

Geleneksel Tarımdan Akıllı Tarım Uygulamalarına Dönüşüm Süreci: Türkiye Örneği

The Process of Transformation from Traditional Agriculture to Smart Agriculture Applications: The Case of Turkey

Filiz KUTLUAY TUTAR

Prof. Dr., Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi,
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü
flztutar51@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2574-9494

Makale Başvuru Tarihi / Received:22.02.2025
Makale Kabul Tarihi / Accepted: 21.03.2025
Makale Türü/Article Type: Araştırma Makalesi

Abdallah ABUKALLOUB

Yüksek Lisans Öğrencisi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi,
Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Ana Bilim Dalı
abdalkaloub@gmail.com
https://orcid.org/0009-0000-1697-5206

Melisa ÇAT

Yüksek Lisans Öğrencisi, Giresun Üniversitesi,
Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Yönetimi Ana Bilim Dalı
melisact.51@outlook.com
https://orcid.org/0009-0001-1542-9200

ÖZET

Tarım sektörü, tarih boyunca insanlığın temel geçim kaynaklarından biri olmuş ve teknolojik gelişmelere paralel olarak büyük dönüşümler geçirmiştir. Geleneksel tarım yöntemleri, insan ve hayvan gücüne dayalı olarak şekillenirken Sanayi Devrimi ve dijitalleşme süreçleriyle üretim süreçleri, daha verimli hâle gelmiştir. Günümüzde tarım, akıllı teknolojiler ve dijital sistemler sayesinde daha sürdürülebilir ve yüksek verimli bir yapıya kavuşmaktadır. Bu çalışma, Türkiye’de teknoloji destekli tarım uygulamalarının mevcut durumunu, karşılaşılan zorlukları ve gelecekte atılması gereken stratejik adımları analiz etmeyi amaçlamaktadır. Nitel içerikli bu makale tematik derleme ve ilişkisel analiz üzerine tasarlanmış bir eylem araştırmasıdır. Alanyazından elde edilen veriler, genelden özele ve kuramdan örneklerle doğru bir akış içinde bütünleştirilmiştir. Bulgulara göre tarım sektörü, artan gıda talebi, iklim değişikliği ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı gibi küresel zorluklarla karşı karşıyadır. Geleneksel tarım yöntemlerinden akıllı tarım teknolojilerine dönüşüm süreci ve bu dönüşümün tarımsal verimlilik, sürdürülebilirlik ve ekonomik büyüme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Klasik tarımın yoğun iş gücü ve uzun üretim süreçleri gerektirdiği, buna karşın dijital tarımın daha az iş gücüyle daha yüksek verimlilik sağladığı vurgulanmaktadır. Dijital tarım uygulamaları; bitki hastalıklarının erken tespiti, hassas tahmin ve analizler, düşük girdi kullanımı ve yüksek verimlilik gibi avantajlar sunarak tarımsal üretimi optimize etmektedir. ABD, İngiltere, Hollanda, Japonya ve Tayvan gibi ülkelerin başarılı akıllı tarım uygulamaları incelenmiş, Türkiye’de akıllı tarımın mevcut durumu değerlendirilmiştir. Türkiye’de bu teknolojilerin yaygınlaşması için genç nüfusun teknolojiye yatkınlığı önemli bir fırsat olarak görülürken düşük farkındalık seviyesi ve yüksek yatırım maliyetleri gibi engellerin varlığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dijital Tarım, Sürdürülebilirlik, Teknoloji, Türkiye.

ABSTRACT

The agricultural sector has been one of humanity's fundamental sources of livelihood throughout history and has undergone significant transformations in parallel with technological advancements. While traditional farming methods were shaped by human and animal power, the Industrial Revolution and digitalization processes have made production processes more efficient. Today, agriculture has become more sustainable and highly productive thanks to smart technologies and digital systems. This study aims to analyze the current state of technology-supported agricultural practices in Turkey, the challenges faced, and the strategic steps that need to be taken in the future. This qualitative study is designed as an action research study based on thematic review and relational analysis. Data obtained from the literature has been integrated in a flow from general to specific and from theory to examples. According to the findings, the agricultural sector faces global challenges such as increasing food demand, climate change, and the sustainable use of natural resources. The transformation from traditional farming methods to smart agricultural technologies and its impact on agricultural productivity, sustainability, and economic growth have been examined. While classical agriculture requires intensive labor and long production processes, digital agriculture provides higher productivity with less labor. Digital agricultural applications optimize agricultural production by offering advantages such as early detection of plant diseases, precise predictions and analyses, low input usage, and high efficiency. Successful smart agriculture practices in countries like the USA, the UK, the Netherlands, Japan, and Taiwan have been examined, and the current state of smart agriculture in Turkey has been evaluated. While the technological inclination of the young population is seen as a significant opportunity for the widespread adoption of these technologies in Turkey, low awareness levels and high investment costs have been identified as obstacles.

Keyword: Digital Agriculture, Sustainability, Technology, Turkey.

1. GİRİŞ

Tarım sektörü, insanlık tarihinin en temel geçim kaynağı olarak başlamış ve zaman içinde büyük değişimlere uğramıştır. Geleneksel tarım yöntemleri, insan ve hayvan gücüne dayalı olarak şekillenirken; Sanayi Devrimiyle birlikte tarımsal üretimde mekanizasyonun yaygınlaşması verimlilik ve üretim kapasitesinde önemli artışlar sağlamıştır. Günümüzde tarımsal üretim, dijitalleşmenin etkisiyle sürekli olarak evrim geçirmekte ve Tarım 4.0 kavramından Tarım 5.0 sürecine doğru ilerlemektedir. Tarım 4.0, yapay zekâ, büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT) ve otomasyon sistemleri gibi ileri teknolojileri kullanarak tarımsal süreçleri optimize etmeye odaklanırken Tarım 5.0 ise bu teknolojilere insan merkezli bir yaklaşımı entegre ederek tarımsal üretimi daha sürdürülebilir, esnek ve kapsayıcı hâle getirmeyi hedeflemektedir (Yürüdü, Kara ve Arıbaş, 2010). Dijital tarım uygulamaları sayesinde, çiftçiler sensörler, drone'lar, uydu görüntüleme sistemleri ve otomatik sulama gibi teknolojilerden yararlanarak daha hassas tarım yapabilmekte, hastalık ve zararlıları erken tespit ederek müdahale süreçlerini hızlandırabilmektedir. Dünya genelinde ve Türkiye'de giderek yaygınlaşan bu yenilikçi yaklaşım, tarımsal üretimde kaliteyi artırırken çevresel etkileri en aza indirmeyi, karbon ayak izini düşürerek sürdürülebilir bir tarım modeli oluşturmayı ve gelecek nesillere daha yaşanabilir bir ekosistem bırakmayı hedeflemektedir. Akıllı tarımın sağladığı dijitalleşme ve otomasyon imkânları, tarımsal üretimin daha kârlı ve sürdürülebilir olmasını sağlarken; aynı zamanda gıda güvenliğini artırarak küresel ölçekte gıda arzını güvence altına alma noktasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda tarım sektöründeki dönüşüm, sadece teknolojik gelişmeleri değil, aynı zamanda ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği de içine alan çok boyutlu bir değişimi temsil etmektedir. Bu bağlamda çalışmanın özgün katkısı, akıllı tarımın Türkiye'deki potansiyelini, öne çıkan engelleri ve bu engellerin aşılması için uygulanabilecek politikaları detaylı bir şekilde ortaya koymaktır. Ayrıca farklı ülkelerdeki başarılı akıllı tarım uygulamalarını inceleyerek Türkiye'de uygulanabilir en iyi stratejiler belirlenmeye çalışılmıştır. Türkiye'deki mevcut durumu değerlendirerek literatürdeki boşluğu doldurmayı ve bu teknolojilerin yaygınlaşması için politika önerileri sunmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, öncü ülkelerde uygulanan başarılı modellerin incelenmesi, Türkiye'ye uyarlanabilir stratejilerin belirlenmesine katkı sağlayacaktır.

2. GELENEKSEL TARIMDAN DİJİTAL TARIMA: GELECEĞE ADIM

Günümüzde tarım sektörü, geleneksel yöntemlerden dijital tarım teknolojilerine doğru büyük bir dönüşüm geçirmektedir. Geleneksel tarım, uzun yıllardır kullanılan ve büyük ölçüde insan gücüne dayanan bir üretim yöntemi iken; dijital tarım modern teknolojilerden yararlanarak daha verimli, sürdürülebilir ve hassas bir üretim süreci sunmaktadır. Çilesiz ve Karaköy, 2022 tarafından hazırlanan aşağıdaki tabloda, bu iki tarım türünün temel farklılıkları karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır.

Tablo 1. Geleneksel Tarım ve Dijital Tarım Arasındaki Farklar

Özellik	Geleneksel Tarım	Dijital Tarım
İş Gücü İhtiyacı	Yoğun iş gücü gerektirir.	Geliştirilen robotik cihazlar ve drone teknolojisi sayesinde daha az iş gücü ile yapılabilmektedir.
Üretim Süreci ve Verim	Ürün elde etme süreci daha uzundur ve bunun sonucu olarak üretim miktarı düşüktür.	Daha kısa sürede ürün yetiştirilebilmektedir. Buna bağlı olarak üretim oranı yüksektir.
Hastalık ve Zararlılar	Bitki hastalık ve zararlıları çoğu zaman geç dönemde fark edilebilmektedir.	Bitki hastalıkları daha erken tespit edilebilmektedir.
Tahmin ve Analiz	Arazi durumu, ürün ve verim hakkında tahmin yürütülmektedir.	Büyük oranda hassasiyet ve doğrulukla sonuca ulaşılabilmektedir.

