uygulama maliyetinin daha ön plana çıkması,
- *Veri paylaşımında tereddüt:* Veri gizliliği ve mülkiyeti konusunda endişelere bağlı olarak sektörün farklı aktörleri arasında veri paylaşımının engellenmesi.

Yukarıda belirtilen engellere, AB'nin dijital dönüşüm hedefinde ortaya koyduğu politikalar çerçevesinde cevap verebileceği görülmektedir. Söz gelimi AB, 2030 yılına kadar planlanan dijital dönüşümdeki “dijital beceriler” ve “dijital altyapılar” hedefleri ile çiftçi becerileri ve bağlantı sorunları konusunda çözüm sağlayacak potansiyele sahiptir. Ayrıca Ufuk Avrupa ve Dijital Avrupa programları kapsamında gerçekleştirilen büyük ölçekli projeler, dijital teknolojilerin kırsal alanlardaki erişim ve uygulamada karşılaşılan sorunlarına çözüm sunabilecek girişimlerdir. Veri paylaşımındaki tereddüt sorununa çözüm sunabilmede ise Veri Yönetişimi Yasası büyük bir potansiyel yaratmaktadır. Avrupa veri stratejisinin¹ önemli bir ayağı olan Veri Yönetişimi Yasası, veri paylaşımına olan güveni artırmayı, veri kullanılabilirliğini artırmaya yönelik mekanizmaları güçlendirmeyi ve verilerin yeniden kullanılmasının önündeki teknik engellerin üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır (Anonymous 2022c). Nihayetinde AB, dijitalleşme sürecinde sağlık, çevre, kamu yönetimi vb. alanlarda olduğu gibi tarımda da

¹ Avrupa Veri Stratejisi (European Strategy for Data), veriler için tek bir pazar yaratmayı ve ortak bir Avrupa tarımsal veri alanı oluşturmayı amaçlamaktadır.

ortaya koyduğu mevcut sorunlara cevap verebilmede dijital politika hedefleriyle güçlendirdiği dijital stratejisiyle büyük bir potansiyele sahip olduğu değerlendirilmektedir.

Avustralya ve Dijital Tarım: Dijital dönüşüm stratejisine ulusal tarımsal politikalarında öncelikle yer veren bir diğer ülke de Avustralya'dır. Ülke, 2030 yılına kadar tarım sektöründe dijital temellerin atılması stratejisini, tarım, balıkçılık ile ormancılık ve daha geniş tedarik zinciri alanlarındaki dijital teknolojinin benimsenmesini kolaylaştıran hedeflere dayandırmaktadır. Bu nedenledir ki Avustralya 2030 yılına kadar Ulusal Tarımsal İnovasyon Öncelikleri adı altında belirlediği dört ana konudan birini tamamen dijital tarıma ayırmıştır (Anonymous 2022e). Söz konusu 4. konu ise ülkenin dijital tarımda olgun uygulayıcısı, geliştiricisi ve ihracatçısı olma amacıdır. Dijital dönüşümün gerektirdiği önceliklerden 4. alanın amacına daha hızla ulaşabilmesi özellikle dijitalleşmenin önündeki engellerin kaldırılması ve dijital teknoloji çözümlerinin benimsenmesine bağlıdır. Yine bu madde, dijital tarımda yalnızca uygulayıcı, geliştirici ve ihracatçı olarak değil, bu hedefte “olgunlaşmış” bir ülke olma amacıyla dikkat çekmektedir. Dolayısıyla ülkenin dijital tarımda “olgun bir uygulayıcı, geliştirici ve ihracatçı” olma hedefiyle sektörün dijital teknolojileri benimsenmesini artırmada odaklandığı beş temel alan şunlardır (Anonymous 2022e):

- **Liderlik**, sektör genelinde bağlantı ve koordinasyonu geliştirme, kaynakların havuzda toplanmasını teşvik etme ve paydaşları uzun vadeli hedefler etrafında birleştirmede net bir plan hazırlama,
- **Beceri**, sektörü modernize etmek için hem mevcut hem gelecekteki işgücünün ihtiyaç duyduğu beceri ve uzmanlığı sağlama,
- **Veri ve yönetim**, veri kullanımını, iyi veri yönetimini, ortak veri standartlarını ve birlikte çalışabilirliği en üst düzeye çıkarma,
- **Fırsatlar ve değer önerileri**, tarımsal işletmeleri dijitalleştirmenin sağladığı faydaları anlamada ve fark edebilmede üreticilere yardımcı olma, uygun regülasyonlar sağlanırken ticarileşmeyi de hızlandırma,

- **Bağlanabilirlik ve altyapı**, tarım işletmelerinin bağlantı seçeneklerini anlamalarına ve ihtiyaç duydukları altyapıya erişmelerine yardımcı olma,

Tarım sektörünün dijital dönüşümünde Avustralya hükümetinin ortaya koyduğu stratejik eylem planları arasından yukarıda değinilen beş temel konu çerçevesinde birçok girişim sunulmuştur. Bunlardan “veri ve yönetim” başlığı altında dikkat çekenler ise şunlardır (Anonymous 2022e):

Dijital Tarım için Ulusal Merkez ve Dijital Yetkililer: Avustralya hükümeti Ulusal Merkez için 30 milyon dolarlık yatırım sağlarken inovasyon merkezlerini ise yeni dijital yetkililerle desteklemeyi hedeflemektedir. Dijital teknolojilerin benimsenmesinde bilinen bir engel olan tarım verilerinin, karar sistemlerinde ve tedarik zincirinde kullanımı dahil olmak üzere paydaşların verilere olan güvenini güçlendirmeyi amaçlamaktadır.

Avustralya Çiftlik Veri Kodu: çiftçilere verilerin kullanımı, paylaşımı ve yönetiminde güven sağlamak ayrıca çiftçiler teknoloji sağlayıcılarının karşılaştırılması ile veri politikaları hususunda bilgilenme imkânı sunmada bir çerçeve sağlamaktadır. Bu girişim, hükümetin sağladığı 400 bin \$'lık fonla Ulusal Çiftçiler Federasyonu tarafından yönetilmektedir.

Ulusal Toprak Paketi: İçerisinde birçok projenin yer aldığı 214,9 milyon dolarlık bir yatırımdır. Söz konusu başlıca projeler: Ulusal Toprak Stratejisi (5,9 milyon \$), Pilot Toprak İzleme ve Teşvik Programı (54,4 milyon \$), Avustralya Ulusal Toprak Bilgi Sistemi (15 milyon \$), Toprak Bilimi Mücadele Hibeleri Programı (20 milyon \$)'dır.

Ulusal Yönetim Ticaret Platformu: Avustralya hükümetinin 66,1 milyon dolar (daha sonra ek 25 milyon dolar daha) tahsis ettiği, Tarımsal Biyoçeşitlilik Yönetim Paketinin bir parçasıdır. Tarım sektörü açısından söz konusu paket, özellikle çiftlik biyoçeşitliliğine özel sektör yatırımını mümkün kılmayı amacıyla dikkat çekmektedir.

Dijital teknolojileri benimsenmesini artırmada odaklanılan bir diğer başlık “beceri” kapsamında dikkat çeken girişimler: İnovasyon Merkezlerindeki Dijital Yetkililer, Ulusal Tarımsal İşgücü Stratejisi, AgATTRACT (tarım ve tarımsal iş algısını değiştirme amacıyla kariyer fırsatları sunmak), Yeni Nesil Gelişen Teknoloji Mezunları Programı ve Yapay Zekâ Mezunları Programı’dır (Anonymous 2022e). Özellikle dijital dönüşümde engeller arasında vurgulanan “bağlanabilirlik ve altyapı” başlığı altında ise Bölgesel Avustralya’yı Bağlama girişimi (mobil kapsama alanının genişletilmesi), Bölgesel Bağlantı Programı, Doğal Afetlere Karşı Telekomünikasyonun Güçlendirilmesi, Bölgesel Teknoloji Merkezi adlı girişimlere yer verilmiştir (Anonymous 2022e).

Sonuç olarak Avustralya Tarım, Su ve Çevre Bakanlığının Mart 2022’de yayımladığı tarım sektöründe dijital temellerin atılması doğrultusundaki stratejiyle, ülkenin dijital tarımın lider uygulayıcısı olma amacını, teknolojinin benimsenmesinde odak noktaları ile sisteminin önemli paydaşlarını tanımlamıştır. Söz konusu stratejiyle ülke tarımında büyük hedeflerin yaratılması mümkün görünse de mevcut duruma Hansen vd. (2022) eleştirel bir açıdan yaklaşmaktadır. Hansen vd. (2022)’nin tarımın dijitalleşmesi çerçevesinde öne çıkardığı konular, ülkede tarım teknolojileri firmalarına gerekli yatırımda geri kalındığı; benzer bir gecikmenin sektörün dijitalleşmesine uygun düzenleme ve yönetim çerçevesinde de görüldüğü; dijital teknolojilerin sorumlu bir şekilde geliştirilmesi ve uygulanması rehberliğinde devlet katkısının az olduğu ve tarımsal veri alışverişi ve erişimi konusunda uygun düzenleyici standartların sağlanamadığı olmuştur.

ABD, AB ve Avustralya’nın yanı sıra tarımda dijital dönüşüm hedefiyle bazı ülkelerin güncel politika ve uygulamalarına ait çözüm ve deneyimlerine de kısaca yer verilmiştir. Csoto ve Papocsi (2020)’nin, dijital tarımın durumu kapsamında Orta Asya ve Avrupa ülkelerini ele aldıkları çalışmadan derlenen bilgilere göre:

Rusya Federasyonu coğrafi alan büyüklüğüne rağmen telekomünikasyon pazarı dinamik ve ülke nüfusuna sunduğu hizmetleri ise düşük maliyetlidir. Nüfusun %81’i

internet kullanabilirken ülke raporlarına göre büyük tarım işletmelerinin %63'ü, küçük çiftliklerin %42'si ve bireysel çiftliklerin %16'sının internete erişimi bulunmaktadır. Ülke, 2018'de ulusal e-tarım stratejisi vizyonunu da içeren dijital tarımın bilimsel ve teknolojik gelişimini benimsemiştir. Yine 2018'de ülkenin akıllı tarım stratejisine zemin hazırlaması amacıyla “Dijital Tarım Yetkinlikler Merkezi” kurulmuştur. Tarımda dijital teknolojiler çoğunlukla büyük ticari tarım işletmeleri düzeyinde yayılım göstermektedir. Deneyisel gelişim aşamasında olan “Ulusal Toprak Veritabanı” benzer veritabanlarına sahip AB, Amerika Birleşik Devletleri, FAO vd. ile uyum göstermektedir. Ayrıca 2018'de başlanılan Dijital Tarım Projesiyle tarım ihracatının 2024 yılına kadar 45 milyar ABD Doları yükseltilmesi hedeflenmektedir. Bu projeyle bağlantılı olarak tarımsal ürün takip hizmetleri, tarımsal eğitim amaçlı dijital program ve kurslar, bitki hastalıklarının takibi ve teşhisi, tarımsal arazi bilgi veritabanı, tarımsal ürünlerin üretimi ve nakliyesi ile ilgili verileri toplama ve organik tarım ürünlerinin üretimini, depolanmasını, taşınmasını ve pazarlanmasını (kâğıt kullanımı olmadan) belge akışıyla kontrol etme konularına yönelik birçok platform sunulmuştur. Nihayetinde ülke, sabit ve mobil geniş bant bağlantı sağlayarak, veri toplama, depolama, yönetim ve analizi geliştirerek; sektörde dijital platformları uygulayarak; yenilikçi finansman mekanizmaları piyasaya tanıtılarak; yapay zekâ ve IoT teknolojilerindeki son gelişmelerden yararlanarak tarımda dijital geçişi hızlandırmayı hedeflemektedir. Tarımsal dijital kaynaklar, Rusya'nın Dijital Ekonomi Programına tümüyle entegre halindedir (Sinita vd. 2021).

Stephenson vd. (2021)'nin çalışmasına göre dijital tarımın adaptasyonu kapsamında Hindistan, Brezilya ve Kenya'nın tarım sektörlerine dair derlenen bilgiler:

Hindistan'da hızla büyüyen hassas tarım, ürün sigortası, e-ticaret ve tarıma yönelik dijital danışmanlık platformlarıyla dijital teknolojilerin 2025 yılına kadar ekonomiye 50-65 milyar ABD Doları arasında değer katacağı tahmin edilmektedir. Ülkede kamu liderliğinde hâlihazırda yürütülen tarımsal teknoloji platformu girişimine, elektronik Ulusal Tarım Pazarı (eNAM) örnek olarak verilebilir. eNAM, diğer bir deyişle 16 eyaletteki 585 lokasyonda mevcut olan platform, çiftçilerin mahsuller için aldıkları fiyatları %15 oranında iyileştirmelerine yardımcı olmaktadır. Devlet ve teknoloji

firmaları aracılığıyla özellikle çevrimiçi eğitim alanı yoğun bir destek görmektedir (Rao vd. 2023). Özellikle ülkenin, tarımsal eğitimde dijital öğrenime yönelik politika müdahaleleri dikkat çekerken dijital öğrenmenin potansiyeli, önemi ve rolünü belirleme konusunda ulusal düzeyde bir farkındalık oluşturulmuştur (Rao vd. 2023). 2015 yılında ise, tarım ürünlerine yönelik e-ticaretin geliştirilmesiyle birlikte kırsal alanlarda erişim sorununun çözümü için 250 bin kamu hizmet merkezi kurulmasını içeren “Dijital Hindistan” stratejisi önerilmiştir (Qin vd. 2022). Söz konusu strateji, ülkenin dijital dönüşüm misyonuyla yürürlüktedir.

Brezilya dijital tarımı büyük çoğunlukla devlet aracılığıyla benimsemektedir. Bu doğrultuda çalışmaları özellikle (Brezilya Tarım Bakanlığı’na bağlı) Brezilya Tarımsal Araştırma Şirketi (Embrapa) ile yürütmektedir. Ülkede teknolojik altyapı, bağlanabilirlikteki artış, uzaktan algılama ve gelişmiş mobil ağ kapsamıyla ilerleme kaydedilmiştir. Ülke, 2019’da hassas tarım teknolojilerine 57,5 milyon ABD doları yatırım yapmıştır. Ayrıca 2018 yılı itibarıyla ülkede, çoğunluğu Piracicaba’daki “Tarımsal Teknoloji Vadisi” yer alan, 338 adet start-up bulunmaktadır.

Kenya, iyi düzeydeki internet bağlantısı, cep telefonu kullanımı ve veri şeffaflığı sayesinde dijital tarımın büyümesine olanak sağlayan ve böylelikle Sahra altı ülkeleri arasından dijital tarımda en fazla çözüm ve kullanıcıya sahip olan bir ülkedir. Söz konusu dijital çözümler kamu, özel, sivil toplum kuruluşları (STK) ve uluslararası sektörler tarafından geliştirilmiştir. Ayrıca ülkede faaliyet gösteren WeFarm, iCow ve Pula gibi çözüm sağlayıcı firmalar yüzbinlerce çiftçiye ulaşmaktadır. Dünya Bankası, Kenya Tarım, Hayvancılık, Balıkçılık ve Sulama Bakanlığı ile Kore-Dünya Bankası Ortaklık Tesisi tarafından yürütülen “Bir Milyon Çiftçi Girişimi” bu kapsamda verilebilecek önemli bir örnektir. Bu girişimle ülkedeki 14 farklı tarımsal değer zincirinde ve 45 ilçede yer alan bir milyon Kenyalı çiftçinin, dijital olarak etkinleştirilen bir platforma bağlanması hedeflenmektedir.

Çin, tarımın dijital dönüşümü kapsamında sunduğu literatür çalışmaları ve ürettiği tarımsal teknolojilerle (dron gibi) dijitalleşme sürecinde önde gelen ülkelerden biri

olmaktadır. Tarımsal veri tabanının oluşturulması çalışmalarına ise 2015'te başlanılmıştır (Qin vd. 2022). Bir mukayese olarak AB ise bahse konu girişimi OTP aracılığıyla 1992'den bu yana sürdürmektedir. Tarım sektörü mobil internet, bulut bilişim, büyük veri ve IoT gibi bilgi teknolojileri yönüyle hızlı bir gelişim gösterirken, tarımsal dijitalleşme temelinde politikası ise “hız-genişlik-kalite” çerçevesinde oluşturulmuştur (Qin vd. 2022). Ülkenin tarımsal politika hedefleri üretim araçları ve teknolojik gelişmeyi merkeze koyarak verim, gelir, tarımsal modernizasyon ve kırsal alanlarda canlanmayı artırmaya yöneliktir. 2015-2019 yılları arası, özellikle Tarım Bakanlığı'nın, Tarım ve Kırsal Alanda Büyük Verinin Geliştirilmesini Teşvik Etmeye İlişkin Uygulama Görüşlerini yayınladığı yıl da dâhil olmak üzere dijital tarım kapsamında politikaların hızlıca yayınlandığı aktif bir dönem olmuştur.

