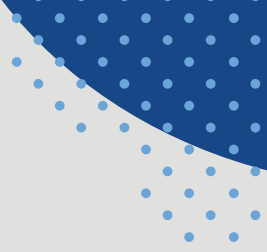


AKILLI TARIM

Uluslararası Düşünce Kuruluşları Gözüyle

Rapor Serisi







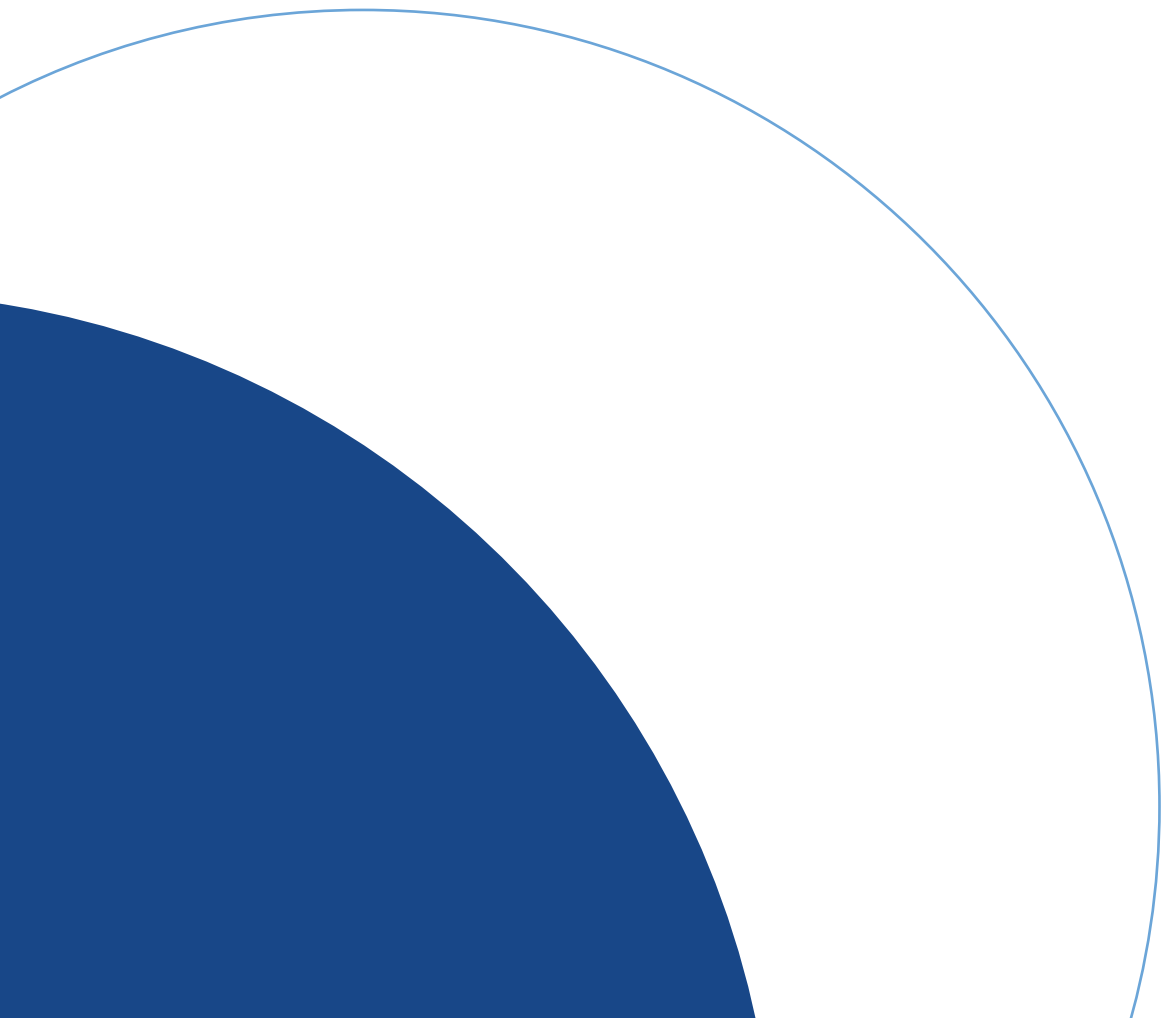


AKILLI TARIM

Uluslararası Düşünce Kuruluşları Gözüyle

Rapor Serisi





Uluslararası Düşünce Kuruluşları Gözüyle
Rapor Serisi

AKILLI TARIM

Konya Büyükşehir Belediyesi
Kültür Yayınları

Yayın No:528

ISBN: 978-605-389-687-6

E-ISBN: 978-605-389-688-3

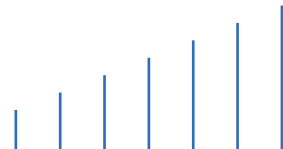
Şubat- 2024

Editörler

Dr. Ahmet ÇELİK

Koray GÜÇLÜ

Baskı Öncesi Hazırlık



İÇİNDEKİLER

YÖNETİCİ ÖZETİ	8
1. GİRİŞ	10
1.1. Akıllı Tarım ve Kapsamı	10
1.2. Akıllı Tarımı Gerekli Kılan Faktörler	12
1.3. Akıllı Tarımın Tarihsel Gelişimi	17
1.4. Akıllı Tarım Kapsamında Yer Alan Teknolojiler	19
2. AKILLI TARIM İLE SAĞLANABİLECEK YARARLAR	24
2.1. Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin Gerçekleştirilmesi	24
2.2. Verimlilik, Tarımsal Girdi ve Enerji Tasarrufu	25
2.3. Sera Gazı Salımı ve Küresel Isınmanın Azaltılması	30
2.4. Çevrenin, Doğal Kaynakların ve İnsan Sağlığının Korunması	32
2.5. Sağlıklı Besin Gereksinimi	33
2.6. Yapılan İş ve İşlemlerin Kolay, Ergonomik Hale Getirilmesi	34
2.7. Teknolojik İstihdam	35
3. AKILLI TARIMIN MEVCUT DURUMU VE GELECEKTEKİ BEKLENTİLER	37
3.1. Akıllı Tarımın Dünyadaki ve Türkiye'deki Mevcut Durumu	37
3.1.1. Dünyada Akıllı Tarımın Mevcut Durumu	37
3.1.2. Türkiye'de Akıllı Tarımın Mevcut Durumu	43
3.2. Dünyada ve Türkiye'de Akıllı Tarıma İlişkin Politikalar	46
3.2.1. Dünyada Akıllı Tarıma İlişkin Politikalar	46
3.2.2. Türkiye'de Akıllı Tarıma İlişkin Politikalar	52
3.3. Akıllı Tarımın Gelişimi Önündeki Fırsatlar	54
3.4. Akıllı Tarımın Gelecekteki Durumuna İlişkin Eğilimler	54
3.5. Akıllı Tarımın Gelişimi Önündeki Riskler, Tehditler ve Olası Önlemler	61
3.6. Akıllı ve Hassas Tarımın Olumsuz Yönleri	63
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	69

KISALTMALAR

- AB:** Avrupa Birliği
AEF: Agricultural Industry Electronics Foundation
BM: Birleşmiş Milletler
CAP: Common Agricultural Policy
CBS: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CEMA: Avrupa Tarım Makineleri Üreticileri Birliği
da: dekar (1000 m²)
EC: European Commission
EU: European Union
FAO: Food and Agricultural Organization
GDO: Genetiği Değiştirilmiş Organizma
ha: hektar (10000 m²; 1 ha=1 da)
ICT: Information and Communication Technologies
İHA: İnsansız Hava Aracı
IoT: Internet of Things
IPM: Integrated Pest Management
ISPA: International Society of Precision Agriculture
ISO: International Organization for Standardization
GNSS: Global Navigation Satellite System
GPS: Global Positioning System
OECD: Organization for Economic Cooperation and Development
R2R: Right to Repair
TAGEM: Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü
TARMAKBİR: Türk Tarım Alet ve Makine İmalatçıları Birliği
TOB: Tarım ve Orman Bakanlığı
UN: United Nations
USDA: United States Department of Agriculture
VRA: Variable Rate Application
VRAT: Variable Rate Application Technology
WEF: World Economic Forum
ZİHA: Zirai İnsansız Hava Aracı

YÖNETİCİ ÖZETİ

Günümüzde nüfus artışı, gıda güvenliği, şehirleşme, iklim değişikliği, çevre kirliliği, işgücü bulma sıkıntısı gibi birçok faktör diğer sektörlerde olduğu gibi tarımsal üretim yöntemlerinde de **değişimlere** ve **yeniliklere** yol açmaktadır. Ayrıca elektronik, bilgi ve iletişim teknolojilerindeki (ICT) gelişmeler de bu **yenilikleri hızlandırmaktadır**. Hassas tarım, Dijital tarım, Tarım 4.0 gibi terimlerle de ifade edilen Akıllı Tarım teknolojileri de bu yeniliklerden biridir. **Akıllı tarım**; bitkisel ve hayvansal üretimde görülen birçok sorunun; **sürdürülebilirlik** ve **çevreyi koruma** bilinci çerçevesinde yeni **dijital teknoloji ürünlerinin** kullanımı ile çözülmesini hedef almaktadır. Akıllı Tarım; elektrikli traktörler, robotik ve otonom sistemler, otomatik dümenleme, Zirai İnsansız Hava Araçları (ZİHA), değişken düzeyli tarımsal girdi uygulama gibi teknolojilerle verimi düşürmeden **tarımsal girdilerde tasarruf** sağlamaktadır. Ayrıca, **çevreye ve doğal kaynaklara** verilen zararların azalmasına da destek olmaktadır.

Düşünce ve araştırma kuruluşları ulusal ve uluslararası politikaların oluşturulmasında geleneksel öneme sahiptir. Ülkeler için hayati bilgileri ve analizleri üretme görevi üstlenen, adaletin, kalkınmanın ve ilerlemenin vazgeçilmez aktörleridir. Bu kuruluşların ürettiği yayınlar, **ülke yöneticileri ve kanun yapıcılar** (milletvekilleri) tarafından dikkate alınmaktadır. Bu nedenle bu raporun hazırlanmasında düşünce ve araştırma kuruluşlarının yayınlarına öncelik verilmiştir. Ayrıca, konu ile ilgili uluslararası (FAO, OECD, vb.) ve ulusal kuruluşların (Bakanlıklar, vb.) yayınları da incelenmiştir. 2018 yılı verilerine göre; ABD’de 1871 olan düşünce kuruluşu sayısı Türkiye’de sadece 48’dir (UPenn, 2019)¹. Bu raporun hazırlanmasında daha çok uluslararası düşünce kuruluşlarının yayınları dikkate alınmıştır.

Yapılan incelemede, **akademik yayınların** daha çok akıllı ve hassas tarımın **teknik yönlerine**, verimi artırma, tarımsal girdileri (gübre, pestisit, su, yakıt, vb.) ve masrafları azaltma üzerine odaklandığı görülmektedir. **Düşünce kuruluşlarının** ise genel olarak **dijital tarıma eleştirel yönden baktıkları**, daha çok bitkisel ve hayvansal üretimin kimyasal gübre ve pestisitler nedeniyle **çevreye, doğal kaynaklara** ve **insan sağlığına** verdiği zararlar ve bu zararların azaltılması yönünde uygulanan **tarımsal politikaların** değerlendirilmesine öncelik verdikleri tespit edilmiştir.

Gelişmiş ülkelerde akıllı ve hassas tarıma ilişkin **tarım politikaları** incelendiğinde; **üretimi artırma**, çiftçilerin **gelir düzeyini iyileştirme** ve çiftçilerin diğer ülkelerdeki çiftçilerle **rekabet edebilirliğini** artırma amacı taşıdığı görülmektedir. Ancak, son yıllarda büyük oranda tarımda kullanılan **kimyasal girdilerin azaltılması**, **çevreye verilen zararın azaltılması**, **doğal kaynakların**

8 ¹ <https://repository.upenn.edu/server/api/core/bitstreams/d9a3c231-2d8b-47ed-83d5-3fbdf868d4e4/content>

korunması (toprak, su, hava) ve daha **sağlıklı gıdaya erişim** sağlanması konularına odaklandığı görülmektedir.

Tarımda dijital teknolojilerin kullanımı; verim artışı, tarımsal girdilerde tasarruf, çevre ve doğal kaynakların korunması gibi **yararlar sağlamaktadır**. Fakat, çiftçilere ait verilerin teknoloji firmalarının eline geçmesi, **veri mahremiyeti**, dijital sistemlere yapılan **siber saldırılar** yolu ile bitkisel ve hayvansal üretimin zarara uğratılması gibi **önemli riskler** de barındırmaktadır. Ayrıca tarımla ilişkili firmalar **birleşme** (merging) yolu ile büyümekte ve çokuluslu hale gelmekte, çiftliklerin arazi büyüklükleri de artmaktadır. Buna bağlı olarak birkaç ürünün yoğun üretildiği **endüstriyel monokültür** üretimin artması neticesinde **biyoçeşitliliğin azalması**, mevcut bitki çeşitlerinin ve hayvan ırklarının **hastalıklara karşı direncin azalması**, mücadelesi zorlaşan hastalık ve zararlı etmenlerin gelişmesi gibi **ciddi riskleri** ortaya çıkabilmektedir.

Bu raporun amacı; Akıllı tarımın kapsamı, mevcut durumu, sağlayabileceği yararlar, uygulanan mevcut politikaların durumu ve gelecekteki beklentiler konusunda güncel bilgiler sunmaktır. Rapor **dört bölümden** oluşmaktadır. **Birinci bölümde;** Akıllı ve hassas tarımın kapsamı, yer alan teknolojiler, bu teknolojileri gerekli kılan faktörler ve tarihsel gelişim incelenmiştir. **İkinci bölümde** Akıllı tarım ile sağlanabilecek yararlar ele alınmış, **üçüncü bölümde** ise Akıllı tarımın dünyadaki ve Türkiye'deki mevcut durumu, ilgili ulusal ve uluslararası politikalar ile geleceğe yönelik riskler ve beklentiler incelenmiştir. **Dördüncü ve son bölümde** ise, elde edilen bulgular özetlenmiş ve öneriler sunulmuştur. Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de hızla gelişen ve yaygınlaşan Akıllı ve Hassas tarım teknolojileri konusunu ele alan bu raporun bölgemiz ve ülkemiz tarımına faydalı olmasını dileriz.

1. GİRİŞ

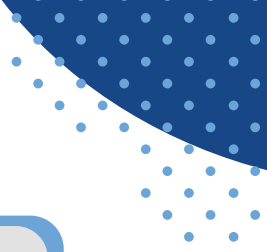
1.1. Akıllı Tarım ve Kapsamı

Günümüzde insanların karşı karşıya kaldığı sorunlar ve bunun yanında bilimsel ve teknolojik gelişmeler birçok sektörde yeniliklere ve değişimlere yol açmaktadır. Tarım da bu gelişmelerden etkilenmekte, **yeni yöntemler, teknikler** ve **teknolojiler** geliştirilmektedir. Organik tarım, topraksız tarım, sürdürülebilir tarım, toprak işlemez tarım, bina içi tarım, şehir tarımı, dikey tarım, vb. yeni teknikler bu gelişmelere örnek olarak verilebilir (Şekil 1). **Akıllı tarım** da bu yeniliklerden biri olup **Dijital tarım**, **Hassas tarım** ve **Tarım 4.0** olarak da isimlendirilmektedir. **Akıllı tarım** daha geniş kapsamlı yeni yöntem ve teknikleri kapsar iken, **Hassas tarım** ve **Tarım 4.0** daha çok yeni dijital teknolojileri içermektedir.

Hassas Tarım (precision agriculture); genel olarak toprak işlemeden hasada kadar yapılan her işlemde arazideki ve bitkilerdeki mekânsal ve zamansal değişkenliği dikkate alarak tarımsal girdilerin (enerji, tohum, gübre, su, pestisit, vb.) gereksinim duyulan yere, doğru zamanda, doğru yöntemle ve doğru miktarda uygulanmasını esas alan **dijital teknolojileri** kapsamaktadır.

ABD merkezli **Uluslararası Hassas Tarım Topluluğu** (International Society of Precision Agriculture, ISPA)'nın tanımına göre; "Hassastarım; tarımsal üretimde kaynak kullanımı etkinliğini, verimliliği, kaliteyi, kârlılığı ve **sürdürülebilirliği** arttırmak için toprak ve bitki değişkenliğine göre alınacak yönetim kararlarını desteklemek amacıyla zamansal, mekânsal ve bireysel verileri toplayan, işleyen, analiz eden ve bunları diğer bilgilerle birleştiren bir tarımsal yönetim stratejisidir" (ISPA, 2023)².

Akıllı ve hassas tarım teknolojileri sayesinde tarımsal girdi miktarında ve **masraflarda azalma, verimde artış**, yüksek kârlılık, **çevre ve doğal kaynakların korunması** (su, hava, toprak, vb.) gibi yararlar sağlanabilmektedir.



SEBEPLER	SONUÇLAR
Nüfus artışı	Akıllı ve hassas tarım
Gıda güvenliği	Organik tarım
Şehirleşme	Topraksız tarım
Sanayileşme	Toprak işlemez tarım
İklim değişikliği	Dikey tarım
Su kıtlığı	Bina içi tarım
Toprakda verimsizleşme	Sürdürülebilir tarım
Tarımsal çevre kirliliği	Şehir tarımı
Tarımsal işgücü kıtlığı	Agri voltaik tarım
Erozyon	Karbon tarımı

Şekil 1. Günümüzde İnsanlığın İçinde Bulunduğu Tarımı Etkileyen Sorunlar ve Bu Sorunlara Bağlı Olarak Tarımda Gelişen Yeni Yöntemler ve Teknolojiler

1.2. Akıllı Tarımı Gerekli Kılan Faktörler

Günümüzde diğer sektörlerde olduğu gibi tarımda da değişim ve gelişmeleri zorunlu kılan veya teşvik eden birçok faktör vardır. Bu faktörler; **nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme, tarım alanlarının azalması, küresel ısınma, iklim değişikliği, kuraklık, iş gücü kıtlığı, su kaynaklarının azalması, tarımsal çevre kirliliği, sağlıklı gıdalara duyulan gereksinim**, vb. olarak sıralanabilir. Ayrıca üretimde **malîyetlerin azaltılması, yüksek verim talebi, yüksek kârlılık, sürdürülebilirlik ve doğal kaynakların korunma gerekliliği** (toprak, su, hava, vb.) de bu faktörlere eklenebilir. Bu faktörlerin yanında **elektrik, elektronik, bilgisayar, algılama, sensör, veri iletimi, bilişim, hesaplama, veri işleme ve karar verme** teknolojilerindeki (ICT) ilerlemeler de tarımda yenilikçi uygulamaların gelişimini desteklemektedir.

Birleşmiş Milletler (UN)'in “**Dünya Nüfusu Tahmini**” raporuna göre; 2022 yılında 8.0 milyar olan dünya nüfusunun 2030 yılında 8.5 milyar, 2050 yılında 9.7 milyar ve 2100 yılında 10.4 milyara ulaşması beklenmektedir (UN, 2022)³. Bu gelişmeler tarımsal üretimin artan **dünya nüfusu nu besleyebilecek** nitelikte ve nicelikte olması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bunun yanında, 2050 yılına kadar dünya nüfusunun %21 civarında artması beklenirken, “Dünya Ekonomik Forumu (WEF)”na göre dünya gıda ihtiyacının %50 artması gerektiği öngörülmektedir (WEF, 2020)⁴. Bu artan nüfusu besleyebilmek için tarımsal üretimin de artması gerekmektedir.

Nüfus artışı gibi **kentleşme** de tarımı etkileyen önemli faktörlerden biridir. Birleşmiş Milletler **Gıda ve Tarım Örgütü** (Food and Agriculture Organization: FAO) verilerine göre; 1950 yılında insanların yaklaşık %30'u şehirlerde yaşarken, bu oran 2021 yılında %56'ya çıkmış olup, 2050 yılında bu oranın %68'e çıkacağı tahmin edilmektedir (FAO, 2023)⁵. Aynı kaynağa göre; 2022 yılında dünya nüfusunun %29,6'sı yeterli ve sağlıklı gıdaya erişim yönünden güvende değildir, öte yandan dünya nüfusunun %9.2'si **kronik açlık** sorunu ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu nedenle **gıda güvenliği** (food security) kapsamında tarımsal üretimin tüm dünyada tüm insanların yeterli düzeyde gıdaya erişimine imkân sağlayacak düzeyde olması beklenmektedir.

Akıllı ve hassas tarım teknolojilerini gerekli kılan diğer bir faktör de **küresel ısınma ve iklim değişikliği**dir. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin 2023 yılı raporuna göre; insan kaynaklı sera gazı salımı (fosil yakıt kullanımı, arazi ve orman yapısındaki değişimler, tüketici alışkanlığındaki değişimler, vb.) sebebiyle 2011-2020 yılları arasında dünya yüzey sıcaklığı; 1850-1900 yılları ortalamasına kıyasla 1,1°C yükselmiştir (IPCC, 2023)⁶. Yani dünya sıcaklığı artış eğilimindedir. **İnsan kaynaklı** sera gazı etkisiyle meydana gelen bu **küresel ısınma** sonucunda hava olaylarında aşırı dalgalanmalar (kuraklık, ani ve aşırı yağışlar, sel, aşırı sıcak hava dalgaları, orman yangınları, vb.) meydana gelmektedir. Son yıllarda bu etkiler daha çok kendini göstermektedir.

³ www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf

⁴ www.weforum.org/agenda/2020/04/how-to-feed-the-world-in-2050

12 ⁵ www.fao.org/3/cc3017en/online/cc3017en.html

⁶ www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf

ABD merkezli düşünce kuruluşu “**International Food Policy Research Institute (IFPRI)**” internet sitesinde J. Voegle imzasıyla yayınlanan **küresel ısınma konulu** ve “Büyük Veri Dünyayı Beslemek İçin Büyük Umut Vaat Ediyor” (IFPRI, 2018)⁷ başlıklı makalede özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

- **Öngörülemeyen hava koşulları** tarımsal üretimi zorlaştırmaktadır. ABD’de 2 derecelik küresel ısınmanın mısır verimini %15 azaltabileceği, Afrika’da sıcaklıkların 3 derece artmasının ise bu kaybı %20’ye çıkarabileceği ve bazı bölgelerde mısır üretiminin tamamen yapılamayacağı belirtilmiştir.

- ABD’de yapılan bir bilgisayar modellemesini göre; sıcak hava, **kuraklık** döngüleri ve ardından şiddetli yağmur nedeniyle küresel olarak **mısır veriminin %15-50 arasında azalabileceği** tespit edilmiştir.

Küresel ısınma ve **iklim değişikliği**nin tarımsal üretim üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. ABD merkezli “**Ulusal Sürdürülebilir Tarım Koalisyonu (NSAC)**” isimli kuruluşun bir raporuna göre; **kuraklıkla** birlikte **yüksek sıcaklıkların** neden olduğu yüksek buharlaşma; bitki stresine, bitki büyümesinde azalmaya, **verimin düşmesine**, su kaynaklarının tükenmesine ve ayrıca daha sık ve yoğun orman yangınlarına neden olmaktadır (NSAC, 2019)⁸. İklim değişikliği ve **azalan su kaynakları**, sulama suyuna olan talebi artırarak ürün verimini kısıtlamaktadır. Bazı kritik bölgelerde suya daha fazla ihtiyaç duyan bitkilerin yetiştirilmesinin tercih edilmesi de su tüketimini artırmaktadır. BM Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)’nün bir raporuna göre; **iklim değişikliği** etkisi altında tarımda sulama suyuna olan gereksinimin; küresel ısınma koşullarının olmadığı duruma göre %40 ila %100 daha fazla olacağı tahmin edilmektedir (FAO, 2011)⁹. Bunun bir örneği, 2018 yılında Kuzey Avrupa’da yaşanan kurak yaz aylarıdır. Kuraklığın yaşandığı bölgedeki ülkelerden yalnızca İsveç’te, **tahıl ürünlerinde %50’lik bir düşüş** ve buna bağlı olarak hayvan yemi eksikliği nedeniyle hayvansal üretimde önemli azalmalar görülmüştür (Grusson ve ark. 2021)¹⁰. Öte yandan, **artan atmosferik karbondioksit (CO2)** miktarı olumlu etki sağlayarak C3 türü bitkilerin fotosentetik aktivitesini iyileştirmekte ve solunumu azaltmaktadır; bu da yüksek sıcaklıktan kaynaklanan üretim kaybını telafi edebilir niteliktedir (FAO, 2011)¹¹.

⁷ www.ifpri.org/blog/big-data-shows-big-promise-feeding-world

⁸ www.sustainableagriculture.net/wp-content/uploads/2019/11/NSAC-Climate-Change-Policy-Position_paper112019_WEB.pdf

⁹ www.fao.org/3/i2096e/i2096e.pdf

¹⁰ <https://ideas.repec.org/a/eee/agiwat/v25i1y2021ics0378377421001232.html>

¹¹ www.fao.org/3/i2096e/i2096e.pdf



Temiz enerji konusunda ABD merkezli bir düşünce kuruluşu olan “**World Resources Institute**” internet sitesinde Arcipowska ve ark. (2019)¹² imzalı “**tarım kaynaklı sera gazı salımı**”nı konu alan raporda özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

- Tarımda sera gazı emisyonu kaynakları; hayvanların sindirim ve solunum ile dışarı verdikleri metan gazı (%39), tarım arazisine serpilerek organik çiftlik gübreleri (%15), sentetik gübreler (%12), çeltik tarımı (%10), hayvan dışkıları (%7) ve diğer faktörlerdir (anız yakma, vb.) (%17).
- Tarımsal üretim faaliyetleri ve arazi kullanımındaki değişimler 2010 yılında küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %25’ini oluşturmuştur.
- Gerekli önlemlerin alınmaması halinde, tarımsal üretimden kaynaklanan sera gazı emisyonları 2050 yılına kadar %58 artabilir.
- Dünya çapında 24 ülkede tarımsal üretim, sera gazı salımının en büyük kaynağı durumundadır.
- Tarım sektörünün gelişimi; ormanların azalmasına, **su kirliliğine** ve aynı zamanda sera gazı salımı neticesinde **küresel ısınmaya** neden olmaktadır.
- Hayvanlarda sindirim sistemindeki enterik fermentasyonu azaltan yem katkı maddeleri, gübreden azot oksit emisyonlarını azaltan “nitrifikasyon inhibitörleri” ve daha düşük emisyonlu çeltik çeşitleri dâhil olmak üzere bir dizi teknolojik yenilik verimi korurken emisyonları azaltma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, **dijital teknolojilerin** kullanımı ile hayvanlarda yem tüketiminin azaltılması da katkı sağlamaktadır.