Girdi Kullanımı ve Verimlilik	Aşırı girdi kullanımı ve düşük verimlilik.	Modern tarımda girdiler daha düşüktür.
Üretim Süresi ve Bilimsellik	Bu teknikler çok zaman alır ve üretim azdır.	Zamandan tasarruf sağlanır ve bilime dayalı üretim yapılır.
Uygulama Tarihi	Geleneksel tarım uygulamaları, geçmişte çok eskilere dayanan ve artık uygulanmayan uygulamalardır.	Modern tarım tamamen sermaye yoğunluğuna dayalıdır.
Sulama Bağımlılığı	Çiftçiler, sulama için tüp kuyulara erişebildikleri için muson yağmurlarına bağımlı değillerdir.	Akıllı sulama sistemleri ile su tasarrufu sağlanır.
Gübre Kullanımı	Gübre olarak inek gübresi ve diğer doğal gübre türleri kullanılır.	Pestisitler ve kimyasal gübreler kullanılmaktadır.
Tohum Kullanımı	Kullanılan geleneksel tohumlar vardır.	Modern tarımda genetik olarak geliştirilmiş tohumlar tercih edilebilir.

Kaynak: (Çilesiz ve Karaköy, 2022).

Tarım sektörü, tarih boyunca insanlığın temel geçim kaynaklarından biri olmuş ve teknolojik gelişmelere paralel olarak büyük dönüşümler geçirmiştir. Geleneksel tarımda insan ve hayvan gücüne dayalı üretim yöntemleri kullanılırken, Sanayi Devrimi ile birlikte mekanizasyonun tarıma entegre edilmesi Tarım 1.0 dönemini başlatmıştır. 1950’lerde yaşanan Yeşil Devrim, seri üretim teknikleri ve traktör kullanımının yaygınlaşmasıyla verimliliği artırırken; 1990’lardan itibaren bilgisayar ve otomasyon sistemleriyle hassas tarım uygulamaları devreye girmiştir. Günümüzde ise Tarım 4.0 olarak adlandırılan dijital tarım dönemi, bilgi ve iletişim teknolojilerinin, yapay zekâ, büyük veri ve nesnelerin interneti gibi yenilikçi sistemlerle birleşerek tarımı daha verimli, sürdürülebilir ve akıllı hâle getirmesini sağlamaktadır (Kaya, 2019).

Bu dönüşümlerin ardından tarımın geleceğini şekillendirecek olan Tarım 5.0, yapay zekâ, robotik teknolojiler, biyoteknoloji ve sürdürülebilir enerji çözümlerini birleştirerek insan merkezli ve çevre dostu bir tarımsal üretim modeli sunmaktadır. Tarım 5.0 ile gıda güvenliği, karbon ayak izinin azaltılması ve akıllı çiftlik sistemlerinin yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Bu yeni dönemde, tarımsal üretim süreçlerinde daha fazla otonom sistem kullanılarak üreticilere daha etkin ve bilinçli karar alma fırsatları sunulacaktır (Öztürk, 2024).

Tablo 2. Tarımda Teknolojik Dönüşüm

➤ Önce Geleneksel Tarım İnsan ve Hayvan İş Gücü
➤ Tarım 1.0 (20. yy’ın başı) Su ve Buhar Gücü Mekanizasyon Başlangıcı
➤ Tarım 2.0/Yeşil Devrim (1950) Seri Üretim, Elektrik kullanımı, Traktör Üretimi, İçsel Tarım
➤ Tarım 3.0/Hassas Tarım (1990) Bilgisayar ve Otomasyon Sera ve Sulama Otomasyonu
➤ Tarım 4.0/Dijital Tarım (2010) Bilgi ve İletişim Teknolojileri Dijital Tarım
➤ Tarım 5.0/Akıllı ve Sürdürülebilir Tarım (Gelecek 10 yıl): Yapay zekâ, robotik, biyoteknoloji, sürdürülebilir enerji, karbon ayak izi azaltımı.

Kaynak: (Kaya, 2019; Öztürk, 2024).

2.1. Endüstri 4.0 ve Tarım 4.0

Dördüncü Sanayi Devrimi olarak bilinen Endüstri 4.0, üretim ve otomasyonu bilişim ve iletişim teknolojileriyle birleştirerek iş süreçlerinde yatay entegrasyonu, veri kullanımında ise dikey veri alışverişi modellerini esas alan yenilikçi bir sanayi sürecidir.

Endüstri 4.0'a kadar sanayide üç büyük dönüşüm gerçekleşmiştir:

- ❖ Endüstri 1.0 Sanayi Devrimi: Buharlı makinelerin sanayide kullanımıyla üretimde mekanizasyona geçilmiştir.
- ❖ Endüstri 2.0 Sanayi Devrimi: Elektrik enerjisinin üretime entegre edilmesiyle seri üretim başlamıştır.
- ❖ Endüstri 3.0 Sanayi Devrimi: Bilgisayarlar ve dijital teknolojilerin kullanımıyla otomasyon gelişmiş, üretim süreçleri dönüşerek küreselleşme ile kapsam ekonomisi ve markalaşma ön plana çıkmıştır (Akıllı Tarım Platformu, 2019).

Bu süreçte bilişim ve iletişim alanındaki ilerlemeler, bilgisayar ve internetin yaygınlaşmasıyla üretimi daha esnek ve verimli hâle getirmiş, tedarik zincirlerini genişletmiş ve tasarım süreçlerini çeşitlendirmiştir. Mekanik sistemler elektronik unsurlarla zenginleşerek daha akıllı hâle gelirken, interdisipliner çalışmaların artması Endüstri 4.0'a geçişi hızlandırmıştır (Özsoylu, 2017).

Endüstri 4.0, nesnelerin interneti, büyük veri, bulut bilişim, sensörler ve benzeri ileri teknolojilerin bir araya gelerek entegre şekilde çalıştığı yeni nesil üretim sistemidir. Almanya, Çin, Japonya ve Amerika gibi sanayide öne çıkan ülkeler, bu dönüşüme adapte olabilmek için ciddi yatırımlar yapmaktadır. Birçok ülke, bu alanda araştırma merkezleri kurarak teknolojik gelişmeleri desteklemektedir (Ömercioğlu, 2023). Bu dönüşümün tarım sektöründeki bir sonraki aşaması olan Tarım 5.0 ise, Endüstri 4.0 teknolojilerinin yanı sıra insan ve çevre odaklı yaklaşımları da içermekte, yapay zekâ destekli otonom sistemler ve sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla gıda üretiminde daha akıllı ve duyarlı çözümler sunmayı hedeflemektedir.

Tarım 1.0'dan Tarım 5.0'a kadar uzanan bu süreçte, geleneksel yöntemlerden makineleşmeye, dijitalleşmeden yapay zekâ destekli akıllı tarıma kadar birçok aşama yaşanmıştır. Aşağıdaki tabloda, endüstri devrimleri ile tarımsal dönüşüm arasındaki ilişki incelenerek her dönemin temel özellikleri özetlenmiştir.

Tablo 3. Endüstri Devrimlerine Paralel Tarımın Dönüşümü

Endüstri Devrimi/ Tarım Dönemi	Endüstri 1.0 Devrimi	Tarım 1.0 Dönemi
Tanım	Buhar makinesinin icadıyla başlayan dönem.	İnsanların temel tarım yöntemlerini kullanarak üretim yaptığı dönem.
Özellikler	Üretimde mekanik döneme başlanması.	Geleneksel tarım yöntemleri ve insan gücüne dayalı üretim.
Endüstri Devrimi/ Tarım Dönemi	Endüstri 2.0 Devrimi	Tarım 2.0 Dönemi
Tanım	Üretimde elektrik kullanılan ve seri üretime geçilen dönem.	Tarımda makinelerin ve motor gücünün kullanılmaya başlanması.
Özellikler	İş bölümü ve seri üretimin hız kazanması.	Traktör ve biçerdöver gibi makinelerin tarımsal üretimde kullanılmaya başlanması, kimyasal gübre ve pestisit kullanımının yaygınlaşmasıyla üretimin hızlanması.
Endüstri Devrimi/ Tarım Dönemi	Endüstri 3.0 Devrimi	Tarım 3.0 Dönemi
Tanım	Bilgisayar kullanımıyla otomasyonların üretimde kullanılması.	Tarımda dijital teknolojilerin ve otomasyon sistemlerinin devreye girmesi.

Özellikler	Üretimde kullanılan otomasyonlar.	Sensörler, bilgisayar destekli sulama sistemleri ve veri analizine dayalı tarım teknikleri.
Endüstri Devrimi/ Tarım Dönemi	Endüstri 4.0 Devrimi	Tarım 4.0 Dönemi
Tanım	Dijitalleşme ve insan-robot iş birliğinin geliştiği dönem.	Nesnelerin interneti ve büyük veri analizinin tarıma entegre edilmesi.
Özellikler	Siber-fiziksel sistemlerin kullanımının başlaması.	Akıllı tarım uygulamaları, insansız hava araçları (drone) ile tarımsal takip ve otomasyon.
Endüstri Devrimi/ Tarım Dönemi	Endüstri 5.0 Devrimi	Tarım 5.0 Dönemi
Tanım	Yapay zekâ, robotik sistemler ve insan-makine iş birliğinin ileri seviyeye taşındığı dönem.	Tarımda sürdürülebilirlik, biyoteknoloji ve yenilenebilir enerji kullanımının ön planda olduğu dönem.
Özellikler	İnsan merkezli otomasyon, robot destekli üretim, karbon nötr yaklaşımlar.	Yapay zekâ destekli tarım robotları, biyoteknoloji ile verimlilik artışı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve karbon ayak izinin azaltılması.