Dünyada dijital tarıma yönelik uygulama ve politikalar kapsamında ülkelerin yaygın olarak karşılaştığı sorunları Qin vd. (2022) şu şekilde sıralamaktadır:

- Dijital teknoloji ve hizmetlerde gelişim devam ederken politika ve mevzuatların bu gelişimin gerisinde kalması,
- Dijital tarım ekolojisinde paydaşların gelişmeye yönelik hedef ve çıkarları doğrultusunda çatışma olasılığı,
- Bilgi akışlarının kapsayıcılık ve meta yönetim açısından eksikliği,
- Kentsel ve kırsal nüfus arasındaki altyapı ve bilgiye eşit olmayan erişim nedeniyle çiftçilerin dijital dönüşümle bütünüyle ilgilenmesinin zorlaşması,
- Piyasa mekanizmasının etkin bir rol oynamasında gerekli (etkili) teşvik ve düzenleme noksanlığı,
- Çiftçilerin dijital teknoloji ve hizmetlere bakış açıları

Tarımsal dönüşüm sürecinde görünen o ki strateji uygulamalarını ulusal düzeyde gerçekleştirmede daha çok gelişmiş ülkeler önde gelirken, gelişmekte olan ülkelere ise e-tarım hizmetlerinin çoğu, ülkelerin e-devlet ve ICT stratejileri içerisine nüfuz edildiği gözlemlenmektedir (Trendov vd. 2019). Bilindiği üzere e-devlet ve ICT stratejileri

tarıma yönelik erken uyarı bildirimleri ve genel bilgiler gibi sadece temel hizmetleri sağlamaktadır. Bu nedenle sürecin, tarımsal veri çerçevesinde (mülkiyet, şeffaflık, çok uluslu şirketlerle ilişki, etik gibi) beraberinde getirdiği birçok tartışma konusu ile tedarik zinciri ve ticaret üzerinde beklenen etkisi de göz önüne alındığında tarımda inovasyona fırsat sağlama ya da teknolojilerin üretimde kullanılmasında gelişmekte olan ülkelerin yasal alt yapılarının ne kadar hazırlıklı olduğu sorusu, gelişmekte olan ülkelerin öncelikle gündeminde yer alması gerekmektedir. Özellikle tarımsal verimlilik artışının gelir artışında en önemli itici güç olduğu birçok gelişmekte olan ülkede, tarımsal dönüşüme yönelik ulusal düzeydeki çalışmalara öncelikle yer verilmesi bu nedenle daha da önem arz etmektedir.

6.2 Türkiye’de Dijital Tarıma Yönelik Uygulama ve Politikalar

Tarım, Türkiye’nin ulusal ekonomisindeki rol ve önemini hiç şüphesiz her zaman korumuştur. Bu benzer rol ve önem, iklim değişikliğinin beraberinde getirdiği ekolojik tahribatın, ekonomik sorunların ve bunu daha da tetikleyen Covid-19 salgınının yer aldığı mevcut ortamda tarımın dijital dönüşümüyle şekillenecek politikalar açısından daha da dikkat çekici olmaktadır. Söz konusu dijitalleşme, bilindiği üzere sadece tarım sektörünü değil, ülke sistemlerini tümüyle değiştirme gücünü elinde tutan ve nihayetinde dijital devlet sistemini oluşturabilecek potansiyelde bir devrimdir. Bu doğrultuda OECD, dijital dönüşümün daha iyi anlaşılması ve olumlu bir dijital geleceğin şekillenmesine yönelik ülkelerin politika yapıcılarına yardımcı olmada amaçladığı “Dijitale Geçiş Projesi” buna örnek verilebilir (Anonymous 2023n). OECD, ülkelere dijital dönüşüm sürecinde sağlık, kamu yönetimi, rekabet, çevre vb. alanlarda olduğu gibi tarımda da politika tavsiyeleri ile bir yol haritası çizmektedir. Söz gelimi, tarım alanına yönelik “Daha İyi Tarım Politikaları için Dijital Fırsatlar “ve dijital olgunlaşmaya rehberlik etmek için geliştirilen analitik çerçevelere karşı yeteneklerini değerlendirmede “Dijital Devlet İncelemeleri” örnek olarak verilebilir. Ulusal düzeyde dijitalleşme doğrultusunda Türkiye, “e-devlet”ten “dijital devlet”e geçiş aşamasında yol

haritası olan (“2015-2018 Bilgi Toplumu Stratejisi¹ ve Eylem Planı” ile “2016-2019 Ulusal e-Devlet Stratejisi ve Eylem Planı”ın devamı olan) “Dijital Devlet Stratejisi” çalışmalarına devam etmektedir (Anonim 2023b). Bu nedenle bu stratejiye zemin oluşturması amacıyla “Dijital Devlet İncelemeleri” kapsamında OECD’nin Mayıs 2023 tarihinde tamamladığı “Türkiye’nin Dijital Devlet İncelemesi” raporu hazırlanmıştır (Anonymous 2023p).

Dijital teknolojilerin tarımda kullanımını destekleyecek ve yine bu teknolojilere gelişim ortamı sağlayacak politikalar kadar, dijital teknolojiyle üretilecek tarımsal politikalar fikri de mevcuttur. Bu fikri desteklemede, OECD raporlarına göre politika yöneticilerinin tarımsal-çevre politikalarını sunma yöntemlerini iyileştirmede hâlihazırda dijital teknoloji ve veri kullandığı bilgisi bu doğrultuda verilebilir (Anonymous 2019a).

Türkiye’de tarımsal dijital dönüşüme değinmeden önce tarıma genel bir çerçeveye bakıldığında, ülkede ilk resmi nüfus sayımının yapıldığı 1927’de kırsal nüfusun toplam nüfus içindeki oranının %75,8 (Keleş ve Mengi 2022) olduğu, günümüzde ise bu oranın %6,6 (TÜİK 2023)’ya kadar gerilediği görülmektedir. TÜİK’in kesinleşen 2021 yılı verilerine göre tarım alanı 38 milyon hektar iken işlenen tarım alanı ise 20 milyon hektara yakındır. Tarımsal işletmelerin %80,7’si 100 dekardan küçük işletme büyüklüğüne sahiptir (TÜİK 2018). İşletmelerin sahip olduğu tarımsal arazi parça sayısına bakıldığında ise işletme başına düşen parça sayısı 5,9 adet iken tarım arazisi ortalama parça büyüklüğü ise 12,9 dekadır (TÜİK 2018). Yine günümüz tarım, ormancılık ve balıkçılık sektörünün Gayri Safi Yurt içi Hâsıla (GSYH)’daki payı %6,3 (Anonim 2023) ve istihdam oranı da %15,8’dir (TÜİK 2023a).

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB)’nın mevcut tarımsal destekleri ise ana başlıklarıyla şunlardır (Anonim 2023a):

¹ Bilgi toplumu gelişimine koordinasyon, e-devletin geliştirilmesi ve AB entegrasyonunun kolaylaştırılması amacıyla “e-Dönüşüm Türkiye” proje çatısı altında 2003 yılında başlanılmıştır.

- Alan bazlı destekler (bitkisel üretim yapan küçük aile işletmesi desteği, fındık alan bazlı gelir ve alternatif ürün desteği, iyi tarım uygulamaları desteği, mazot, gübre ve toprak analizi desteği, organik tarım desteği, toprak analizi desteği),
- Biyolojik ve biyoteknik mücadele desteği (açık alanda ve örtüaltı paket toplamı),
- Fark ödemesi destekleri,
- Hayvancılık destekleri (anaç koyun-keçi desteği, atık desteği, besilik erkek sığır desteği, hastalıktan arı işletme desteği, küçükbaş soykütüğü desteklemesi, hayvan başı ödeme, hayvan genetik kaynakları, aşı desteği, su ürünleri, süt primi, ipek böceği, tiftik üretim, yem bitkileri vb.)
- Diğer tarımsal amaçlı destekler (Çevre Amaçlı Tarım Arazileri Koruma -ÇATAK- desteği, geleneksel zeytin bahçelerinin rehabilitasyonu desteği, sertifikalı fidan üretim desteği, sertifikalı fidan/fide ve standart fidan kullanım desteği, tarımsal yayım ve danışmanlık desteği, yurt içi sertifikalı tohum kullanım desteği, yurt içi sertifikalı tohum üretim desteği),

Tarımsal politikalar daha yakın çerçevede incelendiğinde ülkenin 1980 öncesi dönemde, kapalı ekonomi özelliği göstererek ithal ikametçi¹ bir sanayileşme politikası izlediği görülmektedir (Anonymous 2023r). Yine bu dönemde tarım sektörü şu politika hedefleriyle sıkı bir şekilde kontrol edilmekteydi: tahıl fiyatlarında istikrarın sürdürülmesi, verim ile üretimde artış ve ihracatın geliştirilmesi. 1980-2000 yılları arası dönemde, bitkisel ürünlere yönelik fiyat desteği ve girdi sübvansiyonları tarımda başlıca politika araçları olmuştur (Anonymous 2023r). Diğer yandan hayvancılıkta destek ise sınır korumasına yönelik önlemler kapsamında sağlanmıştır.

Türkiye'nin son 30 yıldaki tarımsal politika sürecinde gözlemlenen önemli değişimler ise özetle şunlardır (Saygılı vd. 2019):

¹ Toplam arz içinde ithalatın payını düşürerek yurt içi üretimin payını arttırmayı amaçlayan ekonomik gelişme ve sanayileşme stratejisidir.

- 1994’te Dünya Ticaret Örgütü (DTÖ) ile “Tarım Anlaşması”nın imzalanması (iç destekler, ihracat yardımları, ithalatta korumacılık, tarımın çok işlevliliği gibi konularda politika değişikliği),
- 1990’lı yıllar boyunca tarım sektörünün kısa vadeli fiyat ağırlıklı destekleme politikası araçlarıyla yönlendirilmesi ve böylelikle sonuç alınamayan politikalar ve bütçe yükünün artması,
- 2001’de Dünya Bankası (DB) ile “Tarım Reformu Uygulama Projesi”nin imzalanması (doğrudan gelir desteği, aşamalı olarak fiyat ve girdi desteklerinin kaldırılması, tarıma direkt müdahale etkisi olan TEKEL, ÇAYKUR, TMO vb. teşekküllerin etkilerinin azaltılarak özelleştirilmesi)
- 2000’li yıllarda ise AB Ortak Tarım ve Balıkçılık Politikalarına Uyum, DTÖ Tarım Anlaşması kapsamında 2004’te hazırlanan “Tarım Strateji Belgesi (2006-2010)” ve 2006’da yürürlüğe giren 5488 sayılı Tarım Kanunu,
- 2009’da Tarım Reformu Uygulama Projesi uygulamasının sona ermesi ve yine bu proje kapsamında uygulanan doğrudan gelir desteğinin kaldırılması ayrıca aynı yıl “Türkiye Tarım Havzalarının Üretim ve Destekleme Modeli” nin uygulamaya konulması,
- 2017’de bitkisel üretim, hayvancılık ve tarım desteklerinde önemli değişiklikleriyle “Milli Tarım Politikası” na (hayvancılıkta havza bazlı destekler ile bitkisel üretim ve tarım desteklerinde “Havza Bazlı Destekleme Modeli¹”ne) geçiş,

Bunlara ilave olarak tarımda öne çıkan diğer önemli gelişmeler ise şunlardır (Anonymous 2023r):

- Kamu-özel ortaklığıyla gerçekleştirilen devlet destekli (devletin toplam sigorta priminin yaklaşık %50-%70’ini karşıladığı) tarım sigortası (TARSİM),
- FAO iş birliğiyle, 2020’de yayınlanan eylem planı ve ayrıca ulusal strateji olan “Gıda Kaybı ve İsrafının Önlenmesi, Azaltılması ve İzlenmesi”,

¹ Bu model kapsamında 941 tarım havzası belirlenerek bitkisel üretimde arz açığı bulunan, insan ve hayvan beslenmesi ile sağlığı açısından önem taşıyan 21 stratejik ürüne yönelik ekolojik ve ekonomik açıdan bir destekleme haritası oluşturulmuştur

- 2053 yılına kadar net sıfır emisyonun hedeflendiği ve 2021’de yürürlüğü giren Paris Anlaşması¹,
- İklim değişikliğini merkeze alarak çevresel performansa daha duyarlı yaklaşımıyla üretilen günümüz politikaları dâhilinde Türkiye’nin (AB’nin Avrupa Yeşil Mutabakatı’na uyum kapsamında) hazırladığı ve 2021’de Resmî Gazete’de yayımladığı “Yeşil Mutabakat Eylem Planı”;
- Ulusal su politikalarının geliştirilmesi ve uygulanması ile su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminin gerçekleştirilmesi amacıyla hazırlanan “Ulusal Su Planı (2019-2023)”,
- BM Gıda Sistemleri Zirvesi² kapsamında 2021’de hazırlanan ve sürdürülebilir gıda politika hedeflerini içeren “Sürdürülebilir Gıda Sistemlerine Doğru Türkiye'nin Ulusal Yol Haritası",
- İklim değişikliğinin neden olduğu kuraklık etkilerinin minimum seviyeye indirme ve çevresel açıdan sürdürülebilir tarımsal su kullanımı ile mücadele programını içeren 2023-2027 (daha önce 2008-2012, 2013-2017 ve 2018-2022) dönemini kapsayan “Tarımsal Kuraklıkla Mücadele Stratejisi ve Eylem Planı”
- DB’nin finansal destek sağladığı ve daha sürdürülebilir ve rekabetçi bir tarım sektörünü desteklemek ve ülkenin çeşitli illerinde iklime uyumlu teknolojilerin ve uygulamaların kullanılmasını teşvik etmek amacıyla 2022-2028 yılları arasında uygulanacak olan "Türkiye İklim Akıllı ve Rekabetçi Tarımsal Büyüme Projesi” (Anonim 2023c),

Türkiye’nin dijitalleşme kapsamında “dijital erişim” başlığı altındaki verileri şu şekildedir: 4G kapsamı alanına sahip nüfus oranı %90, aktif olarak bireysel internet kullanım oranı %71, mobil abonelik oranı %97 ve 5G teknolojisi için hazırlık

¹ Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında, iklim değişikliğinin azaltılması, adaptasyonu ve finansmanı hakkında 2015 yılında imzalanan, 2016 yılında yürürlüğe giren bir anlaşmadır.

² 2021 yılında gerçekleştirilen BM Gıda Sistemleri Zirvesi daha sağlıklı, sürdürülebilir ve eşitlikçi gıda sistem yaklaşımı ve bu doğrultuda eylem, çözüm ve stratejilerle (17) sürdürülebilir kalkınma hedefinin tamamlanmasını hedeflemektedir.

aşamasındadır (Prasad 2021). Ayrıca Türkiye, BM e-Devlet gelişmişlik endeksi¹ 2022 verilerine göre 193 ülkeden 48. sırada yer almakta ve gözlem amaçlı (Göktürk-1, Rasat gibi) dört uyduya sahiptir. Söz konusu bu veriler, dijital dönüşüm hazırlığındaki ülke dijital altyapısının mevcut durumunu ortaya koymada yardımcı olmaktadır.

Tarımsal dijitalleşme sürecini ise uzun yıllardır hassas tarım uygulamalarıyla sürdüren Türkiye, dijital tarım araştırma programlarına 2002 yılında başlamıştır (Prasad 2021). Dijitalleşme, yapay zekâ, veriye dayalı iş modelleri, akıllı tarım teknolojileri, e-ticaret kavramlarının ilk defa kullanıldığı ve bununla birlikte tarımsal Ar-Ge çalışmalarında kamu, üniversite, özel sektör ve sanayi kesimi arasındaki koordinasyon ve iş birliğine ayrıca öncelikle kadın ve gençlere yönelik düzenlenecek kurs programları arasında teknoloji kullanımına vurgu yapılan politikalara On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)'nda yer verilmiştir (Anonim 2023d). Buna ek olarak, On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028) hazırlık çalışmaları doğrultusunda (Strateji ve Bütçe Başkanlığı koordinasyonunda) kamu kesimi, özel kesim ve sivil toplum temsilcileri ile akademik çevreleri biraraya getiren özel ihtisas komisyonları kapsamında tarımda dijitalleşmeyle bağlantılı olarak “Tarımda Teknoloji Kullanımı” başlığı özellikle dikkat çekerken, “Büyüme Dinamikleri ve Yeşil Büyüme”, “İklim Değişikliğinin Sürdürülebilir Kalkınmaya Etkisi”, “Bölgesel Kalkınma Politikaları” ve “Kırsal Kalkınma” da bu kapsamda ilgi çeken diğer başlıklar olmaktadır (Anonim 2022). Bununla birlikte bitkisel üretim, hayvancılık, su ürünleri, gıda güvenliği ve güvenilirliği, gübre, tohum ve ilaçta yerlileşme, tarımda toprak ve su kaynaklarının yönetimi yine bu kapsamda yer alan diğer tarımsal başlıklardır. Söz konusu kalkınma planının çalışma grubu listesinde yer alan “Dijitalleşme ve Vergileme”, “e-Devlet Hizmetlerinin Geliştirilmesi” ve “Dijital Gelişmelerin Sosyoekonomik Etkileri” ise dijitalleşme ile ilgili olarak dikkat çeken diğer başlıklardır (Anonim 2022).

Türkiye'nin tarım sektöründeki dijital dönüşümüne öncelikle paydaşlar düzeyinde yaklaşıldığında, bu listenin en başında dijital tarım teknolojilerini benimseme sürecindeki çiftçilerin geldiği söylenebilir. Bu süreçte rol alan diğer aktörler ise TOB,

¹ BM tarafından iki yılda bir gerçekleştirilen çalışma kapsamında e-Devlet gelişmişlik düzeyini belirleyen endekslerden biridir.

özel sektör, üniversiteler, araştırma merkezleri, ziraat odaları, kalkınma ajansları, T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi ve ilgili bakanlıklardır. OECD ise tarımın dijitalleşmesinde rol oynayan üç kilit aktörü çiftçiler, teknoloji sağlayıcılar ve bu iki aktör arasında aracı olanlar (üniversiteler, kamu, üretici birlikleri vb.) şeklinde belirtmektedir.

Tarımda dijitalleşme sürecinde TOB tarafından gerçekleştirilen uygulamalar kapsamında (Anonim 2020):

- 2020 yılı “Tarımda Dijitalleşme Yılı” olarak ilan edilmiş ve bu alanda atılan ilk adım (tarımsal üretim ve ticaret amacıyla alıcı ve satıcıları çevrim içi ortamda buluşturan) “Dijital Tarım Pazarı (DİTAP)” olmuştur.
- Uzaktan eğitim portalı olarak sektöre tarımsal eğitim sunan “Dijital Tarım Orman Akademisi” 2020 yılında hizmete girmiştir. Dijital tarım kütüphanesi ve Tarım TV TOB bünyesindeki diğer hizmetlerdir.
- Çiftçilerin destekleme başvurularının bilgisayar ve mobil cihaz üzerinden yapılmasına imkân sağlayan “e-Tarım Portal”ı uygulaması 2020’de hizmete sunulmuştur (Anonim 2020a).
- Küçükbaş ve büyükbaş hayvanların kayıt altında alındığı TÜRKVET sistemi, 2020’de mobil cihaz ortamında hizmet vermeye başlamıştır.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğünün “Havaalanı Gözlem Sistemi”, SMS üzerinden çiftçilere meteorolojik uyarılar konusunda hizmet sağlamaktadır.
- Ulusal su veri tabanı oluşturmak, dijitalleşme çalışmalarına katkı sağlamak ve bu kapsamda ulusal su yönetimi politikasına yön vermek amacıyla (Devlet Su İşleri -DSİ- tarafından yönetilen) “Ulusal Su Bilgi Sistemi” hizmete girmiştir.