¹² www.wri.org/insights/5-questions-about-agricultural-emissions-answered

Akıllı ve hassas tarım teknolojilerini gerekli kılan diğer bir etken de tarımsal üretim faaliyetleri nedeniyle oluşan **çevre ve doğal kaynakların kirlenmesidir**. Son zamanlarda bitkisel ve hayvansal üretimde bilinçsizce ve yüksek miktarda kullanılan **kimyasal gübre ve pestisitler** çevre ve doğal kaynakların kirlenmesine (toprak, hava, su kaynakları) sebep olmaktadır (Keskin ve Görücü Keskin, 2012)¹³. Toprak ve bitki analizi yaptırılmadan kimyasal gübre kullanımı ve gereksiz yere önlem amacıyla kimyasal tarım ilacı kullanımı oldukça yaygındır. Bu kimyasal maddeler yağmur suyu veya sulama suyu ile yer altı ve yerüstü **su kaynaklarını kirletme** ve çevrede yaşayan diğer canlılara zarar verme potansiyeline sahiptir. Bu konuda yapılan bazı araştırma sonuçları aşağıda özetlenmiştir (Keskin ve Görücü Keskin, 2012)¹⁴:

- ABD’de, eyaletlerin %75’inden fazlası; tarımın **yeraltı su kaynakları** için önemli bir tehdit olduğunu rapor etmiştir. Nehirlerden alınan örneklerin %95’inden fazlasında ve su kuyularından alınan örneklerin yaklaşık %50’sinde en az bir pestisit bulunmuştur. ABD’de Erie Gölü’nde tarım kaynaklı fosfor nedeniyle uydu görüntülerinden tespit edilebilecek miktarda **alg yoğunluğu** oluşmuş ve bu insan sağlığına, gölde yaşayan canlılara ve çevreye zarar verecek düzeye gelmiştir.

- Gübrelere aşırı kullanımı; yüzey ve yeraltı sularında zararlı etkilere neden olabilmektedir (aşırı alg miktarı, içme suyunda istenmeyen koku ve tat, balık zehirlenmeleri ve balık ölümlü vakaları) (CAST, 2019)¹⁵.

- Avrupa’da akarsulardan gelen azot miktarının %60’ı ve fosfor miktarının %25’i tarım kaynaklıdır.

- İran’da 311 içme suyu kuyusunun %37’sinde sınır değerinin üzerinde (>50 mg/L) nitrat bulunmuştur.

- Türkiye’de kullanılan pestisitlerin yaklaşık %65’i kirlenme potansiyeline sahiptir. Antalya Kumluca’da kuyu sularında sınır değerinin üzerinde (50 mg/L) nitrat içeren örnek oranı yaklaşık %50 olarak tespit edilmiştir.

- Türkiye’de küçük alana sahip üreticiler toprak analizi yaptırmadan gübre uygulamaktadır. Orta ölçekli çiftçilerin sadece %17’si analiz yaptırmaktadır. Bunların %33’ünün daha önceden gerek olmadığı halde yüksek miktarda gübre uyguladığı görülmüştür.

- Türkiye’de bu kapsamda tarımsal kaynaklı nitratin suda neden olduğu kirlenmenin tespit edilmesi, azaltılması ve önlenmesi amacıyla 2004 yılında “**Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği**” çıkarılmıştır (Resmî Gazete, 2004)¹⁶. Bu yönetmeliğe göre su numunesi içindeki kritik nitrat değeri sınırı 50 mg/L olarak belirlenmiştir.

Tarım ile ilgili konularda faaliyet gösteren ABD merkezli düşünce kuruluşu “**Institute for Agriculture and Trade Policy (IATP)**” internet sitesinde K. Hansen-Kuhn imzasıyla yayınlanan “**Krizi yeniden ele almak: Otuz yıllık başarısız tarım politikası**” başlıklı makalede (IATPa, 2020)¹⁷

¹³ www.researchgate.net/publication/286937957

¹⁴ www.researchgate.net/publication/286937957

¹⁵ www.cast-science.org/wp-content/uploads/2019/05/CAST_IP64_Nutrient-Loss.pdf

¹⁶ www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2004/02/20040218.htm#2

¹⁷ www.iatp.org/documents/revisiting-crisis-design

tarımsal üretim faaliyetlerinin sebep olduğu “doğal kaynaklarda kirliliğe” ilişkin özetle şu bilgilere yer verilmiştir:

- ABD’de çiftlik büyüklüklerinin artmasına bağlı olarak, 1980’lerden bu yana **kimyasal gübre ve pestisit** kullanımındaki çarpıcı artışlar ve hayvancılık üretiminin yoğunlaşması, **su kirliliğini daha da kötüleştirmektedir.**

- Su kaynaklarının çoğunluğu suda yaşayan canlılar ve insanların kullanımı için uygun değildir ve özellikle kırsal alanlardaki **içme suyu kuyuları kirlenmiştir.**

- 2016 yılında ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), ulusal düzeyde incelenen göllerin ve göletlerin %71’inin, nehir ve akarsuların %53’ünün, körfez ve haliçlerin %80’inin **su kalitesi standartlarını karşılamadığını** bildirmiştir.

- 1972’de yürürlüğe giren “Federal Temiz Su Yasası (CWA)”, ABD genelinde “balık tutulabilir” ve “yüzebilir su” kalitesi hedefleriyle birlikte “suların kimyasal, fiziksel ve biyolojik bütünlüğünü yeniden sağlamayı ve korumayı” amaçlamıştır. Ancak, geçen süre zarfında bu hedeflere ulaşamamış ve tarımsal kirleticileri kontrol etme konusunda **kurumsal başarısızlık** bunun önemli nedeni olmuştur.

- Tarımdan kaynaklanan kirliliği kontrol altına almayı amaçlayan **yasalar uygulanış şekliyle zayıftır**; büyük çiftlik ve tarım işletmelerinin çıkarları, koruyucu standartlar ve uygulamalar hedeflere ulaşmayı engellemektedir.

Akıllı tarımı gerekli kılan faktörlerden biri de **sağlıklı tarımsal ürünlerine** olan gereksinimdir. Aşırı ve gereksiz yere kullanılan kimyasal gübre ve pestisitler tarım ürünlerinde kalıntı bırakarak insan ve hayvanlarda **çeşitli hastalıklara** (kanser, doğum defektleri, üreme sistemi bozuklukları, vb.) neden olabilmektedir. Akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin kullanımı ile tarımda uygulanan kimyasal gübre ve pestisit miktarı azaltılarak **daha sağlıklı tarımsal ürünler** elde edilebilir.



TEMA Vakfı'nın verilerine göre; dünyada tatlı su kaynaklarının yaklaşık %70'i tarımda **su-lama** amacıyla kullanılmakta ve bu oran az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde %82 gibi daha yüksek seviyelere kadar çıkmaktadır (TEMA, 2023)¹⁸. **Konya havzasında** su tüketimi yüksek olan mısır, yonca, patates gibi ürünlerin yetiştirilmekte olduğu, önemli miktarda su açığı olduğu ve bunun pompalarla yeraltı su kaynaklarından karşılandığı, sonuç olarak da yer altı su kaynaklarının hızlı bir şekilde azaldığı ve ruhsatsız su kuyusu sayısının 100 bini aştığı bildirilmektedir (TEMA, 2023)¹⁹. Nüfusun ve şehirleşmenin artması küresel ısınma, iklim değişikliği ve kuraklık gibi nedenlerle gelecekte evsel ve endüstriyel su tüketiminin artması beklenirken, tarımda kullanılabilecek su miktarı mevcudiyetinin de azalacağı öngörülmüştür. TEMA Vakfı'na göre; klasik sulama sistemlerinde 1 hektar sulama alanına saniyede ortalama 4 litre su verilirken, **modern sulama yöntemlerinden** yağmurlama ve damlama sulamalarda sadece 1.2 litre su verilmekte, 2/3 oranında su tasarrufu sağlanmaktadır (TEMA, 2023). Bu nedenle, yüzeysel sulama azalırken, basınçlı sulama (yağmurlama, damla sulama, vb.) yöntemlerinin kullanımı artacaktır.

Şehirleşme ve sanayileşme nedeniyle **tarım toprağı miktarında azalma** görülmektedir. Ek olarak, **yanlış tarımsal üretim uygulamaları**, aşırı sulama ve gübre kullanımı tarım topraklarında **çoraklaşma**, verimsizleşme, tuzluluk gibi sorunlara neden olmaktadır. "**Çölleşme Ulusal Stratejisi ve Eylem Planı**"na göre ülkemizde sulanan arazilerin yaklaşık %31'inde (1,5 milyon hektar) **tuzluluk ve sodiklik sorunları** yaşanmakta ve bunun da çoraklaşmayı hızlandırdığı ifade edilmektedir (TEMA, 2023)²⁰. Ayrıca, **su ve rüzgâr erozyonu** sebebiyle de toprak kaybı oluşmaktadır. Bunun gibi olumsuz faktörler daha az alandan yeterli düzeyde tarım ürünü elde edebilmek için akıllı ve hassas tarım teknolojilerini gerekli kılmaktadır.

1.3. Akıllı Tarımın Tarihsel Gelişimi

Tarımdaki tarihsel teknolojik gelişmeler, sanayideki teknolojik gelişmelere paralel olarak farklı zaman dönemleri için **Tarım 1.0'dan Tarım 5.0'a** kadar çeşitli şekillerde isimlendirilmektedir (Şekil 2). İnsanlar, 1850'li yıllara kadar tarımsal üretim amacıyla hayvan gücünü ve basit aletleri kullanmışlardır (**Tarım 1.0**). 1850 ve 1950 yılları arasında buhar gücü, içten yanmalı motorlar, ilk traktör modelleri ve tarım makineleri kullanılmıştır (**Tarım 2.0**). 1947 yılında **transistörün icat edilmesi**, bilgisayar teknolojilerinin hızla gelişmesine yol açmıştır. 1960'lı ve 1970'li yıllarda uzaktan algılama, coğrafi konum ve yön belirleme için **uydu sistemleri** geliştirilmiştir. 1950'den 1990'a kadar daha iyi tohum kalitesi, kimyasal gübreler ve pestisitlerin kullanımıyla ve daha az hayvan ve insan gücü kullanımına olanak sağlayan **makineleşme** ile ürün veriminde önemli artış sağlanmış ve buna "**yeşil devrim**" (green revolution) adı verilmiştir (**Tarım 3.0**). Ancak, bu dönemde kimyasal gübrelerin ve pestisitlerin aşırı kullanımı **çevre kirliliğine** yol açmış insan sağlığı ve diğer canlılar

¹⁸ <https://sutema.org/tarimda-kullanilan-su>

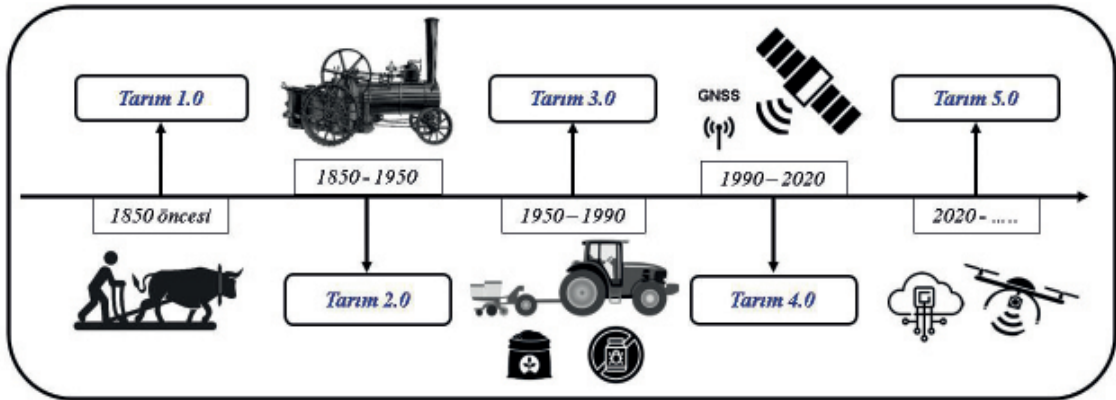
¹⁹ <https://sutema.org/tarimda-kullanilan-su>

²⁰ <https://sutema.org/tarimda-kullanilan-su>

üzerinde olumsuz etkilere neden olmuştur. Bu sebeple bazı kimyasal pestisitlerin kullanımı yasaklanmıştır. Kimyasal girdilerin daha dikkatli kullanılması için kimyasal mücadele haricinde fiziksel, biyolojik ve kültürel tarımsal mücadele yöntemlerinin de birlikte kullanımını esas alan “**entegre mücadele yönetimi**” (integrated pest management, IPM) gibi daha çevre dostu teknikler geliştirilmiştir.

Hassas tarımın ilk uygulamaları, 1970’li yıllarda ABD tarafından uzaya gönderilen LAND-SAT uzaktan algılama uydusunun tarımda kullanımı ile başlamıştır. Ayrıca, gene 1970’li yıllarda uydu tabanlı konum ve yön belirleme sistemleri (GNSS) askeri amaçla kullanıma başlanmış ve sonraki yıllarda sivil hayatta ve tarımda da kullanılmıştır. 1990’lı yıllarda verim görüntüleme, verim haritalama sistemleri ve GNSS esaslı yarı otomatik dümenleme sistemlerinin ilk modelleri ABD, Kanada, Avustralya ve Avrupa’da kullanılmaya başlanmıştır. 1990’lı yılların sonunda ve 2000’li yıllarda ise GNSS esaslı tam otomatik dümenleme sistemleri kullanılmaya başlanmıştır (**Tarım 4.0**).

Tarım için **sürücüsüz ve otonom**, elektrikle çalışan traktörler, hibrit motorlu traktörler, **arazi robotları ve insansız hava araçları (İHA)** kullanıma başlanmış ve günümüzde hala **yapay zekâ teknikleri** ile donatılarak geliştirilmektedir (**Tarım 5.0**). Tarımda makine görüşü, yapay zekâ, büyük veri, bulut teknolojisi, nesnelerin interneti ve blokzincir gibi yeni teknolojilerin de kullanımına başlanmıştır.



Şekil 2. Şekil 2. Tarımda Yaşanan Teknolojik Gelişme Dönemleri

1.4. Akıllı Tarım Kapsamında Yer Alan Teknolojiler

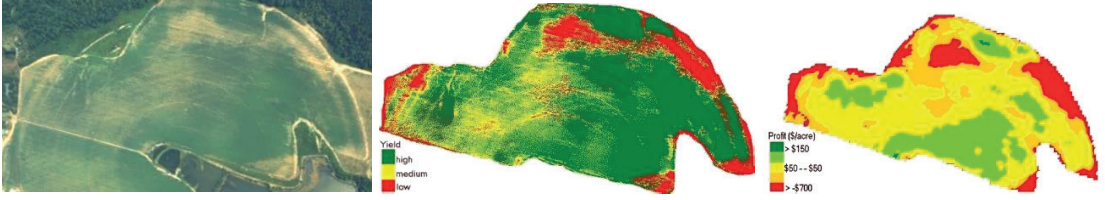
Akıllı ve hassas tarım teknolojileri; veri toplama, veri işleme / karar verme ve uygulama teknolojileri olmak üzere üç grupta sınıflandırılabilir (Şekil 3).



Şekil 3. Akıllı ve Hassas Tarım Teknolojilerinin Sınıflandırılması

Uydu esaslı konum ve yön belirleme sistemleri (global navigation satellite systems: GNSS) en önemli ve en temel veri toplama teknolojilerinden biridir (Şekil 3). Bu teknoloji ile tarım arazisindeki bir yerin veya bir tarım makinesinin **coğrafi konumunun** koordinatları belirlenebilmektedir. Dünyada sadece 4 ülke tüm dünyayı kapsayan bir konum belirleme sistemine sahiptir (ABD: GPS, Rusya: Glonass, AB: Galileo, Çin: Compass/Beidou). Coğrafi konum belirlemede “hata azaltma teknolojileri” ile **2 cm’ye kadar** yüksek doğrulukla konum belirleme sağlanabilmektedir. GNSS sistemleri birçok gelişmiş ülkede olduğu gibi ülkemizde de başta **otomatik dümenleme** sistemleri ve **İHA’lar** olmak üzere hassas tarımda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Verim görüntüleme sistemleri, biçerdöver ve diğer hasat makineleri üzerine coğrafi konum koordinat verileriyle birlikte verimi ölçmek ve kaydetmek için monte edilen algılayıcılardan oluşur. Elde edilen veriler daha sonra haritalanarak **verim haritası** elde edilir (Şekil 4). Verim haritaları arazideki **düşük ve yüksek verimli kısımları** belirlemek için kullanılır. Bu sayede tarım arazileri düşük, orta ve yüksek verimli olmak üzere farklı **“işletme bölgelerine”** (management zones) ayrılabilir. Verim haritalarına bağlı ekonomik analiz yapılarak **kâr ve zarar haritası** da çıkarılabilir (Şekil 4). Tahmini verim haritası ve kârlılık haritası uzaktan algılama teknolojisi ile uydudan veya havadan (İHA, uçak, helikopter) alınan görüntülerin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) veya benzer yazılımlarda işlenmesi ile de elde edilebilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Bir Tarım Arazisinin Havadan Alınan Görüntüsü (solda), Tahmini Verim Haritası(ortada) ve Kâr-Zarar Haritası (sağda) (NESPAL, 2023)²¹

Uzaktan algılama, uydulara, uçaklara ve Zirai İnsansız Hava Araçlarına (ZİHA) yerleştirilen algılayıcılar (genellikle spektral kameralar) kullanılarak topraktan ve bitkilerden veri toplama olanağı sunar. Bu teknolojiler ile toprak değişkenliği, toprak rengi, toprağın organik madde içeriği, bitkilerin genel sağlık durumu ve değişkenliği incelenebilmektedir.

Toprak haritalama teknolojisi, toprağın organik madde, elektriksel iletkenlik, nem içeriği, pH, bünye, tuzluluk, besin içeriği vb. çeşitli özelliklerini coğrafi konum verisi ile birlik de ölçmek ve daha sonra haritalamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu haritalar arazideki değişkenliği açık bir şekilde ortaya koymakta, bu yolla verimliliğin hangi yerlerde yüksek veya düşük olduğu incelenebilmektedir.

Tarla ve bitki durumunu izleme teknolojileri, kara araçları, ZİHA gibi hava platformları ve uydu platformlarından genellikle multispektral kameralarla toprağın veya bitkilerin durumunu inceleme ve kontrol etme amacıyla kullanılmaktadır. Bu sayede, besin elementi eksikliği, su stresi, drenaj, zararlılar, hastalıklar gibi biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin etkisi dijital kamera görüntülerinden ve benzer algılama sistemlerinden kolayca incelenebilmektedir.

Telemetri teknolojisi son yıllarda yaygınlaşmaya başlayan başka bir akıllı ve hassas tarım teknolojisidir. Arazide çalışan traktör ve tarım makinelerine ilişkin önemli çalışma parametrelerinin (coğrafi konum, yakıt tüketimi, ilerleme hızı, depodaki yakıt miktarı, arıza mesajları, vb.)

kablosuz veri iletimi ile çiftlik ofis bilgisayarı veya istenen başka bir noktaya iletimini sağlamada kullanılmaktadır (Fendt, 2023)²². Bu şekilde özellikle büyük tarım arazilerinde traktör ve tarım makinelerinin arazideki durumu uzaktan izlenebilmekte, daha etkin bir şekilde planlanabilmekte ve olası arızalar önceden değerlendirilebilmektedir.

Veri işleme ve karar verme teknolojileri toprak, bitki ve hayvanlardan elde edilen ham verileri faydalı bilgilere dönüştürmek için kullanılmaktadır (Şekil 3). Bunlar arasında **coğrafi bilgi sistemleri (CBS), görüntü işleme, jeostatistik** yöntemler, vb. veri analiz teknikleri; verim haritaları ve değişken düzeyli uygulama (reçete) haritaları elde etmek için kullanılır.

Uygulama teknolojilerinden biri olan **Değişken düzeyli uygulama** (variable rate application, VRA); toprağın ve bitkilerin mekânsal değişkenliğine bağlı olarak toprak işleme, tohum, su, gübre ve pestisit gibi tarımsal girdilerin toprak ve bitkinin gereksinimine göre değişken miktarlarda uygulanmasını sağlar. Arazinin farklı kısımlarına ihtiyaca göre değişken miktarda tarımsal girdi uygulanır. Bu değişken girdi miktarını gösteren haritalara **uygulama haritası veya reçete haritası** ismi verilmektedir. Bu sayede tarımsal girdilerden (su, enerji, yakıt, gübre, tarım ilacı, vb.) **tasarruf** ve buna bağlı olarak sera gazı salımında ve küresel ısınma etkisinde azalma sağlanabilir.

Kısım kontrolü (section control) tekniğinde ise, gübre ve pestisit uygulamalarında, GNSS konum belirleme teknolojisi ile tarım arazisinde daha önce uygulama yapılan kısımlar ve bu kısımların coğrafi konum koordinatları kayıt altına alınır ve bu kısımlara ikinci kez gübreleme veya ilaçlama yapılması önlenir. Böylece kimyasal gübre ve pestisit kullanımında **tasarruf** ve çevreye verilen zararda azalma sağlanabilir.

Otomatik dümenleme (automatic steering, automatic guidance), traktörlerin ve kendi yürür tarım makinelerinin belirlenen güzergâhta birbirine paralel eşit aralıklı hatlar boyunca otomatik olarak ilerlemesini sağlayan teknolojilerdir. Son yıllarda traktör arkasına bağlanarak çalıştırılan makinelerin (örneğin ekim makinesi) de özellikle dönüşlerde ve eğimli arazilerde istenen güzergâhta ilerlemesini sağlamak ve kaymaları önlemek için “**makine veya alet dümenleme**” tekniği kullanımı (implement guidance) yaygınlaşmıştır. Otomatik dümenleme sistemi kimyasal gübre, pestisit, yakıt, su, işçilik ve zaman tasarrufu sağlarken, olumsuz hava koşullarında (sis, vb.) ve gece çalışmaya da olanak sağlar. Ülkemizde çok sayıda çiftçi otomatik dümenleme sistemlerini pahalı olmasına rağmen kullanmakta ve büyük düzeyde fayda elde etmektedir (Keskin ve ark., 2018a)²³.

Sürücüsüz otonom traktörler otomatik dümenlemenin bir ileri aşaması olarak değerlendirilirken, tarımda kullanımı konusunda önemli çalışmalar yapılmaktadır. Birçok uluslararası üretici firma bu sistemlerin prototipini üretmekte ve denemelerini yapmaktadır. İngiltere’de 2016 yılında başlatılan bir pilot proje kapsamında 35 hektar (350 dekar) arazide tahıl üretiminde top-

²² www.fendt.com/za/smart-farming/telemetry

²³ www.researchgate.net/publication/327286224

rak işlemeden hasada kadar tüm makine işlemleri sürücüsüz olarak gerçekleştirilmektedir (HFH, 2019)²⁴. Ayrıca, **elektrikli, hibrit alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları** (hidrojen, metan, vb.) ile çalışan traktörler konusunda da çalışmalar devam etmektedir.

Tarım robotları kapalı alanlarda (seralar ve hayvan barınakları) veya açık alanlarda kullanılmak üzere geliştirilirken, konuda önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Son zamanlarda özellikle **yabancı ot mücadelesinde** kullanılmak üzere sürücüsüz otonom arazi robotları geliştirilmiştir (Keskin ve ark., 2022)²⁵. Bu sistemler, **kameralarla** toprak yüzeyindeki yabancı otları algılayarak sadece yabancı otlar üzerine herbisit ve su karışımı uygulamakta, **%80-90'a kadar herbisit ve su tasarrufu** sağlamakta ve kimyasal herbisitlerin **doğaya ve çevreye verdiği zarar** azaltılabilmektedir. Ayrıca, herbisit yerine yabancı otları; mekanik kök sökme, lazer ışınları veya elektrik ile yakarak bertaraf eden arazi tarım robotları da pazara sunulmuştur. Bu durumda su ve herbisit kullanımı tamamen ortadan kalkarken, çevreye verilen zarar da ortadan kalkmaktadır.



Zirai İnsansız Hava Araçları (ZİHA, drone) ülkemizde ve birçok ülkede havadan ilaçlama ve yaprak gübresi uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu teknoloji özellikle yağıştan veya sulamadan sonra **çamurlu arazide** ve **yüksek boylu bitkilerde** havadan ilaçlama ve gübrelemeye olanak sağlamaktadır. Su, fosil yakıt, enerji tasarrufu ve sera gazı emisyonlarının azaltılması gibi pek çok fayda sağlamaktadır.

Yakın gelecekte tarım arazilerinde büyük boyutlu traktör ve makineler yerine daha küçük boyutlu **çok sayıda otonom arazi robotlarının** eşzamanlı **sürü halinde** kullanımı planlanmaktadır. Bu sayede büyük makinelerin toprağı sıkıştırma etkisi ortadan kaldırılmaktadır. Büyük araziler-

22 ²⁴ www.harper-adams.ac.uk/news/203518/the-hands-free-hectare-project
²⁵ www.researchgate.net/publication/366356236

de yapılacak işleri planlanan bir zaman diliminde bitirmek, çoklu makine işlemlerinin eşzamanlı ve iş paylaşımını çalışmasına olanak sağlayacak şekilde planlamak için “**makine filo yönetimi**” teknikleri kullanılmaktadır.

Son yıllarda seralarda ve özellikle şehir merkezlerinde tamamen kapalı binaların içerisinde **topraksız tarım, dikey tarım ve yapay aydınlatma** teknolojileri ile tarımsal üretim yapılmaktadır. Mevcut alandan daha fazla verim alabilmek için bitkiler raflara dikey olarak yerleştirildiğinden bu üretim tekniği **dikey tarım** (vertical farming) olarak isimlendirilmektedir. Şehirlerde kapalı bina içerisinde yapay ışıklandırma ile yapılan üretim tekniği için **şehir tarımı** (urban agriculture), **bina içi tarım** (indoor farming) veya uzay tarımı (space farming) terimleri kullanılmaktadır. Bu yöntemle genellikle yeşil yapraklı sebzeler (marul, fesleğen, vb.) üretilmektedir. Üretim şehir içinde yapıldığından üretim yerinden tüketim yerine kadar olan nakliye masrafları ortadan kalkmaktadır. Dikey istifleme ile birim alandan daha yüksek verim alınabilmektedir. Bir yılda 3-4 kez aynı ürün yetiştirilebilmektedir. Yetiştirme ortamı kapalı olduğu için daha az pestisit kullanımı yeterli olmakta, planlama iyi yapıldığında pestisit kullanımı tamamen ortadan kalkmaktadır. Gelişmiş ülkelerde²⁶ ve Türkiye’de²⁷ de uygulanmaktadır.

Ülkemizde ve birçok gelişmiş ülkede **otomatik dümenleme** ve **ZİHA ile havadan ilaçlama / gübreleme** en yaygın kullanılan akıllı ve hassas tarım teknolojileri arasındadır.

²⁶ www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2018/feb/agriculture-4-0--the-future-of-farmingtechnology.html
²⁷ www.youtube.com/watch?v=xff-H1urj3g

2. AKILLI TARIM İLE SAĞLANABİLECEK YARARLAR

Akıllı ve hassas tarım teknolojileri doğru bir şekilde planlandığında ve kullanıldığında birçok fayda sağlayabilir. Günümüzde ve gelecekte ise tarımda karşılaşılan **birçok sorunu çöze-bilme potansiyeli vardır** (Keskin ve ark., 2018b)²⁸. Elde edilebilecek yararlar farklı başlıklar altında aşağıda özetlenmiştir.