Kaynak: Bu tablo, tarafımızdan hazırlanmıştır.¹

Endüstri 4.0, tarım sektöründe Tarım 4.0 olarak adlandırılan dijital dönüşümü tetikleyerek nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ, büyük veri, robotik sistemler ve otomasyon teknolojileri ile tarımsal faaliyetleri daha verimli ve sürdürülebilir hâle getirmektedir. Akıllı sensörler ve IoT sayesinde toprak ve hava koşulları izlenirken otonom tarım makineleri ekim, sulama ve ilaçlama süreçlerini optimize eder. Yapay zekâ ve büyük veri analizleri hastalıkları öngörüp verimliliği artırırken blokzincir teknolojisi tedarik zincirinde şeffaflık sağlar. Bu yenilikler, tarımı daha akıllı, verimli ve çevre dostu hâle getirerek geleceğin gıda üretimini şekillendirir (Çakır ve İşlek, 2021).

Tarım 4.0, çevresel koşulları, bitki sağlığını, gübreleme ve hastalık yönetimini optimize eden dijital çözümler sunar. Akıllı telefonlar, sensörler ve insansız hava araçları (İHA) gibi teknolojilerle tarladaki veriler toplanır, işlenir ve analiz edilir. Bu dijital araçlar, doğru kararlar alınmasını sağlar, çevresel etkileri azaltır ve kaynakları verimli kullanmayı mümkün kılar. Bu sistemlerin entegrasyonu, sürdürülebilir tarım uygulamalarını destekler, üretim verimliliğini artırır ve doğal kaynakların etkin kullanımına katkı sağlamaktadır (Çakmakçı ve Çakmakçı, 2023).

2.2. Akıllı Tarım Uygulama Alanları

Akıllı tarım, teknolojik yeniliklerin entegrasyonu ile tarımsal süreçleri optimize eden, verimliliği artıran ve sürdürülebilir üretimi teşvik eden bir yaklaşımdır. Tarım arazilerinin etkin yönetimi, kaynak kullanımının verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Bu kapsamda, uzaktan algılama ve sensör teknolojileriyle desteklenen arazi sınıflandırması, harita tabanlı gübreleme, verim haritalama, akıllı sulama, hayvancılık uygulamaları, bitki sağlığı ve hastalık kontrolü ile seracılık gibi alanlarda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Yapay zekâ, büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT) ve otonom sistemler gibi ileri teknolojiler sayesinde tarımsal karar destek sistemleri daha etkili hâle getirilmiş, böylece üretim süreçleri daha kontrollü ve verimli bir yapıya kavuşturulmuştur. Dijital tarım uygulamalarının başlıca alanları şunlardır:

2.2.1. Arazi Sınıflandırması

Arazi sınıflandırması, tarım arazisinin farklı bölgelerinin potansiyelini belirlemeye yönelik bir analiz sürecidir ve bu işlem, toprak tipi, sulama durumu, eğim gibi çeşitli değişkenlere dayanır. Teknolojik tarım uygulamalarında bu analiz, uydu görüntüleri, drone teknolojileri ve sensörler gibi modern araçlar kullanılarak daha hassas bir şekilde yapılabilmektedir. Bu yöntem, arazinin hangi ürünler için en uygun olduğunu belirlemeye olanak tanır. Teknolojik tarım uygulamalarının etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için, arazide ekili olan ürünün doğru bir şekilde tespit edilmesi kritik bir öneme sahiptir. Ayrıca, birden fazla görüntü ve sensör teknolojisi, özellikle SAR gibi sistemler kullanılarak

¹ Bu tablo, Filiz Kutluay TUTAR tarafından hazırlanmıştır.

yapılan sınıflandırmalar, bitkilerin ve diğer nesnelerin farklı özelliklerini daha doğru bir şekilde yakalayarak daha yüksek sınıflandırma doğruluğu sağlayabilmektedir (Çakır ve İşlek, 2021).

2.2.2. Gübreleme

Teknoloji destekli tarımda gübreleme süreçleri, harita tabanlı sistemler kullanılarak yapılmaktadır. Bu sistemler, toprakta bulunan elementlerin GPS verileriyle tespit edilmesini ve akıllı tarım makinelerinin GPS sinyalleriyle toprak işleme işlemlerinin yapılmasını sağlar. Türkiye'de bu teknoloji, üniversiteler, sanayi ve özel sektörün iş birliğiyle geliştirilmiştir (Türker vd., 2015).

2.2.3. Verim Haritalama

Zamanlı ve doğru rekolte tahminleri, tarımsal üretim ve buna bağlı sanayiler için büyük öneme sahiptir, çünkü bu tahminler, yerel ve global çapta finansal ve stratejik kararlar alırken üreticilerden siyasetçilere kadar geniş bir zincire avantaj sağlar. Verim haritalama, tarladaki farklı bölgelerdeki verimi izleyerek hangi alanlarda yüksek veya düşük verim olduğunu belirler. Dijital tarımda, drone ve uydu görüntüleriyle oluşturulan detaylı verim haritaları, çiftçilere hangi alanlarda müdahale yapmaları gerektiğini göstererek verimliliği artırmaktadır (Ercan vd., 2019).

2.2.4. Sulama

Akıllı sulama, su kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlamak için gelişmiş teknolojilerle desteklenen bir sistemdir ve özellikle akıllı yağmurlama sistemleri ile su tasarrufu sağlanır. Toprak nem sensörleri, hava durumu verileri ve çevresel parametrelerle sulama ihtiyacı doğru bir şekilde belirlenir, böylece su israfı engellenir ve bitkilerin ihtiyaç duyduğu su tam zamanında sağlanır. Bu, çiftçilerin su tüketimini önemli ölçüde azaltarak tarımsal uygulamaları çevre dostu hâle getirmektedir (Teke vd., 2016).

2.2.5. Hayvancılık Uygulamaları

Büyük ölçekli hayvancılık yönetiminde çevresel sensörler ve vücut sensörlerinin kullanımı, sıcaklık, nabız ve konum izleme gibi yöntemlerle hayvanların sağlığı, davranışları ve yaşam koşulları iyileştirilir. Bu teknolojiler, hastalıkların ve salgınların önlenmesinde, hayvan aktivitesinin, sağlığının ve refahının izlenmesinde etkin bir rol oynar. Ayrıca, akıllı hayvancılık uygulamalarıyla hayvan üretkenliği artırılır, sağlık sorunları tespit edilir ve hayvanların refahı korunabilir. Akıllı teknolojiler, çiftçilere hayvanların sağlık ve verimliliği hakkında içgörü sağlar ve çevresel etkileri kontrol etmeye yardımcı olur. Bunun yanı sıra, makine öğrenmesi ve yapay zekâ teknikleri süt işletme yönetimi, üretim tahmini ve hayvancılık uygulamalarında da kullanılmaktadır (Schillings vd., 2021).

2.2.6. Bitki Sağlığı ve Hastalık Kontrolü

Bitki hastalıklarının erken teşhisi, tarımsal verimliliği artırmak ve hastalıkların yayılmasını önlemek için kritik öneme sahiptir. Geleneksel yöntemler yetersiz kaldığından, yapay zekâ ve görüntü işleme teknolojileriyle desteklenen teknolojik tarım uygulamaları hızla gelişmektedir. Derin öğrenme modelleri, IoT tabanlı sensörler ve görüntü analiz algoritmaları kullanılarak bitki hastalıkları, böcek hareketleri ve çevresel faktörler etkin bir şekilde izlenmekte, çiftçilere karar desteği sağlanmaktadır. Bu teknolojiler, mahsul yönetiminden zararlı kontrolüne kadar geniş bir yelpazede uygulanarak sürdürülebilir tarımı teşvik etmektedir (Çaylı, 2023).

2.2.7. Seracılık Uygulamaları

Seracılık ve özellikle dikey tarım uygulamaları, son yıllarda dijital tarım teknolojileriyle popülerlik kazanmaktadır. Bu sistemlerde, sera otomasyonu ile birlikte çevresel veriler doğrultusunda havalandırma, sulama, aydınlatma gibi işlemler otomatik olarak yapılmaktadır. Teknolojik tarım uygulamaları, iç mekân koşullarını optimize etmek için sıcaklık, nem ve ışık gibi faktörleri sensörlerle sürekli izlemekte ve otomatik kontrol sistemleriyle en verimli ortamı sağlamaktadır. Ayrıca, bitki büyümesi ve hastalıklar da sensörlerle takip edilerek serada en uygun koşullar yaratılmaktadır (Ercan vd., 2019).

2.3. Akıllı Tarım Uygulamaları ve Ekonomik Büyüme

Ekonomik büyüme, bir ülkenin ekonomik kapasitesinin zaman içinde artması ve üretim faktörlerinin verimli kullanılmasının bir sonucudur. Tarım sektörü, ekonomik büyüme ve kalkınma için kritik bir öneme sahiptir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde tarım, büyük bir istihdam yaratırken gelir düzeylerini iyileştirir ve diğer sektörleri canlandırır. Teknolojik gelişmeler, tarımsal üretimin verimliliğini artırarak bu sektördeki verimliliği artırır. Tarımda teknoloji kullanımı, sulama, gübreleme ve depolama gibi operasyonları iyileştirir ve gelişmiş ekipman eksikliklerini giderir. Ayrıca, tarım sektöründeki ilerlemeler, uzun vadeli büyüme için gereklidir ve bu ilerlemeler, sosyal, ekonomik ve çevresel sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlar. Teknolojik yatırımlar ve verimli üretim faktörlerinin kullanımı, ekonomik büyümeyi hızlandırır. Tarım teknolojilerinin kırsal yoksulluğu azaltmadaki önemi de vurgulanmaktadır (Bağcı, 2023).

Dijital tarım uygulamaları, ürün verimini artırarak tarımsal verimlilikte kayda değer bir artış sağlamaktadır. Ayrıca, kimyasal kullanımı azaltılarak toprak ve su kaynaklarının korunmasına katkıda bulunmaktadır. Otomasyon ve robotik sistemler, iş gücü gereksinimlerini düşürerek üretim maliyetlerini azaltmaktadır. Gerçek zamanlı veri toplama ve analiz imkânı ise çiftçilere daha doğru ve zamanında kararlar alabilme yeteneği sunmaktadır. Türkiye'deki tarım sektörüne bu teknolojilerin entegrasyonu, üretim verimliliğini artırmakla kalmayıp aynı zamanda gıda güvenliği ve ekonomik kalkınmaya önemli katkılar sağlamaktadır (Farmonaut, 2024).