Bunlara ek olarak tarımda dijital çözüm çerçevesinde üniversite ve diğer kamu kuruluşları iş birliğiyle Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) bünyesinde traktörlerde otomatik dümenleme sistemi, İHA ile görüntü işleme temelli hassas tarım uygulamaları, çiftlik yönetim sistemleri, merkezi dane kaybı

izleme ve takip sistemi, örtüaltı sebzeciliğine yönelik kendi yürür pülverizatör tasarımı, hayvan takip sistemi geliştirme çalışmaları ve buğdayda süneyle mücadelede yapay zekâ kullanılarak tahmin uyarı sistemi adı altında projelere yer verilmiştir (Pakdemirli vd. 2021).

Yine TOB tarafından “Ulusal E-Tarım Stratejisi” hazırlanmasına yönelik bir proje fikri geliştirilerek FAO iş birliği ile (TAGEM koordinasyonu) "TCP-Ulusal E-Tarım Stratejisinin Geliştirilmesinin Desteklenmesi Projesi" başlatılmıştır. Bu projenin amacı, Türkiye’de dijitalleşmenin mevcut durum tespiti ve beş yıllık dönem için ulusal e-tarım stratejisinin geliştirilmesidir. Bu kapsamda 2019’da proje için başlangıç olarak belirtilen bir çalıştay ve buna bağlı olarak kamusal alanda dijitalleşmeye yönelik bir envanter niteliğinde de bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Dijital teknoloji ve hizmet kullanımının - ankete dayalı- beş bin çiftçi üzerinden analiz edildiği söz konusu çalışmada internet kullanımının %82,3, tarımsal faaliyet amaçlı internet kullanım oranının %2,2 ve akıllı cep telefonu üzerinden en çok kullanılan uygulamanın ise e-devlet (ardından sırasıyla hava durumu, Tapu Kadastro parsel sorgulama, küpe sorgulama vd.) olduğu ortaya koyulmuştur (Ar, 2019). Ayrıca yine bu çalışmada, üretimde kullanılan teknolojiler arasında sensörler (nem, pH, sıcaklık vb.), otonom robotik sistemler, otomatik dümenleme sistemine sahip traktörler, akıllı sera sistemleri, otomatik süt sağım sistemleri, akıllı sulama sistemleri, değişken oranlı gübreleme vb. yer aldığı belirtilmiştir (Ar, 2019).

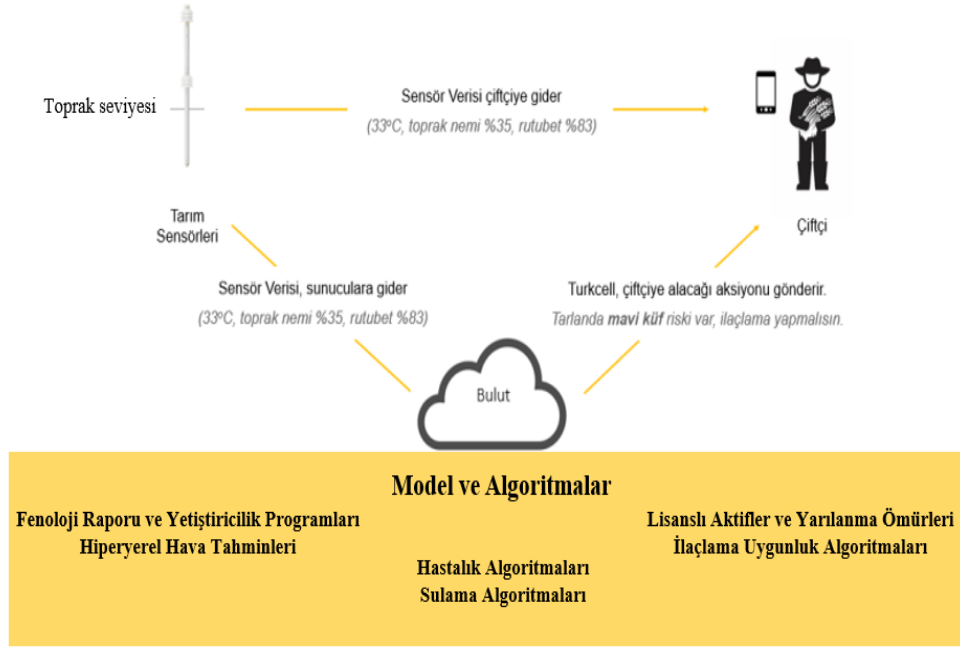
TOB bünyesinde gerçekleştirilen bir diğer önemli girişim de “Tarımsal İzleme ve Bilgi Sistemi (TARBİL)” dir. Tarım alanında uydu, istasyon ve saha personeli aracılığıyla verilerin kayıt altına alınarak oluşturulan raporlar kapsamında sonuçların gözlemlendiği entegre bir sistem olan TARBİL, tarım sektörüne yönelik sağlıklı politika oluşturma amacıyla ilgili kamu kurumları¹ ve İstanbul Teknik Üniversitesi arasında imzalanan protokol ile 2011 yılında çalışmalara başlamış fakat 10 yıl sonra TARBİL çalışmaları gündemden kaldırılmıştır (Anonim 2021a).

¹ Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, Kalkınma Bakanlığı, TÜİK, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü

Türkiye’de telekomünikasyon şirketleri, üniversiteler, bankalar, start-up’lar, birlik ve kooperatifler tarım sektörünün dijitalleşmesine yönelik sağladıkları araştırma, yatırım ve hizmetleriyle söz konusu dijital ekosisteme aktif katılım sağlamaktadır. Bahse konu bu aktörlerin tarımsal dijitalleşmeye yönelik uygulamalarına ise daha detaylı olarak aşağıda yer verilmiştir.

Vodafone Dijital Tarım Çözümleri kapsamında Vodafone’un dijital tarım karar destek sistemi dört aşamadan oluşmaktadır. Bunlar anlık nem izleme ve sulama planlaması, bitkisel hastalıkların erken teşhisi ve erken uyarısı ve meteorolojiden bağımsız iklim koşullarındaki değişiklikler hakkında bilgilendirme (Demiryürek vd. 2021). Vodafone’un kullanıcılarına sağladığı dijital çözümler şunlardır: Meteorolojik veri çözümleme, sulama planlaması, gübreleme planlaması, erken zararlı uyarıları ve erken hastalık uyarıları (Anonim 2023e). Vodafone çiftçilere “Dijital Tarım Kredisi” adı altında Türkiye İş Bankası ile finansman alanında da yardım sağlamaktadır (Anonim 2023e). Vodafone’un ayrıca ek olarak feromon kamerası-tuzağı, fenolojisi kamerası, tank seviyesi sensörü ve toprak nemi sensörü gibi diğer dijital tarım çözümleri de bulunmaktadır (Anonim 2023e).

Turkcell Filiz, çiftçilere anlık veri hizmeti sunmak amacıyla veri tabanındaki 117 farklı bitki uygulamasına ve araziye yerleştirilen hava-toprak istasyonunun sağladığı bilgiye dayanarak sulama, ilaçlama ve gübreleme zamanının belirlenmesi kararlarında kullanıcıya destek sağlayan bir mobil uygulamasıdır (Anonim 2020b). Söz konusu uygulamanın çalışma sistemi Şekil 6.3’de görülmektedir.



Şekil 6.3 Tarım sensöründen sağlanan verilerin mobil uygulama aracılığıyla çiftçiye aktarımı (Anonim 2020b)

Ayrıca çiftçilere, Turkcell Filiz uygulaması ile danışmanlık hizmeti kapsamında uzman kişilere (ziraat mühendisleri) ulaşma imkânı da sağlanmaktadır.

Türk Telekom, dijital tarım çözüm hizmetlerini IoT ve M2M teknoloji uygulamalarıyla gerçekleştirmektedir (Anonim 2020b). Türk Telekomun sağladığı dijital tarım çözümleri ise şunlardır (Anonim 2020c):

- Sıcaklık, nem, basınç gibi verilerin uzaktan takibi ve ürünlerde hastalık, kalite düşüklüğü gibi sorunların çözümünde “Ekim Alanı Sera Kontrol ve Yönetimi”,
- Su kaynaklarının anlık ve sürekli olarak ölçülmesi ve takip edilmesinde “Debi ve Derinlik Ölçümü”,
- Büyük ve küçükbaş hayvanların konum, sıcaklık ve hareket gibi verilerinin izlenmesinde “Hayvan Takibi”,
- Sensörler ile barınak, kümes, balık çiftlikleri ya da arı kovanlarının kontrolünde “Kümes/Çiftlik/Barınak İzleme”,

- Uzaktan kontrol edilebilir sulama sistemleri ile verimlilik artışının sağlanmasında “Akıllı Sulama”,

Ülkede telekomünikasyon şirketlerinin yanı sıra sağladıkları dijital tarım çözümleriyle önem arz eden bir diğer aktif paydaş ise startup’lardır. Bir araştırma firması (çoğunlukla startup verilerine sahip) olan Tracxn’in 2023 yılı verilerine göre Türkiye’de tarımsal teknoloji alanında kurulan toplam startup sayısı 116’dır. Bunlardan bazı örneklerle aşağıda kısaca yer verilmiştir.

Tarfin, 2016’da kurulan İstanbul merkezli şirket, yaklaşık 40 ilde çiftçilere tarımsal girdi (tohum, gübre ve yem gibi) konusunda hizmet sağlamaktadır (Anonim 2023f). Özellikle çiftçilerin tarımsal girdi tedarikinde çevrim içi uygulama kullanım eğilimlerinin düşük olma sebeplerinden biri ödeme dönemidir. Şirket bu konuda çiftçilere, tıpkı normal bir tedarik sağlayıcı gibi, hasat zamanı ödeme olanağı sağlamaktadır (Anonim 2023f).

tarla.io, 2012’de kurulan Ankara merkezli şirket, çiftçilere uydu görüntüleri, meteoroloji istasyonları, yağış radarları, fırtına gözlem sensörleri ile; akademiye, gıda şirketlerine, bankalara, sigortacılara, tüccar ve ihracatçılara ise sektörel problemlerini çözmek için sayısal tarım araçları hizmet sağlamaktadır (Anonim 2023g). Alanında birçok ödüle de layık görülen tarla.io, hava ve toprak koşullarına ait verilerin toplanmasını kendi geliştirdiği algoritma veri tabanı ile sağlamaktadır (Doğan ve Aytekin 2021).

ForFarming, 2018’de kurulan İstanbul merkezli şirket, özellikle yapay zekaya dayalı yenilikçi girişimlerle tarımda dijitalleşme çalışmalarını yürütmektedir (Doğan ve Aytekin 2021). ForFarming, kapalı alanlarda (sera gibi) yapay zeka ve IoT tabanlı dikey tarım çözümleri sunarak ilaçsız tarım imkanı sağlamaktadır. Çiftçilere hizmet hedefinde donanımdan ziyade yazılıma ağırlık vermektedir.

Otonom hidroponik yetiştirme sistemi üreticisi ForFarming, “Farmio” ve “Farmi” adı altında iki ayrı akıllı tarım çözümü sunmaktadır. Bunlardan, yapay zeka destekli yazılım otomasyonu (SaaS) “Farmio” ile dikey tarım alanlarının ve seraların akıllı hale dönüştürülmesi; bir diğer hizmeti “Farmi” ile restoran, market zincirleri, otel, fabrika vb. birçok farklı alanda otonom dikey tarım çözümleri ile mevsimden bağımsız taze ve sağlıklı ürünler yetiştirilmesi sağlanmaktadır (Anonim 2023h).

Bankalar, sağladıkları finans hizmetleriyle dijital tarım ekosistemine katılım sağlayan bir diğer gruptur.

Türkiye İş Bankası, “Dijital Tarım Bankacılığı” yaklaşımıyla çiftçilere yönelik sağladığı başlıca üç hizmet şunlardır (Anonim 2023i):

- İmeceMobil, ücretsiz olarak konuma özgü hassas hava tahminleri, zirai bildirimler, uzmanına sor, gelir/gider hesaplama, bölgeye ve ürüne özgü kampanyalar, tarımsal haberler, hal/borsa fiyatları, başvurular (imecekart, tarım kredisi, tarım sigortası, çiftçi BES ve lisans depodaki ürün durumu gibi işlemler), Türkiye Ürün İhtisas Borsası A.Ş. (TÜRİB)¹-Elektronik Ürün Senedi (ELÜS)² piyasa bilgilerinin takibi, hasar bildir (TARSİM), gübre tavsiye (Toros Tarım aracılığıyla), tıbbi ve aromatik bitkiler ile süs bitkilerine dair bilgi, Teklif İste Teklif Ver (tedarikçileden sağlanan teklif karşılaştırılması) ve Arıcılık, Su Ürünleri Yetiştiriciliği ve İpek Böcekçiliği konularında uzman yardımı gibi birçok konuda mobil uygulama üzerinden çiftçiye hizmet sunmaktadır.
- WorkUp Agri, tarım odaklı bir girişim programı olarak tarım sektörü ekosistemine yönelik sürdürülebilir ve ölçeklenebilir iş modeline sahip teknoloji girişimlerinin büyümesine destek olmayı amaçlamaktadır. Bu programın hedefleri; Tarım teknolojileri

¹ Elektronik ürün senetleri ile elektronik ürün senetlerine dayalı vadeli işlem sözleşmelerinin işlem gördüğü Ürün İhtisas Borsasıdır.

² Lisanslı depolarda bulunan ürünleri temsilen

sektöründe inovasyonu güçlendirmek, sürdürülebilir üretim ve dağıtım yöntemlerinin desteklemek ve tarım sektörüne yönelik dijital iş modelleri yaratmaktır.

- Dijital Tarım Çözümü kapsamında (Vodafone iş birliğiyle) tarımsal tahmin ve erken uyarı amacıyla kullanılan “tarımsal meteoroloji ve veri istasyonlarından” faydalanılarak; "meteorolojik, fenolojik (bitki gelişim süreci), hastalıklara karşı, zararlılara karşı erken uyarılar ve eylem önerileri ile tarımsal meteoroloji ve tarımsal işlemler için optimum zamanlama ve tarımsal riskler için erken uyarı bilgilerinin üreticilere ulaştırılması", böylelikle üretime dair birçok işlemin ve faaliyetin anlık veriler çerçevesinde daha doğru ve zamanında olacak şekilde planlanması ve yürütülmesidir. Ayrıca yakın zamanda Türkiye İş Bankası, dijital tarım uygulaması İmeceMobil'i bir platforma dönüştürmek amacıyla, “İmeceMobil Tarım Platformu Elektronik Hizmetler Ticaret Anonim Şirketi”ni kurmuştur (Anonim 2023i).

Şekerbank, çiftçilere yönelik geliştirdiği “Hasat Mobil” uygulamasıyla anlık tarla takibi, verimli üretim faaliyetleri, hastalık, zarar ve meteorolojik olay risklerine karşı önceden bilgi sahibi olma ile ayrıca kullanıcılara uygulama üzerinden gerçekleştirdikleri işlemler kapsamında dijital puanlama sistemiyle faiz ve sigorta indirim imkânı sağlamaktadır. Yakın zamanda söz konusu mobil uygulamaya Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS), Bakanlık Bilgi Havuzu, tarımsal finansman için soru sorma ve Tarım Sigortaları Havuzu (TARSİM) hizmetleri de eklenmiştir (Anonim 2023j).

Banka, ‘Üreten Anadolu Çiftçi Buluşmaları’ projesi kapsamında; çiftçilere finansal okuryazarlık eğitimleri sağlamanın yanı sıra verimli üretim ve kaynakların etkin kullanımı için tarımda dijitalleşmenin önemi, kooperatifleşme ve sözleşmeli üretim modelleri hakkında bilgi de sağlamaktadır (Anonim 2023j).

Tarımsal dijitalleşmeye yönelik faaliyetleriyle sırayla ele alınan telekomünikasyon şirketleri, startup ve banka örneklerine ek olarak verilecek diğer bazı örnekler ise şunlardır:

Türk Tarımının Global Entegrasyonu ve Tarım 4.0, Türkiye'nin Tarım 4.0 sürecine entegrasyonuna ve uygulanmasıyla yaygınlaştırılmasında politika önerilerinin geliştirilmesine yönelik İzmir Ticaret Borsası ve Ege Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü'nün oluşturduğu iş birliği protokolü kapsamında gerçekleştirilen proje, 2019 yılında tamamlanarak raporlanmıştır (Saygılı vd. 2019).

Akıllı Tarım Fizibilite Projesi (AKTAR), 2015 yılında TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü (UZAY) ve Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi ortaklığında başlatılan bu projeye İç Anadolu Bölgesi'nde yetişen ürünler için hassas tarım modellerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır (Teke vd. 2016).

Doktar, 2012 yılında TÜBİTAK desteği ile Ege Üniversitesi bünyesinde "Doktar Tarım ve Hayvancılık Bilgi Sistemleri Araştırma ve Geliştirme A.Ş." kurulmuştur (Demiryürek vd. 2021).