2.1. Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin Gerçekleştirilmesi

Hassas, dijital ve akıllı tarım teknolojileri Birleşmiş Milletler (UN) kuruluşunun dünya geneli için belirlediği 17 adet “**Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi**”ne (UN, 2023)²⁹ **doğrudan ve dolaylı** olarak **katkı sağlama** potansiyeline sahiptir. Akıllı tarımın katkı sağlayabileceği hedefler şu şekilde sıralanabilir: yoksulluğun sona erdirilmesi, açlığın sona erdirilmesi, **sağlıklı bireyler**, temiz su ve hijyen, ekonomik büyüme ve düzenli istihdam, üretim ve tüketimde sorumluluk anlayışı, **küresel ısınma ve iklim değişimi ile mücadele**, su kaynaklarında ve karasal bölgelerde **doğal yaşamın sürdürülebilirliği**. Akıllı ve hassas tarımın bu hedeflere ulaşmada nasıl katkı sağlayabileceği aşağıda ve sonraki bölümlerde daha detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

İngiltere merkezli düşünce kuruluşu “**Institute of Economic Affairs (IEA)**” internet sitesinde “Birleşik Krallık, Çiftçiliği **Ekonomik ve Çevresel Açından Sürdürülebilir** Kılmak İçin Yeniliği Benimsemeli” başlıklı makalede (IEA, 2018)³⁰ özetle aşağıdaki bilgiler verilmektedir:

- İngiliz çiftçiler, **biyoteknoloji** ve genetik mühendisliğinin yanı sıra **hassas tarım ve robot teknolojileri** gibi yenilikleri benimseme konusunda kısıtlanmaktadır. Ancak, bu uygulamaların hepsi verimi artırma, çiftçiler ve tüketiciler için maliyetleri düşürme ve tarımın **olumsuz çevresel etkilerini** azaltma potansiyeline sahiptir.

- Tarım ve gıda üretiminde **yenilikçilik** hayati önem taşımaktadır. 1960-2010 yılları arasında tarımda yaşanan yenilikler sayesinde, aynı miktarda gıda üretmek için %68 daha az araziye ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanılmayan bu araziler **doğal yaşama ayrılabilir**.

- Teknoloji kullanımı ile çiftçiler **önemli yararlar** sağlayabilmektir: Devlet desteklerine daha az bağımlılık, daha iyi yatırım getirisi, dünya pazarlarında daha fazla **rekabet edebilme**, **daha az kimyasal girdi**, daha az toprak işleme, fazla arazilerin doğal hayata tahsisi, Ar-Ge faaliyetlerinde büyüme ve yeni iş fırsatları.

- Kullanımı önerilen en önemli teknolojiler ve bunlardan sağlanacak yararlar şu şekildedir: **Genetiği değiştirilmiş bitkiler** AB tarafından yasaklanmasına rağmen kimyasal pestisit kullanımını %36 azaltırken, ürünlerin raf ömrünü uzatır ve gıda kaybını önler. Bakteriyel azot bağlama

ile %30 verim artışı ve %50 gübre tasarrufu sağlayabilir. Hassas tarım teknolojileri (drone ile görüntüleme, otonom traktörler ve robotik hasat sistemleri) **verimliliği arttırabilir ve işgücü kıtlığı sorununa çözüm olabilir.**

2.2. Verimlilik, Tarımsal Girdi ve Enerji Tasarrufu

Hassas ve değişken düzeyli tarımsal girdi (tohum, su, gübre, pestisit, vb.) yönetimi ve teknolojik uygulamalar ile bitkilerin gerçek gereksinimleri daha uygun düzeyde ve uygun zamanda karşılanabilir. **“4D kuralı”** olarak anılan uygulamaya göre; tarımsal girdiler arazide **doğru yere, doğru zamanda, doğru girdi kaynağı ile doğru miktarda** uygulandığında **tarımsal girdi miktarı azaltılabilir**, daha kaliteli ve yüksek verim elde edilebilir, kârlılık artırılabilir, çevreye ve doğal kaynaklara verilecek olası zararlar azaltılabilir (United Soybean Board, 2019)³¹. Bu dört kurala ek olarak **“doğru uygulama yöntemini”** de ekleyebiliriz. Örneğin salma sulama yöntemi yerine basınçlı sulama yöntemlerinin uygulanması elde edilecek yararları arttıracaktır.

Tarımsal üretim işlemlerinde **zamanlılık** çok önemli bir faktördür. Ekim, gübreleme, sulama, ilaçlama ve hasat gibi işlemlerin zamanından önce veya sonra yapılması ürün ve kalite kayıplarına sebep olmaktadır. Akıllı ve hassas teknolojiler ile tarımsal işlemler **daha etkin ve zamanında** yapılabilmektedir. Böylelikle uygun teknoloji kullanımı ile işlemlerin zamanında yapılamaması ile meydana gelebilecek olası zararlar önlenmektedir.

Aynı miktar girdi kullanımıyla daha fazla ürün verimi, daha az girdi kullanımıyla aynı miktarda ürün verimi, daha az girdi kullanımıyla düşük masraf ve yüksek ürün kalitesi ile daha fazla gelir elde edilerek **masraflar azaltılıp kârlılık** artırılabilir. Tarımsal işlemler zamanında ve uygun miktarda girdi ile yapıldığında daha **kaliteli tarımsal ürünler** elde edilebilir. Bu da ürünün satış fiyatını ve **kârlılığını** artırır.



³¹ www.unitedsoybean.org/hopper/the-four-rs-of-precision-ag

Yabancı otların optik algılayıcılarla algılanarak otomatik kontrol sistemleri ile sadece yabancı ot üzerine herbisit uygulanarak (selektif herbisit uygulaması) **herbisit ve su tasarrufu** sağlanmaktadır. Bu şekilde aşırı tarımsal ilaç kullanımı sebebiyle çevreye verilecek olası zararlar azaltılır. **Selektif herbisit uygulaması** ile %70-90'a varan oranlarda su ve herbisit tasarrufu sağlanabilmektedir. Bağlarda ve bahçe bitkilerinde **ultrasonik algılayıcılar** ile asmaların ve ağaçların yeri, yüksekliği, boyutu ve aralardaki boşluklara göre yapılan **değişken düzeyli ilaçlama** yoluyla bir araştırmada %10-35 pestisit, diğer bir araştırmada ise %58 su tasarrufu sağlanabildiği görülmüştür (Keskin ve Görücü Keskin, 2012)³².

Daha çok Avrupa ülkelerinde faaliyet gösteren “Yara” isimli hassas tarım firması, traktör üzerine monte edilen, bitkilerden yansıyan ışınımına göre çalışan azot sensörleri ve bu sistemle birlikte çalışan **değişken düzeyli azotlu gübre uygulama** makineleri üretmektedir. Firmanın verdiği bilgiler ışığında değişken düzeyli azotlu gübre uygulaması ile aşağıda sıralanan faydalar sağlanabilmektedir (Yara, 2023)³³:

- Tahıl veriminde %3,5 artış
- Azotlu gübre kullanımında %14 tasarruf
- Azot kullanım etkinliğine bağlı olarak karbon ayak izinde %10-30 azalma
- Tahıl protein içeriğinde %0.2-0.5 artış
- Tahıl bitkilerinde %80 yatmada azalma.

Günümüzde tarımsal üretimde kullanılan kimyasal gübre ve pestisit miktarını izlemek, **tüketiciyi bilgilendirmek** mümkün olmamaktadır. Akıllı ve hassas tarım sistemleri ile kimyasal gübre, pestisit uygulayan gübreleme ve ilaçlama makinelerine akıllı kayıt sistemleri eklenerek hangi tarım arazisine ne düzeyde kimyasal gübre ve pestisit uygulandığı kayıt altına alınıp izlenebilir. Bu **izlenebilirlik (traceability)** teknolojileri sayesinde **tüketicilerin** aldıkları ürünün üretiminde kullanılan girdi miktarı ve çeşidi hakkında bilgi sahibi olması sağlanabilir.



Şekil 5. Adana’da Otomatik Dümenleme Sistemleri ile Pamuk ve Mısır Ekimi İçin Hazırlanan Düz Ve Eşit Aralıklı Toprak Sırtları

Otomatik dümenleme gibi bazı teknolojiler yapılacak işin kısa sürede yapılması, tarımsal girdi, zaman ve yakıt tasarrufu sağlar. Adana ilinde 2016-2017 yıllarında GNSS esaslı tam otomatik dümenleme sistemi kullanan 110 çiftçinin yarısı ile (n=55) yapılan bir anket çalışmasında, çiftçilerin bu teknolojiden **sağladığı faydalar** incelenmiştir. Çalışma bulgularına göre; çiftçilerin %98'inin otomatik dümenleme sistemleri ile düz toprak sırtı ve bitki sıraları oluşturma (Şekil 5), %93'ünün esnek çalışma zamanı, %80'ninin zaman tasarrufu, %80'ninin yakıt tasarrufu ve %50'sinin işgücü tasarrufu sağladıkları tespit edilmiştir. Ayrıca, çiftçilerin yüksek oranda otomatik dümenleme sistemlerinden **memnun oldukları** belirlenmiştir (Keskin ve ark. 2018a)³⁴.

Zirai İnsansız Hava Araçları (ZİHA, drone) ile yapılan tarım ilacı ve yaprak gübresi uygulamaları da birçok yarar sağlamaktadır. ZİHA'lar yüksek boylu bitkilerde ve yağıştan veya sulamadan sonra **çamurlu arazide** havadan ilaçlama ve gübrelemeye mümkün kılar. Bu yolla ilaçlama ve gübrelemede; **su, enerji ve pestisit tasarrufu** sağlar. Elektrik enerjisi ile çalıştığından fosil yakıt ve buna bağlı olarak **sera gazı emisyonlarını** ortadan kaldırır. Traktör ve makine kullanımını ortadan kaldığı için makine aşınması, tamir ve bakım masrafları azaltılır. Ek olarak, tahıl bitkilerinde traktör ve makineler tarafından bitkiler çiğnenerek zarar görmez ve **daha yüksek verim** alınabilir. Bahsedilen yararları rağmen ZİHA'lar uygun bir şekilde kullanılmadığı zaman, örneğin rüzgârlı havalarda kullanıldığı zaman **ilaç sürüklenmesi (drift)** sorunu, komşu tarlalara, etraftaki diğer bitki ve canlılara zarar verilme riski oluşmaktadır. Ayrıca ZİHA'lar havalimanları, askeri bölgeler ve ülke sınırı gibi riskli bölgelerde kullanılamamaktadır.

ABD merkezli bir düşünce kuruluşu olan **"The Heartland Institute"** internet sitesinde yer alan H.S. Burnett imzalı bir makalede (Burnett, 2016)³⁵; ABD'de **büyük endüstriyel çiftlikler**, tüm tarımsal işletmelerin %8'inden azını oluşturmasına rağmen tüm gıda üretiminin %80'inden fazlasını karşıladığı bilinmektedir. Bu yüksek üretimin; kısmen, **genetiği değiştirilmiş**, hastalıklara dirençli tohum çeşitleri, daha az insektisit ve fungusit ilacı, daha az yakıt ve su kullanımı, yüksek teknoloji GPS destekli traktörler, tarlayı izlemek için ZİHA kullanımı sayesinde olduğu belirtilmektedir.

ABD merkezli başka bir düşünce kuruluşu olan **"Brookings Institution"** internet sitesinde H. Strubenhoff ve R. Parizat (2018)³⁶ imzalı **"Dijital Devrim Tarımda Dönüşüm Sağlayabilir Mi?"** başlıklı makalede özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

- Dijital çözümler, az gelişmiş ülkelerde bile çiftçilerin hayatlarını iyileştirebilir, üretkenliği arttırabilir, zaman ve kaynak israfını azaltabilir. Daha önce bankalara ulaşamayan çiftçiler düşük maliyetle para transferi yapabilmektedir.
- Nijerya'da tarım makinesi yetersizliği nedeniyle tarımsal üretim oldukça zahmetlidir. Çiftçilerin birkaç günlük traktör kullanımı, verimliliği 20-40 kat artırabilmektedir. Ancak, çiftçilerin

³⁴ www.researchgate.net/publication/327286224

³⁵ <https://heartland.org/opinion/in-praise-of-industrial-agriculture>

³⁶ www.brookings.edu/articles/can-the-digital-revolution-transform-agriculture

traktör almaya gücü yetmemektedir. “Uber” benzeri bir traktör hizmeti çiftçilerin kısa mesaj ve dijital para yoluyla traktör sahiplerinden traktör hizmetlerini kolaylıkla **kiralamalarına** ve ön ödeme yapmalarına olanak sağlamaktadır. İki tekerlekli Akıllı traktörler, gerekli verileri toplayan ve aktaran GPS antenleriyle donatılmıştır. Sistem, traktör **maliyetlerinin azaltılmasına**, verimliliğinin artırılmasına ve ek gelir oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.

- Çiftçiler için temel dijital yenilik, hizmetlerin ve paranın dijital olarak alınıp verilebilmesidir. Kenya’da “M-PESA” isimli **mobil para platformuyla** kullanıcılar kolayca tarımsal girdi satıcıları gibi diğer kullanıcılara para aktarabilmektedir.

- Avustralya’da çiftçiler sığırlarını **cep telefonları** aracılığıyla güdebilmektedir. Çiftlik sınırları ve otlatma bölgeleri bireysel **sığır tasmalarından** gelen elektriksel uyarı sinyalleriyle ve GPS teknolojisi ile etkinleştirilebilmekte, kontrol edilebilmekte, işçilik ve malzeme maliyetlerini büyük ölçüde azaltabilmektedir.

- Teknoloji, **gıda güvenliği**ni de büyük ölçüde artırabilmektedir. Çin’deki tüketiciler geçmişte yaşanan çok sayıda gıda skandalı sebebiyle yerli gıda üreticilerine güvenmemektedir. IBM, Walmart ve Çinli perakendeci JD.com isimli firmalar Tsinghua Üniversitesi ile birlikte Çin’de gıda takibini ve güvenliğini iyileştirmek için **blokzincir** gıda güvenliği ittifakı kurmuştur. Bu sayede gıda ürünlerinin kökeni birkaç saniye içinde takip edilebilmekte ve dolandırıcılıkla mücadele kolaylaşmaktadır.

- Ukrayna’da IMC isimli firma GPS esaslı **takip sistemlerini** kullanarak tarım makinelerinin arazide nerede çalıştığını her an izleyebilmektedir. Değişken düzeyli ekim ve gübrelemede ZİHA’lardan alınan veriler kullanılmaktadır.

- Dünyada **sera gazı emisyonunun** yaklaşık %24’ü tarımdan kaynaklanmaktadır. Dijital çözümler ve büyük veri teknolojileri, iklim değişikliğini hafifletme ve uyum sağlama konusunda katkı sağlamaktadır.

- Dijital çözümler ile tarımla ilgili **çiftçi eğitimleri** gerçekleştirilebilir. Konuşan robot gibi yapay zekâ ürünleri, çiftçileri eğitime ve bilgilendirme maliyetlerini büyük ölçüde azaltabilir. Çiftçiler hayvan hastalıkları, bitki hastalıkları, uygun ekim ve hasat zamanı gibi sorulara hızlı şekilde pratik yanıtlar alabilirler.

- Özetle, dijital çözümler **küçük araziye sahip çiftçiler** için de büyük faydalar sağlayacak şekilde **tarımı dönüştürme** potansiyeline sahiptir.

Enerjide önemli düzeyde **dışa bağımlı** bir ülke konumunda olan ve önemli düzeyde döviz harcayarak **fosil yakıt** (petrol, kömür, doğal gaz, vb.) tedarik eden Türkiye’de temel olarak traktör ve tarım makinelerinde önemli düzeyde fosil yakıt tüketilmektedir. Akıllı, hassas ve dijital tarım teknolojilerinin kullanımı ile önemli düzeyde **yakıt tasarrufu ve sera gazı salımında azalma** sağlanması mümkün olabilmektedir.

Otomatik dümenleme teknolojileri birçok faydanın yanı sıra yapılacak işin kısa sürede yapılması, zaman ve yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Adana ilinde 2016-2017 yıllarında GNSS esaslı tam otomatik dümenleme sistemi kullanan 110 çiftçinin yarısı ile (n=55) yapılan bir anket çalışmasında, çiftçilerin %80'ninin **zaman tasarrufu** ve %80'ninin **yakıt tasarrufu** sağladıkları tespit edilmiştir (Keskin ve ark. 2018a)³⁷. Başka bir kaynakta, otomatik dümenleme sisteminin; **kimyasal girdi maliyetini** %10, **yakıt tüketimini** %9 ve çalışma süresini %17 oranında kısalttığı bildirilmiştir (Has, 2017)³⁸.



Zirai İnsansız Hava Araçları (ZİHA) genellikle elektrik enerjisi ile çalıştığından traktör ve ilaçlama makinesi kullanımı ortadan kalktığı için **fosil yakıt tüketimi** ortadan kalkmaktadır. Ancak, ZİHA'ların riskli bölgelerde (havalimanları, askeri bölgeler ve ülke sınırı olan bölgeler) kullanımı mümkün olmamaktadır.

Elektrikli tarım traktörleri ve sürücüsüz otonom tarım robotları da elektrik enerjisi ile çalıştığı için önemli düzeyde fosil yakıt ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ülkemizde prototip olarak üretilen ve seri üretim aşamasında olan "ZY Agrolia Elektrikli traktör"ün sessiz çalışma, verimlilik, ekonomiklik, düşük bakım ve onarım maliyetleri, **sıfır sera gazı emisyonu** gibi faydaları yanında enerji maliyetlerinde %90'a varan oranda tasarruf sağladığı bildirilmektedir (ZY Agrolia, 2023)³⁹.

Tarımda önemli sorunlardan biri de üretim sırasında, hasat sırasında ve hasat sonrası işlemlerde meydana gelen **ürün kayıplarıdır**. Danimarka merkezli "One Third" isimli düşünce kuruluşunun internet sitesinde tarımsal ürün ve gıda kayıpları konulu "**(Gıda Kayıpları konusunda) Danimarka hükümetine öneriler**" (One Third, 2020)⁴⁰ başlıklı raporda; gıda kaybı ve israfın önemi

³⁷ www.researchgate.net/publication/327286224

³⁸ https://edergi.sanayi.gov.tr/File/Journal/2018/1/1_2018.pdf

³⁹ www.youtube.com/watch?v=paçj2PCu10&t=8s

⁴⁰ <https://onethird.dk/wp-content/uploads/2022/03/recommendations-2020.pdf>

vurgulanırken alınabilecek önlemler hakkında da bilgi verilmektedir. Rapora göre, dünyada her yıl yaklaşık 1,3 milyar ton **gıda kayba uğramakta** ve **israf edilmektedir**. Bu değer, toplam üretilen gıda ürünlerinin **üçte birine** tekabül etmektedir. 2030 yılında AB ülkeleri gıda kaybı ve israfını %30 oranında, 2050 yılında ise %50 oranında azaltmayı hedeflemektedir.

Ülkemizde özellikle biçerdöverle yapılan tahıl hasadında kabul edilebilir hasat kayıp oranı **%2-3 oranında olması gerekirken**, uygulamada gerçek kayıp oranı ortalama seviyenin 2-3 katına kadar (%10'a kadar) çıktığı görülmektedir. Yıllık 20 milyon ton buğday üretimi ve %10 kayıp oranı ile hesaplama yapıldığında, her yıl yaklaşık 2 milyon ton **buğdayın hasat sırasında kayba uğrayabildiği** anlaşılmaktadır. Akıllı ve hassas tarım çerçevesinde biçerdöverlere takılan **GNSS konum belirleme ve verim algılama sistemleri** ile makinenin konumu, verim değeri (kg/da) ve hasat kayıp oranı gerçek zamanlı olarak belirlenebilmekte, kayıt altına alınabilmekte ve bulut bilişim teknolojisi ile kablosuz olarak iletilebilmektedir. Türkiye'de Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı TA-GEM desteği ile "**Bulut Tabanlı Merkezi Dane Kaybı İzleme ve Takip Sistemi**" projesi kapsamında benzer bir sistem geliştirilmiştir (Pakdemirli ve ark., 2021)⁴¹.

2.3. Sera Gazı Salımı ve Küresel Isınmanın Azaltılması

Bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetleri "**sera gazı**" (greenhouse gas) salımına neden olmaktadır. Bu etki genel olarak **dört şekilde** gerçekleşmektedir:

1. Fosil esaslı yakıtların motorlarda ve sulama pompalarında yanmasından kaynaklanan karbondioksit (CO₂) emisyonu,
2. Arazi kullanım değişikliği ve toprak işleme nedeniyle bitki biyokütlesinde ve toprakta bulunan karbondioksitin (CO₂) atmosfere salınması,
3. Çiftlik gübreleri ve sentetik azotlu gübrelerin aşırı kullanımından kaynaklanan azot oksit gazı (NO_x) emisyonu,
4. Büyükbaş besi hayvanlarının yemleri sindirimi sırasında gerçekleşen enterik fermentasyonundan ve hayvan dışkılarından atmosfere salınan metan (CH₄) gazı.

Sera gazları atmosferde birikerek geceleri dünyanın soğuma düzeyini azaltmakta ve sonuç olarak dünyanın ısınmasına "**küresel ısınmaya**" neden olmaktadır. Tarımsal üretim faaliyetleri, küresel insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının yaklaşık %13,5'ini oluşturması nedeniyle iklim değişikliğinde önemli bir paya sahiptir (Soto ve ark. 2019)⁴². AB ülkelerinde net sera gazı emisyonunun yaklaşık %12'sinin **tarımdan kaynaklandığı** rapor edilmiştir (Avrupa Komisyonu, 2022)⁴³.

- Akıllı tarım teknolojileri, tarım kaynaklı **sera gazı salımının azaltılması** açısından önemli potansiyele sahiptir.

- Değişken düzeyli uygulama ile gübre miktarının azaltılması,

- Uygulanan sulama suyunun azaltılması,
- Elektrikli traktörlerle fosil yakıtların kullanımının ortadan kaldırılması,
- Elektrik enerjisi ile çalışan ZİHA'larla havadan ilaçlama ve gübreleme ile fosil yakıtların kullanımını ortadan kaldırılması,
- Akıllı hayvansal üretim teknolojileri ile hayvanlardan salınan sera gazlarının azaltılması,
- Otomatik dümenleme ile tarım kaynaklı **sera gazı emisyonu ve küresel ısınma** etkileri azaltılabilmektedir. Küresel ısınmanın tarımsal üretime olan etkilerini azaltma amacıyla, “**iklim uyumlu tarım (İUT)**” veya “**iklim akıllı tarım (İAT)**” (climate-smart agriculture) olarak isimlendirilen tarım uygulamaları geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. İklim akıllı tarımın üç temel hedefi vardır (Demirbaş, 2022).⁴⁴ Bunlar;

- a) **Verimlilik:** Tarımsal verimliliğin ve gelirlerin **sürdürülebilir** şekilde artırılması
- b) **Adaptasyon:** Tarımsal üretim faaliyetlerini **iklim değişikliği** etkilerine karşı **daha dayanıklı** kılmak
- c) **Azaltma:** Tarımsal uygulamalardan kaynaklanan **sera gazı salımını azaltmak**, böylece gıda güvenliği ve kalkınma hedeflerine ulaşılmasını sağlamak.

Dünya genelinde, bulunan **coğrafyanın koşullarına** bağlı olarak İUT kapsamına giren **yüzlerce farklı tarım uygulaması** ve teknolojisi bulunmaktadır (Demirbaş, 2022). Örneğin, biyotik ve abiyotik stres koşullarına (kuraklık, tuzluluk, hastalık, zararlı, aşırı sıcak, aşırı soğuk) dayanıklı bitki ve hayvan çeşitlerinin kullanımı, entegre zararlı, hastalık ve yabancı ot mücadelesi, bitki rotasyonu, ürün çeşitlendirmesi, optimize edilmiş ekim tarihleri (normalden daha erken veya daha geç), malçlama, tarımsal ormancılık, iyileştirilmiş mera yönetimi ve otlatma, iyileştirilmiş su yönetimi, yağmur hasadı, organik tarım, güneş enerjili sulama sistemleri, hassas tarım uygulamaları, vb.

Ülkemizde İUT kapsamında Tarım ve Orman Bakanlığı; Dünya Bankası ile iş birliği içinde “**Türkiye İklim Akıllı ve Rekabetçi Tarımsal Büyüme Projesi (TUCSAP)**” isimli bir projeye 2023 yılında başlamıştır (TARMAKBİR, 2023)⁴⁵. 341 milyon dolar bütçeli proje kapsamında 33 milyon dolarlık bir hibe bütçesi ile **iyi tarım uygulamaları ve akıllı tarım teknolojilerinin** kullanımı desteklenecektir (TARMAKBİR, 2023). Bu kapsamda desteklenmesi ön görülen tarım teknolojileri üç başlıkta toplanmıştır: Tarımsal karar destek sistemleri, değişken düzeyli tarımsal girdi uygulamaları ve otomatik dümenleme sistemleri. Desteklerden bireysel çiftçilerin değil **çiftçi örgütlerinin** yararlanması planlanmaktadır (Kooperatifler, Birlikler, Ziraat Odaları, vb.)

⁴⁴ www.researchgate.net/publication/359236594

⁴⁵ <https://tarmakbir.org/turkiye-iklim-akilli-ve-rekabetci-tarimsal-buyume-projesi-tucsap-basladi>

2.4. Çevrenin, Doğal Kaynakların ve İnsan Sağlığının Korunması

Tarımsal kimyasal girdiler (gübre ve pestisitler) son yıllarda tarım alanlarında **artarak** ve çoğu zaman bilinçsiz bir şekilde uygulanmaktadır. Bu durum toprak, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının **kirlenmesine** neden olmaktadır. Akıllı ve hassas tarım teknolojileri ile uygulanan kimyasal girdilerin azaltılması veya tarım arazilerinin gereksiz bölümlerinde hiçbir girdi uygulanmaması yoluyla oluşabilecek **çevre kirliliği azaltılabilir** veya **önlenebilir**.



ABD merkezli “**Tarım Makineleri Üreticileri Birliği**” (Association of Equipment Manufacturers, AEM) tarafından yayınlanan araştırma raporunda; akıllı ve hassas tarım teknolojileri ile sadece ekonomik değil aynı zamanda **çevre yönünden** de faydalar sağlanabildiği belirtilmektedir (AEM, 2023)⁴⁶. Rapora göre; Hassas tarım teknolojileri ile aşağıda sıralanan yararların sağlanabildiği belirtilmiştir:

- Bitkisel üretimde %4 artış
- Gübre uygulama verimliliğinde %7 artış
- **Herbisit ve pestisit** kullanımında %9 azalma
- Fosil yakıt kullanımında %6 azalma
- Su kullanımında %4 azalma.

Raporda, akıllı tarım teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla bahsedilen yararların daha da artırılabilceği belirtilmiştir.

Tarım ile ilgili konularda faaliyet gösteren Belçika merkezli düşünce kuruluşu “Farm Europe” internet sitesinde yayınlanan “Avrupa Birliği’nde Hassas ve Akıllı Tarım İçin Akıllı Bir Ortak Tarım Politikası” başlıklı makalede (Farm Europe, 2017)⁴⁷ özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

Hassas tarımın en önemli **çevresel faydası**; tarımsal girdilerin hassas olarak tahmin edilmesi ve daha sonra kontrollü şekilde uygulanmasıdır. Böylece kimyasal gübre, pestisit kalıntıları ve sulamanın en aza indirilmesini sağlar. Araştırmalar, akıllı tarımın şu **yararları** sağlayabileceğini göstermektedir:

- Akıllı su yönetimi ve uygun bitki çeşidi seçimi ile %23-50 verim artışı
- Kimyasal girdi masraflarında azalma (%25 gübre, %9-42 herbisit, %84 pestisit)
- %5 genel verim artışı
- **Çevre kirliliğinde azalma**
- Zaman tasarrufu (örneğin makinelerle 90 dakikada yapılan iş, İHA’lar ile 10 dakikada yapılabilmekte). Malezya merkezli düşünce kuruluşunun “EMIR Research” internet sitesinde N. Suhaimi imzasıyla yayınlanan “Drone ile Tarımda Devrim” başlıklı makalede (EMIR Research, 2020)⁴⁸ özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

- ZİHA’lar (drone) tarımda havadan **görüntüleme**, havadan **ilaçlama** ve **gübreleme** amacıyla kullanılmaktadır.
- ZİHA’larla ilaçlamanın en önemli yararlarından biri insanların zararlı kimyasal tarım ilaçları ve gübrelerle **temasını** azaltmasıdır.