3. TARIMDA DİJİTALLEŞME VE KÜRESEL ETKİLERİ

Dünya genelinde tarımsal gelişim süreci, geleneksel tarımdan akıllı tarıma kadar uzanan bir dizi dönüşümle şekillenmiştir. Bu süreç, ekonomik, teknolojik ve politik faktörlerin etkisiyle şu aşamalar çerçevesinde değerlendirilmiştir:

Geleneksel Tarım Dönemi ve Sürdürülebilirlik Kaygıları: Sortino ve Chang Ting Fa (2008) çalışmasında, geleneksel tarım tekniklerinin modern tarımda yeniden uygulanabilirliğini ele almış ve bu tekniklerin sürdürülebilirlik açısından avantaj sağlayabileceğini vurgulamıştır. Organik tarım uygulamalarının özellikle az gelişmiş bölgelerde yaygınlaştığı belirtilmiş ancak modernleşmiş bölgelerde sertifikasyon ve pazarlama hizmetleriyle desteklendiği ifade edilmiştir. Geleneksel tarımdan akıllı tarıma dönüşüm süreci, çevresel ve ekonomik nedenlerini incelemiştir (Yürüdü, Kara ve Arıbaş 2010). Kimyasal ve genetik girdilerin yoğun kullanımının getirdiği olumsuzluklar, organik tarım ve sürdürülebilir tarım yöntemlerine olan ihtiyacı artırmıştır.

Tarımda Modernizasyon ve Mekanizasyon: Güreşçi (2013), makalesinde tarım sektörünün doğal şartlara bağlılığını ve bu durumun ekonomik etkilerini incelemiş, tarımda makine kullanımının sınırlı olduğuna dikkat çekmiştir. Geleneksel tarım uygulamalarının devam ettiği ancak piyasa ile zayıf ilişkilerin tarımsal işletmelerin sürekliliğini tehdit ettiği vurgulanmıştır. Tarımsal modernizasyon sürecinde inovasyon ve AR-GE stratejilerinin önemini vurgulamış, bu geçişte eğitimli iş gücünün artırılması ve uluslararası patent edinimi gibi faktörlerin etkisini incelemiştir (Ersöz, 2011).

Tarım Politikaları ve Stratejik Planlamalar: Besimoğlu (2016) çalışmasında, tarım araştırmaları ve eğitim kurumlarının tarımsal modernizasyon sürecine etkisini analiz etmiş, bilim ve teknoloji politikalarının bu süreci desteklemesi gerektiğini ortaya koymuştur. Tarım politikalarının bu geçişteki rolünü vurgulamıştır. Ayrıca, Çetiner (2017), tarımda sürdürülebilir yoğunlaşmanın sağlanması için gerekli politika ve tedbirleri inceleyerek tarım politikalarının modernizasyon sürecinde kilit bir rol oynadığını vurgulamıştır.

Dijital ve Akıllı Tarım Uygulamaları: Sott ve diğerleri (2021), tarımda teknolojik benimsemenin çevresel sürdürülebilirlik ve gıda güvenliği konularındaki etkisini ele almış, sensörler ve drone'lar gibi teknolojilerin kullanımının önemini vurgulamıştır. Mitra ve diğerleri (2022), akıllı tarımın tarımsal üretim süreçlerine entegrasyonunu detaylı bir şekilde incelemiş, sulama sistemleri, bitki yönetimi ve sensör teknolojileri gibi konulara odaklanmıştır. Chen ve diğerleri (2023), yapay zekâ ve IoT teknolojilerinin tarım gıda sistemlerindeki rolünü incelemiş ve veri tabanlı karar alma süreçlerinin tarım verimliliğini nasıl artırdığını ortaya koymuştur. Binayao ve diğerleri (2024), akıllı

sulama sistemlerinin tarıma entegrasyonunu araştırarak su kaynaklarının etkin kullanımının tarımsal süreklilik için kritik olduğunu vurgulamıştır. Kojo Gyamfi ve diğerleri (2024), akıllı tarım 4.0 uygulamalarının modern tarımın dönüşümündeki rolünü ele almış ve sensör teknolojilerinin entegre edilerek tarımsal verimliliğin nasıl artırılabilirliğini incelemiştir.

3.1. Dünya Tarımının İlerlemesi ve Akıllı Tarım Uygulamaları

Akıllı tarım, teknolojinin tarım sektörüne entegre edilmesiyle verimliliğin artırılması, çevresel etkilerin azaltılması ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Bu yaklaşım, dünya genelinde farklı ülkeler tarafından benimsenmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Birçok ülke, akıllı tarım teknolojilerini geliştirmek için kapsamlı yatırımlar yaparken çiftçilere eğitim ve destek sunarak bu teknolojilerin kullanımını teşvik etmektedir. Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere, Hollanda, Japonya ve Tayvan gibi ülkeler, dijital tarım uygulamalarında öne çıkan ve bu alandaki başarılarıyla dikkat çeken örnekler sunmaktadır. Bu ülkelerin tarımsal inovasyonları, dijitalleşme süreçleri ve sürdürülebilir üretim yöntemleri, küresel tarım sektöründe önemli değişimlere yol açmaktadır. Bu başlıkta, bu ülkelerin dijital tarım uygulamalarındaki başarıları değerlendirilmiştir.

3.1.1. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)

ABD'nin tarımsal ihracattaki başarısının temelinde, teknolojiye yaptığı yatırımlar ve bu teknolojiyi çiftçilere etkin bir şekilde öğretme stratejileri yatmaktadır. ABD Tarım Bakanlığı'na bağlı birçok enstitü ve kuruluş, tarım sektöründe verimliliği artırmayı, doğal kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlamayı ve gıda güvenliğini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, tarım ekipmanları, yazılımlar ve sensör teknolojileri üzerine yapılan araştırmalar desteklenirken çiftçilerin bu yenilikçi sistemleri kullanabilmesi için eğitim programları da düzenlenmektedir. Örneğin, tarımsal üretimde su ve gübre kullanımını optimize eden teknolojiler sayesinde, maliyetler düşerken çevresel sürdürülebilirlik de sağlanmaktadır (Saygılı vd., 2019).

ABD'de tarım sektöründe dijitalleşme hızla yayılmakta ve özellikle dijital tarım sistemleri büyük ilgi görmektedir. Çiftçiler, devlet destekleriyle birlikte dijital sensörler, otomasyon sistemleri ve GPS tabanlı uygulamalarla verimliliklerini artırmaktadır. Örneğin, ülkenin toplam badem üretiminin %80'ini karşıladığı göz önüne alındığında, badem üretiminde su tasarrufu büyük önem taşımaktadır. Bu sorunu çözmek için badem ağaçlarına nem sensörleri yerleştirilmiş, toprak analizleri yapılarak sulama sistemleri bulut tabanlı verilerle yönetilmiştir. Böylece sadece sulamada %20 oranında tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca, NASA tarafından geliştirilen gözlem uyduları, toprak nem oranlarını düzenli olarak ölçerek kuraklık ve iklim değişikliğiyle ilgili detaylı veriler sunmaktadır (Ertaş, 2020).

3.1.2. İngiltere

İngiltere, teknolojik tarım uygulamalarını üniversiteler, sanayi kuruluşları ve devlet desteği ile en başarılı şekilde hayata geçiren ülkelerden biridir. Tarımsal araştırmalara ve bu alandaki eğitime verdiği önem, ülkenin Tarım 4.0 konusundaki başarısının temel sebeplerinden biridir. İngiltere, genç bilim insanlarını yetiştirmek ve araştırma merkezleri kurmak suretiyle dijital tarım teknolojilerine yönelik süreci hızlandırmıştır. Hükümet, tarım ve gıda sektöründeki araştırma ve geliştirme projelerine önemli miktarda yatırım yapmaktadır. Örneğin, yalnızca 2011-2012 yılları arasında bu alanlara 450 milyon Euro bütçe ayırarak tarımsal inovasyonu desteklemiştir (Saygılı vd., 2019).

İngiltere'de tarım alanında faaliyet gösteren önemli kuruluşlardan biri de Rothamsted Enstitüsü'dür. Çevre dostu tarım teknolojileri üzerine çalışan bu enstitü, 175 yıllık geçmişiyle sektörde köklü bir yere sahiptir. 37 milyon pound bütçeye ve 450 araştırmacıya sahip olan enstitü, İngiltere ekonomisine her yıl 3 milyar poundluk katkı sağlamaktadır. Araştırmacılar, tarım ve gıda teknolojileri, genetik iyileştirme ve gıda güvenliği gibi konular üzerine yoğunlaşarak yılda yaklaşık 300 bilimsel yayın yapmaktadır. Bunun yanı sıra, sekiz büyük üniversitenin iş birliğiyle oluşturulan N8 Agrifood platformu, 450 araştırmacı ve 269 milyon poundluk fon desteğiyle sürdürülebilir tarım, güvenli gıda tedariki ve hassas tarım teknolojileri üzerine çalışmalar yürütmektedir. İngiltere, hem ulusal hem de uluslararası iş birliklerine verdiği önem sayesinde, Tarım 4.0 alanında öncü ülkelere bir hâline gelmiştir (DEFRA, 2016).