Tabit Akıllı Tarım Teknolojileri A.Ş., tarım teknolojileri üzerine çalışan İstanbul merkezli ilk şirket olarak, tarımsal kalkınmaya destek olmak amacıyla Vodafone ortaklığıyla Aydın'ın Koçarlı ilçesi Kasaplar Köyü'nde dijital teknolojilerle donatılmış ilk akıllı köyü kurmuştur (Demiryürek vd. 2021).

bountarım, Boğaziçi Üniversitesi Yenilikçi Tarım ve Gıda İşletmeciliği Platformu, Türkiye tarım ve gıda sektörünün inovasyon yeteneklerini geliştirerek, tarım sektörünün teknoloji entegrasyonunu ve dijital dönüşümünü destekleyerek, ulusal ve küresel tarım ve gıda pazarlarında rekabet gücünü yükseltmede bilgi birikimine katkıda bulunmayı hedeflemektedir (Anonim 2023k).

Platform, networking ve bilgi üretimi (konferans, çalıştay, seminer, webinar, podcast vd.), eğitim ve öğretim faaliyetleri (yöneticiler için yenilikçi tarım işletmeciliği sertifika programları, üreticiler için yenilikçi tarım işletmeciliği sertifika programları ve özel eğitim programları) ve Ar-Ge ve bilgi üretim (benchmarking çalışmaları, platform içi etkileşimle gelişen ihtiyaçlara göre disiplinlerarası proje tasarımı ve tarım sektöründe

çok disiplinli projeler) olarak faaliyetlerini 3 ana başlık altında toplamaktadır (Anonim 2023k).

Üniversitenin dijital tarım yaklaşımıyla mevcut projeleri ise şunlardır (Anonim 2023k):

- AGRICOMPET: Tarımsal Gıda Tedarik Zincirini Yönetmek, Avrupa Birliği PRIMA fonu ve TÜBİTAK tarafından desteklenen proje İspanya, İtalya, Fransa, Yunanistan ve Türkiye'de tarım sektöründeki küçük üreticilerin rekabet güçlerini artırmalarına yardımcı olmak için bir çözüm menüsü oluşturmayı amaçlamaktadır.
- Dijital Pamuk Projesi: Pamuğun Dijital Serüveni, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı GAP Bölge Kalkınma İdaresi, Boğaziçi Üniversitesi ve Harran Üniversitesi ortaklığında yürütülen proje, nesnelerin interneti ile pamuk üretim zincirinde kaynak etkinliğini ve verimliliği artırmayı hedeflemektedir.
- AgriTech Kapasite Geliştirme ve Ağ Oluşturma Projesi, ile tarım teknolojileri alanındaki bilgilerin tüm paydaşlara yayılımı ve transferini sağlayarak bilim, teknoloji, inovasyon ve girişimciliğinin tarıma entegre edilmesi hedeflenmektedir.

Türkiye Startup Platformu, Türkiye startup ekosistemini güçlendirme ve ülkenin “startup gücü”nü tek bir çatı altında toplama amacıyla Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB)’nin Google.org’un desteğiyle kurulacak platformu Ocak 2023 tarihinde hizmete geçmesi planlanmaktadır (Anonim 2022a).

Dijital platformlar eğitim, finansman, pazarlama gibi birçok iş çözümü modeliyle çiftçilerin tarımsal faaliyetleri çerçevesinde çözüm sunma potansiyeline sahiptir. COVID-19 sürecinin tarım sektörü üzerindeki etkileri de dikkate alınarak TOB’un teknik desteği, Uluslararası Tarımsal Kalkınma Fonu (IFAD), FAO ve BM Kalkınma Programı (UNDP)’nin katkılarıyla Türkiye’de küçük ölçekli tarımsal işletmeler kapsamında dijital platformların arz-talep analizine yönelik rapordan derlenen dijital platformlara Çizelge 6.2’de yer verilmiştir. Bu raporla, çiftçilerin tarımsal ürünlerine daha fazla talep sağlamada dijital pazarlama platformlarına komisyon ödemenin bir

engel teşkil etmediği, söz konusu platformları efektif kullanmada eğitim vb. diğer destek araçlarına gereksinim duydukları, interneti resmi eğitim ve yayım hizmetlerinden faydalanmada daha çok bilgi almada kullandıkları, tarımsal girdi alımında sanal ortamın yaygın bir araç olmadığı ve kadın çiftçilerin özellikle internete erişimde acil ihtiyaç duyan grup olduğunu ortaya koyulmuştur.

Çizelge 6.2 Tür ve sağlayıcıya göre Türkiye’de çiftçilerin kullandığı dijital platformlar (Anonim 2023f)

Gıda ve Tarımsal Pazarlamaya Yönelik Dijital Platformlar
▪ Resmi kuruluşlar tarafından sağlanan (Dijital Tarım Pazarı –DİTAP-, PttAVM gibi) ▪ Özel şirketler tarafından sağlanan (Trendyol, Hepsiburada, Amazon gibi genel alışveriş platformları; Tazediretk gibi gıda ve tarım ürünlerine odaklanan alışveriş platformları) ▪ Üretici örgütleri tarafından sağlanan (Nahil gibi) ▪ Kendi web sitesi üzerinden yapılan pazarlama (Antalya bahçesi, Bir manav gibi) ▪ Ağ oluşturma (networking) web siteleri üzerinden yapılan pazarlama (Facebook, twitter, instagram, sahibinden.com gibi) ▪ Tarımsal yayım hizmetlerine yönelik
Tarımsal Yayım Hizmetlerine Yönelik Dijital Platformlar
▪ Resmi kuruluşlar tarafından sağlanan (Tarım Orman Akademisi, Çiftçi Akademisi gibi) ▪ Üretici örgütleri tarafından sağlanan (Tarım Kütüphanesi gibi) ▪ Özel şirketler tarafından sağlanan (Toros Kütüphanesi, Büyükaksoy Tarım Danışmanlığı gibi)
Tarımsal Girdi Alımlarına Yönelik Dijital Platformlar
▪ Özel şirketler tarafından sağlanan (TarımGaraaj, Tarfın, sahibinden.com gibi)
Kırsal Finans Hizmetlerine Yönelik Dijital Platformlar
▪ Resmi kuruluşlar tarafından sağlanan (TARSİM, Ziraat Bankası Online Kredi Servisleri gibi) ▪ Özel bankalar tarafından sağlanan (İş Bankası Online Tarım Kredisi, Şekerbank Tarım Hizmetleri gibi)

Dijital tarımın uygulanmasında diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de benzer engeller görülmektedir. Tarım sektörünün küresel düzeyde karşılaşılan doğal kaynakların

tükenmesi, biyoçeşitlilik kaybı, iklim değişikliği, artan nüfusun besin ihtiyacı, işgücü kıtlığı, değişen tüketici alışkanlıkları vb. sorunlarına çözüm sunmada dijital dönüşüm büyük bir potansiyel olarak görülmektedir. Bu çözüm potansiyeli, küresel sorunların yanı sıra ulusal düzeyde yaşanan arazi parçalılığı, düşük eğitim seviyesi, kırsal alanların altyapı yetersizliği, sulama, düşük verimlilik, çevre kirliliği, finansman vb. sorunlara çözüm arayışında olan Türkiye için de ayrıca önem arz etmektedir. Türkiye'nin dijitalleşme süreciyle birlikte mevcut sorunlarına ayrıca veri toplama ve erişim, finansal okuryazarlık, dijital okuryazarlık¹ ve dijital iş gücü konularının da eklenmektedir (Prasad 2021).

Ege Üniversitesi ve İzmir Ticaret Borsası ortaklığı ile gerçekleştirilen “Türk Tarımının Global Entegrasyonu: Tarım 4.0” projesi kapsamında tarım sektörünün teknolojik dönüşümü çerçevesinde etki, sorun ve çözüm önerilerini merkeze aldıkları çalışmayla ulaşılan sonuç ve engeller şu şekildedir:

Sonuçlar:

- Katılımcıların tarım 4.0 uygulamaları kapsamında homojen seviyede olmayan farkındalıkları,
- Tarımsal üretim doğrultusunda Tarım 4.0 uygulamalarına pozitif yaklaşım,
 - Üretim ve karar alma süreçlerinin hızlanması,
 - Verimlilik ve kalite artışlarına bağlı olarak rekabet gücünde artış ile gıda güvenliği konusuna pozitif yönlü katkı,
 - Tersine göçün hızlanması ve tarımsal istihdamda nitelikli işgücü artışı
 - Ekolojik sürdürülebilirlik konusunda pozitif yönlü katkı
- Tarım 4.0 teknolojilerinin kullanımına yönelik negatif yaklaşımın henüz gelişmemesi,

¹ İletişimin ve bilgiye erişimin internet platformları, sosyal medya ve mobil cihazlar gibi dijital teknolojiler aracılığıyla giderek arttığı bir toplumda yaşamak, öğrenmek ve çalışmak için sahip olunan gerekli becerilerdir.

Engeller:

- Parçalı tarımsal arazi yapısına bağılı olarak teknoloji kullanım maliyetinin artması,
- Kırsal nüfusun teknoloji alanında beceri ve eğitim noksanlığı,
- Kırsal nüfusun teknolojiye erişiminde karşılaşılan engeller (çiftçilerin öz kaynak yetersizliği, bürokratik işlemlerde takipsizlik, devlet desteklerinin yetersizliği, mevcut devlet desteklerinde ise yetersiz bilgi düzeyi),
- Tarım 4.0 kapsamındaki paydaşlar arası bilgi akışının yetersiz şeffaflığı,

Ülkedeki tarımsal dijitalleşmede karşılaşılan engellere hem benzer hem ek olarak Ağızan ve Bayramoğlu (2021) ile Ağızan vd. (2021)'nin de belirttiği üzere tarım işletmelerinde farkındalık eksikliği, yatırım maliyetlerinin yüksekliği, dijital okuryazarlık eksikliği, yetersiz altyapı, yerelleştirme eksikliği ve yetersiz politikalar da verilebilir (Ağızan vd. 2022).

Tarım sektörünün dijital dönüşümü, gelişiminde sosyo-kültürel, teknik, ekonomik ve düzenleyici gibi birçok etkili unsuru bünyesinde barındırmaktadır. Bu doğrultuda Brunori (2019), Saygılı vd. (2019), Salam (2020), Lajoie-O'Malley vd. (2020), Demiryürek vd. (2021), Prause (2021), Yu vd. (2021), Atik (2022), Bulut ve Wu (2022), Ağızan vd. (2022), Smidt ve Jokonya (2022) ve Ferrari vd. (2022) tarafından ortaya koyulan araştırma bulguları ışığında söz konusu bu unsurlar derlenmiş ve bu kapsamda oluşturulan SWOT analizine Çizelge 6.3'de yer verilmiştir.

Çizelge 6.3 Türkiye Tarım Sektörünün Dijital Tarım SWOT Analizi

GÜÇLÜ YÖNLER

- Dijital teknolojilere yönelik negatif yaklaşımın henüz gelişmemesi
- Gelişim içerisinde olan ve halihazırda hizmet ve ekipman sunan tarımsal teknoloji pazarı
- Aktif dijital platform kullanımı (gıda ve tarımsal pazarlama, tarımsal yayım hizmetleri, tarımsal girdi alımları, kırsal finansman hizmetleri)
- Telekomünikasyon şirketleri, üniversiteler, bankalar, startup, birlik ve kooperatiflerin dijitalleşmeye yönelik üreticilere sağladığı araştırma, yatırım ve hizmetler
- Belli bir seviyedeki mevcut dijital altyapı (4G kapsamındaki yüksek nüfus oranı, yüksek internet kullanımı, gözlem amaçlı sahip olunan uydu sayısı, 5G hazırlık çalışmaları)
- Teknoloji kullanımına yatkın genç nüfus oranının yüksekliği
- Kamu kurumları tarafından üreticiye sunulan uygulamalar (e-tarım portal, DİTAP, TÜRKVET, Dijital Tarım Orman Akademisi gibi)
- Teknolojik ekipman piyasasının büyümesine olanak sağlayacak tarımsal üretim çeşitliliği
- E-pazarlamayı aktif kullanan nüfus

ZAYIF YÖNLER

- Teknoloji kullanımında fayda farkındalığının eksikliği
- Teknolojiye yatkın genç nüfus oranının giderek kırsalda azalması
- Çiftçilerde eğitim yetersizliği ve dijital beceri eksikliği
- Dijital okuryazarlık eksikliği
- Yaşlı üreticiler için dijital uygulamaların uygulanabilir olmaması
- Parçalı tarımsal arazi yapısı
- Mevcut tarımsal işletme yapısının gelişmiş ülkeler düzeyine nispeten geride kalmış olması ve buna bağlı düşük rekabet gücü
- Küçük ölçekli tarımsal işletme sayısının fazlalığı
- Teknolojiye erişimde maliyet engeli
- Elektronik cihazlarda dışa bağımlılık, döviz kurunda yükseliş ve uygulanan vergi
- Tarımsal işletmecilik faaliyetlerinin sürdürülebilirliğinde ekonomik baskı
- Kırsal alanlarda altyapı yetersizliği
- İnternet erişiminde dijital altyapı eksikliği
- Politika çalışmalarının henüz beklenen düzeyde olmaması
- Verimli, sürdürülebilir ve uzun vadeli politika planlama eksikliği
- Dijital teknolojilerin tarımsal yayım aracılığıyla yeterli düzeyde tanıtımını ve fayda farkındalığını artıracak uygulamalarda bulunulmaması
- Kırsal alanlarda yetersiz iş ve yaşam şartları
- Dijital teknoloji kullanıma yönelik devlet desteklerinin eksikliği
- Konuyla ilgili akademik çalışmaların henüz istenen düzeyde olmaması

Çizelge 6.3 Türkiye Tarım Sektörünün Dijital Tarım SWOT Analizi (devam)

FIRSATLAR

- Teknoloji kullanımına yatkın genç nüfus oranının fazla olması
- Stratejik Gelişim ve Destekler (Ulusal e-Tarım Stratejisi ve AB Eylem Planları gibi)
- Kamu kurumlarının dijitalleşmeye yönelik politika hazırlıkları (On Birinci ve On İkinci Kalkınma Planları)
- Tarım-gıda sistemine yeni paydaş (teknoloji sağlayan firmalar) katılımı
- Tarımsal teknolojiye yönelik pazarın dinamik yapısı
- Dijital dönüşümde aktif rol alan paydaş çeşitliliği (TOB, özel sektör, üniversiteler, T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, araştırma merkezleri, vd.)
- Kamu-özel sektör iş birliğiyle teknolojik cihazlarda kullanım kolaylığı sağlayan “tasarım” projeleri

TEHDİTLER

- Dijital dönüşümde henüz olgunlaşma sürecine bağlı etki ve sonuç belirsizliği
- Yetersiz mevzuat ve hızla gelişen teknoloji piyasa ekosistemi karşısında korumasız kalan çiftçiler
- Dijital dönüşümün gelişim hızıyla paralel ilerlemeyen kırsal altyapı çalışmaları
- Mevcut politikaların geliştirildiği ve yenilerin üretildiği politikalarda henüz istenen ivedi ilerleyişin sağlanamaması
- Tarımsal politika araçlarının yetersiz düzeyde kullanımı (tarımsal yayım gibi)
- Tarımsal veri paylaşımında belirsizlik ve yasal altyapının eksikliği
- Tarım sektöründe kaliteli tarımsal veritabanı belirsizliği
- Tarım-gıda sistemine yeni paydaş (teknoloji sağlayan firmalar) katılımı
- Üniversitelerin ilgili fakültelerinde mevcut durum ve hazırlıklar
- Dijital dönüşümde kamu kurumlarının süreci yönetme becerisi
- Dijital teknolojilerin tarımsal iş gücü ve emeğin yerini alabilme ihtimali
- Dijital dönüşüm hedeflerinde üretime odaklanarak çevresel iyileştirme ve biyoçeşitliliğin geri planda bırakılması

7. GENEL DEĞERLENDİRME ve ÖNERİLER

Araştırma ile tarımda dijital dönüşüm süreci öncelikle tarımın sıfır noktasından itibaren tarihsel süreçte devrimleri ile ele alınıp günümüz dijitalleşme evresine kadar gerçekleşen değişim ve gelişimi, detaylı ele alınan sanayi devrimleriyle dijital tarıma geçiş süreci, dijital tarım kavramının tanımı ve farklı birçok terimle ele alınan yaklaşımının incelenmesi, sektörde dijital dönüşümün mevcut durumu, kullanılan teknolojileri, hedefleri, teknoloji piyasası, dijitalleşmede engeller ve fırsatlar, dijitalleşmede kırsal alanlara dair sorunlar ve çözümler açısından yaklaşım, dijitalleşmenin çiftçi (kırsal alan yaklaşımı), teknoloji sağlayıcı (piyasa durumu) ve kamu (ulusal ve uluslararası düzeyde mevcut durum) düzeyinde incelenmesi, dijitalleşmede rol oynayan bazı teknolojilerin detaylı ele alınışı, tarımda veri mülkiyeti, dijital tarımın ulusal ve uluslararası düzeyde mevcut uygulamaları ile bu kapsamdaki politika çalışmaları doğrultusunda çok yönlü genel bir çerçeveye ele alınarak incelenmiştir.

BM'nin (2022) son verilerine göre dünya nüfusunun 2050'de 9,7 milyar, 2100'de 10,4 milyar olması beklenirken bu nüfusun besin ihtiyacının karşılanması, artan şehirleşme hızı, iklim değişikliğine bağlı doğal afetler (kuraklık, sel vb.), doğal kaynakların risk altına girmesi (orman tahribatı, su kaynaklarının azalması, biyoçeşitliliğin tehlike altına girmesi, kötü toprak yönetimi vb.), daha yoğun olarak gelişmiş ülkelerde karşılaşılan gıda kaybı ve israfının artması ve değişen tüketici alışkanlıkları hem sorun hem çözüm açısından tarım alanında kesişmektedir. Küresel çapta yaşanan sorunlara ayrıca 2019'un geç dönemi ile 2022 yılı ortalarına kadar devam eden etkisiyle Covid-19 salgını da eklenmiştir. Salgın, hem dünyayı bir süreliğine durma noktasına getirmiş hem iş, eğitim vb. sosyal yaşam ortamlarının yüz yüze etkileşimini, uzaktan etkileşime dönüştürmüştür. Özellikle gelişmiş ülkelerde ihtiyaç duyulan mevsimlik göçmen işçi durumuna salgın sürecinin negatif etkisi, tarım sektörü açısından verilebilecek örneklerden biridir (Prause 2021). Dolayısıyla salgın sürecinin yarattığı bu durum, ülkelerin tarımsal dijitalleşmedeki ihtiyacını ayrıca tetiklediği söylenebilir. Söz gelimi küresel tarımsal teknoloji (IoT, navigasyon teknolojileri gibi) piyasasının büyümesinde etkili olan faktörlerden birinin Covid-19 salgını olduğu, bu durumu desteklemektedir

(Anonymous 2023). Bu salgın süreciyle tecrübe edilen en büyük çıktı ise sosyal etkileşimlerde rol alan dijital teknolojilerin hiç şüphesiz başarısı daha doğrusu gücü olmuştur. Dolayısıyla araştırma ile görülmüştür ki, son yıllarda mevcut dijital teknolojiler ve hizmetler ortamında bazı ülkeler (AB, Avustralya gibi) yatırım ve strateji hedefiyle tarım sektörlerinde dijitalleşme sürecine hız vermiştir.