2.5. Sağlıklı Besin Gereksinimi

Dünyada birçok ülkede ve ülkemizde gereksiz yere veya önlem amacıyla kimyasal pestisit kullanımı oldukça yaygındır. Aşırı derecede kullanılan tarım ilaçları tarımsal ürünler üzerinde **pestisit kalıntısı** bırakarak insan vücuduna girerken başta kanser, doğum defektleri, üreme sistemi bozuklukları olmak üzere çeşitli **sağlık sorunlarına** neden olmaktadır. Ayrıca, ilaçlama işlemi yapan işçiler ve makine kullanıcıları solunum veya temas yoluyla bu pestisitlere maruz kalmaktadır. Aşırı pestisit kullanımı, insan ve hayvan sağlığına, çevrede yaşayan diğer canlılara zarar vermektedir (Keskin ve Görücü Keskin, 2012)⁴⁹. Bu konuda yapılan araştırmalara göre;

- İngiltere merkezli “Pesticide Action Network UK” isimli kuruluşun bir raporunda; İngiltere’de okullarda satılan meyve ve sebzelerden alınan örneklerin %84’ünde bir pestisit kalıntısı ve %64’ünde birden çok pestisit kalıntısı tespit edilmiştir. Ayrıca, pestisit kalıntılarının başta kanser, doğum defektleri gibi sağlık sorunlarına neden olduğu ve bazı pestisitlerin yasaklandığını bildirmiştir (PAN UK, 2017)⁵⁰.

- ABD’de yapılan Tarım Sağlık Araştırması’nda rutin olarak kullanılan 45 çeşit pestisit **prostat kanseri** görülme sıklığını 1,14 kat arttırdığı gözlemlenmiştir.

⁴⁸ www.emirresearch.com/the-revolutionization-of-agriculture-via-drone

⁴⁹ www.researchgate.net/publication/286937957

⁵⁰ www.pan-uk.org/site/wp-content/uploads/Food_for_thought_FINAL-4th-Sept.pdf

⁵¹ www.env-health.org/wp-content/uploads/2023/01/Pesticides_Brief_Final.pdf

• Ülkemizde Ulusal Zehir Danışma Merkezi (UZEM) raporlarından elde edilen bilgilere göre 2008 yılında tarımsal kimyasallarla oluşan **zehirlenmeler**, tüm zehirlenme nedenleri arasında 2. sırada yer almıştır (Çağlayan ve ark., 2023)⁵¹.

• Edirne yöresinde, 56 pirinç numunesinden 32'sinde **pestisit kalıntısına** rastlanmış, 4 tanesinde ise kalıntı miktarının Türk Gıda Kodeksinde belirtilen maksimum kalıntı değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Atabey, 2016)⁵².

• İzmir Körfezi'nde dört balık türünde daha önce **yasaklanmış** olan DDT'nin metaboliti olan DDE'ye rastlanmıştır.

Akıllı ve hassas tarım teknolojileri kullanılarak kimyasal gübre ve pestisitler **değişken düzeyli** olarak uygulanabilmekte ve uygulama miktarları azaltılabilmektedir. Ayrıca, bazı uygulamalarda kimyasal pestisit miktarı tamamen **sıfırlanabilmektedir**. Örneğin; kameralı görüntü işleme teknolojisi ile yabancı otları algılayan, **lazerle** veya **elektrotla yakarak** bertaraf eden otonom sürücüsüz robotlar ile herbisit kullanımı tamamen sıfıra inmektedir. Ek olarak, akıllı seralarda ve kapalı bina içinde kontrollü ortamlarda daha az pestisit kullanarak veya **hiç pestisit kullanılmadan** üretim yapılabilen, daha sağlıklı tarımsal ürünler yetiştirilebilmektedir.

Almanya merkezli düşünce kuruluşu “**Institute of Labor Economics (IZA)**” internet sitesinde M. Dias ve ark. imzasıyla yayınlanan “**(Brezilya’da) Glifosat Herbisit Kullanımı ve Yakın Bölgedeki Popülasyonda Görülen Doğum Defektleri**” başlıklı makalede (IZA, 2019)⁵³ özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

• Brezilya’da soya üretim bölgelerinden elde edilen verilere göre; glifosat etken maddeli kimyasal herbisit kullanımı, yakın bölgede yaşayan ailelerde **bebek ölümü** üzerinde etkisi vardır.

• Yüksek verim artışı sağlayan **genetiği değiştirilmiş** (GDO) soya ve glifosat esaslı herbisit birlikte kullanıma sunulduktan sonra soya yetiştirilen bölgelerin aşağı tarafında yer alan bölgelerde **bebek ölümlerinde** göreceli bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum, temel olarak glifosat nedeniyle **su kaynaklarının kirlenmesinden** kaynaklanmaktadır.

• Bazı bilim insanları (özellikle biyokimyacılar), glifosatın insan sağlığı üzerinde çok az etkisi olan veya hiç etkisi olmayan güvenli bir pestisit olduğunu iddia etmektedir. Glifosat, tarımda tipik olarak kullanıldığında **insan sağlığını** olumsuz etkileyeceği tespit edilmiştir.

2.6. Yapılan İş ve İşlemlerin Kolay, Ergonomik Hale Getirilmesi

Tarım sektöründeki önemli sorunlardan biri de **işgücü** bulmada yaşanan sorunlardır. İnsanlar köylerden, yorucu ve zaman alıcı bitkisel, hayvansal tarım üretiminden uzaklaşarak şehirlere göç etme eğilimindedir. Bazı akıllı ve hassas tarım teknolojileri tarımsal işlemlerin daha kolay öğrenilmesine ve uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Örneğin; **Otomatik dümenleme** teknolojileri ile traktör ve makine kullanım deneyimi yeterli olmayan gençler, sistemin kullanımını kolay

34 ⁵² <https://acikerisim.nku.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.11776/1147/0050058.pdf>
⁵³ <https://docs.iza.org/dp12164.pdf>

ve hızlı bir şekilde öğrenip uygulayabilmektedir. Akıllı telefonu kolay şekilde kullanabilen gençler otomatik dümenleme sistemlerini de kolayca öğrenebilmektedir. Bu şekilde akıllı teknolojiler, tarımda işgücü kıtlığı sorununu azaltabilme potansiyeline sahiptir. Malezya merkezli düşünce kuruluşu “EMIR Research” internet sitesinde N. Suhaimi imzasıyla yayınlanan **Drone ile Tarımda Devrim**” başlıklı makalede (EMIR Research, 2020)⁵⁴ özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

- Bitkilerde hastalık söz konusu olduğunda ZİHA’lar (drone), enfekte olmuş bitkileri görünür hale gelmeden yaklaşık **10 gün önce** daha kolay bir şekilde tespit edebilmektedir. Böylece çiftçilere **erken uyarı** vererek büyük çaplı ürün kaybının önüne geçilebilmektedir.



- ZİHA’lar yüksek çözünürlüklü kameralarla donatıldığı için bitkilerin detaylı görüntüsü alınmakta ve toplanan bu veriler **bitki çıkışı** ve **bitki sayımı** takibi amacıyla kullanılabilir. Bitki sayısını yerden incelemek oldukça zor bir iştir ancak, ZİHA kullanımı ile **kolay bir şekilde** yapılabilir. Bitki sayısı analizi, ekilen tohumlardan kaçının sağlıklı bir bitkiye dönüştüğünü belirleyebilir. Bu veri, **yeniden ekim** işleminin gerekli olup olmadığına karar vermek için çok oldukça gerekli ve yararlı bir bilgidir.

2.7. Teknolojik İstihdam

ABD’de akıllı ve hassas tarım sistemleri satan bayiler ile yapılan anket sonuçlarına göre (Erickson ve ark. 2017)⁵⁵, akıllı tarım teknolojilerinin **yaygınlaşmasına engel olan üç önemli etkenin**; akıllı tarım teknolojileri konusunda **uzman personel** tedarikinde yaşanan zorluklar (%62), ekipman marka ve modellerinin **hızlı değişimi** nedeniyle yaşanan maliyet artışları (%50) ve farklı marka ve model ekipmanlar arasındaki veri iletim **uyumsuzlukları** (farklı veri formatı, veri paylaşımı sorunları, vb.) (%41) olduğu belirlenmiştir. Diğer ülkelerde ve Türkiye’de de benzer sorunlar bulunmaktadır.

⁵⁴ www.emirresearch.com/the-revolutionization-of-agriculture-via-drone

⁵⁵ www.agribusiness.purdue.edu/wp-content/uploads/2019/07/croplife-purdue-2017-precision-dealersurvey-report.pdf

Türkiye’de yaklaşık 10 yıl öncesine kadar akıllı ve hassas tarım sadece birkaç üniversitenin Ziraat Fakültelerinde lisans ve lisansüstü seviyesinde ders olarak öğretilirken, günümüzde hemen hemen tüm fakültelerde bu konuda **eğitim** verilmektedir. ABD’de akıllı ve hassas tarım alanlarında **iki yıllık programlar** mevcuttur. Ülkemizde de son yıllarda **yüksek lisans** seviyesinde eğitim öğretim programları açılmaktadır. Böylece uzman personel açığının zamanla kapanacağı değerlendirilmektedir.

Hassas ve akıllı tarım teknolojileri alanında başta otomatik dümenleme, ZİHA ile havadan ilaçlama ve gübreleme, uydu esaslı tarımsal uzaktan algılama ve ZİHA ile görüntüleme konularında son yıllarda **imalat, satış ve servis, tamir ve bakım** konularında çok sayıda mühendis ve teknik personel istihdam edilmektedir. Ek olarak, Türkiye’de önemli sayıda **yerli imkânlarla** yeni akıllı ve hassas tarım firmaları kurulmuş ve bu firmalarda istihdam sağlanmıştır. Bu tarz teknolojik istihdam düzeyinin gelecekte daha da artması beklenmektedir. Hindistan merkezli düşünce kuruluşu “**Broadband India Forum (BIF)**”nun J. Kumar imzasıyla yayınladığı “**Tarım Teknolojileri Hindistan Tarımında 2,1 Milyon Kişiyi İstihdam Sağlayacak**” başlıklı makalede (Future Farming, 2018)⁵⁶ özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

- Hindistan, tarımda nesnelerin interneti (IoT) ve yapay zekâ tabanlı uygulamaların yaygınlaşmasıyla 2,1 milyon istihdam ve 4,75 milyar ABD doları değerinde kaynak oluşturması beklenmektedir.
- Bu yeni iş kaynaklarının; hayvancılıkta izlenebilirlik (891 bin), ZİHA’lar (523 bin), iklim verileri algılama (316 bin), uydu tabanlı haritalama (255 bin), e-alışveriş (123 bin) ve tarımsal ürün izlenebilirliği (13 bin) konularında gerçekleşmesi beklenmektedir.
- Bu uygulamaların **akıllı çiftlikler** oluşturmaya yardımcı olacağı, tarımsal üretimi daha **öngörülebilir** hale getireceği, bunun da **çiftçilerin gelirlerini ve yaşamlarını** iyileştirmeye yardımcı olacağı belirtilmektedir.
- **Veri odaklı** uygulamalar ve **makine öğrenimi** tekniğinin kullanımıyla, hava durumu ve çevresel faktörlerin **gerçek zamanlı takibi**, bitki sağlığının ve su içeriğinin izlenmesi gibi geleneksel tarım süreçlerini iyileştirebilir ve **tarımsal üretimi artırabilir**.
- Geliştirilecek **tarımsal makine kiralama mobil uygulaması** ile çiftçilerin modern makinelerle çalışma imkânına sahip olurken, verimliliği ve gelirlerini de arttırabilmeleri beklenmektedir.
- Birçok özel tarım şirketi (CropIn, eKutir, NaPanta, Dehart, vb.) **yapay zekâ** tabanlı bitki izleme, tarla haritalama, gübreleme, ekim ve tüketicilerle iletişim kurma hizmetleri sunmaya başlamıştır.
- Daha hızlı ve bilinçli **tarımsal kararlar** alabilmek için yapay zekâ ve **gelişmiş hava durumu verileri** gibi yeni nesil teknolojilerin kullanımı artırılacaktır.

3. AKILLI TARIMIN MEVCUT DURUMU VE GELECEKTEKİ BEKLENTİLER

3.1. Akıllı Tarımın Dünyadaki ve Türkiye'deki Mevcut Durumu

3.1.1. Dünyada Akıllı Tarımın Mevcut Durumu

Akıllı ve hassas tarım teknolojileri yakıt, enerji, su, gübre ve pestisit gibi tarımsal girdilerin kullanımında önemli ölçüde **tasarruf sağlama potansiyeline** sahiptir. Ek olarak **sera gazı emisyonu, küresel ısınma** ve iklim değişikliği etkilerini azaltabilecek özelliklere sahiptir. Bu etkileri minimize etmek için bu teknolojilerin daha yaygın bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Bununla birlikte, bu **teknolojilerin kullanım düzeyi**, teknoloji hakkındaki farkındalık, ekipmanın maliyeti, kârlılığı, amortisman süresi, çiftçi ve çiftliğin özellikleri, arazi büyüklüğü, ekipman markaları ve modelleri arasındaki uyumsuzluk, teknolojilerin karmaşıklığı ve kullanım zorluğu gibi özelliklerden etkilenmektedir (Say ve ark., 2017)⁵⁷.

Akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin **kullanım düzeyi**; ülke bazında ve ülke içindeki farklı bölgelerde **değişkenlik** göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde, başta ABD, Kanada, Avustralya olmak üzere bu teknolojilerin kullanım düzeyinde artan bir eğilim vardır. Bunun en önemli sebebi ise **arazi büyüklüğünün** ve çiftlik gelirlerinin yüksek olmasıdır. Büyük çiftliklerin boyutu ve elde ettikleri yüksek gelir, hassas tarım sistemlerinin kabulü, kullanım düzeyi ve yaygınlaşması açısından önemli bir teşvik edici etkiye sahiptir.

Dünyada özellikle gelişmiş ülkelerde ve gelişmekte olan ülkelerde **otomatik dümenleme** sistemleri en yaygın olarak kullanılan akıllı ve hassas tarım teknolojisidir (Say ve ark., 2017). Bunun yanında, **ZİHA tabanlı** algılama ve havadan pestisit ve gübre uygulamaları ve **değişken düzeyli gübreleme** de yaygınlaşmaktadır. Ayrıca, son yıllarda tarımda yabancı ot mücadelesinde **sürücüsüz otonom araçların** kullanımının yaygınlaştığı görülmektedir. Fakat genel olarak diğer teknolojilerin kullanımını daha düşük seviyelerde gerçekleştirmektedir. İngiltere'de **sürücüsüz otonom araçların** tarımda kullanımına ilişkin önemli bir proje devam etmektedir. Harper Adams Üniversitesi'nde 2016 yılında başlatılan "**Hands Free Hectare**" isimli **pilot proje** kapsamında dünyada ilk kez 1 hektar'lık (10 dekar) alanda tamamen **sürücüsüz otonom makinelerle** toprak işlemeden hasada kadar tahıl üretimi gerçekleştirilmiştir (HFH, 2019)⁵⁸. İlgili bazı firmaların da sponsor olarak destek verdiği projede normal traktör ve tarım makineleri otomatik dümenleme ve kontrol sistemleri ilavesi ile **otonom** haline dönüştürülmekte, sürücüsüz olarak kullanılmaktadır (Şekil 6). Projenin internet sayfasında verilen bilgilere göre (HFH, 2019)⁵⁹; **büyük traktör ve makinelerin** işgücü gereksinimini azalttığı ancak, bunların yüksek ağırlıklarından dolayı **toprak sıkışmasına** neden oldukları belirtilmiştir.

⁵³ www.researchgate.net/publication/320908156

⁵⁴ www.harper-adams.ac.uk/news/203518/the-hands-free-hectare-project

⁵⁵ www.harper-adams.ac.uk/news/203518/the-hands-free-hectare-project

Ayrıca, çalışma genişliklerinin çok fazla olmasından dolayı küçük boyutta hassas değişken düzeyli uygulamalara imkân vermediği de vurgulanmıştır. Bu nedenle, çok sayıda küçük ve hafif sürücüsüz otonom araçların **sürü halinde kullanımı** daha uygun olurken, gelecekte bu tip otonom makinelere yönelim olacağı bildirilmiştir. Traktör ve makine kullanıcıları; arazide makine üzerinde çalışmak yerine ofislerinde bilgisayar ekranlarından makinelerin çalışma durumunu ve bitkilerin gelişimini izlemeye, bunlara ilişkin verileri analiz edip ilgili planlar yapmaya ve kararlar almaya odaklanmaktadır. Proje ulusal ve uluslararası alanda oldukça ilgi görmüş, çok sayıda ödül almış ve projenin yürütüldüğü çiftlik üst düzey yöneticiler tarafından ziyaret edilmiştir. Elde edilen başarı, gördüğü ilgi ve mali destek neticesinde proje **1 hektar** büyüklükten **35 hektar** (350 dekar) büyüklüğe çıkarılmış ve “Hands Free Hectare” ismi 2019 yılında **“Hands Free Farm”** olarak güncellenmiştir.



Şekil 6. İngiltere’de “Hands Free Farm” Projesi Kapsamında Çalıştırılan Sürücüsüz Otonom Biçerdöver ile Arkasına Römork Bağlı Sürücüsüz Traktör (HFH, 2019)⁶⁰

ABD Tarım Bakanlığı (USDA)’ndan McFadden ve ark., (2023)⁶¹ tarafından hazırlanan “**Di-jital Çağda Hassas Tarım: ABD’de Kullanım Durumu**” başlıklı bir raporda ABD’de hassas tarım sistemlerinin kullanım düzeyi konusunda şu bilgilere yer verilmektedir:

- Hassas tarım teknolojileri arasında **otomatik dümenleme** sistemleri dünyada en çok kabul gören ve benimsenen teknolojidir. Bu sistemler; mısır, pamuk, çeltik, sorgum, soya ve kışlık buğdayın ekildiği alanların %50’sinden fazlasında kullanılmaktadır.
- **Otomatik dümenleme** sistemleri, 2001 yılında mısır ekim alanlarının yalnızca %5’inde kullanılırken bu oran 2016 yılında %58’e yükselmiştir. 2019 verilerine göre, sorgum ve pamuk ekim alanları için %65-73’lük kullanım oranına ulaşmıştır. Aynı yıl, ABD’deki tüm çiftlik arazilerinin %40’ında GPS konum ve yön belirleme sistemleri kullanılmaktadır.
- Son yıllarda kullanımları artmasına rağmen **verim haritaları, toprak haritaları ve de-ğişken düzeyli tarımsal girdi** (tohum, sulama, gübre, pestisit, vb.) uygulamaları (VRT) gibi teknolojiler kışlık buğday, pamuk, sorgum ve çeltik için toplam ekili alanların yalnızca %5-25’inde kullanılmaktadır.

• 2016-2018 yılı verilerine göre, ABD genelinde verim görüntüleme ve haritalama teknolojileri %40-45 oranı ile en fazla mısır ve soyada kullanılmaktadır. Bu teknoloji mısır ve kışlık buğdayda en fazla **hasat sırasında ürün nemini belirlemek**, soya, pamuk ve sorgumda ise **değişken düzeyli gübre uygulama** miktarını belirlemek için kullanılmaktadır.

• 2016-2018 yılı verilerine göre, ABD genelinde **toprak haritaları** %14-22 oranı ile en fazla mısır ve soyada kullanılmaktadır.

• 2016-2019 verilerine göre, ABD genelinde **değişken düzeyli (DD)** girdi uygulamaları sırasıyla en fazla gübre, kireç, tohum ekimi ve pestisit uygulamada kullanılmaktadır. En yüksek kullanım %25-37 oranı ile mısır ve soyada görülmektedir.

• 2016-2019 verilerine göre ABD genelinde **ZİHA, uçak ve uydu görüntüleri** en fazla %7-10 oranı ile soya ve mısırdaki kullanılmaktadır.

• Hassas tarım sistemlerinin kullanım düzeyini etkileyen en önemli faktör **çiftlik arazisinin büyüklüğüdür**. Büyük araziye sahip çiftliklerde bu sistemlerin kullanım düzeyi daha da yüksektir. Ayrıca, ekipman **satın alma bedeli** ve diğer masraflar da önemli bir rol oynamaktadır.

• Genel olarak Hassas tarım sistemlerini kullanan çiftçiler bu sistemleri kullanmayan çiftçilere göre **daha yüksek verim** elde etmektedirler.

ABD Tarım Bakanlığı (USDA) için hazırlanan benzer bir raporda (USDA, 2023)⁶² ABD’de bazı ürünlerde **otomatik dümenleme sisteminin** kullanım düzeyi detaylı olarak incelenmiştir. 2019 yılı verilerine göre; mısır (%58), soya fasulyesi (%55), kışlık buğday (%56) ve pamuk (%65) ekili alanların yarısından fazlasında otomatik dümenleme sistemleri kullanılmıştır. Kullanım düzeyinin **arazi büyüklüğüne** bağlı olduğu, büyük araziye sahip çiftliklerde daha yüksek (%67-82), küçük araziye sahip çiftliklerde ise daha düşük kullanım olduğu (%7-50) belirtilmiştir.



⁶² www.ers.usda.gov/amber-waves/2023/april/most-row-crop-acreage-managed-using-auto-steer-andguidance-systems

Yapılan araştırmalar akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin kullanım düzeyini ve yaygınlaşmasını etkileyen en önemli faktörlerin; **çiftlik arazisinin büyüklüğü**, **kârlılık** ve teknoloji **maliyeti** olmaktadır. Dünyada ve Türkiye’de **büyük araziye** sahip çiftliklerde teknoloji kullanımı çok daha yüksek seviyededir. **Ortalama arazi büyüklüğü** Avustralya’da 3243 hektar (32430 dekar), Arjantin’de 582 ha (5820 da), Kanada’da 273 ha (2730 da), ABD’de 178 ha (1780 da), Fransa’da 45 ha (450 da) ve Almanya’da 40 ha (400 da) düzeyindedir (Our World in Data, 2023)⁶³. Bu ülkelerde akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin kullanım düzeyi oldukça yüksektir. Türkiye’de ise ortalama arazi büyüklüğü **6 ha (60 dekar)** civarındadır ve bu büyüklük yeni dijital teknolojilere yatırım için yeterli değildir. Türkiye’de devam etmekte olan **arazi toplulaştırma** uygulamasına hız verilmesi, dijital teknolojilerin yaygınlaşması ve bu ürünlerden elde edilecek yararların artırılması bakımından gerekli görülmektedir.

ABD merkezli düşünce kuruluğu “**The Brookings Institution**” internet sitesinde C. George ve A. Tomer imzasıyla “**Amerika Gıda Sisteminin Dijitalleştirilmesi: Mevcut Potansiyel ve Sorunlar**” başlığı ile yayınlanan bir makalede; tarımda dijitalleşmenin artık çiftlikten sofraya kadar gıda sisteminin her noktasına işlediği belirtilmektedir (George ve Tomer, 2022)⁶⁴. Yenilikçi iklim ve ürün verimi modellemesinde artık tarımsal üretim kararlarının alınmasında **makine öğreniminin** kullanıldığı, uydu ve ZİHA destekli ürün izleme ve hassas tarım tekniklerinin tarımsal girdi uygulamasını kolaylaştırdığı belirtilmektedir. Ancak, bu ileri teknolojilerin birçoğu **büyük arazilere** sahip endüstriyel çiftliklerde yoğunlaşırken, küçük yetiştiriciler için uygun olmadığı ve **kırsal alanlardaki internet erişimiyle** sınırlı olduğu bildirilmiştir.

ABD merkezli bir düşünce kuruluğu olan “**McKinsey & Company**” internet sitesinde Fiacco ve ark. (2023)⁶⁵ tarafından yazılan bir raporda; Asya, Avrupa, Kuzey Amerika ve Güney Amerika ülkelerinde 5500 çiftçinin katılımıyla **tarım teknolojileri (AgTech) kullanım düzeyi** konusunda yapılan anket çalışması hakkında şu bilgilere yer verilmiştir:

- Tarım teknolojisinin kullanım düzeyi Avrupa ve Kuzey Amerika ülkelerinde %62 ile **en yüksek**, Asya ülkelerinde ise %9 ile **en düşük** seviyededir.
- **Yüksek maliyet**, amortisman süresindeki belirsizlikler, **sistemlerin karmaşıklığı** gibi nedenler kullanım düzeyini azaltan en önemli faktörlerdendir.
- Çiftçilerin en çok ilgi duyduğu 6 teknoloji; Çiftlik yönetim yazılımı, sürdürülebilirlikle ilgili teknolojiler, hassas tarım donanımı, uzaktan algılama teknolojileri, tarımsal ürün ticareti, robotik sistemler ve otomasyonlardır.
- **Büyük araziye** (>5000 acre) sahip çiftlikler; orta (2000-5000 acre) ve küçük (<2000 acre) arazili çiftliklere (%76, %36) kıyasla daha yüksek oranla (%81) tarım teknolojilerine ilgi göstermektedir (1 acre yaklaşık 4 dekar’dır).

● Küresel bazda çiftçiler, yüksek oranda verim haritalama (%69), değişken düzeyli gübre uygulama (%67) ve kısım kontrolü (%67) teknolojilerini kullanmaktadır.

● **Devlet destekleri; sürdürülebilir tarım** teknolojilerinin benimsenmesinin ana itici gücü iken çiftçilerin yaklaşık %40'ı bu girişimlere katılmaktadır. Yönetimlerin tarımda daha az girdi kullanımı yönündeki düzenlemeleri akıllı teknoloji kullanım düzeyinin artmasına etki etmiştir. Son yıllarda akıllı ve hassas teknolojiler sayesinde tamamen kapalı binaların içerisinde “**bina içi tarım**” ve “**şehir tarımı**” konsepti ile **topraksız tarım** tekniği, **dikey tarım** ve **yapay aydınlatma** teknolojileri kullanılarak tarımsal üretim yapılmaktadır. Şehirlerde kapalı bina içerisinde (genellikle yaşam için tercih edilmeyen bodrum katlarda) yapay ışıklandırma ve iklimlendirme ile üretim yapılabilmektedir. ABD merkezli “**Oliver Wyman**” isimli düşünce ve danışmanlık kuruluşunun 2018 tarihli “**Tarım 4.0: Tarım Teknolojilerinin Geleceği**” başlıklı raporunda (Oliver Wyman, 2018)⁶⁶; 2004 yılından beri **bina içi tarımsal üretim** yapan ABD merkezli “**Aerofarms**” isimli firmanın yaptığı üretime ilişkin bazı bilgiler aşağıda verilmiştir:

● Gıda güvenliği, istihdam ve sağlıklı gıda üretimi gibi birçok fayda sağlayan “bina içi üretim” **yerel yönetimler** (valilikler, belediyeler, vb.) tarafından da değerlendirilebilir.