3.1.3. Hollanda

Hollanda, tarım sektöründe büyük başarılar elde etmiş bir ülkedir. Tarımda verimlilik ve üretim modelinin etkinliği sayesinde, dünya çapında önemli bir tarım ihracatçısı hâline gelmiştir. Hollanda'nın tarım sektörü, teknolojik destekli tarım uygulamalarıyla su ve gübre kullanımını optimize ederken aynı zamanda verimi artırmaya odaklanmaktadır. Bu verimlilik, araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetleri, kooperatifler ve etkili pazarlama stratejileriyle desteklenmektedir. Hollanda, tarım alanında 100 milyar Euro'yu aşan bir dış ticaret geliri elde ederken özellikle sebze, çiçekli bitkiler, süt ve süt ürünleri gibi alanlarda dünya liderliği sağlamıştır. Bu başarıda, tarım arazilerinin kooperatiflere kaydedilmesi ve çiftçilere doğru ürün ve ekim dönemi bilgisi verilmesi de büyük rol oynamaktadır (Yıldız, 2023).

Tarım üniversiteleri, Hollanda'da tarımın gelişimine önemli katkılar sağlamaktadır. Bu üniversiteler, maksimum kaliteye sahip ürünler elde etmek için minimum girdi kullanımı hedeflemekte ve tarımda sürdürülebilirlik sağlamak amacıyla çeşitli araştırmalar yapmaktadır. Ayrıca, Hollanda'daki tarım üniversiteleri ve danışmanlık firmaları, tarımda kullanılan otomasyon sistemleri ve bilgi birikimlerini diğer ülkelere pazarlamaktadır. Hollanda, tarımda verimliliği artırmaya yönelik Tarım 4.0 uygulamalarını hayata geçirerek dünya çapında büyük bir tarım gücü hâline gelmiştir. Kooperatifler, çiftçilere üretim konusunda rehberlik yaparak üretim planlaması ve fiyatlandırma süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu sayede Hollanda, dünya tarım pazarındaki güçlü konumunu sürdürmektedir (Yıldız, 2023).

3.1.4. Japonya

Japonya, tarım sektöründe yaşadığı zorluklara rağmen, teknolojik yatırımlar sayesinde sektörü yeniden canlandırmayı başarmıştır. Tarımın Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'daki (GSYH) payı yalnızca %1,5 iken; tarıma uygun arazilerin %11'i kullanılmaktadır. Bu dar alanın içinde çalışan nüfus hızla azalmakta ve tarımda çalışanların yaş ortalaması yükselmektedir. Kırsal alanda üretilen ürünler genellikle büyük şehirlerde ve zaman zaman uluslararası pazarlarda ticarileşmektedir. Ancak tarımsal teknolojiler sayesinde, üretim ve verimlilik artırılmakta, bu da halkın tarıma olan ilgisini yeniden uyandırmaktadır. Japonya'da tarım ile ilgili kararlar Tarım, Ormancılık ve Balıkçılık Bakanlığı'na aittir ve bu bakanlık, girdi maliyetlerinin düşürülmesi, işleme süreçlerinin yeniden yapılandırılması ve ihracat sistemlerinin güçlendirilmesi gibi stratejik önlemleri hedeflemektedir. Bu önlemlerin merkezinde ise tarımsal teknolojiler yer almaktadır (Ertaş, 2020).

Japonya, tarımsal teknolojilerdeki başarılarını, üniversiteler, özel sektör ve teknoloji merkezleri ile işbirliği içinde geliştirmektedir. Örneğin, Osaka Prefecture Üniversitesi'nde kurulan sebze fabrikası, güneş ışığı yerine yapay ışıklar kullanarak ürünlerin gelişimini hızlandırmakta ve yılda 20 hasat yapılmasını sağlamaktadır. Tokyo Tarım ve Teknoloji Üniversitesi ise robotik alanında çalışmalar yapmakta ve çiftçilerin işlerini kolaylaştırmak için giyilebilir mekanik iskeletler geliştirmektedir. Bu teknolojiler, çiftçilerin vücut yorgunluklarını büyük ölçüde azaltmaktadır. Fukushima Tarımsal Teknoloji Merkezi ise çiftçilere teknik destek sunarak tarıma olan farkındalığı artırmakta ve ücretsiz laboratuvar imkânları sağlamaktadır. Ayrıca, Japonya'daki tarım firmaları, robotik sistemlerle verimliliği artırırken sulama süreçlerinde suyun %98'inin geri dönüşüme kazandırılmasını sağlamakta ve tarımda yüksek verimlilik elde etmektedir. Japonya'nın bu teknolojik yenilikleri, hem yerel üretimin kalitesini artırmakta hem de tarım ihracatını güçlendirerek ülkenin ekonomisine katkı sağlamaktadır (Saygılı vd., 2019).

3.1.5. Tayvan

Tayvan, 36.197 km² yüz ölçümü ve 23.418 milyonluk nüfusuyla hızla gelişen bir ada ülkesidir. Tarım, Tayvan ekonomisinin temel yapı taşlarından biri olup ülkenin yüzde 25'lik bir alanı tarım faaliyetlerine ayrılmıştır. 1960'ların başından itibaren tarımda makinelerle yapılan modernleşmeye ve yeniliklere büyük önem verilmiş, bugün de akıllı tarım projeleri ve teknolojik cihaz üretimiyle dünya çapında tanınmaktadır. Tayvan, IoT sensörleri, drone'lar, robotlar, güneş panelleri ve LED teknolojileri gibi akıllı tarım alanındaki tüm bileşenlerin üretiminde önemli bir oyuncudur. Ülke, Çin ve Asya pazarlarında faaliyet göstermek isteyen tarım şirketleri için ideal bir üs olarak öne

çıkılmaktadır. Tayvan, mühendislik altyapısı ve nitelikli iş gücüyle Akıllı Tarım 4.0 projelerinin merkezlerinden biri olma yolunda ilerlemektedir. 2017-2018 Küresel Rekabetçilik Endeksi'nde 137 ülke arasında 15. sırada yer almakta ve teknoloji alanında yapılan inovasyonlar ve uygulamalarla dikkat çekmektedir (Kılavuz ve Erdem, 2019).

Tayvan'da, iklim değişikliklerinin tarım verimliliği üzerindeki olumsuz etkileri, iç mekân tarımı ve LED teknolojilerinin kullanımıyla aşılmaya çalışılmaktadır. Tayvan, dünya çapında en büyük ikinci LED sektörüne sahip olup bu teknolojilerin gelişimi iç mekân tarımına büyük katkı sağlamaktadır. Ayrıca, robotlar, drone'lar ve güneş panelleri üretiminde de lider konumundadır. Tarımda verimlilik artırıcı uygulamalar arasında, özel LED ışıklarla yıl boyunca ürünlerin büyümesi sağlanmakta, damla sulama ve hassas tarım yöntemleri ile su, iş gücü ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Tayvan'daki YesHealth iFarm, bitkilerin büyümesini optimize etmek için kontrollü ortam koşulları ve bilimsel yöntemler kullanarak sektördeki yenilikçi yaklaşımları sergileyen bir model çiftliktir. Ülke, dijital tarım teknolojilerini geliştirmek için devlet desteğiyle 2020'ye kadar 300 milyon dolar yatırım yapmayı taahhüt etmiş, aynı zamanda, tarımda kullanılan cihazlar ve sensörlerin üretimi için yerli ve yabancı firmaların işbirliklerine de vurgu yapmıştır. Tarım sektörünün modernizasyonu için devlet, organik üretimin teşvik edilmesi, vergi indirimleri ve uluslararası standartlara uyum sağlanması gibi stratejik önlemler almayı hedeflemektedir (Kılavuz ve Erdem, 2019).

4. TÜRKİYE'DE AKILLI TARIM UYGULAMALARI

Türkiye'de teknoloji destekli tarım uygulamaları, tarımsal verimliliği artırmak, su ve gübre kullanımını optimize etmek, hastalık ve zararlılarla mücadelede hassas çözümler geliştirmek amacıyla hızla yaygınlaşmaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı, TÜBİTAK, KOSGEB ve özel sektörün ortak girişimleriyle, tarımın dijital dönüşümü desteklenmektedir. Türkiye, akıllı tarım teknolojilerinin benimsenmesi konusunda önemli adımlar atarak uydu tabanlı tarla yönetimi, İHA ile bitki koruma, akıllı sulama sistemleri, değişken oranlı gübre uygulaması ve otomatik direksiyon sistemleri gibi yenilikçi uygulamaları yaygınlaştırmaktadır. Uydu görüntüleme teknolojileri, çiftçilere tarlalarını uzaktan izleme ve yönetme imkânı sunarken insansız hava araçları hızlı ve hassas ilaçlama yapılmasını sağlamaktadır. Toprak nem sensörleri ve hava durumu verileri ile çalışan akıllı sulama sistemleri su kullanımını optimize ederken toprak analizlerine dayalı değişken oranlı gübreleme tarımsal verimliliği artırmaktadır. Ayrıca, GPS tabanlı otomatik direksiyon sistemleri traktörlerin daha hassas yönlendirilmesini sağlayarak yakıt tasarrufu ve işlem verimliliği sunmaktadır. Özel sektör tarafından geliştirilen bazı yenilikçi çözümler arasında uydu tabanlı bitki sağlığı izleme, yapay zekâ destekli tarımsal analizler, ürün izlenebilirliğini artıran blockchain sistemleri ve kaynak yönetimi uygulamaları bulunmaktadır. Bu teknolojiler, çiftçilere tarlalarını daha verimli yönetme imkânı sunarken sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaşmasına da katkı sağlamaktadır (Farmonaut, 2024).

4.1. Akıllı Tarım Projeleri ve Kamu-Özel Sektör İş Birlikleri

Tarım sektöründe dijitalleşme ve teknoloji kullanımına yönelik projeler, verimliliği artırmak ve sürdürülebilir üretim sağlamak amacıyla çeşitli uygulamalar içermektedir. Hassas tarım tekniklerinin geliştirilmesi kapsamında hava ve yer verilerinin toplanması, analiz edilmesi ve işlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, tarım arazilerinde farklı ürünlerle yapılan çalışmalar sayesinde verim haritalama, sulama yönetimi, gübreleme ve hastalık tespiti gibi süreçler, uzaktan algılama teknolojileriyle değerlendirilmektedir (Akay, 2018).