Hız kazanan fakat tarımda hala olgunlaşma evresinde olduğu düşünülen dijital dönüşüm ile küresel boyuttaki sorunları cevaplamada (geliştirilen ve gelişimine devam eden) teknolojik çözümleri büyük bir potansiyel olarak görülmektedir. Bu teknolojik çözümlerle hedeflenen sonuçlar girdi maliyetlerinin düşürülmesi, iş gücüne olan ihtiyacın azaltılması, verimliliğin artırılması, gıda talebinin karşılanması, sektöre yönelik hizmetlerin geliştirilmesi, tedarik zincirinde şeffaflık ve izlenebilirliğin sağlanması, arazi ve doğal kaynakların verimli ve sürdürülebilir kullanılması vb.'dir. Bu nedenle dijital tarım teknolojilerinin hem hız kazanan yapısı hem mevcut sorunlara çözüme kavuşturmadaki potansiyeli ile "tarımın dijitalleşmesi" konusu akademiden de büyük ilgi görmektedir. Örneğin Abbasi (2022)'ye göre tarımda en çok uygulanan ikinci dijital teknoloji olan IoT teknolojileri ile ilgili yayınlar 2000'li yılların başında ortaya çıkarken, tarım sektörünün dâhil olduğu çalışmalar ise 2010 yılında başlamış ve 2015 yılı itibarıyla da çalışma sayısında ciddi bir sıçrama yaşanmıştır (Bulut ve Wu 2022). Özellikle 2012 yılında, dijital tarım devrimi konusunu içeren ilgili yayın sayısında büyük bir artış gerçekleşmiştir (Bertoglio vd. 2021). Dolayısıyla artan literatür sayısı ile birlikte dijital tarım kapsamındaki bibliyometrik analizlere dair akademik yayınlara da rastlanmaktadır. Bu çalışmayla görülmüştür ki, akademideki bu büyük ilgiye rağmen olgunlaşma dönemindeki dijitalleşme çerçevesindeki tarıma yönelik bulgular henüz sınırlı, derin olmaktan uzak, araştırma ihtiyacının devam ettiği ve değerlendirme açısından ise yine erken dönem nedeniyle (beklentiler temelinde) olası aşamadır. Dolayısıyla bu çalışma ile, incelenen birçok araştırma kapsamında dijital teknolojilerin etkilerinin, sonuçlarının ve ilgili paydaşları (en başta çiftçiler olmak üzere) tam olarak nasıl etkileyeceğinin durum değerlendirmesinde hala sınırlı bir kavrayışın mevcut olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çalışma ile ulaşılan diğer bulgular ise şunlardır: Dijital tarım ekosisteminde 2011-2021 yılları arasında en çok uygulanan ilk üç teknoloji otonom robotik sistemler, IoT ve makine öğrenimi (Abbasi vd. 2022), küresel tarım robot pazarında hakimiyet sırayla Kuzey Amerika, Avrupa ve artan devlet desteği Asya-Pasifik bölgelerine ait (Mege vd. 2019), tarımsal robotik ekipman piyasasında küresel pazara hâkim olan uygulama süt hayvancılığı faaliyetine (sağım robotları) ait (Mege vd. 2019), dronlarda ise en yaygın uygulama şekli sırayla püskürtme, arazi haritalama, toprak analizi ve bitkisel ürün gelişim takibi (Ghazali vd. 2022), gelişmekte olan ülkelerde (tarımsal yayımda olduğu gibi) dijital tarım sürecinde geniş ölçekte erişim sağlayan teknolojilerin başında cep telefonları gelmekte (Anonymous 2019a) ve dijital teknolojilerin kullanıldığı en yaygın politika alanları su kalitesi ve biyoçeşitlilik iken, en yaygın politika mekanizmaları yayım hizmetleri ve bilgi sağlama ve tarımsal-çevresel ödemeler ve sübvansiyonlardır (Anonymous 2019a).

Dijital tarım ekosistemin beraberinde getirdiği bir diğer çıktı da tarımsal veri mülkiyeti kavramıdır. Devrimin bile henüz erken dönemde olduğu göz önünde bulundurulduğunda tarımsal veri mülkiyetinin kavram netliği, tarımsal üretim sürecinde mülkiyetin nerede başladığı, kime ait olduğu ve bu konudaki çiftçi endişeleri henüz cevap bekleyen konulardır. Her ne kadar AB'nin son aşamada olan "Veri Yasası" söz konusu boşluğu dolduracak gibi görünse de Atik (2022)'e göre söz konusu yasa çeşitli hükümlere sahip olmasına rağmen temel kavramların tanımları ve hükümlerin kapsamıyla dijital tarım sektörü için oldukça sınırlı bir yapıdadır. Bu nedenle sektörün dijitalleşmede hedeflerine ulaşmak için ilerleyen dönemlerde daha ayrıntılı kurallara gereksinim duyacağı beklenmektedir. Tarımsal veri mülkiyetinin önemini vurgulayan görüşlerin aksine bazı görüşler de veri mülkiyeti kavramını faydasız ve dikkat dağıtıcı bulmaktadır (Wiseman vd. 2018). Mülkiyet kavramındaki argümanlardan ziyade tarım verilerinin nasıl toplandığı, kontrol edildiği ve erişildiği konularına ve ilgili taraflar arasındaki ilişkide şeffaflık ve güvenin nasıl geliştirileceğine odaklanılması gerektiği savunulmaktadır (Wiseman vd. 2018).

Tarım sektöründe devam eden dijital dönüşüm şimdilik birçok belirsizliğiyle nitelendirilse de gelişimi ve yayılımı sürecinde ortaya çıkan engeller açısından yavaş da olsa olgunlaşmaya başladığı söylenebilir. Dijital teknolojilerin çiftçiler tarafından benimsenmesinde öne çıkan öncelikle karlılık olmaktadır (Salam 2020). Bu nedenledir ki söz konusu dijital teknolojilerin yüksek maliyetli olması da benimsemedeki engeli teşkil etmektedir. Çalışma ile tarımsal dijital teknolojilerin adaptasyonu önündeki engellerin başlıca şunlar olduğu görülmüştür: demografik (yaşlı nüfus, kırsal alanların seyrek nüfusu gibi), kırsal alan altyapı yetersizliği ile bağlanabilirlik, kullanılan teknolojinin karmaşıklığı, çiftçilerde teknolojik bilgi ve beceri noksanlığıyla birlikte yaşlı çiftçilerde teknolojik öğrenim zorluğu, mevcut dijital teknolojilerin fayda/maliyet oranının henüz düşük olması, gelenekselliğe bağlılık, finansman yetersizliği, tarımsal işletme ölçeği (küçük ölçekli tarımsal işletmelerin yatırım maliyeti açısından dezavantajlı olması), tarımsal işletmelerde veri birikiminin yüksek fakat depolama imkanının yetersiz oluşu, veri paylaşımında güvensizlik, ulusal düzeyde mevzuat ve standardizasyon eksikliği, teknolojiye güvensizlik ile buna ek olarak ülkelerin gelişmişlik ve mekanizasyon düzeyi, teknolojilerin el emeğinin yerini alacağı endişesi, teknolojiye bağımlılık endişesi, teknolojilerin bakım maliyeti, sınırlı düzeydeki fayda farkındalığı, sistemlerin birlikte çalışabilirliği, teknolojik yatırıma yönelik yetersiz finansal destekler ve eklenen yeni teknolojilerle artan sistem karmaşıklığıdır.

Günümüz tarımsal sorunların çözümünde belirleyici bir güç olması beklenen tarımın dijitalleşmesi, pozitif hedef sonuçları kadar negatif sonuçları da göz önünde bulundurulması gereken bir devrimdir. Söz gelimi Yeşil Devrim ile tarımsal üretim artışı ve gıda güvencesi hedeflenmiş lakin negatif çıktılarıyla (biyoçeşitliliğin zarar görmesi, aşırı su kullanımıyla toprak tuzlulaşması, aşırı pestisit ve kimyasal gübre kullanımıyla verimli toprakların terk edilmesi gibi) günümüzde hala tartışılan tarımsal bir devrime dönüşmüştür. Dolayısıyla tarımda yaşanan söz konusu tecrübeyle dijital tarım teknolojilerinin kullanımına dair şüpheli bir yaklaşım (Dijital Yeşil Devrim?) bu süreçte yakalanacak olağan bir bakış açısıdır. Tarımda dijitalleşme söz konusu veriler ışığında her ne kadar kısa sürede büyük bir sıçrayış yaşasa da kapsamlı etki ve sonuçları bakımından henüz erken dönemdedir. Dolayısıyla mevcut devrime eleştirel bir yaklaşım çerçevesinde ve incelenen araştırmalar ışığında bazı negatif çıktıların varlığına,

dijitalleşme önündeki engeller üzerinden varsayım yapılarak ulaşılabileceği düşünülmektedir. Söz gelimi dijitalleşmede dezavantajlı olarak görülen küçük ölçekli işletmeler ile büyük ölçekli işletmeler arasındaki uçurumun artacağı, yine bu uçurumun gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında da görüleceği, dijital beceriye sahip olmayan tarımsal iş gücünün uyum sağlayamaması ile işsizliğin artacağı, geleneksel bilginin tamamıyla terk edilmesi ile dijital teknolojiye olan bağımlılığın artacağı, sektörün yeni paydaşı olarak kabul edilen teknoloji şirketlerinin çiftçiler karşısında sahip oldukları güç ve ilişki hiyerarşisi doğrultusunda oluşabilecek potansiyel riskler, hem ülke hem çiftçi düzeyinde sahip olunan tarımsal verilerin olası siber saldırılara yatkınlığı, dijital teknolojilerin tarımsal üretim sistemi üzerindeki olası aşırı kontrolcülüğünün çevresel negatif etkileri bu kapsamda öngörülebilir.

Tarım sektöründe dijitalleşmenin kapsayıcı, yapıcı, mevcut sorunlara çözüm sunabilmesi ve ilgili tüm paydaşlarca erişilebilir olabilmesini sağlayan en önemli araçlardan biri politikalardır. Devrimin hedefleri doğrultusunda dijital teknoloji uygulamalarının tarımda daha sorumlu, güvenli, erişilebilir ve planlı yayılabilmesi bu doğrultuda geliştirilecek ve üretilecek kapsayıcı politikaların varlığına bağlıdır. Çünkü dijital teknoloji uygulamalarının tarımsal üretim sistemine nüfuz ettikten sonra geleneksel döneme ait regülasyonların yeterli gelemeyeceği dolayısıyla yerini dijital çerçevede geliştirilmiş ve üretilmiş politikaların alacağı beklenmektedir.

Dijitalleşme süreci birçok alanda (hizmet, sağlık, eğitim vb.) e-devlet çatısı altında hâlihazırda uygulanmaktadır. Bu sürecin tarım sektöründe yansıması ise dijital stratejiler rehberliğinde gerçekleşmektedir. FAO ve OECD gibi uluslararası kuruluşlar ise tarımın dijital dönüşüm sürecinde ülkelere dijital stratejilerini oluşturmada destek (proje, teknik gibi) sağlamaktadır. Diğer yandan bu kuruluşların (OECD, FAO ve DB gibi) dijitalleşme vizyonları da eleştirilmektedir. Söz konusu kuruluşların öncelikle tarımsal yoğunlaşma yoluyla gıda kıtlığını azaltmaya odaklandığı bu nedenle çevresel kaygıların büyük ölçüde göz ardı edildiği ifade edilmektedir (MacPherson vd. 2022)

Tarıma yönelik dijital stratejiler kapsamında özellikle AB, bu süreçte gerçekleştirdiği politika hedefleri (fon programları, dijital projeler gibi) ve düzenlemelerle (Veri Yönetişimi Yasası, Dijital Piyasalar Yasası, Dijital Hizmetler Yasası, Veri Yasası ve AI Yasası gibi mevcut taslak yasalarıyla) önemli bir örnektir. AB, tarımda inovasyonu ve dijital dönüşümü teşvik eden kapsamlı bir yaklaşımla sektörün ekonomik ve çevresel performansını artırmayı, doğal kaynak kullanımını optimize etmeyi ve Yeşil Mutabakat ve OTP hedeflerine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır (Anonymous 2023i).

Türkiye ise tarımın dijitalleşmesi kapsamında OECD, FAO ve DB bankası gibi kuruluşların teknik, proje vb. desteklerinden iş birliği çerçevesiyle faydalanmaktadır. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı ve FAO iş birliği ile “Ulusal E-Tarım Stratejisi” hazırlanmasına yönelik "TCP-Ulusal E-Tarım Stratejisinin Geliştirilmesinin Desteklenmesi Projesi" başlatılmış ve proje için başlangıç olarak belirtilen bir çalıştay 2019’da gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra bakanlık bünyesinde dijitalleşme kapsamında girişimler de (DİTAP, Dijital Tarım Orman Akademisi, Dijital Tarım Kütüphanesi, Tarım TV, e-Tarım Portal, TÜRKVET gibi bazı uygulamaların mobil ortama aktarılması, Havaalanı Gözlem Sistemi ile sms üzerinde hava durumu uyarıları, Ulusal Su Bilgi Sistemi, TARBİL gibi) gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ülkenin tarımsal dijitalleşmesinde TOB, özel sektör (Turkcell, Vodafone gibi telekomünikasyon şirketleri, Tarfin, tarla.io gibi startup’lar ve Türkiye İş Bankası ve Şekerbank gibi) üniversiteler (Ankara Üniversitesi, Ege Üniversitesi, Boğaziçi Üniversitesi gibi), araştırma merkezleri (TAGEM), ziraat odaları, kalkınma ajansları, T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi ve ilgili bakanlıkların aktif rol aldığı görülmektedir. Türkiye tarım sektörünün dijitalleşmesi önündeki engeller ise uluslararası düzeyde de benzer olan kırsal nüfusun teknolojik beceri noksanlığı, kırsal altyapı yetersizliği, dijital okuryazarlık eksikliği, finansman, paydaşlar arası bilgi akışının yetersiz şeffaflığı, yetersiz politikalar ile daha ülkeye özgü olan tarım arazilerini çok parçalı yapısıdır (Saygılı vd. 2019, Ağızan vd. 2022). Türkiye’nin tarımsal dijitalleşme kapsamındaki ilk tarım politikalarına (dijitalleşme, yapay zekâ, veriye dayalı iş modelleri, akıllı tarım teknolojileri, e-ticaret, tarımsal Ar-Ge çalışmalarında kamu, üniversite, özel sektör ve sanayi kesimi arasındaki koordinasyon ve iş birliği, öncelikle kadın ve gençlere yönelik düzenlenecek teknoloji kullanımını da

içeren kurs programları gibi) On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)'nda yer verilmiştir.

Küresel tarım sektörünün dijitalleşme sürecine girdiği mevcut dönemde, dönüşümün her ülke için aynı düzeyde (ekonomik altyapı, teknik altyapı vb. nedenlerle) gerçekleşmesinin mümkün olmayacağı beklenmektedir. Refah lokomotiflerinden muhtemelen en hayati olanın teknolojik değişimin sayıldığı (Acemoğlu ve Robinson 2012) ve devrimsel değişimlerin artık on yıllık dönemlere sıkıştırıldığı (Weis 2007) gerçeğiyle dijital dönüşümde ülkelerin (diğer sektörlerde olduğu gibi) tarım sektöründe elde edeceği başarı, ülkelerin bu sürece uyum ve süreci yönetme becerisi ile hızına bağlıdır. Dolayısıyla bu süreci başarılı bir şekilde yönetmede önemli rolü ülke politikaları üstlenmektedir. Bu nedenle kamu politikalarının dijital dönüşümü adil ve güvenilir bir temelde sağlaması, kamu çıkarlarını koruması, dijitalleşmenin geliştirilmesi ve uygulanması doğrultusunda sunduğu fırsatlara açık olması ve gerekli inovasyonu sağlaması beklenmektedir (Kukk vd. 2022). Diğer bir deyişle dijital dönüşüm sürecinde kamu politikalarının hem korumacı hem gelişimde destekleyici rol üstlenmesi gerekmektedir.