● Üretimde **%95 su tasarrufu** sağlanmakta, önemli derecede daha az gübre kullanılmakta ve hiç tarımsal ilaç kullanılmamaktadır.

● Olumsuz hava koşullarından etkilenme söz konusu değilken yıl boyu üretim yapma imkânı vardır.

● 300 farklı yeşil yapraklı ve aromatik bitki yetiştirilmektedir.

● Ancak, bu tip üretim tesislerinin enerji tüketimi fazla olduğu için enerji masrafı ve vergiler konusunda **devlet desteği** sağlanmalıdır.

ABD merkezli “**Future Market Insights**” isimli pazar araştırma kuruluşunun hazırladığı “**Bina İçi Tarım Pazarı**” başlıklı rapora göre; 2022 ve 2032 yılları arasında küresel **bina içi tarım pazarı** büyüklüğünün 10 yıl içerisinde **kümülatif yıllık %9.6 artış** oranıyla 38.7 milyar ABD dolarından 96.6 milyar ABD dolarına çıkacağı öngörülmektedir (Future Market Insights, 2022)⁶⁷. Raporda belirtilen bazı önemli hususlar aşağıda özetlenmiştir:

● Bina içi tarım artan dünya nüfusu için **gıda güvenliğini** sağlamada en önemli tarımsal yöntemlerden biri olarak değerlendirilmektedir.

● Dünya genelinde bina içi tarım pazarı toplam tarım pazarının %1-2'sine denk gelmektedir.

● Bina içi tarımın daha az su ve kaynak kullanma ve yüksek verim gibi yararları nedeniyle geleneksel tarıma alternatif olabileceği değerlendirilmektedir.

● Kimyasal pestisit kullanımı daha az olduğu veya hiç kullanılmadığı için elde edilen tarımsal ürünler daha sağlıklıdır.

⁶⁶ www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2018/feb/agriculture-4-0--the-future-of-farmingtechnology.html
⁶⁷ www.futuremarketinsights.com/reports/indoor-farming-market

• Birçok ülkede yönetimler; iklim değişikliği, toprak verimsizliği ve azalan su kaynakları gibi olumsuz etkileri ortadan kaldırmak ve gıda güvenliğini sağlamak için bina içi tarımı **özendir-
mekte**, insanlar evlerinde kimyasal girdi kullanmadan küçük çaplı üretim yapabilmektedir.

Tarım traktörleri ve hassas tarım ekipmanlarının farklı model ve markaları arasındaki veri iletiminde yaşanan **uyumsuzluk**, bu teknolojilerin yaygınlaşmasının önündeki önemli sorunlardan biridir (Pathak ve ark. 2019)⁶⁸. **ISOBUS teknolojisi** bu soruna bir çözüm olarak sunulmuştur. Bu teknoloji sayesinde ISOBUS uyumlu bir traktör ve traktöre bağlı olan ISOBUS uyumlu bir tarım makinesi (ekim, gübreleme, ilaçlama makinesi, vb.) sorunsuz bir şekilde veri iletişimi bulunup sorunsuz çalışabilmektedir. Veri iletimi ISO 11783 adı altında uluslararası standarda göre yapılmaktadır. Traktör ve makine çalışma parametreleri (ilerleme hızı, kuyruk mili devri, vb.) traktör ve makine arasında kolayca paylaşılabilir. Makinenin fişi traktör üzerindeki prize takılarak bilgisayarlar bulunan USB bağlantısı gibi **“tak ve çalıştır”** (plug and play) özelliği ile traktör ve makine arasında veri iletimi kolayca gerçekleştirilmektedir. **Tek bir kabin içi monitör** ile ISOBUS uyumlu birden fazla farklı marka ve model ekipmanın izlenmesi mümkündür. 2008 yılında John Deere, CNH, Claas, AGCO, Kverneland, Grimme ve Pöttinger firmaları tarafından kurulan bir ortaklık olan **“Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF)”** ISOBUS konusundaki çalışmalarını organize etme, sistemin yaygınlaşmasını sağlama, traktör ve tarım makinelerinin ISOBUS uyumluluk testlerini yerine getirme gibi sorumluluklara sahiptir (AEF, 2023a)⁶⁹. Testi geçen firmalara ürettiği ürün için ISOBUS ürün etiketi kullanma hakkı verilmektedir. Kuruluşun internet sitesinde ISOBUS uyumlu firma ve ürünler içeren bir de veri tabanı da bulunmaktadır (AEF, 2023b)⁷⁰.

Avrupa Tarım Makineleri Üreticileri Birliği (European Agricultural Machinery Association, CEMA)'nin yayınladığı bir raporda (CEMA, 2016)⁷¹; Avrupa'da 450 farklı makine tipi üreten 4500 makine imalatçısı olduğu, sektörde 135 bin kişinin istihdam edildiği ve yıllık cirosunun 26 milyar avro olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, satılan yeni tarım ekipmanlarının **%70-80'inin** içinde **akıllı ve hassas tarım bileşeni** olduğu belirtilmektedir.

ISOBUS sistemi mevcut bir traktör ve tarım makinesinin **“akıllı ürüne”** dönüşmesi için gerekli olan önemli bir özelliktir. Dünya çapında yüzlerce traktör ve tarım makinesi üreticisi AEF'ye üyelik ve katılım sağlamıştır. Ülkemizde de **TARMAKBİR** tarım makineleri üreticileri birliği AEF ile işbirliği içindedir. Gelişmiş ülkelerde ISOBUS uyumlu traktör ve hassas tarım ekipmanları gittikçe yaygınlaşmaktadır ancak Türkiye'de ISOBUS uyumlu traktör ve tarım makinesi üretimi oldukça sınırlıdır. Bu durum, traktör ve makine ihracatında gelişmiş ülkeler ile rekabette önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır.

ABD'de yapılan bir ankette, ankete katılan çiftçilerin %66'sının **ISOBUS uyumlu makineler** kullandıkları, %75'inin ise ISOBUS uyumlu bir veya iki traktör kullandıkları bildirilmiştir (NoTill Farmer 2019)⁷². ABD merkezli **“Polaris Market Research”** isimli **pazar araştırma kuruluşunun** ha-

zırladığı “**ISOBUS Component Market**” başlıklı rapora göre; 2023 ve 2032 yılları arasında küresel ISOBUS pazarı büyüklüğünün 9 yıl içerisinde **kümülatif yıllık %7,1** oranında artışla 0.7 milyar ABD dolarından, 1.2 milyar ABD dolarına çıkacağı öngörülmektedir (Polaris Market Research, 2022)⁷³.

3.1.2. Türkiye’de Akıllı Tarımın Mevcut Durumu

Son yıllarda **dijitalleşme** ve **dijital dönüşüm** konusunda önemli gelişmelerin yaşandığı ülkemizde, dijitalleşme seviyesinin gelişmiş ülkelere kıyasla daha düşük olduğu söylenebilir.

Merkezi İsviçre’de bulunan ve “Birleşmiş Milletler (UN)”e bağlı bir kuruluş olan “**Uluslararası İletişim Birliği (ITU)**” ülkelerin **bilgi ve iletişim teknolojileri (ICT)** konusunda **gelişim endeksi** değerlerini yayınlamaktadır. En son 2017 yılı verilerine göre; ICT gelişmişlik endeksinde, İzlanda, Güney Kore, İsviçre, Danimarka ve İngiltere ilk beş sırayı alırken **Türkiye 67. sırada** yer alabilmiştir (ITU, 2018)⁷⁴. Bu da Ülkemizin ICT ve dijitalleşme alanında tarım da dâhil birçok sektörde ülkelere göre **daha az gelişmiş** olduğunu göstermektedir.



Birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülke gibi Türkiye’de tarım dahil olmak üzere birçok sektörde dijitalleşme ve **dijital dönüşüm politikaları** geliştirilip uygulanmaktadır. Bu bağlamda 2018 yılında Cumhurbaşkanlığı’na bağlı **Dijital Dönüşüm Ofisi (DDO)** kurulmuştur. DDO; dijital dönüşüm konusunda bakanlıklar arasında koordinasyonu sağlayan, kamu sektörünü ve özel sektörü birleştiren bir kurum olarak görülmektedir (Avaner ve Celik, 2021)⁷⁵. **Yenilik geliştirme** (inovasyon) kültürünün ülke genelinde yayılması ve özellikle teknolojik gelişmelerin hızlandırılmasında önemli bir rol üstlenmektedir.

⁷² www.no-tillfarmer.com/articles/9173

⁷³ www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/isobus-component-market

⁷⁴ www.itu.int/net4/ITU-D/idi/2017/index.html

⁷⁵ www.researchgate.net/publication/357799697

Tarımda dijital dönüşüm hamlesi kapsamında **Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB)** tarafından yürütülen faaliyetler temel olarak; çiftçi bazında yapılan işlemlerin (çiftçi kayıt, destek ödemeleri, vb.) dijital ortama aktararak **internet üzerinden** hızlı ve kolay bir şekilde yapılması ve tarımsal üretimde **dijital teknolojilerin kullanımı** olarak **iki başlıkta** incelenebilir. Tarımda dijital dönüşüm ile işlemlerin daha kolay, daha hızlı, daha kısa sürede planlanabildiği, yapılabildiği, izlenebildiği ve önemli düzeyde **kaynak israfının önlenildiği** belirtilmektedir (TOB, 2020)⁷⁶. Bakanlık hizmetlerinin; 2,7 milyon kayıtlı çiftçi, 23.1 milyon ha tarım alanı, 14.6 milyon ha mera alanı, 22.6 milyon ha orman alanı ve 73 milyon baş hayvanı kapsadığı ve bu hizmetlerin dijital alana taşınması planlanmaktadır. (TOB, 2020). Bakanlık tarafından yürütülen **dijital tarım hizmetleri** aşağıda özetlenmiştir (TOB, 2020):

- Çiftçilere E-devlet üzerinden hizmet sağlanması
- Uydu teknolojilerinin kullanımı (ekili olan ve ekili olmayan alanlar, tarım arazilerinde yapılaşma, ormanların ve su kaynaklarının durumu, tarımsal destek ödemelerinin kontrolü)
- CBS ile 36 milyon adet tarım parselinin sayısallaştırılması, ulusal ölçekte sayısal toprak haritaları

- **E-çiftçi** portalı (kayıtlı arazi bilgisi, ürün bilgileri, hayvan bilgileri, hayvan pasaportu)
- Tarım arazileri yönetim (**TAY**) portalı (tapu ve kadastro sistemi ile entegrasyon)
- Pancar kayıt sistemi (**PAKSİS**) (sözleşmeli pancar üretimi yönetimi)
- Dijital tarım pazarı (**DİTAP**) (dijital ortamda sözleşmeli üretim altyapısı)
- Dijital tarım ve orman eğitim akademisi (ders, e-kitap, makale ve tezler)
- **TürkVet** hayvan kayıt sistemi (dijital hayvan küpesi, hayvan kimliklendirme ve hayvan izleme)

- Et ve Süt Kurumu hayvan kesim randevusu
- SMS ile meteorolojik uyarı hizmeti
- Ulusal su bilgi sistemi (Su kaynaklarına ilişkin veriler)
- Dijital orman yangınları ile mücadele sistemi (İHA kullanımı, hızlı ve etkin haberleşme sistemi, yangına müdahale araç navigasyon takip sistemi)
- **E-tarım** portalı (çiftçi, işletme, firma, vatandaşlar için 188 online hizmet)
- Elektrikli traktör geliştirilmesi

Ülkemizde “akıllı ve hassas tarım” ile ilgili stratejilerin geliştirilmesini, sanayinin bu yönde desteklenmesini ve kurumlar arasında koordinasyonu sağlamak için 2016 yılında TOB öncülüğünde “**Akıllı Tarım Platformu**” kurulmuştur (ATP, 2023a). Platform; TOB personeli, tarım makineleri sektör temsilcileri ve akademisyenlerden oluşmaktadır. İcra Kurulu’nun sekreteryası TARMAKBİR tarafından yürütülmektedir. 2021 yılında Platform çatısı altında farklı akıllı tarım uygulamalarında yedi başlıkta “**çalışma grupları**” oluşturulmuştur. Bu çalışma grupları; akıllı tarım teknolojileri ile

ilgili çalışmaların yapılması, ilgili politika ve stratejilerin geliştirilmesi, tavsiye kararları alınması, ilgili yerlere iletilmesi, sektörün rekabet edebilirliğinin artırılmasına katkı sağlanması gibi hususlarda görev yapmaktadır (ATP, 2023a)⁷⁷. Platformun internet sitesinde verilen bilgilere göre (ATP, 2023b)⁷⁸; çeşitli araştırma projeleri kapsamında **akıllı ve hassas tarım teknolojilerine** yönelik aşağıdaki isimleri verilen sistemlerin geliştirildiği, yurt içinde yerli imkânlarla seri imalat kapsamında üretim yapılması için girişimcilerin arandığı bildirilmiştir:

- Değişken düzeyli tarımsal girdi uygulama programı
- Santrifüjlü (diskli) gübre dağıtma makinaları için kontrol sistemi
- Tamburlu tip sulama makinaları için kontrol sistemi
- Tahıl ekim makinaları için gübre kontrol sistemi
- Meyve bahçeleri için çoklu değişken düzeyli gübre uygulama makinesi
- GPS/GNSS tabanlı otomatik toprak örnekleme makinası

2019 yılında “**Akıllı Tarım Platformu**” tarafından hazırlanan “**Türkiye’de Akıllı Tarımın Mevcut Durumu**” başlıklı raporda (ATP, 2019)⁷⁹; Dünyada ve Türkiye’de akıllı ve hassas tarımın durumu, geleceğe dair öngörüler ve öneriler hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, TOB, diğer Bakanlıklar, resmî kurumlar, üniversiteler ve özel sektör firmalarında bitkisel ve hayvansal üretime yönelik akıllı ve hassas tarım konusunda yapılan ulusal uluslararası (Ar-Ge) projeleri, alınan patentler ve diğer çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

2021 yılında “**Toprak ve Su Dergisi’nde**” 2018-2022 yılları arasında Tarım ve Orman Bakanı olarak görev almış olan Pakdemirli ve ark. (2021)⁸⁰ tarafından yayınlanan “**Türk Tarımında Dijital Teknolojilerin Kullanımı ve Tarım-Gıda Zincirinde Tarım 4.0**” başlıklı makalede; tarımda teknolojik gelişmeler, Dünyada ve Türkiye’de akıllı ve hassas tarımın durumu, geleceğe dair beklentiler hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, akıllı ve hassas tarım konusunda Türkiye’de Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) ve diğer resmi ve özel kuruluşlar ile işbirliği içinde gerçekleştirilen bazı önemli projeler kısaca özetlenmiştir. Aşağıda bu projelere ilişkin kısa bilgilere yer verilmiştir:

- Yerli elektrikli traktör prototipi (75 kW, 105 BG) geliştirme projesi
- Traktörlerde yerli otomatik dümenleme sistemi geliştirme projesi
- İHA ile görüntü işleme temelli hassas tarım uygulamaları projesi
- Çiftlik yönetim sistemi (veri toplama ve kablosuz iletimi) projesi
- Kimyasal girdi kullanımını azaltma amaçlı Ülkesel hassas tarım projesi
- Hasatta bulut tabanlı dane kaybı izleme ve takip sistemi geliştirme projesi
- Örtü altı yetiştiricilik için uzaktan kumandalı pülverizatör geliştirme projesi
- Buğdayda süneyle mücadelede erken uyarı sistemi geliştirme projesi
- Algılayıcılar ve makine öğrenmesi ile hayvan takip sistemi geliştirme projesi

⁷⁷ www.akillitarim.org/tr

⁷⁸ www.akillitarim.org/tr/proje-pazari.html

⁷⁹ <https://tarmakbir.org/wp-content/uploads/2022/07/akillitarimrapor01.pdf>

⁸⁰ <https://dergipark.org.tr/pub/topraksu/issue/57793/898774>



Dünyada olduğu gibi Türkiye’de de “**bina içi tarım**” uygulamaların sayısı artış eğilimindedir. Örnek olarak “**Plant Factory**” isimli firma **İstanbul şehir merkezinde** İstinye Park alışveriş merkezinin **bodrum katında** 1500 m2 büyüklüğünde tamamen kapalı alanda bina içi tarım teknolojileriyle (topraksız tarım, dikey tarım, yapay aydınlatma ve iklimlendirme) üretim yapmaktadır (Plant Factory, 2023)⁸¹. Firma bu teknoloji ile yapraklı sebzeler (marul, lahana, fesleğen, maydanoz, vb.) üretmektedir. Firmanın verdiği bilgilere göre; bu yöntem ile aşağıdaki **yararlar sağlanmaktadır**:

- Daha az su tüketimi
- **Sıfır pestisit** kullanımı ile daha sağlıklı ürünler
- Aynı ürünün yılda birkaç kez sürekli üretimi
- Yılın 365 günü ürün tedariki
- Zincir marketlere, restoranlara ve online alıcılara ürün tedariki
- Şehirlerarası nakliye masrafının ortadan kalkması, **minimum nakliye masrafı**.

3.2. Dünyada ve Türkiye’de Akıllı Tarıma İlişkin Politikalar

3.2.1. Dünyada Akıllı Tarıma İlişkin Politikalar

Gelişmiş ülkelerde akıllı ve hassas tarıma ilişkin tarım politikaları incelendiğinde bu politikaların **üretimi artırma**, çiftçilerin **gelir düzeyini iyileştirme** ve çiftçilerin diğer ülkelerdeki çiftçilerle **rekabet edebilirliğini** artırma amacı taşıdığı görülmektedir. Bunun yanında, özellikle son yıllarda büyük oranda tarımda kullanılan **kimyasal girdilerin azaltılması**, **çevreye verilen zararın azaltılması**, **doğal kaynakların korunması** (toprak, su, hava) ve daha **sağlıklı gıdaya erişime** önem verilmektedir.

Tarım ile ilgili konularda faaliyet gösteren ABD merkezli düşünce kuruluşu “**Institute for Agriculture and Trade Policy (IATP)**” internet sitesinde M. Happ imzasıyla yayınlanan “**Kirlilik İçin Yapılan Ödemeler: ABD Federal Çevre Koruma Programları Çiftçilere ve Çevreye Nasıl Daha İyi Bir Fayda Sağlayabilir?**” başlıklı makalede (IATP, 2022)⁸² özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

- ABD’nin Orta-Batı (midwest) bölgesinde 12 eyalette tarımsal kaynaklı **çevre kirliliğini azaltmak** amacıyla çiftçilere yapılan **mali destek ödeme** programlarına ilişkin tarım politikaları eleştirilmiştir.

- Bu programlarda; çevreye faydası olmayan veya bazı durumlarda çevreyi daha da kötüleştiren tarımsal uygulamalar için **gereksiz yere ödeme** yapıldığı belirtilmektedir.

- ABD Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından uygulanan programda, 2010-2020 yılları arasında çevre koruma mali destek programlarına başvuru yapan çiftçilerin **yalnızca %31-42’sine** destek verilmiştir.

- Mevcut desteklerin büyük ölçekli ve çevreyi kirleten faaliyetlere **yanlış yönlendirildiği**, binlerce çiftçinin ise programdan yararlanamadığı belirtilmiştir.

- Destek fonlarının **gerçekten çevreye yararlı uygulamalara** yönlendirilmesi için reformlara ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır.

Tarım ile ilgili konularda faaliyet gösteren başka bir ABD merkezli düşünce kuruluşu “**Institute for Agriculture and Trade Policy (IATP)**” internet sitesinde B. Lilliston imzasıyla yayınlanan “**Yeni Şirket Birleşme Kuralları Büyük Kurumsal Şirket Tarımını Frenleyebilir**” başlıklı makalede (IATP, 2023)⁸³ özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

- ABD’de bulunan **en büyük dört** kırmızı et şirketi, pazarın %86’sını, en büyük dört soya üreticisi %80’ini ve en büyük dört kümes hayvanı şirketi %54’ünü kontrol etmektedir.

- Birkaç büyük şirketin sektörün büyük kısmını kontrol altına alması bitki ve hayvan **çeşitliliğinin azalmasına**, hastalık ve zararların hızla yayılmasına neden olmaktadır. Bir firma ile sorun yaşandığında aynı miktarda gıda ürünü tedarik edilebilecek alternatif bir firma bulmakta sorun yaşanabilmektedir.

- **Büyük şirket birleşmeleri** (merger), yeni kurulan **yenilikçi şirketlerin** tarım pazarlarına girmesini zorlaştırmaktadır.

- Artan **iklim krizinin** tarıma ve gıda tedarikine yönelik çeşitli risklere yol açması, tarım sektöründe **yenilikçilik** ve **çeşitlilik için** hayati önem taşıyacaktır. Risklere uyumlu **hayvan ırkı ve bitki çeşitlerinin geliştirilmesi** gerekecektir.

- Şirket birleşmeleri çiftçilerin tohum, girdi, makine satın alma ve satış yapma **seçeneklerini sınırlamaktadır**.

- Özetle, büyük firmaların küçük firmaları satın almasıyla meydana gelen şirket birleşmelerinin bazı sakıncaları bulunmaktadır. Bu birleşmelerin sınırlanması için ABD yönetimi tarafından bazı yararlı olacağı düşünülen tarım politikası düzenlemeleri yapılmaktadır.

⁸² www.iatp.org/payments-pollution-how-federal-conservation-programs-can-better-benefit-farmers

⁸³ www.iatp.org/new-merger-guidelines-could-put-brakes-corporate-agriculture

Tarım ile ilgili konularda faaliyet gösteren Belçika merkezli düşünce kuruluşu “Farm Europe” internet sitesinde yayınlanan “Avrupa Birliği’nde Hassas Ve Akıllı Tarım İçin Akıllı Bir Ortak Tarım Politikası” başlıklı makalede (Farm Europe, 2017)⁸⁴ özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

- 2010-2014 yılları arasında dünyada klasik ve hassas tarım ekipmanları ile ilgili yeni patentlerin %70’i Kuzey Amerika’ya, yalnızca %15’i Avrupa’ya aittir. Hassas ve akıllı tarım AB’de hâlâ düşük seviyededir ve rakiplerinin yenilikçi yaklaşımlarının gerisinde kalmaktadır. Bununla birlikte örneğin; Hollanda’da 100 ha’dan büyük çiftliklerin neredeyse tamamı GNSS teknolojisini kullanmakta, Fransa’da ise hassas tarım hızlı bir şekilde gelişmekte ve 600 bin ha’dan fazla kışlık buğday ekim alanı uydu teknolojileriyle izlenmektedir.

- Avrupa’da tarımsal **çevre kirliliği ve iklim değişikliği**yle ilgili konularda toplumsal beklentiler oldukça yüksek seviyelere ulaşmıştır. Tarım sektörünün **rekabet gücünü** artırmak ve çevre için daha fazlasını yapmak gereklidir. Sektörün ekonomik zorluklarını ele almadan çevresel zorluklara ve toplumsal beklentilere odaklanmak yarar sağlamayacaktır. Bu bağlamda, hassas, akıllı ve dijital tarım dikkate alınmalıdır çünkü, bunlar **rekabet edebilirlik ve çevresel sürdürülebilirlik** gibi çifte zorluklara makul ve etkili çözüm sunabilecek tek somut araçlardır.

Bu bağlamda, Avrupa’da **genel tarım politikaları** (CAP) şu 4 konuya odaklanmalıdır:

1) Akıllı tarım, **çiftçilerin ihtiyaçları ile vatandaşların beklentileri** arasında uzlaşmaya olanak tanır. Akıllı tarımın **sosyal etkisi** de vurgulanmalıdır. Çiftçiler hem “kamu hizmeti sağlayıcısı” hem de “mal üreticisi” olarak tanınmalıdır.

2) Hassas ve akıllı tarım sadece büyük çiftlikler için değil, **küçük ve orta ölçekli çiftlikler** için de uygun ve faydalıdır. Bu teknolojileri uygun bir şekilde organize etme ve yaygınlaştırma yöntemi belirlenmelidir. Satın alma veya hizmet sağlama modelleri uygulanabilir. “**Veri sahipliği**” ve “**veri mahremiyeti**” bu teknolojilerin yaygınlaşması önünde bir engel olmamalıdır.

3) Hassas ve akıllı tarım uygulanması sadece **çiftçilerin isteğine** ve sorumluluğuna bırakılmamalıdır. Tüm **paydaşların** (çiftçi örgütleri, eğitim ve danışmanlık şirketleri, makine imalatçıları, araştırma kuruluşları, finansal kuruluşlar ve hükümetler) **birlikte çalışmasını** motive edecek teşvikler tasarlanmalıdır. Mevcut durumda hâlâ akıllı tarımın, sorunlarını çözmeye yardımcı olup olmayacağı konusunda **şüphe duyan** %51-63’lük çiftçi kesimine doğru tavsiyelerde bulunabilecek eğitim programlarına ihtiyaç vardır. Ayrıca, çiftçilerden belirlenen politikaları yapmalarını istemek yerine, onları **karar mekanizmasının** merkezine koymak gerekir.

4) Hassas ve akıllı tarım tekniklerinin gelişimi halen devam etmektedir. Ancak, gelecek 7 yıl içinde “**AB tarım sektörü**” “**AB akıllı tarım sektörü**”ne büyük bir dönüşüm sağlayabilecektir. Hassas tarımın en önemli **çevresel faydası**; tarımsal girdilerin hassas olarak tahmin edilmesi ve sonrasında bunların kontrollü uygulanmasıdır.

• **Sürdürülebilirlik ve rekabet gücü** gibi ikili zorluklara somut çözümler sunarak, kuralcı tarım politikalarından **sonuç odaklı politikalara** geçmek için net kararlar alınmalıdır. Bu bakımdan şu üç **hedefe** ulaşmak için etkili **hassas ve akıllı tarım politikaları** geliştirilmelidir:

- Hem **ekonomik** hem **çevresel** etki açısından AB tarımını **sürdürülebilir** kılmak
- Ürün **izlenebilirliğini** arttırarak üretici-tüketici arasındaki iletişimi geliştirmek
- Dengeli, adil ve **şeffaf bir gıda zincirine** katkıda bulunmak

• Hassas ve akıllı tarım; AB politikaları düzeyinde şu üç hedefi başarabilmelidir:

- Sonuç odaklı bir politikanın uygulanmasına olanak tanıyarak çiftlik düzeyinde gerçekte neler olup bittiğine ilişkin **erişilebilirliğin ve şeffaflığın** geliştirilmesi
- AB ve ulusal otoritelerin idari yükünü ve çiftçiler için bürokratik işlemlerin azaltılması ve izleme açısından akıllı politikalarda **basitleştirme** sağlanması
- Yenilenen çevresel ve ekonomik bakımdan sonuçlara dayalı tarım politikaları; akıllı yatırım ve eğitimle ilgili çabalar üzerinde net bir politika odağının tanımlanması anlamına gelmektedir.