Akıllı tarım uygulamaları geliştiren şirketler, hasat planlamasından sulamaya, seracılık sistemlerinden dijital mekanizasyona kadar geniş bir yelpazede hizmet sunmaktadır. Çiftçilere yönelik tarımsal kontrol ve planlama yazılımlarının yanı sıra, tarım sektöründe faaliyet gösteren farklı kurumlara yönelik veri tabanlı çözümler de geliştirilmektedir. Bu uygulamalar, tarımsal üretimde verimliliği artırmanın yanı sıra, sigorta ve finans sektöründe ekonomik kayıpları en aza indirmek için de kullanılmaktadır (Tarla.io, 2019).

İleri teknoloji sistemlerinin tarımda kullanımını yaygınlaştırmaya yönelik çalışmalar arasında, IoT ve makineden makineye iletişim (M2M) teknolojileri önemli bir yer tutmaktadır. Bu sistemler, seracılık yönetimi, akıllı sulama, hayvan takibi ve barınak izleme gibi alanlarda çeşitli çözümler sunmaktadır (Akıllı Tarım Platformu, 2019). Tarımsal üretimi daha etkin hâle getirmek için coğrafi bilgi sistemleri, büyük veri analitiği, görüntü işleme ve fenolojik modelleme gibi teknolojilerden de yararlanılmaktadır. Bu sayede, uzaktan algılama sistemleriyle elde edilen veriler işlenerek tarım süreçleri optimize edilmekte ve çiftçilere anlık bilgi sağlanmaktadır (Ozdoğan vd., 2017).

Mobil uygulamalar aracılığıyla tarım alanlarına yönelik anlık veri takibi yapılabilen ve hava-yer istasyonlarıyla entegre edilen bu veriler, tarımsal karar destek sistemlerinde kullanılmaktadır (Çakır ve İşlek, 2021). Kırsal kalkınmayı teşvik etmek ve tarımsal üretimi daha verimli hâle getirmek amacıyla gerçekleştirilen projelerde ise geleneksel tarım yöntemleri dijital teknolojiyle buluşturulmaktadır. Bu sayede, üretim maliyetlerinde önemli oranlarda tasarruf sağlanarak akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, bitkisel üretim maliyetlerinde en az %20, hayvansal üretim maliyetlerinde %22 ve sulama maliyetlerinde %20 tasarruf sağlanması öngörülmektedir (Kaya, 2019).

4.2. Akıllı Tarımda Devlet Politikaları ve Stratejiler

Türkiye’de tarım sektörü, hem geleneksel yöntemlerin geliştirilmesi hem de modern teknolojilerin entegrasyonu ile sürdürülebilir bir şekilde büyümeyi hedeflemektedir. Bu bağlamda, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından geliştirilen stratejik planlar, akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaşmasını destekleyen önemli adımlar atmıştır. Bu süreçteki en önemli unsurlardan biri, geçmiş stratejik planların ve bu planlar doğrultusunda verilen devlet desteklerinin sektördeki dönüşüm sürecine sağladığı katkılardır. Türkiye’nin tarım sektörü, son yıllarda dijitalleşme ve teknoloji kullanımını hızlandırarak önemli bir dönüşüm sürecine girmiştir. Bu dönüşümün temelini, 2019-2023 Stratejik Planı gibi geçmiş yıllarda belirlenen hedefler atmıştır. Özellikle bu plan, dijital tarım platformlarının geliştirilmesine ve tarımsal veri kullanımının artırılmasına yönelik temel adımların atılmasını sağlamıştır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024).

Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024-2028 Stratejik Planı çerçevesinde, tarım sektörünü daha sürdürülebilir ve verimli kılmak amacıyla çeşitli destekleme modellerini hayata geçirmektedir. Bu modeller, geçmişteki stratejik planlar doğrultusunda şekillendirilmiş ve mevcut tarımsal uygulamaları daha ileriye taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Örneğin:

- ❖ Dijital Tarım Pazaryeri: Tarımsal üreticilerin pazar erişimlerini artırmak ve tarımda büyük veri kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla oluşturulmuştur. Bu platform, üreticilere dijital ortamda ürünlerini doğrudan satma fırsatı sunarken fiyatlandırma ve lojistik süreçlerini de optimize etmektedir.
- ❖ Akıllı Sulama Sistemleri: Tarımsal su kaynaklarının daha etkin ve verimli kullanılması için IoT (Nesnelerin İnterneti) destekli sulama projeleri teşvik edilmektedir. Bu sistemler, toprak ve hava sensörleriyle su ihtiyacını belirleyerek israfı önlemekte ve verimliliği artırmaktadır.
- ❖ Akıllı Tarım Teşvikleri: Tarım makineleri ve ekipman desteği kapsamında akıllı sensörler, drone teknolojileri ve uydu bazlı gözlem sistemlerinin kullanımını yaygınlaştırmaya yönelik teşvik programları uygulanmaktadır. Böylece, tarımsal üretimde otomasyonun artırılması ve maliyetlerin düşürülmesi hedeflenmektedir.
- ❖ Tarım Teknolojileri Ar-Ge Destekleri: TÜBİTAK ve KOSGEB gibi kurumlar aracılığıyla yerli tarım teknolojilerinin geliştirilmesi teşvik edilmektedir. Akıllı tarım projelerine yönelik Ar-Ge destekleri ile inovatif çözümler geliştirilerek tarım sektöründe dijital dönüşüm hızlandırılmaktadır.

Bu stratejiler, Türkiye’de tarım sektörünün sürdürülebilirlik ve verimlilik odaklı bir dönüşüm geçirmesini sağlayarak üreticilerin daha rekabetçi ve kârlı bir yapıya kavuşmasına katkıda bulunacaktır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024).

4.3. Türkiye’de Dijital Tarımın Güçlü ve Zayıf Yönleri

Türkiye’de dijital tarımın uygulanabilirliğine yönelik yapılan analizlere göre, sektörde dijital tarım teknolojileri sunan kuruluşların varlığı ve bazı üreticilerin bu kuruluşlarla işbirliği yapması önemli güçlü yönler arasında yer almaktadır. Ancak, düşük farkındalık seviyesi, bilgi teknolojileri okuryazarlığındaki yetersizlik ve yüksek yatırım maliyetleri gibi faktörler, dijital tarımın yaygınlaşmasını zorlaştıran zayıf yönler olarak öne çıkmaktadır (Ercan vd., 2019). Aşağıdaki tabloda, Türkiye’de dijital tarımın güçlü ve zayıf yönleri gösterilmektedir.

Tablo 4. Türkiye’nin Akıllı Tarım Açısından Güçlü/Zayıf Yanları

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
❖ Türkiye’de dijital tarım teknolojileri sunan kuruluşların bulunması ❖ Dijital tarım kuruluşlarıyla iş birliği yapan üreticilerin bulunması ❖ Üreticilerin dijital tarım teknolojilerine olumlu geri dönüşleri ❖ Dijital tarımı yaygınlaştırmaya yönelik faaliyetlerin yürütülmesi ❖ Dijital tarım sertifika programlarına artan ilgi ❖ Türkiye’nin tarımsal üretim potansiyeli, devlet destekleri ve kooperatiflerin rolü ❖ Tarımda Ar-Ge yatırımlarının artması ❖ Genç nüfus oranının fazla olması ❖ Tarımda dijitalleşme, devlet teşvikleri ve genç çiftçilerin desteklenmesi ❖ Dijital telefon ve teknolojik cihazlara aşinalık ❖ Ar-Ge ve eğitim yatırımlarına olan talep ❖ Devlet politikaları yönünde artan talepler ❖ Dijital tarımın yeni istihdam olanakları yaratması ❖ Dijital tarım uygulamalarıyla Türkiye, uluslararası tarım pazarında rekabet gücünü artırır	❖ Dijital teknolojilere yönelik farkındalık eksikliği ❖ Bilgi teknolojileri okuryazarlığının düşük olması ❖ Tarım üreticilerinin yüksek yaş ortalaması ❖ Küçük ölçekli tarım işletmelerinin yaygın olması ❖ Kırsal bölgelerde teknolojik altyapı yetersizliği ❖ Devlet politikalarının yetersizliği ❖ Teknolojik girdilerde dışa bağımlılık ❖ Dijital tarımın sektörde radikal değişim yaratması ❖ Tarımsal iş gücünün istihdamında zorluklar ❖ Sektörler arası entegrasyonda yaşanabilecek güçlükler ❖ Sürecin yanlış yönetilmesi riski ❖ Diğer ülkelerin dijital tarım uygulamalarında daha hızlı ilerlemesi, Türkiye’nin uluslararası pazarda rekabet gücünü zayıflatır ❖ Ekonomik dalgalanmalar, iklim değişikliği ve tarım politikalarındaki istikrarsızlık

Kaynak: (Ercan vd., 2019; Yılmaz ve Tunalioglu, 2024).

4.4. Türkiye’de Akıllı Tarımın Geleceği ve Stratejik Yol Haritası

Türkiye’de akıllı tarıma dönüşüm, Endüstri 4.0 ve Tarım 4.0 kavramlarının etkisiyle hızla ilerlemektedir. Bu dönüşüm, tarım sektörünün dijitalleşmesiyle şekillenmekte ve tarımsal üretimde verimliliği artırmaya yönelik önemli fırsatlar sunmaktadır. Türkiye, modern teknolojilerin entegrasyonu, tarımsal üretimi daha verimli hâle getirmek, kaynak kullanımını optimize etmek ve sürdürülebilirliği sağlamak adına stratejik adımlar atmaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı’nın 2024-2028 Stratejik Planı çerçevesinde, bu hedeflere ulaşmak için yapay zekâ, nesnelerin interneti (IoT), büyük veri analitiği gibi teknolojilerin kullanımı artırılacaktır. Bu teknolojiler, üretim süreçlerini daha öngörülebilir ve verimli hâle getirerek çiftçilere daha bilinçli kararlar alma imkânı sunacaktır. Özellikle, IoT cihazları sayesinde tarım makinelerinin uzaktan izlenmesi ve yönetilmesi, kaynak kullanımını daha etkin hâle getirerek maliyetleri düşürmeye yardımcı olacaktır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024).