İncelenen araştırmalar ışığında anlaşılmıştır ki dijital tarımın nispeten olgunlaşma sürecinde olması tarıma etkileri konusunda belirsizliğini henüz korumaktadır. Dolayısıyla hala erken dönemde olan tarımsal dijitalleşme sürecinin bu durumu, başta Türkiye olmak üzere ülkelerin hazırlık aşamaları açısından bir avantaj olarak görülebilir. Bu çalışma ile tarımsal dijital dönüşümde ulusal ve uluslararası düzeyde çok yönlü bir çerçeveye yaklaşılmış ve elde edilen bulgular ışığında tarım politikaları açısından karar alıcılara yönelik öneriler sunulması amaçlanmıştır. İncelemeler sonucu elde edilen çıkarımlar doğrultusunda Türkiye'nin tarımsal dijital dönüşüm sürecinde üretilecek ve geliştirilecek politikalar çerçevesinde ele alınacak konular, öneriler üzerinden hazırlanarak aşağıda yer verilmiştir:

- Tarımda dijital teknolojilerin başarılı adaptasyonunun temelinde öncelikle “toplumsal kabullenme” yer almaktadır. Bu nedenle öncelikle çiftçiler için hem güven

hem faydasal farkındalığa yönelik programlara ayrıca ilgili tarım sektörü paydaşlarına yönelik teşvik edici programlara yer veren politikalar üretilmeli,

- Çiftçilerin dijital teknolojileri benimsenmesinde karlılık önem arz ettiğinden finansal destek araçlarıyla kullanımın önündeki yüksek maliyet engeli kaldırılmalı,
- Tarımsal dijital teknolojilerin kırsal nüfus tarafından benimsenmesi ve uygulanması hedefinde dijitalleşmeye yönelik tarımsal yayım ve danışmanlık hizmetleri geliştirilmeli,
- Teknoloji bilgi ve beceri noksanlığı doğrultusunda tarımsal yayım aracılığıyla eğitimler ve öğrenim zorluğu yaşayan yaşlı çiftçiler için ise dijital tarım danışmanlık hizmeti sağlanmalı ayrıca bu hizmetlerin çiftçilerce tercih edilmesi mali yardımla teşvik edilmeli,
- Çiftçilerin işletmelerinde dijital teknoloji kapsamında ilk sistemlerini kurmada tarımsal yatırım teşvikleri sağlanmalı,
- Çevresel iyileştirmeye yönelik geliştirilecek programlar dâhilinde dijital teknoloji kullanan çiftçilerin ödemeler ile desteklenmesi,
- Küçük ve büyük ölçekli işletmeler arasında oluşacak olası uçurumun engellenmesinde küçük ölçekli işletmelere yönelik dijital teknolojiden yararlanma potansiyelini artıracak programlar geliştirilmeli,
- Kamu-özel sektör iş birliğiyle çiftçilere kullanım kolaylığı sağlamada daha basit tasarımlı dijital teknolojilerin geliştirilmesine yönelik projeler üretilmeli,
- Mevcut “Ulusal E-Tarım Stratejisi” yönelik çalışmalara aynı önemle devam edilmeli,
- Veri mülkiyeti çerçevesinde çiftçi-çok uluslu şirketler ilişkisini adil, güvenilir ve şeffaflık temelinde yürütülmesini sağlayacak düzenlemelere politika hedefleri arasında yer verilmeli,
- Yine veri mülkiyeti çerçevesinde tarım verilerinde taraflar (çiftçi, sektör, teknoloji sağlayıcı gibi), kullanım, sahiplik, gizlilik gibi konularda çiftçi endişelerini ortadan kaldıracak yasal çerçevenin düzenlenmesi,
- Ulusal e-tarım politika hedefleri arasında çevresel iyileştirme ve biyoçeşitliliğe dair düzenlemeler geri planda bırakılmamalı,

- Bölgesel yapıya özgü şekilde TOB'a bağlı (AB'nin dijital tarım stratejisi örneklerinde görüldüğü üzere) dijital inovasyon merkezleri kurulmalı,
- Tarımsal dijitalleşme kapsamında teknoloji sağlayıcılara bağımlılık, siber suçlar vb. olası sonuçlara karşı mevzuat hazırlıkları hızlandırılmalı,
- Tarımda dijitalleşmenin etik, eşitlikçi ve kapsayıcı bir temelde gerçekleşmesinde etkili, verimli ve uzun vadeli politikalar üretilmeli,
- Tarım sektöründe halihazırda mevcut olan start-up ve diğer teknoloji girişimlerinin sektör gelişimini sağlayacak destekler doğrultusunda yapıcı politikalar üretilmeli,

Mevcut devrimle tarım sektörünün merkezine konuşlanan dijital dönüşüm, tarımsal üretim ekosistemine entegre ettiği yeni paydaşlarla (startup, çok uluslu şirketler gibi) büyümektedir. Bu etkenin tarım sektörüne yeni bir bakış açısı getireceği değerlendirilmektedir. Bir diğer farklı bakış açısı ise farklı gelişmişlik ve mekanizasyon düzeyinden ötürü ülkeden ülkeye değişiklik göstermesi beklenen dönüşüm süreci ve bu doğrultuda üretilcek politikaların yapısı üzerinedir. Diğer yandan araştırmacıların tarımın dijital dönüşümü doğrultusunda bekledikleri olası senaryoları ise öngörülemeyen etkenlerle değişmesi de mümkündür. Şimdilik belirsizlikle karakterize edilen tarımda dijital dönüşüm, olgunlaşma aşamasını tamamlamasıyla şekil bulacağı dönemin yakın bir gelecekte olduğu rahatlıkla söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Abbasi, R., Martinez, P. ve Ahmad, R. 2022. The digitization of agricultural industry– a systematic literature review on agriculture 4.0. Smart Agricultural Technology, 2, 100042.
- Abdullahi, H. S., Mahieddine, F. ve Sheriff, R. E. 2015. Technology impact on agricultural productivity: A review of precision agriculture using unmanned aerial vehicles. In Wireless and Satellite Systems: 7th International Conference, WiSATS 2015, Bradford, UK, July 6-7, 2015. Revised Selected Papers 7 (pp. 388-400). Springer International Publishing.
- Acemoğlu, D. ve Robinson, J. A. 2013. Ulusların Düşüşü. Güç, Zenginlik ve Yoksulluğun Kökenleri. Doğan Egmont Yayıncılık ve Yapımcılık Tic. A.Ş., 496, İstanbul.
- Ağızan, K., Bayramoğlu, Z. ve Ağızan, S. 2022. Akıllı Tarım Teknolojilerinin Tarımsal İşletme Yöneticiliğine Sunduğu Avantajlar. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 10(9), 1697-1706.
- Albahar, M. 2023. A Survey on Deep Learning and Its Impact on Agriculture: Challenges and Opportunities. Agriculture, 13(3), 540.
- Anonim. 2020. Web Sitesi: <https://www.tarim.com.tr/TARIMDA-DIJITALLESME-YILI41632h>. Erişim Tarihi: 12.05.2023.
- Anonim. 2020a. E-Tarım portalı üreticilerin hizmetinde. Web Sitesi: <https://www.tarimtv.gov.tr/tr/video-detay/e-tarim-portali-ureticilerin-hizmetinde-14048>. Erişim Tarihi: 12.05.2023.
- Anonim. 2020b. Akıllı Tarım .Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. Web Sitesi: <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/arastirma-raporlari/akilli-tarim.pdf>. Erişim Tarihi: 14.05.2023.
- Anonim. 2020c. Türk Telekom Tarım Çözümleri. Web Sitesi: <https://kurumsal.turktelekom.com.tr/iot/sektorel-cozumler/tarimcozumleri/akilli-sulama>. Erişim Tarihi: 14.05.2023.
- Anonim. 2021a. “Tarımda Bilişim Teknolojilerini Kullanma Zorunluluğu: Gelecek Planlamasında Yaşam Çizgisi Modeli” Konferansı. Web Sitesi: <https://upload.eib.org.tr/ZZFAF3F52D/810AD787E3B746810AD787E3B746810AD787E3B746810AD787.pdf>. Erişim Tarihi: 13.05.2023.
- Anonim. 2022. Resmî Gazete. On İkinci Kalkınma Planı Hazırlıkları. Web Sitesi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/06/20220610-12.pdf>. Erişim Tarihi: 21.05.2023.
- Anonim. 2022a. Türkiye’nin Startup Ekosistemini Tek Çatı Altında Toplayacak “Türkiye Startup Platformu” Kuruluyor. Web Sitesi: <https://www.tobb.org.tr/startup/>. Erişim Tarihi: 21.05.2023.
- Anonim. 2023. Web Sitesi: <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/gayri-safi-yurtci-hasilanin-sektorel-dagilimi-i-85707>. Erişim Tarihi: 10.05.2023.

- Anonim. 2023a. Web Sitesi: <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/TarimsalDestekler>. Erişim Tarihi: 10.05.2023.
- Anonim. 2023b. Dijital Devlet Stratejisi. Web Sitesi: <https://cbddo.gov.tr/dijital-devlet-stratejisi/>. Erişim Tarihi: 10.05.2023.
- Anonim. 2023c. Dünya Bankası "Türkiye İklim Akıllı ve Rekabetçi Tarımsal Büyüme Projesi" için 341,27 milyon ABD\$ tutarındaki krediyi onayladığını açıkladı. Web Sitesi: [https://www.tarimorman.gov.tr/TRGM/Haber/503/Dunya-Bankasi-Turkiye-IklimAkıllı-Ve-Rekabetci-Tarimsal-Buyume-Projesi-Icin-34127-Milyon-Abd\\$-Tutarındaki-Krediyi-OnayladiginiAcikladi#:~:text=D%C3%BCnya%20Bankas%C4%B1%2C%2030%20Mart%202022,tutar%C4%B1nda%20bir%20krediyi%20onaylad%C4%B1%C4%9F%C4%B1n%C4%B1%20ya%C4%B1n%C4%B1lad%C4%B1](https://www.tarimorman.gov.tr/TRGM/Haber/503/Dunya-Bankasi-Turkiye-IklimAkıllı-Ve-Rekabetci-Tarimsal-Buyume-Projesi-Icin-34127-Milyon-Abd$-Tutarındaki-Krediyi-OnayladiginiAcikladi#:~:text=D%C3%BCnya%20Bankas%C4%B1%2C%2030%20Mart%202022,tutar%C4%B1nda%20bir%20krediyi%20onaylad%C4%B1%C4%9F%C4%B1n%C4%B1%20ya%C4%B1n%C4%B1lad%C4%B1). Erişim Tarihi: 12.05.2023.
- Anonim. 2023d. Kalkınma Planları. Web Sitesi: <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>. Erişim Tarihi: 13.05.2023.
- Anonim. 2023e. Vodafone Dijital Tarım Çözümleri. Web Sitesi: <https://www.vodafone.com.tr/vodafone-business/dijital-tarim-uygulamalari>. Erişim Tarihi: 15.05.2023.
- Anonim. 2023f. Türkiye’de Kırsaldaki Küçük Tarımsal İşletmelerin Covid-19 Sonrası Güçlenmesi İçin Dijital Pazarlama Ve Ticaret Çözümler. Web Sitesi: <https://www.undp.org/tr/turkiye/publications/%E2%80%9Ct%C3%BCrkiye%E2%80%99de-k%C4%B1rsaldaki-k%C3%BC%C3%A7%C3%BCk-tar%C4%B1msal-i%C4%B1n-CC%87%C5%9Fletmelerin-covid-19-sonras%C4%B1g%C3%BC%C3%A7lenmesi-i%C4%B1n-dijital-pazarlama-ve-ticaret%C3%A7%C3%B6z%C3%BCmleri%E2%80%9D>. Erişim Tarihi: 16.05.2023.
- Anonim. 2023g. tarla.io. Web Sitesi: <https://tarla.io/index.html>. Erişim Tarihi: 16.05.2023.
- Anonim. 2023h. Yapay zeka teknolojileri ile dikey tarımı birleştiren akıllı topraksız tarım girişimi ForFarming 2.4 Milyon TL yatırım aldı. Web Sitesi: <https://www.tarvenn.com/tr/forfarming-investment-second-round-tarvenn-hydroponic-smart-agriculture-company-artificial-intelligence-startup/>. Erişim Tarihi: 16.05.2023.
- Anonim. 2023ı. Dijital Tarım Bankacılığı. Web Sitesi: <https://www.isbank.com.tr/is-ticari/dijital-tarim-bankaciligi>. Erişim Tarihi: 18.05.2023.
- Anonim. 2023i. "Dijital teknolojiler tarımda yapı taşı olacak". Web Sitesi: <https://www.dunya.com/ekonomi/dijital-teknolojiler-tarimda-yapi-tasi-olacak-haberi-690597>. Erişim Tarihi: 18.05.2023.
- Anonim. 2023j. Web Sitesi: <https://www.sekerbank.com.tr/tarim>. Erişim Tarihi: 18.05.2023.
- Anonim. 2023k. Boğaziçi Üniversitesi Yenilikçi Tarım ve Gıda İşletmeciliği Platformu. Web Sitesi: <https://www.bountarim.net/>. Erişim Tarihi: 18.05.2023.
- Anonymous. 2009. Feeding the world in 2050. World agricultural summit on food security 16–18 November 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

- Anonymous. 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 revision ESA E Working Paper No. 12-03.
- Anonymous. 2014. Web sitesi: <https://studylib.net/doc/8918325/enclosureacts%E2%80%94great-britain-1700%E2%80%93931801> . Erişim Tarihi: 10.01.2020.
- Anonymous. 2016. Precision-agriculture and the future of farming in Europe, 40, Brussels.
- Anonymous. 2016a. Web Sitesi: <https://www.researchnester.com/reports/digital-farming-market-global-demand-analysis-opportunity-outlook-2024/440>. Erişim Tarihi: 02.04.2019
- Anonymous. 2017. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Anonymous. 2017a. The Future of Agriculture and Food. Bayer AG, Communications and Public Affairs, 17. Handelsblatt Research Institute, Düsseldorf.
- Anonymous. 2017c. Web sitesi: <https://agfundernews.com/israels-agritech-market-map-400-startups-putting-the-tech-in-agritech.html> Erişim Tarihi: 11.06.2018.
- Anonymous. 2017b. Digital Farming: what does it really mean?. Web sitesi: https://cema-agri.org/images/publications/position_papers/CEMA_Digital_Farming_-_Agriculture_4.0_13_02_2017_0.pdf. Erişim Tarihi: 11.06.2018.
- Anonymous. 2018. Solutions For Agricultural Transformation. Insight on Knowledge-Intensive Agriculture. Asian Development Bank, 63, Philippines.
- Anonymous. 2018a. Solutions for Agricultural Transformation. Web Sitesi: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/421526/solutions-agricultural-transformation.pdf>. Erişim Tarihi: 17.04.2019
- Anonymous. 2018b. Web Sitesi: <https://yourstory.com/2018/07/ibm-bets-big-agriculture-help-farmers-scale>. Erişim Tarihi: 24.11.2019.
- Anonymous. 2019. Web Sitesi: <https://oercommons.org/courseware/lesson/87910/student/?section=1> Erişim Tarihi: 12.05.2019.
- Anonymous. 2019a. Digital Opportunities for Better Agricultural Policies, OECD Publishing, Paris. Web Sitesi: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/digital-opportunities-for-better-agricultural-policies_571a0812-en. Erişim Tarihi: 07.03.2020.
- Anonymous. 2019b. Web Sitesi: <https://research.agfunder.com/2019/AgFunder-Agrifood-Tech-Investing-Report-2019.pdf>. Erişim Tarihi: 06.06.2020.
- Anonymous. 2019c. Web Sitesi: <https://www.livemint.com/companies/startups/more-than-450-startups-in-india-s-agritech-sector-nasscom-1565604586864.html>. Erişim Tarihi: 15.07.2020.
- Anonymous. 2019d. Web Sitesi: <https://www.reportsanddata.com/reportdetail/precision-farming-agriculture-market>. Erişim Tarihi: 23.08.2020.
- Anonymous. 2019e. Web Sitesi: <https://www.verdantpartners.com/wp-content/uploads/2019/02/AgTech-MA-Whitepaper-3.pdf>. Erişim Tarihi: 26.08.2020.