• Özetle, Avrupa'da "**yeni tarım politikaları**" akıllı yatırımlara odaklanmalıdır. Bugün, Avrupa tarım sektörü yetersiz yatırımdan sıkıntı çekmemektedir. Mevcut yatırımların daha fazla **rekabet gücü ve sürdürülebilirlik** sağlayıp sağlamadığına bakılmalıdır. Artık öncelikle makinelere, teknolojiye ve eğitime yapılan yatırımlara odaklanmak gerekir. Bunlar aynı zamanda daha fazla **çevresel kazanım** ve daha fazla **rekabet gücü** gibi ikili zorluklara cevap verebilir. Akıllı bir Avrupa tarım sektörünün yakın gelecekte şekillenmesi gereklidir, aksi takdirde **dünya çapındaki rakiplerine** kıyasla geride kalacaktır.



Avrupa Komisyonu (EC) internet sitesinde yayınlanan “**2023-2027 Temel Tarım Politika (CAP) Hedefleri**” başlıklı raporda AB’nin tarım sektöründe belirlediği 10 temel stratejik politika hedefi şu şekildedir (Avrupa Komisyonu, 2023)⁸⁵:

- Tarımda ekonomik **sürdürülebilirlik** ve çiftçilere **adil gelir** sağlamak
- Araştırma, teknoloji ve dijitalleşme desteği ile dünya ile **rekabet gücünü** artırmak
- Çiftçiler arasında **iş birliğini artırmak** ve gıda zincirindeki konumunu iyileştirmek
- Tarım kaynaklı **sera gazı salımını** ve bunun iklim değişikliğine olan etkisini azaltmak
- Tarımın **çevreye** olan **olumsuz etkilerini** azaltmak
- Doğal yaşam alanlarını ve **biyolojik çeşitliliği** korumak
- **Genç neslin tarıma ilgisini** arttırmak
- Kırsal alanlarda **istihdam**, büyüme, cinsel eşitlik ve canlılığı arttırmak
- Sürdürülebilirlik çerçevesinde **sağlıklı ve besleyici gıda** üretmek
- Dijitalleşme ile modern tarım konusunda **bilgi ve yeniliğe** teşvik etmek.

Avrupa Komisyonu (EC) tarafından 2021 yılında yayınlanan “**Eko-Plan Programı ile Desteklenecek Potansiyel Tarım Uygulamaları Listesi**” başlıklı raporda; AB’nin tarımsal üretime ilişkin **2030 yılına kadar** gerçekleştirmeyi planladığı “**yeşil mutabakat**” (green deal) politika hedefleri şu şekildedir (Avrupa Komisyonu, 2021)⁸⁶:

- **Kimyasal pestisitlerin** genel kullanımı ve risk seviyesinin %50 oranında azaltılması ve tehlikeli pestisit kullanımının %50 oranında azaltılması
- AB’deki tarım arazilerinin en az %25’inin **organik tarıma** tabi tutulması ve organik su ürünleri yetiştiriciliğinde önemli artış sağlanması
- Çiftlik hayvanları ve su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan **antimikrobiyallerin** %50 oranında azaltılması
- Toprak verimliliğini düşürmeden, **toprak besin elementi kayıplarının** en az %50 azaltılması (bu gübre kullanımını en az %20 azaltacaktır)
- Tarım alanlarının en az %10’unun **yüksek biyo-çeşitliliğe** sahip doğal alan özelliklerine kavuşturulması

Mevcut AB tarım politikaları kapsamında Avrupa’da sürdürülebilir ve çevreci yenilikler ile tarımsal üretim yapan çiftçilere **Eko-programlar** (Eco-schemes) adı verilen destek programı kapsamında **mali destek ödemeleri** yapılması planlanmaktadır. Ancak, Eko-programlarla desteklenecek tarımsal uygulamaların aşağıda sıralanan 4 koşulu sağlaması gerekmektedir:

- 1) İklim, **çevre, hayvan refahı** ve antimikrobiyal direnç öncelikli üretim faaliyetlerinde bulunmak
- 2) Ülkesel ve bölgesel düzeyde belirlenen ihtiyaçlar ve **önceliklere göre** belirlenen üretim faaliyetlerinde bulunmak
- 3) Çiftçilerin; politikalarla belirlenen zorunluluk ve yükümlülüklerin ötesinde **gönüllülük ve isteklilik** göstermesi
- 4) AB **Yeşil Mutabakat hedeflerine** ulaşılmasına katkıda bulunmak.

Tarım ile ilgili konularda faaliyet gösteren ABD merkezli düşünce kuruluşu “**Institute for Agriculture and Trade Policy (IATP)**” internet sitesinde K. Hansen-Kuhn imzasıyla yayınlanan “**Krizi Yeniden Ele Almak: Otuz Yıllık Başarısız Tarım Politikası**” başlıklı makalede (IATPa, 2020)⁸⁷ tarımsal üretim faaliyetlerinin sebep olduğu “**doğal kaynaklarda kirlilik**” konusundaki politikalara ilişkin özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

- 1972’de yürürlüğe giren “**Federal Temiz Su Yasası (CWA)**”, ABD genelinde “**balık tutulabilir su**” ve “**yüzülebilir su**” kalitesi ikili hedefiyle birlikte “suların kimyasal, fiziksel ve biyolojik bütünlüğünü yeniden sağlamayı ve korumayı” amaçlamıştır. Ancak, geçen süre zarfında bu hedeflere ulaşamamış ve tarımsal kirleticileri kontrol etme konusundaki **kurumsal başarısızlık** bunun önemli nedeni olmuştur.

- Tarımdan kaynaklanan kirliliği kontrol altına almayı amaçlayan **yasalar uygulanış şekliyle zayıftır**; büyük çiftlik ve tarım işletmeleri çıkarları, koruyucu standartlar ve uygulamalar hedeflere ulaşmayı engellemektedir.

“**Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD)**” tarafından 2022 yılında yayınlanan “**Tarımsal Dijitalleşmede Güveni Artıracak Politikalar**” başlıklı raporda (OECD, 2022)⁸⁸ akıllı ve hassas tarım konusunda **çiftçilerin bazı çekinceleri**, güven sorunu olduğu ve bunu önlemek için **düzenlenebilecek politikalar** ele alınmıştır. Raporda verilen bilgiler aşağıda özetlenmiştir:

Birçok alanda olduğu gibi akıllı ve hassas tarım teknolojileri sektöründe de **büyük firmalar** küçük firmaları satın alarak **birden fazla hizmeti tek çatı** altında toplamaktadır. Bu durumda tarımsal üretimde bir sorunun belirlenmesi ve o sorunun çözümüne ilişkin teknolojiler **aynı firma tarafından sunulabilmektedir**. Örneğin; verim görüntüleme ve haritalama teknolojisi ve buna bağlı olarak değişken düzeyli gübre uygulama teknolojisini aynı firma sunabilmektedir. Böylece sorun belirleme ve çözüm önerisi firmanın lehine ve çiftçinin aleyhine olacak şekilde kötüye kullanılması mümkün olabilmektedir. Ayrıca verim düşüklüğü; tek bir faktöre (gübre gereksinimi) değil başka faktörlere (sulama, yabancı otlar, hastalık ve zararlılar, vb.) de bağlıdır. Diğer yandan önerilen değişken düzeyli uygulamanın verime ne kadar katkıda bulunacağına **ölçmek** imkânsız olmasa da çok zordur. Bu gibi faktörler çiftçilerin zihninde soru işareti doğurmakta ve **güvensizliğe** neden olmaktadır.

⁸⁷ www.iatp.org/documents/revisiting-crisis-design

⁸⁸ www.oecd.org/fr/publications/policies-to-bolster-trust-in-agricultural-digitalisation-5a89a749-en.htm

Çiftçilerdeki **güven eksikliği**ni ortadan kaldırmak için hükümetlerin politika geliştirme bazında yapabileceği bazı hususlar aşağıda özetlenmiştir:

- Bitki ve toprağa ilişkin sorunların belirlenmesine yönelik teknolojileri satan firmalar ile bu sorunları çözecek teknolojilerin satışını yapan firmaların birbirinden **ayrılmasını sağlamak**
- Kamu esaslı **tarımsal yayım** hizmetlerinin ve çiftçilerin teknolojik eğitimini güçlendirmek
- Teknoloji satıcıları ve çiftçiler arasında etkili **risk paylaşımının** geliştirilmesi ve işleyişinin kolaylaştırılması
- Dijital tarım teknolojilerinin test edilmesi ve sertifikalandırma işlemine ilişkin **standartizasyonunun** geliştirilmesi.



3.2.2. Türkiye’de Akıllı Tarıma İlişkin Politikalar

2019-2023 yıllarını kapsayan **Türkiye 11. Kalınma Planı**’nda “**dijital, çevreci, sürdürülebilir ve akıllı tarım**” konularına değinilmiş olup aşağıda özetlenen öncelikli gelişme alanları, politika ve tedbirlere vurgu yapılmıştır (SBB, 2019)⁸⁹:

- **Dijitalleşme, yapay zekâ ve veriye dayalı iş modelleri** ile tarımsal bilgi sistemlerinin geliştirilmesi ve tüm kesimlerin kullanımına açılması
 - Tarımda suyun verimli kullanılmasına yönelik su tasarrufu sağlayan yağmurlama ve damla sulama gibi **modern sulama sistemlerinin** yaygınlaştırılması
 - Tarımsal kaynaklı **su kirliliğini önlemeye** yönelik tedbirlerin yaygınlaştırılması
 - Örtü altı yetiştiriciliğine yönelik **modern seraların kurulması**, mevcut seraların modernize edilmesi, büyütülmesi, paketleme tesisleri ve depo yapımı için yatırım ve işletme finansman desteği sağlanması
 - **Akıllı tarım teknolojileri** başta olmak üzere **yenilikçi ve çevreci üretim** tekniklerinin geliştirilmesi ve desteklenmesi.

Son yıllarda **tarımsal kaynaklı çevre ve doğal kaynak kirliliği** birçok gelişmiş ülkede olduğu gibi ülkemizde de önem verilen bir konu haline gelmiştir. Bu kapsamda tarımsal kaynaklı nitratın suda neden olduğu kirlenmenin tespit edilmesi, azaltılması ve önlenmesi amacıyla 2004 yılında “**Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği**” çıkarılmıştır (Resmî Gazete, 2004)⁹⁰. Bu yönetmeliğe göre su içindeki **kritik nitrat değeri sınırı 50 mg/L** olarak belirlenmiştir.

Ülkemizde 2010 yılında Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB) tarafından “**İyi Tarım Uygulamaları (İTU)**” konusunda yönetmelik yayınlanarak bu yöntemle yapılan kayıtlı ve **sertifikalı** üretime **mali destek** verilmeye başlanmıştır (RG, 2010). Yönetmelikte 2011, 2014, 2019 ve 2020 yıllarında değişiklik ve güncelleme yapılmıştır. (TOB, 2023). Yönetmelik; **çevre, insan ve hayvan sağlığına zarar vermeyen** bir tarımsal üretimin yapılması, **doğal kaynakların korunması**, tarımda **izlenebilirlik ve sürdürülebilirlik** ile **güvenilir ürün arzının** sağlanması için gerçekleştirilecek iyi tarım uygulamalarının usul ve esaslarını düzenlemek amacıyla çıkarılmıştır. **İyi Tarım Uygulamaları** konusunda bazı önemli kurallar aşağıda özetlenmiştir (TOB, 2023)⁹¹:

- İTU kaliteli ve verimli bir tarımsal üretim ve **güvenli gıda** tüketimi açısından önemlidir. Bu uygulamalar ile üreticilerin kazancı ve rekabet gücü artar, **tüketicilerin sağlığı** da korunmuş olur.

- Toprak sağlığının korunması, tarım ilaçlarına bağımlılığın azaltılması ve bitki sağlığının maksimum düzeyde sağlanabilmesi için **dönüşümlü üretim** yapılmalıdır.

- Uygun zamanda ve miktarda gübre kullanımı için toprak analizleri yılda en az bir defa, yaprak analizleri ihtiyaç duyulduğunda yaptırılır. Gübreleme, bitkinin **ihtiyaç duyduğu miktarda ve zamanda** yapılmalıdır.

- Sulama, gübreleme, ilaçlama, pestisit kullanımı ve diğer bütün işlemler **kayıt altına alınır**, yapılacak **kontroller için saklı tutulur**. Sulama suyu kaynağı yılda en az bir kez mikrobiyal, kimyasal ve mineral **kirleticiler bakımından analiz ettirilir**.

- Hastalık ve zararlılarla mücadelede “**Entegre mücadele yöntemi**” doğrultusunda öncelikle kültürel, mekanik, biyolojik ve biyoteknik mücadele tedbirleri uygulanır, son çare olarak **gerekliyse kimyasal mücadele yapılır**.

- Ürünler, TOB tarafından yetkilendirilmiş kuruluşlar tarafından “**İyi Tarım Ürünü Sertifikası**” ile belgelendirilir.

⁹⁰ www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2004/02/20040218.htm#2

⁹¹ www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Lyi-Tarim-Uygulamalari

3.3. Akıllı Tarımın Gelişimi Önündeki Fırsatlar

Ulusal- uluslararası yönetimler ve kuruluşlar yakın gelecekte dünyayı ne gibi **sorunların** (nüfus artışı, gıda güvenliği, küresel ısınma, çevre kirliliği, sağlıklı gıdalar, vb.) beklediğinin farkındadır ve bu durum birçok raporda dile getirilmektedir. Ulusal ve uluslararası yönetimler, akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin **yaygınlaşması** için **teşvikler** sağlamaktadır. Dünyada ve Türkiye’de faizsiz veya düşük faizli kredi imkânları sunulabilmektedir. Örneğin; ülkemizde geçmiş yıllarda devlet teşviği ile yaklaşık 500 adet biçerdövere **verim görüntüleme sistemi** monte edilmiştir. Benzer şekilde son yıllarda **otomatik dümenleme** sistemleri için de mali teşvik uygulanmıştır.

Akıllı ve hassas tarım teknolojileri mevcut en düşük kaynakla daha yüksek miktarda ürün yetiştirilmesine olanak sağlaması, **verimi ve karlılığı artırması**, eş zamanlı olarak **çevre ve doğal kaynakları koruma**, küresel ısınmayı azaltma, daha az enerji ve iş gücü ile tarımsal üretimin gerçekleştirilebilmesi gibi **yararlar sunmaktadır**. Ancak, ülke yönetimi bu teknolojilerin kullanımını çiftçileri isteğine bırakmamalı, gerekli destekleri ve özendirmeleri sağlamalıdır.

Akıllı teknolojilerin kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla uygulanan **mali teşviklerin** yanı sıra aşırı kimyasal gübre ve pestisit kullanımını önlemeye yönelik **cezai yaptırımlar** da etkili olabilmektedir. Avrupa ülkelerinde uygulanan bu tür yaptırımlar **değişken düzeyli gübreleme ve ilaçlama** teknolojilerinin yaygınlaşmasında olumlu etkide sağlamaktadır. Ayrıca, Avrupa ülkelerinde karayolu, denizyolu ve havayolu taşıtlarına benzer şekilde traktör ve diğer kendi yürür tarım makineleri için de **egzoz gazı emisyon sınırlamaları** getirilmiştir. Bu sınırlamalar da **elektrikli, hibrit motorlu ve alternatif yakıtlı (hidrojen gibi) traktörlerin** yaygınlaşması için önemli fırsatlar sunmaktadır.

Yönetimlerin uyguladığı **teşvik ve cezai yaptırımların** yanı sıra elektrik, elektronik, bilişim, algılama, sensör, veri iletimi, veri işleme, veri iletimi ve karar verme işlemlerindeki (ICT) **teknolojik gelişmeler** de tarımda yenilikçi uygulamaların gelişimini desteklemektedir. Yapay zekâ uygulamaları, nesnelerin interneti, blokzincir, büyük veri analizi ve yapay zekâ gibi teknolojileri de akıllı ve hassas tarım sistemlerinin başarısını daha da artırmakta, **yaygınlaşmasına** olanak sağlamaktadır.

3.4. Akıllı Tarımın Gelecekteki Durumuna İlişkin Eğilimler

Akıllı, hassas ve dijital tarım teknolojileri tüm dünyada hızlı bir şekilde gelişmekte ve kullanımını artmaktadır. Yakın gelecekte istikrarlı bir şekilde büyümeye devam etmesi beklenmektedir.

ABD merkezli “**Markets and Markets**” isimli pazar araştırma kuruluşunun hazırladığı “**Hassas Tarım Pazarı**” başlıklı rapora göre; 2023 ve 2031 yılları arasında **küresel hassas tarım pazarı** büyüklüğünün 8 yıl içerisinde **kümülatif yıllık %10.7** artış oranı ile 9.7 milyar ABD dolarından, 21.9 milyar ABD dolarına çıkacağı öngörülmektedir (Markets and Markets, 2023)⁹².

ABD merkezli başka bir Pazar araştırma kuruluşu olan “Vantage Market Research”ün “Dijital Tarım Pazarı” başlıklı raporuna göre; küresel dijital tarım pazarı büyüklüğünün 7 yıl içerisinde **kümülatif yıllık %10.7** artış ile 2021 yılında 12.8 milyar ABD dolarından 2028 yılında 22.1 milyar ABD dolarına yükseleceği bildirilmiştir (Globenewswire, 2022)⁹³. Raporda ayrıca şu önemli noktalara vurgu yapılmaktadır:

- Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan ekonomilerin yaptığı yüksek yatırımların yakın gelecekte **dijital tarım pazarı talebinde artışa** neden olması bekleniyor.
- Ayrıca, yıllar içinde ABD yönetiminin tarım ve tarım teknolojileri sektörüne **destekleyici yönde uyguladığı politikalar** ile yaptığı **destekleri arttıracığı** ve bu desteklerle 2021-2028 döneminde dijital tarım pazarının daha da büyümesi beklenmektedir.
- Nüfus artışı ve artan gıda talebiyle birlikte çiftçilerin dijital tarım ekipmanlarını kullanmak zorunda kalacağı, dijital tarımın; çiftçinin en düşük mevcut kaynakla **yüksek miktarda ürün** yetiştirmesine yardımcı olacağı, eş zamanlı olarak **çevre ve doğal kaynaklar korunurken daha az enerji ve iş gücü** ile tarımsal üretim gerçekleştirilebilecektir.



Mevcut olarak dünyada birçok ülkede ve Türkiye’de akıllı ve hassas tarım teknolojileri içerisinde GNSS esaslı **tam otomatik dümenleme** sistemleri **en çok kabul gören** ve kullanılan teknoloji durumundadır. Yarı otomatik (ışıklı göstergeli) dümenleme sistemlerinin kullanım düzeyi azalma eğilimindedir. Ülkemizde çiftçiler; otomatik dümenleme teknolojilerinden, operatörün daha az yorulması, ilaçlama ve gübrelemede daha az örtüşme, daha az tarımsal girdi kullanımı (yakıt, su, tohum, gübre, tarım ilacı vb.), zamandan tasarruf ve verimde artış olmak üzere pek çok fayda elde ettiklerini bildirmektedir (Keskin ve ark., 2018)⁹⁴. Artık otomatik dümenleme sistemleri

⁹³ www.globenewswire.com/en/news-release/2022/07/25/2484816/0/en/Worldwide-Digital-AgricultureMarket-Size-2022-2028-To-Reach-USD-22.1-Billion-at-a-CAGR-of-9.6-Industry-Trends-Share-AndGrowth-Analysis-Vantage-Market-Research.html

⁹⁴ www.researchgate.net/publication/327286224

yeni tarım traktörleri için **standart bir teknoloji** olup yeni üretilen çok sayıda traktörlere alıcının isteğine bağlı olarak opsiyonlu **fabrika çıkışlı montaj** yapılmaktadır. Otomatik dümenleme teknolojisinin bir üst versiyonu ise tarımsal otonom (sürücüsüz) araçlar veya **tarım robotlarıdır**. Tarım robotlarının **açık arazide, hayvan barınaklarında ve seralarda** kullanılmaktadır.

ABD merkezli “**Report Linker**” isimli pazar araştırma şirketinin hazırladığı “**Tarımsal Otomatik Dümenleme Sistemleri Küresel Pazarı**” başlıklı rapora göre; 2022 ve 2027 yılları arasında dünya **tarımsal otomatik dümenleme** pazarı büyüklüğünün 5 yıl içerisinde yıllık **kümülatif %6,3** oranında artışla 2.1 milyar ABD dolarından 2.9 milyar ABD dolarına çıkacağı öngörülmüştür (Report Linker, 2023)⁹⁵. Raporda belirtilen bazı önemli hususlar aşağıda özetlenmiştir:

- Otomatik dümenleme sistemleri gübre, tarım ilacı ve su gibi tarımsal girdilerin kullanımının optimize edilmesine, **israfın azaltılmasına** ve ürün veriminin artırılmasına destek olduğundan bu sistemlerin kullanımında artış beklenmektedir.

- Kuzey Amerika ülkeleri (ABD ve Kanada) tarımsal otomatik dümenleme sistemi pazarının en büyük olduğu yerlerdir. “**ReAnIn**” isimli başka bir ABD merkezli pazar araştırma şirketinin hazırladığı “**Tarımsal Robotik Sistemleri Küresel Pazarı**” başlıklı rapora göre ise; 2022 ve 2029 yılları arasında dünya **tarımsal robotik sistemler** pazarı büyüklüğünün 7 yıl içerisinde **yıllık kümülatif %19,6** oranında artışla 6.0 milyar ABD dolarından 20.9 milyar ABD dolarına çıkacağı öngörülmektedir (ReAnIn, 2023)⁹⁶. Raporda belirtilen bazı önemli hususlar aşağıda özetlenmiştir:

- **Küresel robotik sistemler pazarı**; süt sağım robotları, sürücüsüz traktörler, otomatik hasat sistemleri, ZİHA’lar, bitki sayım teknolojileri, bitki durumunu izleme teknolojileri, otomatik sulama sistemleri, otomatik budama sistemleri, hava durumu izleme ve analiz sistemleri gibi otomatik sistemleri kapsamaktadır.

- Pazar payının en yüksek oranda **Kuzey Amerika ve Avrupa** ülkelerinde olacağı öngörülmektedir.

- Artan nüfus, işgücü kıtlığı, otomasyonun teşvik edilmesi, nesnelerin interneti (IoT) teknolojisi, GNSS konum ve yön bulma teknolojileri, tarımsal robotik sistemleri **geliştirici etkiye sahip** faktörlerdir.

- Ancak, sistemlerin **yüksek maliyeti** küçük çiftliklerde bu sistemlerin yaygınlaşmasını kısıtlamaktadır.

Sürücüsüz (otonom) tarım traktörleri ve elektrikle çalışan traktörlerin ilk prototipleri, başta ABD olmak üzere çeşitli ülkelerde deneme aşamasındadır ve çok yakın gelecekte kullanıma geçecektir. Ülkemizde de “**ZY Agrolia Elektrikli traktör**” ismi ile 75 kW güçte prototip yerli traktör üretilmiş olup, yakın zamanda seri üretime geçilmesi planlanmaktadır (ZY Agrolia, 2023)⁹⁷. Firmanın verdiği bilgilere göre; bu prototip elektrikli traktörün bazı temel özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Sessiz, daha verimli ve daha ekonomik
- Enerji maliyetlerinde %90'a varan tasarruf
- Daha düşük bakım ve onarım maliyetleri
- 75 kW güç, 5-7 saat çalışma süresi, 45-60 dakika şarj süresi
- Sıfır sera gazı emisyonu ve sıfır hava kirliliği

ABD merkezli “Allied Market Research” isimli pazar araştırma kuruluşunun “**Elektrikli Tarım Traktörleri Pazarı**” başlıklı raporunda (Allied Market Research, 2023a)⁹⁸; aşağıda özetlenen faktörlerin etkisiyle dünyada **elektrikli traktör pazarının** artma eğiliminde olduğu bildirilmektedir:

- Elektrikli traktörler daha az mekanik parçaya ve bu nedenle **daha az tamir bakım** masrafına sahiptir.

- Temiz ve sürdürülebilir tarım konusunda artan farkındalık, elektrikli traktör pazarının büyümesine yol açacaktır.

- **Küçük arazi sahibi çiftçilerin** düşük güç gerektiren uygulamalar için küçük elektrikli tarım traktörlerini benimsemesi beklenmektedir.

- Elektrik motorları iki kat torka sahiptir ve **daha ağır yükleri** çekebilmektedir. 60 BG güce sahip elektrikli traktör, 120 BG güce sahip dizel traktörün işini yapabilmektedir.

- Elektrikli traktörler çalışma sırasında sera etkisine ve küresel ısınmaya neden olan **egzoz emisyon gazları üretmez**. Hükümetler tarafından sıkı emisyon standartlarının uygulanması pazarın büyümesini hızlandırmaktadır. Örneğin Avrupa’da CO2 emisyonu hedefi 2030 yılı için 147 g/km olarak belirlenmiş olup bu değer 2018 yılı değerine göre %31’lik bir azalışa denk gelmektedir. Bu koşulu sağlayamayan motor üreticilerine **cezai yaptırım** uygulanacaktır. Bu nedenle içten yanmalı motor kullanımının azalması ve elektrikli traktörlerin yaygınlaşması beklenmektedir.

- **Fosil yakıtı dayalı araçların** aşamalı olarak kullanımdan kaldırılmasına ilişkin hükümet düzenlemeleri de elektrikli traktörler için önemli bir fırsattır.

- Bazı ülkeler, elektrikli tarım traktörü ve elektrikli tarım makinelerini kredi sağlama yolu ile **mali teşvik desteği** programına almaktadır.

Gelecekte büyük ölçekli tarım traktörü ve tarım makineleri yerine küçük ölçekli sürücüsüz ve otonom **tarım robotlarının** birden çok sayıda aynı anda **sürü (swarm) halinde** kullanılacağı ve nispeten küçük çiftlik ölçülerinde minimum üretim maliyeti elde etme kabiliyetine sahip olacağı düşünülmektedir (Lowenberg-DeBoer ve ark. 2019)⁹⁹. Almanya’nın Bavyera bölgesinde yapılan bir anket çalışmasında (Spykman ve ark. 2021)¹⁰⁰, ankete katılan çiftçilerin yaklaşık %22’sinin (n=174) **tarım robotlarına yatırım yapmayı** planladığı belirtilmektedir. Ayrıca, büyük arazi sahiplerinin büyük otonom traktörleri tercih ettiği ancak, küçük ölçekli veya **organik tarım** yapan çiftçilerin **çevreyi korumaya yönelik faydalarından dolayı** küçük tarım robotlarını tercih etmek istedikleri belirtilmiştir.

⁹⁸ www.alliedmarketresearch.com/electric-farm-tractor-market-A12253

⁹⁹ www.researchgate.net/publication/332653186

¹⁰⁰ <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106176>

Tarımda yaygın olarak benimsenen bir diğer teknolojinin ise **Zirai İnsansız Hava Araçları (ZİHA)** (drone) olması beklenmektedir. ZİHA'lar tarımda genellikle **iki amaç** için kullanılmaktadır. **Birincisi**, tarım arazisinin ve bitkilerin görüntülenmesi ve analizi, ikincisi ise havadan ilaçlama ve gübreleme uygulamasıdır.