4.4.1. Türkiye’de Akıllı Tarımın Mevcut Durumu

Türkiye, tarım sektöründe önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen, akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaşması henüz istenen düzeyde değildir. Bununla birlikte, son yıllarda devlet destekleri, özel sektör yatırımları ve girişimcilik faaliyetleri ile akıllı tarım uygulamaları giderek artmaktadır.

- ❖ *Devlet Destekleri:* Tarım ve Orman Bakanlığı, akıllı tarım projelerine yönelik çeşitli hibe ve teşvik programları sunmaktadır. Özellikle Ar-Ge Destek Programı aracılığıyla, tarım sektöründe teknolojik yeniliklerin geliştirilmesi ve uygulanması teşvik edilmektedir. Bu program, özel sektörün Ar-Ge kültürünü ve kapasitesini artırmayı, yeni tür, çeşit, teknoloji ve ürünlerin geliştirilmesini amaçlamaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023). Ayrıca, KOSGEB'in Ar-Ge ve İnovasyon Destek Programı, tarımsal teknolojiler geliştiren firmalara finansal destek sağlamaktadır. Örneğin, Görsentam firması bu program sayesinde, yapay zekâ destekli tarım çözümleri geliştirerek ürün verimini artırmıştır (KOSGEB, 2023).
- ❖ *Özel Sektör ve Girişimcilik:* Türkiye'de tarım teknolojileri (AgriTech) alanında faaliyet gösteren birçok girişim bulunmaktadır. Bu girişimler, akıllı sulama sistemleri, drone teknolojileri ve yapay zekâ tabanlı çözümler geliştirmektedir. Özellikle yapay zekâ ve tarım teknolojileri alanında, özel sektör ve kamu iş birliğiyle Ar-Ge yatırımlarının artırılması hedeflenmektedir. Bu sayede, Türkiye'nin küresel AgriTech pazarındaki konumunun güçlendirilmesi planlanmaktadır (Farmonaut, 2024).
- ❖ *Üniversiteler ve Ar-Ge:* Üniversiteler, akıllı tarım uygulamaları ve teknolojileri konusunda önemli Ar-Ge faaliyetleri yürütmektedir. Özellikle Ege Üniversitesi, Boğaziçi Üniversitesi, Ankara Üniversitesi ve Konya Gıda Tarım Üniversitesi gibi kurumlar, bu alanda ulusal ve uluslararası iş birlikleriyle projeler geliştirmektedir. Örneğin, Ege Üniversitesi İİBF ve İzmir Ticaret Borsası ortaklığında yürütülen "Türk Tarımının Global Entegrasyonu: Tarım 4.0" projesi, bu alandaki önemli çalışmalardan biridir (Saygılı vd., 2019).

4.4.2. Tarım Sektöründeki Gelişim ve Stratejik Yatırımlar

2002-2020 döneminde Türkiye, tarım sektörünü desteklemek amacıyla 65 milyar dolardan fazla kaynak ayırmış, 2021 ve 2022'de bu destekleri 70 milyar dolara çıkarmıştır. 2002-2022 yılları arasında Türkiye'nin tarımsal üretim değeri 1 trilyon doları aşar iken kamu teşviklerinin etkisiyle Türkiye'nin tarım sektöründeki yönlendirme başarısı daha belirgin hâle gelmiştir. 2023'te 63,19 milyar dolar, 2050'de ise 273,03 milyar dolarlık bir üretim değeri beklenmektedir. Bu gelişmeler, Türkiye'nin küresel tarım sektöründeki yerini güçlendirme potansiyeline işaret etmektedir. 2002 yılında kişi başına üretim 3.285 dolarken bu rakamın 2050'de 37.656 dolara çıkması öngörülmektedir. Türkiye, 2021'de dünya tarımsal üretiminin %1,34'ünü oluştururken 2050'de bu oranı %2,35'e çıkararak dünyanın en büyük yedinci tarım ekonomisi olmayı hedeflemektedir (İstikbal, 2022).

4.4.3. Sürdürülebilir Tarım için Akıllı Teknolojiler ve Politikalar

Türkiye, iklim ve toprak çeşitliliği açısından tarımda büyük avantajlara sahiptir. Bu avantajların sürdürülebilirliği, akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaştırılmasıyla sağlanır. Bu bağlamda, sulama altyapısının geliştirilmesi ve küresel ısınmaya karşı dayanıklı stratejilerin benimsenmesi büyük önem taşımaktadır. 2023 itibarıyla tarımsal AR-GE harcamalarının %20 oranında artması, sektörde yenilikçi çözümler üretme kapasitesini artırmıştır. Ayrıca, kooperatif çalışmalarının yaygınlaşması, çiftçilerin gelir düzeyini artırmış ve sektördeki iş birliği gücünü pekiştirmiştir. Türkiye, bu deneyim ve tarımsal kapasitesiyle bölgesel liderlik rolü üstlenebilecek bir konumda olup stratejik olarak önemli bir yere sahiptir. Tarım sektörü, yalnızca bugünün ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayıp gelecekteki gıda güvenliği, ekonomik kalkınma ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da kritik bir öneme sahiptir (Business Diplomacy, 2025).

4.4.4. Akıllı Tarımın Geleceği: Yenilikçi Çözümler ve Küresel Rekabet

Türkiye'nin akıllı tarım uygulamalarına dönüşümüyle birlikte, verimlilik artışı, ihracat potansiyelinin büyümesi ve küçük ölçekli üreticilerin rekabet gücünün artması beklenmektedir. Girdi maliyetlerinin düşmesiyle birlikte, tarımsal sürdürülebilirlik daha güçlü bir şekilde desteklenecek ve Türkiye'nin uluslararası pazarlardaki rekabet avantajı artacaktır. Bununla birlikte, bu dönüşümün başarılı olabilmesi için altyapı yatırımları, çiftçilere yönelik eğitim programları ve devlet desteklerinin artırılması kritik bir öneme sahiptir. Teknolojik yeniliklerin ve stratejik planlamaların etkili bir şekilde bir araya getirilmesi, Türkiye'nin hem ulusal gıda güvenliğini sağlamada hem de küresel tarım piyasasında daha güçlü bir konuma ulaşmasında önemli bir rol oynayacaktır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024).

Türkiye'de akıllı tarımın geleceği, birçok faktörün birleşimiyle şekillenecektir.

a. Teknolojik Altyapının Geliştirilmesi

Akıllı tarımın başarılı olabilmesi için teknolojik altyapının güçlü olması şarttır. IoT (Nesnelerin İnterneti) ve sensör teknolojileri, çiftçilere gerçek zamanlı veriler sunarak tarladaki nem, sıcaklık ve hava koşulları gibi önemli faktörlere dayalı kararlar almalarını sağlar (IoT Türkiye, 2020). Örneğin, sensörler sayesinde toprak sağlığına dair alınan veriler, çiftçilere sulama, gübreleme ve hasat zamanlamaları konusunda rehberlik etmektedir.

Yapay zekâ (AI) ve makine öğrenmesi, üretim süreçlerini optimize etmek için kullanılır. Bu teknolojiler, çiftçilerin mahsul sağlığını sürekli izleyerek hastalıkları ve zararlıları önceden tespit etme imkânı sunar. Ayrıca, AI algoritmaları, geçmiş verilerden öğrenerek daha verimli üretim yöntemleri geliştirir. Drone'lar ve uydu görüntüleri de tarımda devrim yaratacak bir diğer önemli yenilikçi araçtır. Tarlaların havadan izlenmesi, bitki sağlığı, su kaynaklarının durumu ve toprak verimliliği hakkında değerli bilgiler sağlamaktadır (Farmolog, 2023).

b. Eğitim ve Farkındalık

Türkiye'de akıllı tarımın yaygınlaşabilmesi için çiftçilerin bu teknolojilere adapte olması gerekmektedir. Bu nedenle, eğitim programları büyük önem taşır. Tarım kooperatifleri ve birlikleri, çiftçilere yönelik eğitimler düzenleyerek bu teknolojilerin kullanımı konusunda farkındalık yaratır. Ayrıca, devlet destekli eğitim projeleri, çiftçilerin bu yenilikçi çözümleri daha hızlı benimsemelerini sağlar. Tarımsal alanda dijitalleşmeye yönelik atılacak her adım, verimliliği artıracak ve üreticilerin küresel rekabette daha güçlü bir yer edinmelerine yardımcı olacaktır (Farmonaut, 2024).

c. Sürdürülebilirlik ve Çevre Dostu Uygulamalar

Akıllı tarım, çevre dostu uygulamaların yaygınlaşmasını sağlayarak sürdürülebilirliği destekler. Bu teknoloji, su ve enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasına olanak tanır, böylece çevresel etkiler azaltılır. Türkiye'nin su kaynaklarının verimli kullanımı, akıllı sulama sistemleriyle önemli ölçüde iyileştirilir. Ayrıca, akıllı tarım teknolojileri, iklim değişikliği ile mücadelede de önemli bir araçtır. Özellikle su tasarrufu sağlayan ve toprak verimliliğini artıran uygulamalar, çevresel etkileri azaltarak daha sağlıklı bir ekosistem oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Farmonaut, 2024).

d. Veri Yönetimi ve Güvenliği

Akıllı tarımın temelinde büyük veri (big data) yönetimi yer almaktadır. Çiftçilerin, tarlalarındaki verileri toplaması, analiz etmesi ve bu veriler üzerinden stratejiler geliştirmesi, üretimin etkinliğini artıracaktır. Ancak, bu verilerin güvenliği büyük bir önem taşır. Tarımsal verilerin dijital ortamda toplanması ve paylaşılması, potansiyel siber tehditlere karşı korunmalıdır. Bu noktada, güçlü veri güvenliği önlemleri ve altyapıların oluşturulması, bilgilerin güvenli bir şekilde yönetilmesi ve çiftçilerin dijital dönüşüm sürecinde karşılaşabileceği zorlukların minimize edilmesi için gereklidir (IoT Türkiye, 2020).