- Anonymous. 2019f. Web Sitesi: https://www.expresscomputer.in/cloud/_google-enabled-app-helping-small-farmers-in-india/41626/. Erişim Tarihi: 27.08.2020.
- Anonymous. 2019g. Web Sitesi: <https://www.economist.com/technology-quarterly/2019/09/12/drastic-falls-in-cost-are-powering-another-computer-revolution>. Erişim Tarihi: 26.08.2020
- Anonymous. 2020. Web Sitesi: [http://self.gutenberg.org/articles/eng/Scottish Agricultural _Revolution](http://self.gutenberg.org/articles/eng/Scottish_Agricultural_Revolution) . Erişim Tarihi: 20.07.2020.
- Anonymous. 2020a. Web Sitesi: <https://www.vision.ifm/en/vitibot-3d-cameras-on-self-driving-robots-for-vineyards/>. Erişim Tarihi: 19.01.2020
- Anonymous. 2020c. Web Sitesi: <https://www.domo.com/learn/infographic/data-never-sleeps-6> . Erişim Tarihi: 05.02.2020.
- Anonymous. 2020e. Web Sitesi: <https://www.digitalagriculture.cornell.edu/about/digital-agriculture/>. Erişim Tarihi: 11.02.2020.
- Anonymous. 2020f. Web Sitesi: <https://www.oecd.org/agriculture/topics/technology-and-digital-agriculture/> . Erişim Tarihi: 03.04.2021.
- Anonymous. 2020g. Web Sitesi: <https://tracxn.com/explore/AgriTech-Startups-in-United-States>. Erişim Tarihi: 13.03.2021.
- Anonymous. 2020h. Web Sitesi: <https://tracxn.com/explore/AgriTech-Startups-in-Canada>. Erişim Tarihi: 15.03.2021.
- Anonymous. 2020ı. Web Sitesi: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/precision-farming-market-1243.html>. Erişim Tarihi: 27.07.2021.
- Anonymous. 2020i. Web Sitesi: <https://www.financialexpress.com/industry/sme/microsoft-launches-programme-for-agritech-startups-india-to-offer-azure-farmbeats/1979776/>. Erişim Tarihi: 05.08.2021.
- Anonymous. 2021. Web Sitesi: https://www.parrot.com/assets/s3fs-public/media-public/parrot_senseflyageagle_20211018_en.pdf. Erişim Tarihi: 10.03.2023.
- Anonymous. 2021a. State of the Union: Commission proposes a Path to the Digital Decade to deliver the EU's digital transformation by 2030. Web Sitesi: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_4630. Erişim Tarihi: 13.03.2023.
- Anonymous. 2021b. EIP-AGRI Workshop Farm data for better farm performance FINAL REPORT 9-10 December 2021. Web Sitesi: <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/event/eip-agri-workshop-farm-data-better-farm.html>. Erişim Tarihi: 07.04.2023.
- Anonymous. 2022. Web Sitesi: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-agriculture-market-235909745.html?gclid=CjwKCAjwx_Oym_BhAFEiwAnodBLLfLKC1vhwha286gt2MfPnZU-5dNDvtTmCkCaL6BFJ-Ll6OIMwjORoC_5REQA_vD_BwE Erişim Tarihi: 17.03.2022
- Anonymous. 2022a. Web Sitesi: <https://www.economiafinanzas.com/en/business-atomization/>. Erişim Tarihi: 21.07.2022

- Anonymous. 2022b. Funding for Digital in the 2021-2027 Multiannual Financial Framework Web Sitesi: <https://digitalstrategy.ec.europa.eu/en/activities/funding-digital>. Erişim Tarihi: 11.04.2023.
- Anonymous. 2022c. European Data Governance Act. Web Sitesi: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/data-governance-act>. Erişim Tarihi: 11.04.2023.
- Anonymous. 2022d. FaST Navigator study identifies models necessary to provide accurate advice on the use of fertilisers to EU farmers. Web Sitesi: https://agriculture.ec.europa.eu/news/fast-navigator-study-identifies-models-necessary-provide-accurate-advice-use-fertilisers-eu-farmers-2022-05-25_en. Erişim Tarihi: 14.04.2023.
- Anonymous. 2022e. Digital Foundations for Agriculture Strategy. Driving the development and uptake of digital technologies in the Australian agriculture, fisheries and forestry industry. Web Sitesi: <https://www.agriculture.gov.au/sites/default/files/documents/digital-foundations-agriculture-strategy.pdf>. Erişim Tarihi: 18.04.2023.
- Anonymous. 2022f. Shaping Europe's digital future: Data Act Web Sitesi: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/data-act>. Erişim Tarihi: 28.04.2023.
- Anonymous. 2023. Web Sitesi: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agricultural-robot-market-173601759.html>. Erişim Tarihi: 11.03.2023.
- Anonymous. 2023a. Web Sitesi: <https://www.bayer.com/en/agriculture/article/ripe-robots>. Erişim Tarihi: 15.03.2023.
- Anonymous. 2023b. Web Sitesi: <https://korechi.com/roamio-hct/>. Erişim Tarihi: 17.03.2023.
- Anonymous. 2023c. Web Sitesi: <https://www.fendt.com/int/xaver>. Erişim Tarihi: 19.03.2023.
- Anonymous. 2023d. Web Sitesi: <https://www.precedenceresearch.com/agricultural-drones-market>. Erişim Tarihi: 19.03.2023.
- Anonymous. 2023e. Web Sitesi: <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2023/01/18/2590839/0/en/Agriculture-Drone-Market-Size-Worth-6-37-Billion-Globally-by-2028-Growing-Popularity-of-Robotics-Exclusive-Report-by-The-Insight-Partners.html#:~:text=AeroVironment%2C%20Inc.%3B%20AgEagle%20Aerial,in%20the%20agriculture%20drone%20market>. Erişim Tarihi: 21.03.2023.
- Anonymous. 2023f. Web Sitesi: <https://www.dji.com/t30?site=ag&from=nav>. Erişim Tarihi: 25.03.2023.
- Anonymous. 2023g. Web Sitesi: <https://global.yamaha-motor.com/stories/history/stories/0028.html>. Erişim Tarihi: 12.04.2023.
- Anonymous. 2023h. Web Sitesi: <https://www.dronefromchina.com/new/The-application-of-the-Vtol-fixed-wing-drone-is-the-future.html>. Erişim Tarihi: 15.04.2023.

- Anonymous. 2023i. Information Inputs and Technology in Production Agriculture. Web Sitesi: <https://www.canr.msu.edu/eltonsmithchair/ers-chair-activities/theory/information-inputs-and-technology-in-production-agriculture#:~:text=Although%20typically%20not%20named%20as,both%20crop%20and%20animal%20agriculture>. Erişim Tarihi: 15.04.2023.
- Anonymous. 2023i. The future of farming is here. Web Sitesi: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/policies/future-farming>. Erişim Tarihi: 15.04.2023
- Anonymous. 2023j. Digitalisation of the European Agricultural Sector: Activities in Horizon 2020 Web Sitesi: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digitalisation-agriculture-horizon-2020>. Erişim Tarihi: 17.04.2023.
- Anonymous. 2023k. The Digitalisation of the European Agricultural Sector. Web Sitesi: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digitalisation-agriculture>. Erişim Tarihi: 21.04.2023.
- Anonymous. 2023l. Data Protection and Privacy Legislation Worldwide Web Sitesi: <https://unctad.org/page/data-protection-and-privacy-legislation-worldwide>. Erişim Tarihi: 02.05.2023.
- Anonymous. 2023m. Web Sitesi: EU Data Act moves into the final stage – what you should be looking out for? <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=b764736b-47be-4641-80f3-eba225fd1d78#:~:text=At%20its%20core%20the%20Data,position%20on%20the%20Data%20Act>. Erişim Tarihi: 02.05.2023.
- Anonymous. 2023n. Web Sitesi: <https://www.oecd.org/digital/going-digital-project/>. Erişim Tarihi: 05.05.2023.
- Anonymous. 2023p. Digital Government Review of Türkiye: Towards a Digitally-Enabled Government, OECD Digital Government Studies, OECD Publishing, Paris. Web Sitesi: <https://www.oecd.org/gov/digital-government-review-of-turkiye-3958d102-en.htm#:~:text=Towards%20a%20Digitally%20Enabled%20Government,This%20Digital%20Government&text=The%20review%20provides%20policy%20recommendations,services%20provided%20to%20the%20public>. Erişim Tarihi: 17.05.2023.
- Anonymous. 2023r. Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2022 Reforming Agricultural Policies for Climate Change Mitigation. Web Sitesi: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/agricultural-policy-monitoring-and-evaluation-2022_7f4542bf-enb. Erişim Tarihi: 17.05.2023.
- Ar, H. 2019. Fostering Digital Agriculture in Europe and Central Asia. Status of Digital Agriculture in Turkey. Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry. Web Sitesi: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/Europe/Documents/Events/2020/Series%20of%20Webinars/Turkey%20-%20HilalARwebinar.pdf>. Erişim Tarihi: 11.05.2023.
- Arad, B., Balendonck, J., Barth, R., Ben-Shahar, O., Edan, Y., Hellström, Hemming, J., Kurtser, P., Ringdahl, O. Tielen, T. ve Tuijl, B. V. 2020. Development of a sweet pepper harvesting robot. Journal of Field Robotics, 37(6), 1027-1039.

- Araújo, S. O., Peres, R. S., Barata, J., Lidon, F. ve Ramalho, J. C. 2021. Characterising the agriculture 4.0 landscape—emerging trends, challenges and opportunities. *Agronomy*, 11(4), 667.
- Atefi, A., Ge, Y., Pitla, S. ve Schnable, J. 2021. Robotic technologies for high-throughput plant phenotyping: Contemporary reviews and future perspectives. *Frontiers in plant science*, 12, 611940.
- Atik, C. 202). Data Act: legal implications for the digital agriculture sector. Available at SSRN.
- Atkins, P. J., Simmons, I. G., ve Roberts, B. K. 1998. The origins and spread of agriculture. *People, Land, and Time: An Historical Introduction to the Relations Between Landscape, Culture and Environment*. Hodder Arnold. p, 13-26. London.
- Bacco F. M., Barsocchi P., Brunori G., Debruyne L., Ferrari A., Gotta A., Koltsida P., Lepore F., Orsini A., Rolandi S., Scotti I. ve Toli E. 2020. Synthesis Report on the Taxonomy and Inventory of Digital Game Changers.
- Bal, F. ve Kayaalp, F. 2021. Review of machine learning and deep learning models in agriculture. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 5(2), 309-323.
- Basnet, B., ve Bang, J. 2018. The state-of-the-art of knowledge-intensive agriculture: A review on applied sensing systems and data analytics. *Journal of Sensors*, 2018.
- Benos, L., Tagarakis, A. C., Dolias, G., Berruto, R., Kateris, D. ve Bochtis, D. 2021. Machine learning in agriculture: A comprehensive updated review. *Sensors*, 21(11), 3758.
- Beriya, A. 2020. Precision Agriculture to Digital Agriculture: A Literature Review.
- Bernhardt, H., Schumacher, L., Zhou, J., Treiber, M. ve Shannon, K. 2021. ,Digital Agriculture Infrastructure in the USA and Germany. *Engineering Proceedings*, 9(1), 1.
- Bhatnagar, V., Singh, G., Kumar, G. ve Gupta, R. 2020. Internet of things in smart agriculture: applications and open challenges. *Int. J. Stud. Res. Technol. Manage.*, 8(1), 11-17.
- Birner, R., Daum, T. ve Pray, C. 2021. Who drives the digital revolution in agriculture? A review of supply side trends, players and challenges. *Applied economic perspectives and policy*, 43(4), 1260-1285.
- Bonadies, S., Lefcourt, A. ve Gadsden, S. A. 2016. A survey of unmanned ground vehicles with applications to agricultural and environmental sensing. In *Autonomous air and ground sensing systems for agricultural optimization and phenotyping* (Vol. 9866, pp. 142-155). SPIE.
- Bonadies, S. ve Gadsden, S. A. 2019. An overview of autonomous crop row navigation strategies for unmanned ground vehicles. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 12(1), 24-31.

- Brunori, G. 2019. Rural Dialogues | The Three Conditions of Sustainable Rural Digitalisation. Web Sitesi: <https://www.arc2020.eu/rural-dialogues-the-three-conditions-of-rural-digitalisation-sustainability/>. Erişim Tarihi: 18.03.2020.
- Bulut, C. ve Wu, P. 2022. IoT Adoption in Agriculture: A Systematic Review.
- Carolan, M. 2020. Automated agrifood futures: Robotics, labor and the distributive politics of digital agriculture. *The Journal of Peasant Studies*, 47(1), 184-207.
- Carvalho, N. ve Cazarini, E. 2020. Industry 4.0 - What Is It?. 10.5772/ intechopen .90068.
- Ceccarelli, T., Chauhan, A., Rambaldi, G., Kumar, I., Cappello, C., Janssen, S. ve McCampbell, M. 2022. Leveraging automation and digitalization for precision agriculture: Evidence from the case studies.
- Chauvin, M. 2022. Agriculture Robots market Size is to Hit US\$ 15.67 billion by 2028, and Grow at CAGR of 19.71% Over the Forecast Period 2022-2028.
- Cheng, C., Fu, J., Su, H. ve Ren, L. 2023. Recent advancements in agriculture robots: Benefits and challenges. *Machines*, 11(1), 48.
- Christiansen, P., Sørensen, R., Skovsen, S., Jæger, C. D., Jørgensen, R. N., Karstoft, H. ve Arild S. K. 2016. Towards autonomous plant production using fully convolutional neural networks. In *International Conference on Agricultural Engineering* (pp. 1-8). Çiftçi, H. B. 2016. Tarımın Tarihi (History of Agriculture). Selçuk Üniversitesi.
- Cravero, A., Pardo, S., Sepúlveda, S. ve Muñoz, L. 2022. Challenges to Use Machine Learning in Agricultural Big Data: A Systematic Literature Review. *Agronomy*, 12(3), 748.
- Csoto, M. ve Papocsi, L. G. 2020. Status of Digital Agriculture in 18 countries of Europe and Central Asia. Geneva, Switzerland.
- Dastagiri, M. B. 2019. *Global agricultural revolutions, trade, policies and vision*. Cambridge Scholars Publishing, 395.
- DeBoer, L. J., Behrendt, K., Ehlers, M. H., Dillon, C., Gabriel, A., Huang, I. Y., Kumwenda, I., Mark, T., Aurich, A. M., Milics, G., Olagunju, K. O, Pedersen, S. M. Shockley, J. ve Rose, D. 2022. Lessons to be learned in adoption of autonomous equipment for field crops. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 44(2), 848-864.
- Decker, M. 2009. Plants and progress: rethinking the Islamic agricultural revolution. *Journal of World History*, 20(2), 187-206.
- Demiryurek, K., Köksal, Ö., ve Kawamorita, Hiroko. 2021. Acceleration of Digital Transformation in Agriculture Sector for Ensuring Sustainable Food Security (in Türkiye).
- Dewi, C. ve Chen, R. C. 2020. Decision making based on IoT data collection for precision agriculture. *Intelligent Information and Database Systems: Recent Developments* 11, 31-42.

- Dobra, A. 2014. General classification of robots. Size criteria. In 2014 23rd International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD) (pp. 1-6). IEEE.
- Doğan, D. ve Aytekin, A. B. 2021. Turkey: Modernisation Technologies In Agriculture And Legal Approaches To These Technologies. Web Sitesi: <https://www.mondaq.com/turkey/new-technology/1064784/modernisation-technologies-in-agriculture-and-legal-approaches-to-these-technologies>. Erişim Tarihi: 21.05.2023.
- Dolcel, H., Durgun, M. ve Gökrem, L. 2021. IoT Tabanlı ve Makine Öğrenmesine Dayalı Seçici Sulama Sistemi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (28), 395-401.
- Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y. ve Hindia, M. N. 2018. An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges. IEEE Internet of things Journal, 5(5), 3758-3773.
- Fabregas, R., Kremer, M. ve Schilbach, F. 2019. Realizing the potential of digital development: The case of agricultural advice. Science, 366(6471), eaay3038.
- Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Abid, K. ve Naeem, M. A. 2019. A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming. Ieee Access, 7, 156237-156271.
- Fazzin, S. 2020. Advancing skill development for business managers in Industry 4.0: emerging research and opportunities.
- Ferrag, M. A., Shu, L., Yang, X., Derhab, A. ve Maglaras, L. 2020. Security and privacy for green IoT-based agriculture: Review, blockchain solutions, and challenges. IEEE access, 8, 32031-32053.
- Ferrari, A., Bacco, M., Gaber, K., Jedlitschka, A., Hess, S., Kaipainen, J., Koltsida P., Toli, E. ve Brunori, G. 2022. Drivers, barriers and impacts of digitalisation in rural areas from the viewpoint of experts. Information and Software Technology, 145, 106816.
- Fırat, S. Ü., & Fırat, O. Z. 2017. Sanayi 4.0 devrimi üzerine karşılaştırmalı bir inceleme: Kavramlar, küresel gelişmeler ve Türkiye. Toprak İşveren Dergisi, 114(2017), 10-23.
- Flachs, A. 2016. Green revolution. Encyclopedia of food and agricultural ethics, 1-7.
- Gaines, T. 2018. The Future of Robotic Weeders. Web Sitesi: <https://www.agriculture.com/technology/robotics/the-future-of-robotic-weeders>. Erişim Tarihi: 21.03.2023.
- Ghazali, M. H. M., Azmin, A. ve Rahiman, W. 2022. Drone implementation in precision agriculture—a survey. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 12(4), 67-77
- Hansen, B. D., Leonard, E., Mitchell, M. C., Easton, J., Shariati, N., Mortlock, M. Y., Schaefer, M. ve Lamb, D. W. 2022. Current status of and future opportunities for digital agriculture in Australia. Crop and Pasture Science.

- Happich, J. 2016. Multispectral camera takes off with agricultural drones Web Sites: <https://www.eenewseurope.com/en/multispectral-camera-takes-off-with-agricultural-drones/>. Erişim Tarihi: 21.04.2023.
- Harwood, J. 2019. Was the Green Revolution intended to maximise food production?. International Journal of Agricultural Sustainability, 17(4), 312-325.
- Hazell, P. 2003. Green Revolution. Curse or Blessing. International Food Policy Research. URL: [www.. ifpri. org/sites/default/files/pubs/ib/ib11. pdf](http://www.ifpri.org/sites/default/files/pubs/ib/ib11.pdf) (ultimo acceso15/10/2012).
- Hazell, P. 2009. The Asian Green Revolution. International Food Policy Research Institute.
- Hill, C. 2002. The century of revolution, 1603-1714. Psychology Press.Hogewerf, P. 2023. Virtual fencing: grazing without visible borders. Web Sites: <https://www.wur.nl/en/article/virtual-fencing-grazing-without-visible-borders.htm>. Erişim Tarihi: 17.03.2023.
- Jakku, E., Taylor, B., Fleming, A., Mason, C. ve Thorburn, P. 2016. Big Data, Trust and Collaboration.
- Jin, Y., Liu, J., Xu, Z., Yuan, S., Li, P. ve Wang, J. 2021f. Development status and trend of agricultural robot technology. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 14(4), 1-19.
- Joiner, S. 2022. Agriculture by Air. Web Sites: <https://airandspace.si.edu/air-and-space-quarterly/winter-2022/agriculture-air>. Erişim Tarihi: 19.04.2023.
- Junaidi, J., Bramantya, A. A. ve Pradipta B. S. 2021. IoT Software Architecture On Agriculture: A Literature Review. JUTI: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi 19 (1), 49 58.
- Kalyani, Y. ve Collier, R. 2021. A systematic survey on the role of cloud, fog, and edge computing combination in smart agriculture. Sensors, 21(17), 5922.
- Keleş, R. ve Mengi, A. 2022. Türkiye’de Kırsal Kalkınma Politikaları. İmge Kitabevi Yayınları, 289.
- Kern, M. 2015. Digital agriculture. ISPSW Strategy Series: Focus on Defense and International Security, 331(8).
- Khanna, A. ve Kaur, S. 2019. Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture. Computers and electronics in agriculture, 157, 218-231.
- Kılıç, S., Açıkgz, B., zdemir, C., Kesikoğlu, F., Oran, S. ve Yksel, B. 2018. 19. alışma Ekonomisi ve Endstri İlişkileri Kongresi : genişletilmiş bildiri zetleri. 326, Ankara.
- Kim, J., Kim, S., Ju, C. ve Son, H. I. 2019. Unmanned aerial vehicles in agriculture: A review of perspective of platform, control, and applications. Ieee Access, 7, 105100-105115.
- Klauser, F. ve Pauschinger, D. 2021. Entrepreneurs of the air: Sprayer drones as mediators of volumetric agriculture. Journal of Rural Studies, 84, 55-62.