ABD merkezli “**Market Research Future**” isimli pazar araştırma şirketinin hazırladığı “**Tarımsal Drone Pazarı**” başlıklı rapora göre; 2023 ve 2032 yılları arasında küresel ZİHA pazarı büyüklüğünün 10 yıl içerisinde **yıllık kümülatif %24.5** oranında artışla 5.1 milyar ABD dolarından 36.6 milyar ABD dolarına çıkacağı öngörülmektedir. (Market Research Future, 2023)¹⁰¹. Raporda belirtilen bazı önemli hususlar aşağıda özetlenmiştir:

- Hassas ve akıllı tarıma olan talebin giderek artması ve **ülke yönetimlerinin teşvik destekleri** ZİHA pazarının genişlemesine olanak sağlayan en önemli iki faktördür.
- **Döner kanatlı ZİHA'lar** sabit kanatlı olanlara göre daha yaygın olup, gelecekte de bu şekilde devam etmesi beklenmektedir.
- ZİHA pazarında sırasıyla **Kuzey Amerika ülkeleri**, Asya-Pasifik ülkeleri ve Avrupa ülkeleri ilk üç sırada yer almakta ve gelecekte bu şekilde devam edeceği tahmin edilmektedir.

ZİHA'ların hem uzaktan algılama hem de havadan pestisit ve gübre uygulanmasının artan oranda kullanılması beklenmektedir. Ancak, ZİHA'ların tam dolu batarya ile sınırlı sürede havada kalması ve sınırlı miktarda alanı kapsamaması, güvenlik nedeniyle sıkı uçuş düzenlemeleri ve riskli bölgelerde (havalimanları, askeri bölgeler, ülke sınır bölgeleri, vb.) uygulanan uçuş yasakları gibi bazı **olumsuz yanları** bulunmaktadır. Bu nedenle, ZİHA'larla birlikte uzaktan görüntüleme ve algılama amacıyla daha sık (neredeyse günlük) veri elde edebilen **uzaktan algılama uydularının**, tarımda algılama amacıyla gelecekte daha yaygın olarak kullanılması beklenmektedir.

Dijital tarım teknolojilerinde en önemli konulardan biri ise **internet bağlantısıdır**. Artık algılama ve kontrol sistemlerinin **bulut bilişim, nesnelerin interneti** teknolojileri ile internete bağlanması ve veri alış-verişinde bulunması şeklindeki uygulamalar yaygınlaşmaktadır. Ancak, özellikle **kırsal bölgelerde internete erişim** mevcut durumda mümkün olmamaktadır. İnternet bağlantısı olmayan çok sayıda tarım arazisi mevcuttur. İnternet olan kırsal kesimlerde de **kesintiler ve düşük bağlantı hızı** sorunları yaşanabilmektedir. Yakın gelecekte **uydu esaslı internet teknolojisi** ile bu sorunun çözülebileceği düşünülmektedir.

Çevre ve enerji konularında ABD merkezli bir düşünce kuruluşu olan “**Environmental and Energy Study Institute (EESI)**” internet sitesinde 2021 tarihli ve J. Tolbert ve R. Snead imzalı “**Dijital Uçurumun Kapatılması: Kırsal İnternet Topluma ve İklim Nasıl Fayda Sağlıyor?**” başlıklı bir yazıda (EESI, 2019)¹⁰² özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

- Artan **geniş bant internet erişimi** kırsal kesimde nüfus artışına, yeni iş imkânlarının oluşmasına, **istihdamın artmasına** ve işsizliğin azalmasına katkıda bulunur.

- Hızlı internet erişimi tarımsal üretimi de olumlu etkiler. Araştırmalar, geniş bant internet hizmetinin **çiftlik kârlılığında %3 artış** sağlayabileceğini ortaya koymuştur.
- ABD Tarım Bakanlığı (USDA), dijital tarım teknolojileriyle birlikte geniş bant internet erişiminin **ekonomiye fazladan 47-65 milyar dolarlık bir katkı** sağlayacağını düşünmektedir.



ABD merkezli diğer bir düşünce kuruluşu olan “McKinsey & Company” internet sitesinde Goedde ve ark. (2020)¹⁰³ tarafından yazılan ve “**Tarımda İnternet Bağlantısının Önemi**” başlıklı raporda özetle şu bilgilere yer verilmiştir:

- Tarım sektörünün; artan gıda talebini karşılayabilmek için **internet bağlantısı** esasına dayanan **dijital bir dönüşümü** benimsemesi şarttır.
- **Sağlam bir internet bağlantı altyapısı** olmadan tarımdaki gelişmelerin hiçbiri mümkün değildir. İnternet bağlantısı başarılı bir şekilde sağlanırsa, sektör 2030 yılına kadar “**küresel**” **gayri safi hasılaya** 500 milyar ABD doları ek değer katabilir. Bu değer beklenen değerlerin %7-9 artması anlamına gelmektedir.
- İnternet bağlantısı konusunda öncü bir ülke olan **ABD’de** bile, çiftliklerin **yalnızca dörtte biri** internet bağlantılı ekipman kullanmakta ancak bu teknoloji tam olarak en gelişmiş teknoloji olmayıp, 2G veya 3G düzeyindedir.
- 3G ve 4G ağlarla çalışan mevcut **nesnelerin interneti** (IoT) teknolojileri ise genel olarak bitkilerin ve hayvanların izlenmesi için yeterli düzeydedir.
- Bazı bölgelerde kırsal alanlarda internet bağlantısı hiç bulunmamakta veya çok zayıf düzeydedir. Gelecekte 5G ve dünyaya yakın **uydularla sağlanacak internet bağlantısı**, IoT teknolojisi ile internete bağlı algılama ve kontrol sistemlerinin daha hızlı ve güvenilir olmasını sağlayacaktır. Bu hizmetin devreye girmesiyle en uzak kırsal bölgelerde bile **hızlı, kaliteli ve güvenli internet bağlantısı** mevcut olacaktır.

¹⁰³ www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agricultures-connected-future-how-technology-can-yield-new-growth

• Gelişmiş internet bağlantısı 2030 yılına kadar tarımda birçok uygulamada **dijital dönüşümü hızlandırma** potansiyeline sahiptir. Bunlar temel olarak bitki durumunu izleme, ZİHA, hayvan durumunu izleme, otonom traktör, makineler ve akıllı tarımsal yapıların izlendiği uygulamalardır.

İnternet bağlantı altyapısındaki gelişmelere paralel olarak yakın gelecekte tarımda “**nesnelerin interneti**” (IoT) kullanımının da artması beklenmektedir. ABD merkezli “**Oliver Wyman**” isimli düşünce ve danışmanlık kuruluşunun 2018 tarihli ve “**Tarım 4.0: Tarım Teknolojilerinin Geleceği**” başlıklı raporda özet olarak şu bilgilerle yer verilmiştir (Oliver Wyman, 2018)¹⁰⁴:

• 2020 yılına kadar çiftliklerde 75 milyondan fazla **IoT cihazının kullanılması** beklenmektedir. Ayrıca, ortalama büyüklüğe sahip bir çiftlikte günlük üretilen veri sayısının 2014 yılında 0,2 milyondan yaklaşık 20 kat artarak 2050 yılında günlük 4.1 milyona çıkması beklenmektedir.

• IoT tabanlı sensörlerin ürettiği çok yüksek hacimli verilerin güvenli bir şekilde toplanması, saklanması ve işlenmesine olan gereksinim sebebiyle **blokzincir, büyük veri ve bulut bilişim** teknolojilerinin de hızla büyümesi beklenmektedir.

ABD merkezli diğer bir pazar araştırma kuruluşu “**Allied Market Research**”ün hazırladığı “**Tarımsal IoT Pazarı**” başlıklı rapora göre; 2021 ve 2031 yılları arasında **dünya tarımsal IoT pazarı** büyüklüğünün 10 yıl içerisinde yaklaşık **kümülatif yıllık %12,6** artışla 27.1 milyar ABD dolarından 84.5 milyar ABD dolarına çıkacağı öngörülmektedir (Allied Market Research, 2023b)¹⁰⁵. Raporda belirtilen bazı önemli hususlar aşağıda özetlenmiştir:

• IoT, algılama ve kontrol sistemlerini **internete bağlayarak** veri alışverişinde bulunmalarını sağlayan ve hızla gelişen bir sektördür. Bu teknoloji çiftçilere; sensörler ve cihazlar ile ürün verimini optimize etmek ve su kullanımını azaltmak için toprak nemini, sıcaklığını, vb. özellikleri **uzaktan izlemesine** olanak sağlamaktadır. Bu durum IoT çözümlerine olan talebin artmasına yol açmaktadır.

• Tarım arazilerine ilişkin **gerçek zamanlı veri** toplama, veri depolama, veri analizi ve kontrol sistemlerinin geliştirilmesi yoluyla **verimliliği arttırmak ve enerji israfını en aza indirmek** mümkün olmaktadır.

• Hassas tarım, hassas hayvancılık, akıllı sera ve akıllı balık çiftliklerinde IoT tabanlı uygulamaların, tarımsal üretimin artırılmasında etkili olması beklenmektedir.

• IoT cihazları için daha hızlı ve daha güvenilir bağlantı olanağı sağlayan 5G teknolojisinin yaygınlaşması, tarımda IoT kullanımını arttırması öngörülmektedir.

• IoT sistemleri içerisinde **programlama ve yazılım**, 2021 yılında küresel pazarın lider segmenti olmuş ve gelecekte de olmaya devam edeceği beklenmektedir.

• Bölge bazında **Asya-Pasifik ülkeleri**, bölgedeki nüfus artışı ve gıda talebinin artması nedeniyle **en büyük IOT pazarı** durumundadır.

• Gelecekte dijital tarımın **IoT tarafından tanımlanması** beklenmektedir. Gerçek zamanlı tarım süreçlerini kaynaklardan gelen veri girişleriyle birleştirerek, her cihaz ve makinenin operasyon ve tasarımına akıllı sistemlerin dâhil edileceği öngörülmektedir.

Mevcut durumda kullanımı kısıtlı olan **değişken düzeyli uygulama** (variable rate application: VRA) teknolojisinin de gelecekte daha geniş çapta kullanılması beklenmektedir. Bir rapora göre, ABD’de 2015 yılında yaklaşık 40.000 olan VRA sistemi satışının 2023 yılında 330.000 bine ulaşacağı tahmin edilmektedir (Kanicki, 2017)¹⁰⁶.

3.5. Akıllı Tarımın Gelişimi Önündeki Riskler, Tehditler ve Olası Önlemler

Akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin kullanımı hızla artsa da bazı faktörler bu teknolojinin gelişimi ve kullanımını kısıtlayıcı yönde etki edebilir. ABD’de İç Güvenlik Bakanlığı için hazırlanan bir rapora göre akıllı tarım teknolojilerinin yaygınlaşmasına yönelik **tehditler** üç başlık altında toplanmıştır (PPAEP 2018)¹⁰⁷:

1) Veri mahremiyetine yönelik tehditler: Veri mahremiyeti veri hırsızlığı, gizli ve özel bilgilerin izinsiz yayınlanması, İHA'lara yabancı erişimi, gizli ve özel verilerin satışı gibi tehditleri içermektedir.

2) Veri bütünlüğüne yönelik tehditler: Verilerin tahrif edilmesi, uygun olmayan şekilde modellenmiş algoritmalar, bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetlerine zarar verilmesi gibi istenmeyen sonuçlara neden olabilir.

3) Ekipmanın kullanımına yönelik tehditler: GNSS konum belirleme uydularına veya yer sistemlerine zarar verilmesi, kasıtlı veya kasıtsız olarak **sinyallerin bozulması ve engellenmesi**, sinyal kaybı, konum hatası düzeltme sinyallerinin kesintiye uğraması, kırsal iletişim sistemlerinde kesinti, ekipman ve makinelere yabancı erişimi gibi riskleri kapsar. Ayrıca, kapalı bitkisel ve hayvansal üretim sistemlerinde yemleme, sulama, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerine **siber saldırılar** düzenlenmesi de önemli tehditlerden biridir.

ABD’de akıllı ve hassas tarım sistemi bayilerine yönelik yapılan anketin sonuçlarını kapsayan bir raporda (Erickson ve ark. 2017)¹⁰⁸, hassas tarım teknolojilerinin yaygınlaşmasında görülen **en önemli üç engelin**; akıllı tarım teknolojileri konusunda **uzman personel** tedarikindeki zorluklar (%62), ekipman marka ve modellerinin hızlı değişimi nedeniyle **maliyet artışı** (%50) ve farklı marka ve model ekipmanlar arasındaki veri iletim **uyumsuzluklarının olmasıdır** (farklı veri formatı, veri paylaşımı sorunları, vb.) (%41). Aynı raporda çiftçiler açısından en önemli üç engelin ise: çiftliklerin **düşük gelir düzeyi** (%65), akıllı tarım hizmetlerinin **yüksek maliyeti** (%34) ve çiftçilerin değişken düzeyli uygulamalara olan **güven eksikliği** (%24) olduğu belirtilmiştir.

¹⁰⁶ www.farm-equipment.com/articles/14522-will-ag-lead-the-way-in-autonomous-vehicles

¹⁰⁷ www.dhs.gov/sites/default/files/publications/2018%20AEP_Threats_to_Precision_Agriculture.pdf

¹⁰⁸ www.agribusiness.purdue.edu/wp-content/uploads/2019/07/croplife-purdue-2017-precision-dealer-survey-report.pdf

ABD’de akıllı ve hassas tarım hizmetleri sunan bayiler, bu alandaki en büyük sorunlardan birinin **akıllı ve hassas tarım uzmanı** bulmada yaşanan zorluk olduğunu bildirmektedir. Bu sorun, akıllı ve hassas tarım konusunda iki yıllık ve dört yıllık eğitim programlarının açılması ile çözülebilir. Bu nedenle bu sorunu gidermek amacıyla özellikle ABD gibi gelişmiş ülkelerde akıllı ve hassas tarım teknolojilerine yönelik **iki yıllık eğitim ve öğretim programlarının** artış göstermesi dikkat çekicidir.

Nesnelerin interneti (IoT) teknolojisi kapsamında internete bağlı cihazların kullanımı da akıllı tarım sistemlerinde **güvenlik açıkları** oluşturabilir. Siber saldırılar ve bilgisayar korsanları bu güvenlik açıklarından yararlanabilir ve arazi sensörleri, otonom traktörler, biçerdöverler ve İHA’lar arasındaki veri iletim güvenliğini bozabilir. Ek olarak, önemli teknik, ekonomik sorunlara ve zararlara neden olabilir (Sontowski ve ark. 2020)¹⁰⁹. ABD ve Kanada’da son yıllarda çiftliklerden ve tarımla ilgili **şirketlerden fidye talep** eden **siber saldırılar** artış eğilimi göstermektedir (Griffiths, 2022)¹¹⁰. Ancak şifreleme, blokzincir gibi veri koruma teknolojilerindeki ilerlemeler, veri paylaşımına yönelik teknolojik gelişmelerle birlikte, gerektiğinde gizliliği korurken, erişimi genişletme ve tarımsal verilere erişim işlem maliyetlerini azaltma fırsatını sunması beklenmektedir (OECD, 2019)¹¹¹.



Veri mahremiyeti ve veri gizliliğinin risk altında olması da akıllı tarım sistemleri için önemli bir tehdit olarak değerlendirilmektedir. ABD’de 561 tahıl üreten çiftçi ile yapılan çevrimiçi bir ankette katılımcıların **yalnızca %36’sı** tarımsal üretimlerine ilişkin üretim verilerini büyük bir veri platformuyla **paylaşmaya** hazır olduklarını bildirmiştir. Çiftçilerin verilerini akademisyen ve üniversite araştırmacıları ile paylaşmak konusunda daha istekli olduğu; ancak küçük düzeyli mali ve mali olmayan desteğin çiftçilerin veri paylaşma isteğini önemli ölçüde artırdığı bildirilmiştir (Turland ve Slade 2019)¹¹².

62 ¹⁰⁹ https://ebiquity.umbc.edu/_file_directory_/papers/1031.pdf
¹¹⁰ www.agweb.com/news/business/technology/protect-your-farm-dont-let-cyberattacks-hold-your-dataransom
¹¹¹ <https://doi.org/10.1787/571a0812-en>
¹¹² <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agr.21627>

Tarım traktörleri ve hassas tarım ekipmanlarının farklı model ve markaları arasındaki veri iletiminde yaşanan **uyumsuzluk**, bu teknolojilerin yaygınlaşmasında önemli bir sorun ve tehdit olmuştur (Pathak ve ark. 2019)¹¹³. Ancak, **ISOBUS teknolojisi** bu soruna bir çözüm olarak sunulmuştur. Bu teknoloji sayesinde ISOBUS uyumlu bir traktör ve traktöre bağlı olan ISOBUS uyumlu bir tarım makinesi (ekim, gübreleme, ilaçlama makinesi, vb.) sorunsuz bir şekilde veri iletişimde bulunabilmekte ve sorunsuz çalışabilmektedir.

Son zamanlarda dünya çapında söz sahibi olan çok büyük traktör ve tarım makineleri üreticileri ürettikleri traktör ve makinelerin arızalanması durumunda **tamirinin sadece kendi servislerinde** yapılmasını istemekte ve bu yönde önlemler almaktadır. Bu **makine onarım hakkının** (right to repair: R2R) çiftçilere verilmemesi akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin yaygınlaşmasının önündeki bir başka engel olarak değerlendirilebilir. Çiftçiler, onarım maliyetlerini azaltmak için traktör ve ekipmanları istedikleri yerde onarma seçeneğine sahip olmak istemektedir. ABD’de bazı senatörler bu sorunu çözmek üzere çiftçilere **makine onarım hakkı** sağlanmasına yönelik yasa tasarıları hazırlamışlardır (Fatka 2022)¹¹⁴.

3.6. Akıllı ve Hassas Tarımın Olumsuz Yönleri

Hassas ve akıllı tarımın birçok faydasına rağmen bazı **olumsuzluklara** da neden olabileceği bildirilmektedir.

Tarım ile ilgili konularda faaliyet gösteren ABD merkezli düşünce kuruluşu “**Institute for Agriculture and Trade Policy (IATP)**” internet sitesinde S.Suppan imzasıyla yayınlanan “**Krizi Tasarım Yoluyla Yeniden İncelemek: Tarım Teknolojisi Çarkı**” başlıklı makalede (IATP, 2020b)¹¹⁵ akıllı ve hassas tarımın yararının yanı sıra bazı **olumsuzluklara** da neden olduğu vurgulanarak özetle şu bilgilere yer verilmiştir:

- Tarım teknolojileri, tarımsal ürünlerin **yüksek miktarda üretilmesine** olanak tanıırken, **ürün fiyatları ve çiftçi gelirlerinin azalmasına**, buna bağlı olarak çiftçilerin devlet desteğine bağımlı kalmasına neden olmaktadır.
- Tarım teknolojilerinin kullanımı ve yaygınlaşması konusunda elde edilen istatistik veriler, özellikle gelişmekte olan ülkelerde teknolojilerin **kırsal alanlarda yaşayan topluluklar üzerindeki etkilerini** ölçmemektedir.
- Çevreye verilen zararı azaltırken verimi artırmayı hedefleyen “Hassas tarım teknolojileri”nin **monokültür uygulamaları** (bir bölgede sürekli aynı bitkilerin yetiştirilmesi), özellikle genetiği değiştirilmiş bitkilerin zararlı etmenlere (böcek, hastalık, vb.) ve yabancı otlara karşı **dayanıklılığının azalmasına** neden olmaktadır.

¹¹³ <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09653-x>

¹¹⁴ www.farmprogress.com/cotton/sen-tester-s-bill-gives-farmers-right-to-repair-

¹¹⁵ www.iatp.org/documents/revisiting-crisis-design-agricultural-technology-treadmill

Tarım ile ilgili konularda faaliyet gösteren Belçika merkezli düşünce kuruluşu “Farm Europe” internet sitesinde yayınlanan “Dijital Tarımın Ekonomik ve Çevresel Performansı” başlıklı makalede (Farm Europe, 2019)¹¹⁶ özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

- Dijital teknolojiler arasında yer alan hassas tarım; Avrupa’da **verim artışı, daha az kimyasal girdi** kullanımına imkân sağlaması **verimlilik ve sürdürülebilirliğin** birlikte geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

- Çiftliklere yönelik tehditleri en aza indirmek için, bu teknolojilerin kullanımına ilişkin bir **Avrupa mevzuat çerçevesinin** uygulamaya konulması gerekmektedir.

“Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD)” tarafından 2022 yılında yayınlanan “**Tarımsal Dijitalleşmede Güveni Artıracak Politikalar**” başlıklı raporda (OECD, 2022)¹¹⁷ akıllı ve hassas tarım konusunda **çiftçilerin bazı çekinceleri ve güven sorunu** olduğu ve bunu önlemek için düzenlenebilecek politikalar ele alınmıştır. Raporda verilen bilgiler aşağıda özetlenmiştir:

- Çiftçiler bazı nedenlerden dolayı akıllı ve hassas tarım teknolojilerine karşı **yeterince güven duymamakta** ve bu durum teknolojilerin yaygınlaşmasını önleyen önemli sorunlardan biridir.

- Bu **güven eksikliğinin sebepleri** arasında; yüksek maliyet, teknolojilerin karmaşıklığı, kullanım zorluğu, uzman insan kaynağı gereksinimi ve teknolojik riskler bulunmaktadır. Bu faktörler 4 başlıkta toplanabilir:

- 1) Veri gizliliği, **veri güvenliği** ve veri paylaşımı konusunda duyulan güven eksikliği

- 2) Dijital teknolojilerin satışında ve çiftçilerin alacağı ürünün performansı hakkında satıcılar tarafından verilen bilgilere olan **güvensizlik**

- 3) Teknolojilerden bazılarının **karmaşıklığı** nedeniyle çalışma ilkesinin öğrenilmesinde, kullanımında, tamirinde ve bakımında yaşanabilen zorluklar

- 4) Dijital teknoloji işleyişinin karşılaştırılması ve belgelendirilmesine yönelik test **standartlarının eksikliği**.

Benzer şekilde, tarım ve gıda konusunda ABD merkezli bir düşünce kuruluşu olan “Food Tank” internet sitesinde 2019 tarihli ve O. Moore imzalı “**Dijitalleşme, Teknoloji ve Tarım: Güç Kimde?**” başlıklı bir yazıda (Food Tank, 2019)¹¹⁸ özetle şu bilgilere yer verilmektedir:

- Dünya, tarım ve gıda üretiminin her alanına nüfuz eden dronlar, robotlar, sensörler, yapay zekâ ve büyük veri teknolojilerine tanık olmaktadır.

- Ancak, tohum ve pestisit sektörünü kontrol eden **dört mega şirket** (Bayer Monsanto, DowDuPont, Syngenta-ChemChina ve BASF) dijital tarımı da giderek daha fazla **kontrolü altına almaktadır**.

- Dijital tarım teknolojilerinin ürettiği **büyük hacimli verilerin sahibi** çiftçiler mi yoksa firmalar mı olduğu konusu hâlâ tartışılmaktadır. Çiftçiler genellikle bir mega firma platformundan ayrıldığında **verilerine ulaşamamaktadır**. Kendi tarlaları ve toprak nemi gibi verilere erişimlerinin olmaması, onları **rekabet açısından dezavantajlı** konuma getirebilmektedir.



- Ayrıca, traktör ve tarım makineleri konusunda çiftçinin geleneksel **onarım hakkı** giderek kısıtlanmaktadır. Dijital makineler daha karmaşık ve internete bağlı hale geldikçe, çiftçilerin uygun maliyetli tamir-bakım yapması daha da zorlaşmaktadır.

- Dijital teknolojiler verimde kısmi bir artış ve üretim maliyetlerinde azalma sağlasa da **yüksek maliyete sahiptir**. Ayrıca, bu teknolojik araçlar genellikle tarımsal ekosistem ilkelerine göre işleyen **temel ekolojik süreçleri** göz ardı etmektedir.

- Çiftçiler için **kendi verilerine erişim**, kendi **makinelerini tamir hakkı** ve **tarımsal ekoloji dostu** üretim teknikleri gibi herkesin işine yarayacak teknolojiler için çalışma yapılmalıdır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde insanların karşı karşıya olduğu **birçok sorun** (nüfus artışı, gıda güvenliği, şehirleşme, iklim değişikliği, çevre kirliliği, işgücü bulma sıkıntısı) tarımda değişimlere ve **yeniliklere yol açmaktadır**. Ayrıca elektronik, iletişim ve bilişim teknolojilerindeki gelişmeler de bu yenilikleri mümkün kılmakta ve hızlandırmaktadır. Akıllı ve Hassas tarım; otomatik dümenleme, Zirai İnsansız Hava Araçları (ZİHA), elektrikli traktörler, robotik ve otonom sistemler, uzaktan algılama, verim haritalama, değişken düzeyli tarımsal girdi uygulama gibi dijital teknolojileri kapsamaktadır.

Akıllı ve hassas tarım teknolojileri; verimi düşürmeden ve çoğu durumda **verimde artış** da sağlayarak **tarımsal girdilerde tasarruf** sağlarken, **çevreye ve doğal kaynaklara** (toprak, su, hava) verilen olumsuzlukların azaltılmasını, daha **sağlıklı tarımsal ürünlerin** üretilmesini, tarımda yapılan işlemlerin zamanında ve daha kolay yapılmasını mümkün kılabilmektedir.

Konu ile ilgili olan mevcut yayınların ışığında akıllı ve hassas tarımın mevcut durumu, sağlayabileceği yararlar, gelecekteki beklentiler konusunda elde edilen bulgular ve öneriler aşağıda özetlenmiştir:

- Akıllı ve hassas tarım teknolojileri arasında **tam otomatik dümenleme** sistemleri dünyada ve Türkiye’de en çok kabul gören, benimsenen teknolojidir. Bu teknolojinin kullanım düzeyi bazı ülkelerde %70-80 seviyesine kadar çıkmaktadır.

- Türkiye’de havadan pestisit ve gübre uygulamalarında **Zirai İnsansız Hava Araçları (ZİHA)** kullanımı oldukça yaygındır. Sulama, yağışlı havadan sonra **çamurlu tarlalarda** havadan ilaçlama ve gübreleme imkânı mısır ve ayçiçeği gibi **yüksek boylu bitkilerde** ileri dönemde uygulama imkânı sunması bakımından büyük yararlar sağlamaktadır.

- Son yıllarda dünyada özellikle **yabancı ot mücadelesinde sürücüsüz otonom araçların** kullanımının yaygınlaştığı görülmektedir. Ancak, bu teknoloji Türkiye’de üretilmemekte ve yeterince kullanılmamaktadır.

- **Verim görüntüleme, haritalama, toprak haritalama ve değişken düzeyli gübre uygulama** teknolojileri gelişmiş ülkelerde önemli düzeyde kullanılırken, Türkiye’de kullanımı oldukça sınırlıdır. Bunda en önemli faktörlerin; ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, sistemlerin karmaşıklığı ve kullanımının zor olmasıdır.

- Son yıllarda tamamen kapalı binaların içerisinde **“bina içi tarım”** ve **şehir tarımı** kapsamında şehir merkezlerinde **topraksız tarım** tekniği, **dikey tarım ve yapay aydınlatma** teknolojileri ile tarımsal üretim yapılmakta, genellikle yapraklı sebzeler (marul, lahanası, fesleğen, maydanoz, vb.) üretilmektedir. Dünyada olduğu gibi Türkiye’de de bu tip uygulamaların sayısı artış göstermektedir. Şehir merkezinde üretim imkânı **ürünlerin nakliye masrafını** ve nakliye sırasında olu-

şabilecek **ürün kayıplarını** ortadan kaldırmaktadır. Bu üretim yöntemi **yerel yönetimler** (valilikler, belediyeler, borsalar ve odalar, vb.) tarafından da değerlendirilebilir. Uygun bölgelerde **jeotermal enerji** kullanımı ile yüksek enerji masrafları azaltılabilir.