- Klerkx, L., Jakku, E. ve Labarthe, P. 2019. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS-Wageningen journal of life sciences*, 90, 100315.
- Kukk, M., Põder, A. ve Viira, A. H. 2022. The role of public policies in the digitalisation of the agri-food sector. A systematic review. *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences*, 94(1), 217-248.
- Lajoie-O'Malley, A., Bronson, K., van der Burg, S. ve Klerkx, L. 2020. The future (s) of digital agriculture and sustainable food systems: An analysis of high-level policy documents. *Ecosystem Services*, 45, 101183.
- Lankenau, D. G. F. ve Winter, A. G. 2019. An engineering review of the farm tractor's evolution to a dominant design. *Journal of Mechanical Design*, 141(3), 031107.
- Latino, M., Corallo .A. ve Menegoli, M. 2018. From industry 4.0 to agriculture 4.0: How manage product data in agri-food supply chain for voluntary traceability, a framework proposed. *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Nutr. Food Eng*, 12, 126-130.
- Leone, L. 2017. Addressing big data in EU and US agriculture: A legal focus. *European Food and Feed Law Review*, 12(6), 507-518.
- Lillestrøm, V. 2021. An exploration of post-adoption evaluation and factors influencing IoT technology adoption in agriculture: Case study results from Norwegian agriculturists (Master's thesis).
- Lyman, P., Varian, H., Dunn, J., Strygin, A., ve Swearingen, K. 2000. How much information? School of information management and systems. Univ. of California at Berkeley.
- MacPherson, J., Voglhuber-Slavinsky, A., Olbrisch, M., Schöbel, P., Dönitz, E., Mouratiadou, I. ve Helming, K. 2022. Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(4), 70.
- Maddikunta, P. K. R., Hakak, S., Alazab, M., Bhattacharya, S., Gadekallu, T. R., Khan, W. Z. ve Pham, Q. V. 2021. Unmanned aerial vehicles in smart agriculture: Applications, requirements, and challenges. *IEEE Sensors Journal*, 21(16), 17608-17619.
- Madon, T., Gadgil, A. J., Anderson, R., Casaburi, L., Lee, K. ve Rezaee, A. 2023. *Introduction to Development Engineering: A Framework with Applications from the Field* (p. 652). Springer Nature.
- Malthus, R. T. 1798. *Nüfus İlkesi*. Pinhan Yayıncılık (2017), 190, İstanbul.
- Mammarella, M., Comba, L., Biglia, A., Dabbene, F. ve Gay, P. 2022fsa. Cooperation of unmanned systems for agricultural applications: A theoretical framework. *Biosystems Engineering*, 223, 61-80.
- Maroli, A., Narwane, V. S. ve Gardas, B. B. 2021. Applications of IoT for achieving sustainability in agricultural sector: A comprehensive review. *Journal of Environmental Management*, 298, 113488.

- Martens, K. ve Zscheischler, J. 2022. The digital transformation of the agricultural value chain: discourses on opportunities, challenges and controversial perspectives on governance approaches. *Sustainability*, 14(7), 3905.
- Mazur, M. 2016. Six ways drones are revolutionizing agriculture. *MIT Technology Review*, 23, 2018.
- Mege, S., Lapaglia, C., Main, L., & Louro, A. (2019). D2.11 Robotic markets in EU-landscape WP2-Business models for value chain integration and optimization.
- Mccouch, S. 2018. Transforming Agriculture: How Will We Sustainably Feed 10B People?. Brief Overview of Digital Agriculture (DA) Workshop. Cornell Initiative for Digital Agriculture (CIDA).
- McFadden, J., Njuki, E. ve Griffin, T. 2023. Precision Agriculture in the Digital Era: Recent Adoption on US Farms.
- Mikkelsen, D., Scheurle, S., Soller, H. ve Jansson, M. S. 2023. The EU digital strategy: The impact of data privacy on global business Web Sites: <https://www.mckinsey.com/capabilities/risk-and-resilience/our-insights/the-eu-digital-strategy-the-impact-of-data-privacy-on-global-business>. Erişim Tarihi: 14.05.2023
- Mingay, G. E. 1963. The "Agricultural Revolution" in English History: A Reconsideration. *Agricultural history*, 37(3), 123-133.
- Neuss, V. L. 2015. Why did the industrial revolution start in Britain?. SSRN 2696076.
- Nicol, L. A. ve Nicol, C. J. 2021. Adoption of precision agriculture in Alberta irrigation districts with implications for sustainability. *Journal of Rural and Community Development*, 16(1).
- Ning, H. ve Wang, Z. 2011. Future internet of things architecture: like mankind neural system or social organization framework?. *IEEE Communications Letters*, 15(4), 461-463.
- Norris, W. R. ve Patterson, A. E. 2019. Automation, Autonomy, and Semi-Autonomy: A Brief Definition Relative to Robotics and Machine Systems.
- Ojha, T., Misra, S. ve Raghuwanshi, N. S. 2015. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and electronics in agriculture*, 118, 66-84.
- Oktay, T. ve Özen E. 2021. Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracının Sistem Tasarımı ve Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 318-324.
- Osinga, S. A., Paudel, D., Mouzakitis, S. A. ve Athanasiadis, I. N. 2022. Big data in agriculture: Between opportunity and solution. *Agricultural Systems*, 195, 103298.
- Ömürgönülşen, U., Öktem, M. K. ve Yüceyilmaz, A. A. 2010. Kentsel Suçla Mücadeleyi Yeniden Düşünmek: Güvenli Bir Kent Yaşamı Sağlama Aracı Olarak Komşuluk Alanı Gözetim Sistemi. *Toplum ve Sosyal Hizmet*, 21(2), 63-76.

- Özdoğan, B., A. Gacar ve H. Aktas. 2017. Digital agriculture practices in the context of agriculture 4.0. *Journal of Economics, Finance and Accounting (JEFA)*, V.4, Iss.2, p.184-191
- Pakdemirli, B., Birişik, N., Aslan, İ., Sönmez, B. ve Gezici, M. 2021. Türk Tarımında Dijital Teknolojilerin Kullanımı ve Tarım-Gıda Zincirinde Tarım 4.0. *Toprak Su Dergisi*, 10(1), 78-87.
- Pickton, D. W., ve Wright, S. 1998. What's swot in strategic analysis?. *Strategic change*, 7(2), 101-109.
- Prasad, V. 2021. Web Sitesi: https://collaboration.worldbank.org/content/sites/collaboration-for-development/en/groups/digital-and-data-driven-agriculture-cop/documents.entry.html/2021/04/21/turkey_digital_agricultureprofile-S0yy.html Erişim Tarihi: 17.05.2023.
- Prause, L. 2021. Digital agriculture and labor: A few challenges for social sustainability. *Sustainability*, 13(11), 5980.
- Prodanović, R., Rančić, D., Vulić, I., Zorić, N., Bogićević, D., Ostojić, G., Sarang, S. ve Stankovski, S. 2020. Wireless sensor network in agriculture: Model of cyber security. *Sensors*, 20(23), 6747.
- PS, M. G. ve Chintala, B. R. 2020. Big data challenges and opportunities in agriculture. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, 11(1), 48-66.
- Purcell, W. ve Neubauer, T. 2022. Digital Twins in Agriculture: A State-of-the-art review. *Smart Agricultural Technology*, 100094.
- Puyt, R. W., Lie, F. B., ve Wilderom, C. P. 2023. The origins of SWOT analysis. *Long Range Planning*, 56(3), 102304.
- Qin, T., Wang, L., Zhou, Y., Guo, L., Jiang, G. ve Zhang, L. 2022. Digital technology-and-services-driven sustainable transformation of agriculture: Cases of China and the EU. *Agriculture*, 12(2), 297.
- Quimby, F. H. ve Chapman C.B. 1974. *National Nutrition Policy: Nutrition and the International Situation..* (Vol. 1). US Government Printing Office, Washington.
- Rao, C. S., Sreekanth, P. D. ve Murthy, G. R. K. 2023. Status and Scope of Policy Interventions in Digital Agriculture in India.
- Rubio, S. V. ve Más, R. F. 2020. From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(2), 207.
- Roldán, J. J., G., P., Garzón, M., D. León, J., D. Cerro, J. ve Barrientos, A. 2016. Heterogeneous multi-robot system for mapping environmental variables of greenhouses. *Sensors* 16:1018
- Rose, D. C. ve Chilvers, J. 2018. Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 87.
- Sachi, S. ve Kumar, N. 2020. Classification of Robots by Environment and Mechanism of Interaction. Web Sitesi: <https://ijarsct.co.in/Paper552.pdf>. Erişim Tarihi: 25.02.2022.

- Sahoo, P. K., Kushwaha, D. K., Pradhan, N. C., Makwana, Y., Kumar, M., Jatoliya, M., Nail M. A. ve Mani, I. 2022. Robotics Application in Agriculture.
- Santos, G. P., Fernández, R., Sepúlveda, D., Navas, E. ve Armada, M. 2020. Unmanned ground vehicles for smart farms. *Agron.-Clim. Chang. Food Secur*, 6, 73.
- Salam, A. 2020. Internet of things in agricultural innovation and security. *Internet of Things for Sustainable Community Development: Wireless Communications, Sensing, and Systems*, 71-112.
- Salam, A. ve Raza, U. 2020. Signals in the Soil: An Introduction to Wireless Underground Communications. *Signals in the Soil: Developments in Internet of Underground Things*, 3-38.
- Saygılı, F., Kaya, A. A., Çalışkan, E. T. ve Kozal, Ö. E. 2019. Türk Tarımının Global Entegrasyonu ve Tarım 4.0. İzmir Ticaret Borsası, Yayın, 98.
- Serraj, R., Krishnan, L. ve Pingali, P. 2019. Agriculture and food systems to 2050: a synthesis. *Agriculture & Food Systems to, 2050*, 3-45.
- Sethi, P. ve Sarangi, S. R. 2017. Internet of things: architectures, protocols, and applications. *Journal of electrical and computer engineering*, 2017.
- Shamshiri, R. R., Hameed, I. A., Pitonakova, L., Weltzien, C., Balasundram, S. K., J Yule, I., Grift, T. E. ve Chowdhary, G. 2018. Simulation software and virtual environments for acceleration of agricultural robotics: Features highlights and performance comparison. Shen, S., Basist, A., ve Howard, A. 2010. Structure of a digital agriculture system and agricultural risks due to climate changes. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 1, 42-51.
- Sinitsa, Y., Borodina, O., Gvozdeva, O. ve Kolbneva, E. 2021. Trends in the development of digital agriculture: a review of international practices. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 37, p. 00172). EDP Sciences.
- Smidt, H. J. ve Jokonya, O. 2022. Factors affecting digital technology adoption by small-scale farmers in agriculture value chains (AVCs) in South Africa. *Information Technology for Development*, 28(3), 558-584.
- Srivastava, K., Bhutoria, A. J., Sharma, J. K., Sinha, A. ve Pandey, P. C. 2019. UAVs technology for the development of GUI based application for precision agriculture and environmental research. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 16, 100258.
- Soma, K., Bogaardt, M. J., Poppe, K., Wolfert, S., Beers, G., Urdu, D., Pesce, M., Kirova, M., Thurston, C. ve Belles, C. M. 2019. Research for AGRI Committee-Impacts of the digital economy on the food chain and the CAP.
- Stephenson, J., Chellew, T., von Köckritz, L., Rose, A. ve Dinesh, D. 2021. Digital agriculture to enable adaptation: a supplement to the UNFCCC NAP technical guidelines. CCAFS Working Paper.
- Sylvester, G. 2017. Information and Communication Technology (ICT) in Agriculture - A Report to the G20 Agricultural Deputies, High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition. Italy. Retrieved from <https://policycommons.net/artifacts/2090743/information-and-communication->

technology-ict-in-agriculture/2846041/on 09 Jul 2023. CID: 20.500.12592/9dcmts

- Sylvester, G. 2018. E-agriculture in action: drones for agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Telecommunication Union.
- Tang, S., Zhu, Q., Zhou, X., Liu, S., ve Wu, M. 2002. A conception of digital agriculture. In IEEE international geoscience and remote sensing symposium (Vol. 5, pp. 3026-3028). IEEE.
- Teke, M., Deveci, H. S., Öztoprak, F., Efendioğlu, M., Küpçü, R., Demirkesen, C., Şimşek, F. F., Bağcı, B., Uysal, E., Türker, U., Yıldırım, E., Bayramın, İ., Kalkan, K. ve Demirpolat, C. 2016. Akıllı tarım fizibilite projesi: hassas tarım uygulamaları için havadan ve yerden veri toplanması, işlenmesi ve analizi. Ankara.
- Telli, G., Kutlusoy Z., Demir, O., Aydın, A., Cevizoğlu H., Esin, E. M., Altun, D., Karaca, B., Yazıcı, A. M. ve Özgeldi, M. 2019. Yapay Zeka ve Gelecek. İstanbul: Doğu Kitapevi, 16, 93, 240, İstanbul.
- Thoben, K. D., Wiesner, S., ve Wuest, T. 2017. "Industrie 4.0" and smart manufacturing-a review of research issues and application examples. International journal of automation technology, 11(1), 4-16.
- Trendov, M., Varas, S. ve Zeng, M. 2019. Digital technologies in agriculture and rural areas: status report. Digital technologies in agriculture and rural areas: status report.
- Tsouros, D. C., Bibi, S. ve Sarigiannidis, P. G. 2019. A review on UAV-based applications for precision agriculture. Information, 10(11), 349.
- TÜİK. 2018. Web Sitesi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Tarimsal--Isletme-Yapi-Arastirmasi201624869#:~:text=Tasarrufunda%20arazi%20olan%20i%C5%9Fletmelerin%20%25,i%C5%9Fletme%20b%C3%BCy%C3%BCKl%C3%BCk%20gruplar%C4%B1nda%20yer%20almaktad%C4%B1r>. Erişim Tarihi: 13.04.2021.
- TÜİK. 2023. Web Sitesi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=49685 #:~:text=%C4%B0l%20ve%20il%C3%A7e%20merkezlerinde%20ya%C5%9Fayanlar%C4%B1n,6%2C6'ya%20d%C3%BC%C5%9Ft%C3%BC>. Erişim Tarihi: 19.05.2023.
- TÜİK. 2023a Web Sitesi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Isgucu-statistikleri-202249390#:~:text=15%2D24%20ya%C5%9F%20grubunu%20kapsayan,25%2C2%20olarak%20tahmin%20edildi.&text=%C4%B0stihdam%20edilenlerin%20%15%2C8',ise%20hizmet%20sekt%C3%B6r%C3%BCnde%20yer%20ald%C4%B1>. Erişim Tarihi: 19.05.2023.
- Tümen, S. ve Özertan, G. 2020. Katma değerin artırılması, inovasyon ve dijital tarım. İstanbul: TÜSİAD.
- Türker, M. M. Ö. U., Akdemir, B., Acar, A. Ç. A. İ., Öztürk, R. ve Eminoğlu, M. B. 2020. Tarımda dijital çağ. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1. Ankara: Ankara Üniversitesi Basın Yayın Müdürlüğü, 55-78.

- Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T. ve Kittas, C. 2017. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems engineering*, 164, 31-48.
- Uçak, N. Ö. 2010. Bilgi: Çok yüzlü bir kavram. *Türk Kütüphaneciliği*, 24(4), 705-722.
- Velusamy, P., Rajendran, S., Mahendran, R. K., Naseer, S., Shafiq, M. ve Choi, J. G. 2021. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in precision agriculture: Applications and challenges. *Energies*, 15(1), 217.
- Verdouw, C., Wolfert, S. ve Tekinerdogan, B. 2016. Internet of Things in agriculture. *CABI Reviews*, (2016), 1-12.
- Wahde, M. 2012. Introduction to autonomous robots. Lecture Notes from the course Autonomous Agents, Chalmers university of technology.
- Wang, N., Zhang, N. ve Wang, M. 2006. Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective. *Computers and electronics in agriculture*, 50(1), 1-14.
- Watson, A. M. 1974. The Arab agricultural revolution and its diffusion, 700–1100. *The Journal of Economic History*, 34(1), 8-35.
- Weick, F. 1976. Web Sitesi: <https://core.ac.uk/download/pdf/42875929.pdf>. Erişim Tarihi: 12.04.2023.
- Weersink, A., Fraser, E., Pannell, D., Duncan, E. ve Rotz, S. 2018. Opportunities and challenges for big data in agricultural and environmental analysis. *Annual Review of Resource Economics*, 10, 19-37.
- Weltzien, C. 2016. Digital agriculture or why agriculture 4.0 still offers only modest returns. *Landtechnik*, 71(2), 66-68.
- Weis, A. J. 2007. *The global food economy: The battle for the future of farming*. Zed Books.
- Wilson, J. N. 2000. Guidance of agricultural vehicles—a historical perspective. *Computers and electronics in agriculture*, 25(1-2), 3-9.
- Wiseman, L., Sanderson, J. ve Robb, L. 2018. Rethinking Ag data ownership. *Farm Policy J*, 15(1), 71-77.
- Yu, Z., De Vries, A., Ampatzidis, Y. ve Sokol, D. D. 2021. Who Owns and Controls Farming Data? AE564/AE564, 10/2021. EDIS, 2021(5).
- Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V. ve Martínez, N. L. 2020. Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105256.
- Zhang, A., Jakku, E., Llewellyn, R. ve Baker, E. I. 2018. Surveying the needs and drivers for digital agriculture in Australia. *Farm Policy Journal*, 15(1), 25-39.
- Zhou, C., Gu, S., Wen, Y., Du, Z., Xiao, C., Huang, L. ve Zhu, M. 2020. The review unmanned surface vehicle path planning: Based on multi-modality constraint. *Ocean Engineering*, 200, 107043.
- Zins, C. 2007. Conceptual approaches for defining data, information, and knowledge. *Journal of the American society for information science and technology*, 58(4), 479-493.