- Tarım traktörleri ve hassas tarım ekipmanları farklı model ve marka arasındaki **veri iletiminde yaşanan uyumsuzluk** bu teknolojilerin yaygınlaşmasını engellemektedir. **ISOBUS teknolojisi** bu soruna bir çözüm olarak sunulmuştur. Gelişmiş ülkelerde **ISOBUS uyumlu** traktör ve hassas tarım ekipmanları gittikçe yaygınlaşmakta ancak, Türkiye’de üretimi oldukça sınırlıdır. **Gelişmiş ülkelerle rekabet** açısından ISOBUS uyumlu traktör ve tarım makinesi üretimine önem verilmelidir.

- **Sürücüsüz, otonom traktör ve tarım makinelerinin** kullanımı artış göstermektedir. İngiltere’de 2016 yılında başlanan bir pilot proje kapsamında 35 hektar alanda buğday tarımında sürücüsüz otonom araçla toprak işlemeden hasada kadar tüm işlemler sürücüsüz traktör ve makinelerle yapılabilmektedir.

- Gelecekte büyük ölçekli tarım traktörü ve tarım makineleri yerine daha **küçük ölçekli sürücüsüz ve otonom tarım robotlarının** birden çok sayıda aynı anda **sürü halinde kullanılacağı** ve nispeten küçük çiftlik ölçülerinde minimum üretim maliyeti elde etme kabiliyetine sahip olacağı değerlendirilmektedir. Küçük boyutlu tarım robotlarının kullanımı **küçük araziye sahip çiftçiler** için önemli bir fırsat olarak görülmektedir.

- Diğer önemli bir gelişim alanı da tarımda **elektrikli traktör ve tarım makineleri** kullanımınıdır. Mevcut durumda elektrikli traktörlerin ilk modelleri birçok **büyük küresel traktör üreticisi** tarafından piyasaya sürülme aşamasındadır. Bu konuda ülkemizde de ilk **prototip elektrikli traktör** üretilmiştir. Bu teknoloji de **gelişmiş ülkelerle rekabet** açısından önem verilmesi gereken bir konudur.



• Akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin kullanım düzeyini etkileyen en önemli faktörler; çiftlik **arazi büyüklüğü**, **kârlılık** ve teknolojinin maliyetidir. **Büyük araziye** sahip çiftliklerde teknoloji kullanımı çok daha yüksek seviyelerdedir. Ortalama arazi büyüklüğü ABD’de 178 ha (1780 da) ve Almanya’da 40 ha (400 da) iken, **Türkiye’de sadece 6 ha (60 dekar) civarındadır** ve bu değer yeni dijital teknolojilere yatırım için yeterli değildir. Türkiye’de devam etmekte olan **arazi toplulaştırması** uygulamalarına hız verilmesi, dijital ve hassas tarım teknolojilerinin yaygınlaşması ve bu ürünlerden elde edilecek yararların artırılması bakımından büyük önem arz etmektedir.

• Akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin yaygınlaşması amacıyla **hibe ve teşvikler** sağlanmalıdır. Son yıllarda çok sayıda yarar sağlayan **otomatik dümenleme** sistemleri için mali teşviklerin uygulandığı görülmektedir. Bu teşviklerin devam ettirilmesi hem çiftçiler hem de ülke ekonomisi için yarar sağlayacaktır.

• Ülkemizde klasik traktör ve tarım makineleri sayıları konusunda düzenli **istatistiki verilere** ulaşmak mümkündür. Benzer şekilde, akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin (elektrikli traktör, otomatik dümenleme, görüntüleme ile ilaçlama ve gübreleme amaçlı ZİHA, verim görüntüleme sistemi, vb.) ülkemizdeki sayısı ve **kullanım düzeyi** konusunda **istatistiki verilere** gereksinim duyulmaktadır. İlgili kurumların (Tarım ve Orman Bakanlığı, Türkiye İstatistik Kurumu, vb.) bu konuda çalışma yapmaları yararlı olacaktır.

Özetle, Türkiye’de özellikle **tam otomatik dümenleme** ve **ZİHA ile havadan ilaçlama ve gübreleme uygulamaları** en çok kullanılan akıllı ve hassas tarım teknolojileridir. Ancak, sürücüsüz ve **otonom araçlarla yabancı ot mücadelesi**, **ISOBUS uyumlu traktör** ve tarım makineleri, elektrikli traktör ve tarım makineleri, **değişken düzeyli gübre uygulama** sistemleri gibi bazı teknolojilerin kullanımı gelişmiş ülkelerde artış eğiliminde iken Türkiye’de çok sınırlı düzeydedir. Akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin ülke içinde **yerli kaynaklarla** üretimi ve **yurtdışına ihracatı**; gelişmiş ülkelerle **rekabet**, **istihdamın artırılması** ve **döviz kaybının** önüne geçilmesi bakımında önem arz etmektedir.

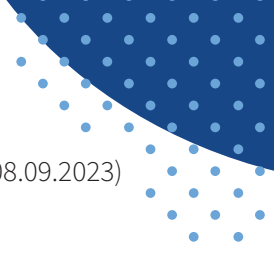
KAYNAKLAR

- AEF (2023a). ISOBUS. Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF). www.aefonline.org/about-us/isobus.html (Erişim tarihi: 05.09.2023)
- AEF (2023b). ISOBUS database. Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF). www.aef-isobus-database.org (Erişim tarihi: 05.09.2023)
- AEM (2023). The environmental benefits of precision agriculture quantified. July 05, 2023. www.aem.org/news/the-environmental-benefits-of-precision-agriculture-quantified (Erişim tarihi: 29.08.2023)
- Allied Market Research (2023a). Electric farm tractor market by application, power source, and type: Global opportunity analysis and industry forecast, 2023-2032. www.alliedmarketresearch.com/electric-farm-tractor-market-A12253 (Erişim tarihi: 05.09.2023)
- Allied Market Research (2023b). IOT in agriculture market by application, system, farm type: global opportunity analysis and industry forecast, 2021-2031. www.alliedmarketresearch.com/internet-of-things-iot-in-agriculture-market (Erişim tarihi: 05.09.2023)
- Arcipowska A, E Mangan, Y Lyu, R Waite. 2019. Five questions about agricultural emissions, Answered. World Resources Institute. www.wri.org/insights/5-questions-about-agricultural-emissions-answered (Erişim tarihi: 07.09.2023)
- Atabey T (2016). Edirne yöresinde üretilen pirinçlerde pestisit tayini. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. <https://acikerisim.nku.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.11776/1147/0050058.pdf> (Erişim tarihi: 03.09.2023)
- ATP (2019). Türkiye’de akıllı tarımın mevcut durumu. Akıllı Tarım Platformu (ATP). <https://tarmakbir.org/wp-content/uploads/2022/07/akillitarimrapor01.pdf> (Erişim tarihi: 20.09.2023)
- ATP (2023a). Akıllı tarım platformu. www.akillitarim.org/tr (Erişim tarihi: 19.09.2023)
- ATP (2023b). Akıllı tarıma yönelik muhtelif projeler. Akıllı Tarım Platformu (ATP). www.akillitarim.org/tr/proje-pazari.html (Erişim tarihi: 19.09.2023)
- Avaner T, M Celik (2021). Türkiye’de Dijital Dönüşüm Ofisi ve yapay zekâ yönetimi: Büyük Veri ve Yapay Zekâ Daire Başkanlığının geleceği üzerine. Medeniyet Araştırmaları Dergisi. 6(2): 1-18. www.researchgate.net/publication/357799697 (Erişim tarihi: 21.09.2023)
- Avrupa Komisyonu (2021). List of potential agricultural practices that eco-schemes could support. https://agriculture.ec.europa.eu/system/files/2021-01/factsheet-agri-practice-sunder-ecoscheme_en_0.pdf (Erişim tarihi: 10.09.2023)

- Avrupa Komisyonu (2022). Common agricultural policy for 2023-2027: 28 CAP strategic plans at a glance.
https://agriculture.ec.europa.eu/system/files/2022-12/csp-at-a-glance-eucountries_en.pdf (Erişim tarihi: 16.07.2023)
- Avrupa Komisyonu (2023). Key policy objectives of the common agricultural policy (CAP) 2023-27.
https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27/key-policy-objectives-cap-2023-27_en (Erişim tarihi: 10.09.2023)
- Burnett HS. (2016). In praise of industrial agriculture. <https://heartland.org/opinion/in-praise-of-industrial-agriculture> (Erişim tarihi: 07.09.2023)
- Çağlayan Ç, M Yavuz, B Şehiroğlu (2023). Bilgi notu: Pestisitler ve sağlığa etkileri.
www.envhealth.org/wp-content/uploads/2023/01/Pesticides_Brief_Final.pdf (Erişim tarihi: 03.09.2023)
- CAST (2019). Reducing the impacts of agricultural nutrients on water quality across a changing landscape. Council for Agricultural Science and Technology (CAST). Issue Paper Number 64.
www.cast-science.org/wp-content/uploads/2019/05/CAST_IP64_Nutrient-Loss.pdf (Erişim tarihi: 07.09.2023)
- CEMA, 2016. Farming 4.0: The future of agriculture. European Agricultural Machinery Association. Comité Européen des Groupements de Constructeurs du Machinisme Agricole (CEMA).
<https://euractiv.eu/wp-content/uploads/sites/2/infographic/CEMA18102016-EN-A4-V02-1.pdf> (Erişim tarihi: 20.01.2023)
- Demirbaş N (2022). İklim değişikliği karşısında tarım sektörünün sürdürülebilirliği için iklim uyumlu tarım: Farklı ÷lke deneyimlerinden çıkarılan dersler. XVII. IBANESS İktisat, İşletme ve Yönetim Bilimleri Kongreler Serisi. 12-13 Mart 2022, Plovdiv, Bulgaristan.
www.researchgate.net/publication/359236594 (Erişim tarihi: 22.09.2023)
- EMIR Research (2020). The revolutionization of agriculture via drone.
www.emirresearch.com/the-revolutionization-of-agriculture-via-drone (Erişim tarihi: 09.09.2023)
- Erickson B, J Lowenberg-DeBoer, J Bradford (2017). Precision agriculture dealership survey: 2017. Purdue University, 27pp.
www.agribusiness.purdue.edu/wpcontent/uploads/2019/07/croplife-purdue-2017-precision-dealer-survey-report.pdf (Erişim tarihi: 10.12.2021)
- FAO (2011). Climate change, water and food security. Food and Agriculture Organization: FAO.
www.fao.org/3/i2096e/i2096e.pdf (Erişim tarihi: 06.09.2023)

- 
- FAO (2023). The state of food security and nutrition in the world. Food and Agriculture Organization: FAO.
www.fao.org/3/cc3017en/online/cc3017en.html (Erişim tarihi: 24.08.2023)
- Farm Europe (2017). A smart common agricultural policy (CAP) for EU precision & smart farming.
www.farm-europe.eu/travaux/a-smart-cap-for-eu-precision-smart-farming (Erişim tarihi: 10.09.2023)
- Farm Europe (2019). Economic and environmental performance of digital agriculture.
www.farm-europe.eu/travaux/characteristics-of-the-main-agricultural-systems (Erişim tarihi: 11.09.2023)
- Fatka J (2022). Senator Tester’s bill gives farmers ‘right to repair’. 2 February 2022.
www.farmprogress.com/cotton/sen-tester-s-bill-gives-farmers-right-to-repair- (Erişim tarihi: 30.05.2022)
- Fendt (2023). The telemetry solution from Fendt.
www.fendt.com/za/smartfarming/telemetry#fendt-smart-connect (Erişim tarihi: 07.09.2023)
- Fiocco D, V Ganesan, MGS Lozano, H Sharifi (2023). Agtech: Breaking down the farmer adoption dilemma. McKinsey & Company. USA.
www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agtech-breaking-down-the-farmer-adoption-dilemma (Erişim tarihi: 07.09.2023)
- Food Tank (2019). Digitization, technology, and farming - Who’s got the power?
<https://foodtank.com/news/2019/02/digitization-technology-farming-who-got-the-power> (Erişim tarihi: 22.09.2023)
- Future Farming (2018). AgTech to create 2.1 million jobs in Indian agriculture.
www.futurefarming.com/smart-farming/agtech-to-create-2-1-million-jobs-in-indian-agriculture (Erişim tarihi: 09.09.2023)
- Future Market Insights (2022). Indoor farming market outlook: 2022-2032.
www.futuremarketinsights.com/reports/indoor-farming-market (Erişim tarihi: 05.09.2023)
- George C, A Tomer. 2022. The potential—and pitfalls—of the digitalization of America’s food system.
www.brookings.edu/articles/the-potential-and-pitfalls-of-the-digitalization-of-america-s-food-system (Erişim tarihi: 07.09.2023)
- Globenewswire (2022). Worldwide digital agriculture market size [2022-2028] to reach USD 22.1 billion at a CAGR of 9.6%.
www.globenewswire.com/en/newsrelease/2022/07/25/2484816/0/en/Worldwide-Di

- gital-Agriculture-Market-Size-2022-2028-To-Reach-USD-22-1-Billion-at-a-CAGR-of-9-6-Industry-Trends-Share-AndGrowth-Analysis-Vantage-Market-Research.html (Erişim tarihi: 29.08.2023)
- Goedde L, J Katz, A Menard, J Revellat (2020). Agriculture's connected future: How technology can yield new growth. McKinsey & Company. USA.
www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agricultures-connected-future-how-technology-can-yield-new-growth (Erişim tarihi: 08.09.2023)
- Griffiths C (2022). Protect your farm: Don't let cyberattacks hold your data for ransom.
www.agweb.com/news/business/technology/protect-your-farm-dont-let-cyberattacks-hold-your-data-ransom (Erişim tarihi: 16.02.2022)
- Grusson Y, I Wesström, A Joel (2021). Impact of climate change on Swedish agriculture: Growing season rain deficit and irrigation need. *Agr. Water Management*, 251, 106858.
<https://ideas.repec.org/a/eee/agiwat/v251y2021ics0378377421001232.html> (Erişim tarihi: 06.09.2023)
- Has M (2017). Hassas tarım ve verimlilik. 6.Ulusal Verimlilik Kongresi sunumu. 7 Aralık 2017. Ankara.
https://edergi.sanayi.gov.tr/File/Journal/2018/1/1_2018.pdf (Erişim tarihi: 06.09.2023)
- HFH (2019). The hands free hectare project. www.harper-adams.ac.uk/news/203518/the-hands-free-hectare-project (Erişim tarihi: 03.09.2023)
- IATP (2020a). Revisiting crisis by design: Three decades of failed farm policy.
www.iatp.org/documents/revisiting-crisis-design. April 2020. (Erişim tarihi: 18.09.2023)
- IATP (2020b). Revisiting crisis by design: The agricultural technology treadmill.
www.iatp.org/documents/revisiting-crisis-design-agricultural-technology-treadmill. 20 April 2020. (Erişim tarihi: 18.09.2023)
- IATP (2022). Payments for pollution: How federal conservation programs can better benefit farmers and the environment.
www.iatp.org/payments-pollution-how-federal-conservation-programs-can-better-benefit-farmers 12 April 2022 (Erişim tarihi: 20.09.2023)
- IATP (2023). New merger guidelines could put the brakes on corporate agriculture.
www.iatp.org/new-merger-guidelines-could-put-brakes-corporate-agriculture 12 September 2023 (Erişim tarihi: 20.09.2023)
- IEA (2018). UK must embrace innovation to make farming economically & environmentally viable.
<https://iea.org.uk/media/uk-must-embrace-innovation-to-make-farming-economically-environmentally-viable> (Erişim tarihi: 08.09.2023)
- IFPRI (2018). Big data shows big promise for feeding the world. International Food Policy Research Institute.

- 
- www.ifpri.org/blog/big-data-shows-big-promise-feeding-world (Erişim tarihi: 08.09.2023)
- IPCC (2023). Climate change 2023: Synthesis report. IPCC, Switzerland, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf (Erişim tarihi: 24.08.2023)
- ISPA (2023). Precision Ag definition.
www.ispag.org/about/definition (Erişim tarihi: 22.08.2023)
- ITU (2017). ICT development index - 2017. International Telecommunication Union (ITU).
www.itu.int/net4/ITU-D/idi/2017/index.html (Erişim tarihi: 19.09.2023)
- IZA (2019). Glyphosate use in agriculture and birth outcomes of surrounding populations. Institute of Labor Economics (IZA). Germany.
<https://docs.iza.org/dp12164.pdf> (Erişim tarihi: 09.09.2023)
- Kanicki D (2017). Will Ag lead the way in autonomous vehicles?
www.farmequipment.com/articles/14522-will-ag-lead-the-way-in-autonomous-vehicles (Erişim tarihi: 06.09.2023).
- Keskin M, S Görücü Keskin (2012). Hassas tarım teknolojileri. Ders kitabı. Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları. No: 35. 212 sayfa.
www.researchgate.net/publication/286937957 (Erişim tarihi: 06.09.2023)
- Keskin M, YE Sekerli, SM Say, M Topcueri (2018a). Farmers' experiences with GNSS-based tractor auto guidance in Adana province of Türkiye. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University, 35(2), 172-181.
www.researchgate.net/publication/327286224 (Erişim tarihi: 06.09.2023)
- Keskin M, YE Şekerli, SM Say, A Arslan (2018b). Hassas tarım teknolojileri ile sağlanabilecek faydalar. Tarım Türk Dergisi, Sayı: 30, Yıl:6, Mayıs-Haziran 2018. s.14-17.
www.researchgate.net/publication/325370329 (Erişim tarihi: 06.09.2023)
- Keskin M, YE Sekerli (2022). Tarımda yabancı ot mücadelesinde hassas, otonom ve akıllı sistemler. AKİTEK 4.0 Dergisi. Yıl: 1 Sayı: 1. Sayfa: 54-63.
www.researchgate.net/publication/366356236 (Erişim tarihi: 06.09.2023)
- Lowenberg-DeBoer J, K Behrendt, R Godwin K Franklin (2019). The impact of swarm robotics on arable farm size and structure in the UK. In 93rd Annual Conference of the Agricultural Economics Society, Univ. Warwick, England.
www.researchgate.net/publication/332653186 (Erişim tarihi: 06.09.2023)
- Markets and Markets (2023). Precision farming market by technology, application, offering and geography: Global forecast to 2025. www.marketsandmarkets.com/MarketReports/precision-farming-market-1243.html (Erişim tarihi: 06.09.2023)

- Market Research Future (2023). Agriculture drone market research report information by product, component, application and region: Market forecast till 2032. www.marketresearchfuture.com/reports/agriculture-drones-market-10794 (Erişim tarihi: 06.09.2023)
- McFadden J, F Njuki, T Griffin (2023). Precision agriculture in the digital era: Recent adoption on US farms. www.ers.usda.gov/webdocs/publications/105894/eib-248.pdf (Erişim tarihi: 16.07.2023)
- NESPAL (2023). Precision farming in the South. <https://slideplayer.com/slide/6246130> (Erişim tarihi: 06.09.2023)
- NoTill Farmer (2019). Tracking farm technology adoption: Trends, transitions & takeaways. Lessiter Media. www.no-tillfarmer.com/articles/9173 (Erişim tarihi: 11.02.2022)
- NSAC (2019). Agriculture and climate change: Policy imperatives and opportunities to help producers meet the challenge. www.sustainableagriculture.net/wpcontent/uploads/2019/11/NSAC-Climate-Change-Policy-Position_paper112019_WEB.pdf (Erişim tarihi: 03.09.2021)
- OECD 2019. Digital opportunities for better agricultural policies. The Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). <https://doi.org/10.1787/571a0812-en> (Erişim tarihi: 07.09.2023)
- OECD (2022). Policies to bolster trust in agricultural digitalization. www.oecd.org/fr/publications/policies-to-bolster-trust-in-agricultural-digitalisation5a89a749-en.htm (Erişim tarihi: 11.09.2023)
- Oliver Wyman (2018). Agriculture 4.0: The future of farming technology. www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2018/feb/agriculture-4-0--the-future-of-farming-technology.html (Erişim tarihi: 05.09.2023)
- One Third (2020). Recommendations to the Danish government: 2020. <https://onethird.dk/wp-content/uploads/2022/03/recommendations-2020.pdf> (Erişim tarihi: 20.09.2023)
- Our World in Data, 2023. Farm size and productivity. <https://ourworldindata.org/farm-size> (Erişim tarihi: 08.09.2023)
- Pakdemirli B, N Birişik, İ Aslan, B Sönmez, M Gezici (2021). Türk tarımında dijital teknolojilerin kullanımı ve tarım-gıda zincirinde Tarım 4.0. Toprak Su Dergisi, 10(1): (78-87). <https://dergipark.org.tr/tr/pub/topraksu/issue/57793/898774> (Erişim tarihi: 20.09.2023)
- PAN UK (2017). Food for Thought. Pesticide residues in the school fruit and vegetable scheme (SFVS). Pesticide Action Network UK. www.pan-uk.org/site/wpcontent/uploads/Food_for_thought_FINAL-4th-Sept.pdf (Erişim tarihi: 03.09.2023)
- Pathak HS, P Brown, T Best (2019). A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process. Precision Agriculture, 20, 1292-1316.

- <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09653-x> (Erişim tarihi: 03.09.2023)
- Plant Factory (2023). Türkiye'nin ilk sebze fabrikası.
www.youtube.com/watch?v=xff-H1urj3g (Erişim tarihi: 03.09.2023)
- Polaris Market Research (2023). ISOBUS component market share, size, trends, industry analysis report by product, application, region, segment forecast: 2023 - 2032.
www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/isobus-component-market (Erişim tarihi: 05.09.2023)
- PPAEP (2018). Threats to precision agriculture. Public-private analytic exchange program.
www.dhs.gov/sites/default/files/publications/2018%20AEP_Threats_to_Precision_Agriculture.pdf (Erişim tarihi: 12.09.2021)
- ReAnIn (2023). Global agricultural robots market growth, share, size, trends and forecast (2023-2029).
www.reanin.com/report-store/robotics-and-ai/robots/agriculturalrobots/global-agricultural-robots-market (Erişim tarihi: 06.09.2023)
- Resmi Gazete (2010). İyi tarım uygulamaları hakkında yönetmelik. Resmi Gazete, Tarih: 07.12.2010, Sayı: 27778.
www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/12/20101207-4.htm (Erişim tarihi: 22.09.2023)
- Resmi Gazete, 2016. Tarımsal kaynaklı nitrat kirliliğine karşı suların korunması yönetmeliği. 03.07.2016, Sayı: 29779.
www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/07/20160723-2.htm (Erişim tarihi: 07.09.2023)
- Report Linker (2023). Guidance and steering system for agriculture: Global market report.
www.reportlinker.com/p06480017 (Erişim tarihi: 06.09.2023)
- Say SM, M Keskin, M Sehri, YE Sekerli (2017). Adoption of precision agriculture technologies in developed and developing countries. International Science and Technology Conference, 17-19 July 2017 Berlin, Germany & 16-18 August 2017 Cambridge, USA. pp.41-49.
www.researchgate.net/publication/320908156 (Erişim tarihi: 07.09.2023)
- SBB (2019). On birinci kalkınma planı: 2019-2023. T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı.
www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Plani2019-2023.pdf (Erişim tarihi: 18.09.2023)
- Sontowski S, M Gupta, SSL Chukkapalli ve ark. (2020). Cyber-attacks on smart farming infrastructure. https://ebiquity.umbc.edu/_file_directory_/papers/1031.pdf (Erişim tarihi: 11.02.2021)
- Soto I, A Barnes, A Balafoutis, B Beck ve ark. (2019). The contribution of precision agriculture technologies to farm productivity and the mitigation of greenhouse gas emissions in the EU. Publications Office of the EU. <https://doi.org/10.2760/016263> (Erişim tarihi: 05.09.2023)

- Spykman O, A Gabriel, M Ptacek, M Gandorfer (2021). Farmers' perspectives on field crop robots: Evidence from Bavaria, Germany. *Computers and Electronics in Agriculture*, 186, 106176. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106176> (Erişim tarihi: 05.09.2023)
- Strubenhoff H, R Parizat (2018). Can the digital revolution transform agriculture? www.brookings.edu/articles/can-the-digital-revolution-transform-agriculture (Erişim tarihi: 08.09.2023)
- TARMAKBİR (2023). Türkiye iklim akıllı ve rekabetçi tarımsal büyüme projesi (TUCSAP) başladı. <https://tarmakbir.org/turkiye-iklim-akilli-ve-rekabetci-tarimsal-buyume-projesituc-sap-basladi> (Erişim tarihi: 22.09.2023)
- TEMA (2023). Suyu nasıl kullanıyoruz? Tarımda kullanılan su. <https://sutema.org/tarimdakullanilan-su> (Erişim tarihi: 05.09.2023)
- TOB (2020). Tarımda dijital dönüşüm hamlesi (sunumu). Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB). [https://diyarbakir.tarimorman.gov.tr/Lists/SolMenu/Attachments/93/ETARIM%20\(%20Tarim%20ve%20Orman%20Bakanligi%20Lansman%20\).pdf](https://diyarbakir.tarimorman.gov.tr/Lists/SolMenu/Attachments/93/ETARIM%20(%20Tarim%20ve%20Orman%20Bakanligi%20Lansman%20).pdf) (Erişim tarihi: 21.09.2023)
- TOB (2023). İyi tarım uygulamaları. Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB). www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Iyi-Tarim-Uygulamalari (Erişim tarihi: 22.09.2023)
- Turland M, P Slade (2019). Farmers' willingness to participate in a big data platform. *Agribusiness Journal*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agr.21627> (Erişim tarihi: 05.09.2023)
- UN (2022). World population prospects 2022. Summary of results. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. United Nations. New York. www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf (Erişim tarihi: 06.09.2023)
- UN (2023). The 17 sustainable development goals. Department of Economic and Social Affairs. Sustainable Development Division. United Nations. New York. <https://sdgs.un.org/goals> (Erişim tarihi: 08.09.2023)
- United Soybean Board (2019). The four Rs of precision ag. United Soybean Board. www.unitedsoybean.org/hopper/the-four-rs-of-precision-ag (Erişim tarihi: 07.09.2023)
- UPenn (2019). 2018 Global go to think tank index report. The University of Pennsylvania (UPenn). <https://repository.upenn.edu/server/api/core/bitstreams/d9a3c231-2d8b-47ed83d5-3fbdf868d4e4/content> (Erişim tarihi: 19.09.2023)
- USDA (2023a). Most row crop acreage managed using auto-steer and guidance systems. www.ers.usda.gov/amber-waves/2023/april/most-row-crop-acreage-managed-using-a-utosteer-and-guidance-systems (Erişim tarihi: 06.09.2023)

WEF (2020). The pandemic is just another sign of our broken food system.

www.weforum.org/agenda/2020/04/how-to-feed-the-world-in-2050 (Erişim tarihi: 05.09.2023)

Yara (2023). N Sensor - variable rate nitrogen. www.yara.co.uk/crop-nutrition/Tools-and-Services/n-sensor (Erişim tarihi: 29.08.2023).

ZY Agrolia (2023). ZY Agrolia elektrikli traktör.

www.youtube.com/watch?v=pacjc2PCu10&t=8s (Erişim tarihi: 05.09.2023)

**BENİM
ŞEHİRİM**



**Sosyal
inovasyon
Ajansı**