SONUÇ

Akıllı tarım uygulamaları, geleneksel tarımın verimsizlik ve yüksek maliyet gibi sorunlarını aşarak tarımsal üretimde verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmaktadır. Çalışmada elde edilen veriler, Türkiye’de akıllı tarım teknolojilerinin yaygınlaşmasının su ve gübre kullanımında tasarruf sağladığını, tarımsal hastalık ve zararlılarla mücadelede erken teşhis imkânı sunduğunu ve ekonomik büyümeye katkıda bulunduğunu göstermektedir. Ancak, düşük farkındalık, yüksek sermaye gereksinimleri ve kırsal altyapı eksiklikleri bu dönüşüm sürecinin önündeki başlıca engellerdir. Devlet destekli eğitim programları, geniş çaplı bilinçlendirme çalışmaları ve çiftçilerin yeni teknolojilere erişimini kolaylaştıracak finansal teşviklerin sağlanması kritik öneme sahiptir. Mevcut altyapının güçlendirilmesi ve dijital tarım platformlarının geliştirilmesi, akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaşmasına önemli katkılar sunacaktır. Türkiye, yerli teknoloji üretimine yatırım yaparak dışa bağımlılığı azaltmalı ve çiftçilerin dijital okuryazarlığını artırmalıdır. Genç nüfusun teknolojiye olan ilgisi, devlet destekli projeler ve kamu-özel sektör iş birlikleri gibi güçlü yönler, Türkiye’nin akıllı tarımda ilerlemesini hızlandıracaktır. Akıllı sulama, IoT tabanlı sensörler ve yapay zekâ destekli analizlerin yaygınlaşması, su ve enerji tasarrufunu optimize ederek sürdürülebilirliği destekleyecek; ancak bu dönüşümün başarısı için devlet politikalarının istikrarlı bir şekilde uygulanması, akıllı tarım teknolojilerinin benimsenmesini teşvik etmek amacıyla devlet destekli finansman programları artırılması ve kırsal bölgelerde teknolojik altyapının güçlendirilmesi gerekmektedir. Türkiye’nin akıllı tarımı benimsemesi, tarımsal verimliliği artırarak ekonomik büyümeyi destekleyecek, küresel gıda güvenliğine katkı sağlayacak ve çevresel sürdürülebilirliği güçlendirecektir.

KAYNAKLAR

- Akay, M. (2018), Endüstri 4.0 ile Akıllı Tarıma Geçiş. Retrieved, 30, 2021.
- Akıllı Tarım Platformu. (2019), Türkiye’de Akıllı Tarımın Mevcut Durum Raporu. Akıllı Tarım Platformu.
- Bağcı, A. (2023), Ekonomik Büyüme ve Akıllı Tarım: Türkiye’den ve Dünyadan Örnekler.
- Besimoğlu, C. (2016), “Research Trends of Agricultural Faculties in Turkey and the World: Bibliometric Analysis of Web of Science, 1996-2011”, *Türk Kütüphaneciliği*, 30(3), 471-500.
- Binayao, R. P., Mantua, P. V. L., Namocatcat, H. R. M. P., Seroy, J. K. K. B., Sudaria, P. R. A. B., Gumonan, K. M. V. C., & Orozco, S. M. M. (2024), Smart Water Irrigation for Rice Farming through the Internet of Things. arXiv preprint arXiv:2402.07917.
- Business Diplomacy. (2025), Dünyada ve Türkiye’de tarımın geleceği: Stratejik Bir Sektörün Yol Haritası. <https://businessdiplomacy.net/tr/dunyada-ve-turkiyede-tarimin-gelecegi-stratejik-bir-sektorun-yol-haritasi/>, Erişim Tarihi: 20.02.2025.
- Chen, T., Lv, L., Wang, D., Zhang, J., Yang, Y., Zhao, Z., ... & Tao, D. (2023), Revolutionizing agrifood systems with artificial intelligence: a survey. arXiv preprint arXiv:2305.01899.
- Çakır, A., & İşlek, F. (2021), Türkiye’nin Akıllı Tarım (Tarım 4.0) Potansiyeli İçinde Türkiye’de Organik Tarım ve Agro-Ekolojik Gelişmeler. İksad Yayınevi.
- Çakmakçı, M. F., & Çakmakçı, R. (2023), “Uzaktan Algılama, Yapay Zekâ ve Geleceğin Akıllı Tarım Teknolojisi Trendleri”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 234-246.
- Çaylı, A. (2023), Akıllı Tarım Teknolojileri ve Uygulamaları. Akademisyen Yayınevi.
- Çetiner, S. (2017), “Sapla Samanı Karıştırmak”, *Tarla Sera Dergisi*, 22-24.
- Çilesiz, Y., & Karaköy, T. (2022), Akıllı Tarım Teknolojilerinin Tarımsal Üretimde Kullanımı. İksad Yayınevi.
- Çolak, H. E. (2018), “Trabzon İlinde Tarımsal Arazi Kullanımındaki Zamansal Değişimin CBS ile Belirlenmesi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 946-958.
- Department for Environment, Food & Rural Affairs (DEFRA), (2016), Agriculture in the United Kingdom 2016. UK Government.
- Ercan, Ş., Öztep, R., Güler, D., & Saner, G. (2019), “Tarım 4.0 ve Türkiye’de Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi”, *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 25(2), 259-265.
- Ersöz, F. (2011), Avrupa İnovasyon Göstergeleri (EIS) Işığında Türkiye’nin Konumu. İTÜ Dergisi/b,

6(1).

- Ertas, B. (2020), Tarım 4.0 ile Sürdürülebilir Bir Gelecek. *Icontech International Journal*, 4(1), 1-12.
- Farmolog. (2023), Tarımda Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi. Retrieved from <https://farmolog.com>, Erişim Tarihi: 05.03.2025.
- Farmonaut, (2024), Akıllı Tarım Teknolojileri: Türkiye’de Verimlilik ve Sürdürülebilirlik İçin Dijital Çözümler. Farmonaut. <https://farmonaut.com/precision-farming/akilli-tarim-teknolojileri-turkiyede-verimlilik-ve-surdurulebilirlik-icin-dijital-cozumler/>, Erişim Tarihi: 18.02.2025.
- Güreşçi, E. (2013), İş Hukuku Kapsamında Tarımda Çalışanlar.
- Gyamfi, E. K., ElSayed, Z., Kropczynski, J., Yakubu, M. A., & Elsayed, N. (2024). Agricultural 4.0 Leveraging on Technological Solutions: Study for Smart Farming Sector. arXiv preprint arXiv:2401.00814.
- IoT Türkiye. (2020), Akıllı Tarım: Tarımda IoT ve Veri Analitiklerinin Rolü. Retrieved from <https://ioturkiye.com>, Erişim Tarihi: 05.03.2025.
- İstikbal, D. (2022), “Küresel Trendler Çerçevesinde Türkiye Tarımının Gelişimi ve Gelecek Vizyonu”, Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı Yayınları, 374, 1-21.
- Kaya, M. (2019), “Ağrı’nın Kalkınması İçin Akıllı Tarım (Tarım 4.0) Önerisi”, Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi, (75), 130-156.
- Kılavuz, E., & Erdem, İ. (2019), “Dünyada Tarım 4.0 Uygulamaları ve Türk Tarımının Dönüşümü”, Social Sciences, 14(4), 133-157.
- KOSGEB. (2023), Tarım Arazilerinde Verimi 3 Kat Artıran Cihaz. <https://kosgeb.gov.tr/site/tr/genel/haftaninkobisi/8434/tarim-arazilerinde-verimi-3-kat-artiran-cihaz>, Erişim Tarihi: 04.03.2025.
- Mitra, A., Vangipuram, S. L., Bapatla, A. K., Bathalapalli, V. K., Mohanty, S. P., Kougianos, E., & Ray, C. (2022), Everything You Wanted to Know About Smart Agriculture. arXiv preprint arXiv:2201.04754.
- Ozdogan, B., Gacar, A., & Aktas, H. (2017), “Digital Agriculture Practices in the Context of Agriculture 4.0”, *Journal of Economics Finance and Accounting*, 4(2), 186-193.
- Ömercikoğlu, M. (2023), Endüstri 4.0 ile Akıllı Tarım Uygulamaları ve Veri Analizi= Smart Agriculture Applications and Data Analysis with Industry 4.0 (Master’s thesis, Sakarya Üniversitesi).
- Özsoylu, A. F., (2017), “Endüstri 4.0”, Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi, Cilt:21, Sayı:1, s.41- 64.
- Öztürk, H. H. (2024), Sürdürülebilir Tarımsal Üretim, Akademisyen Kitabevi.
- Saygılı, F., Kaya, A. A., Çalışkan, E. T., & Kozal, Ö. E. (2019), Türk Tarımının Global Entegrasyonu ve Tarım 4.0, İzmir Ticaret Borsası, Yayın, 98.
- Schillings, J., Bennett, R., & Rose, D. C. (2021), Exploring the Potential of Precision Livestock Farming Technologies to Help Address Farm Animal Welfare. *Frontiers in Animal Science*, 2, 639678.
- Sortino, A., & Chang Ting Fa, M. (2008), Reswitching of Techniques in the Modern Agriculture: A Theoretical Background.
- Sott, M. K., Nascimento, L. D. S., Foguesatto, C. R., Furstenau, L. B., Faccin, K., Zawislak, P. A., ... & Bragazzi, N. L. (2021), “A Bibliometric Network Analysis of Recent Publications on Digital Agriculture to Depict Strategic Themes and Evolution Structure”, *Sensors*, 21(23), 7889.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2023), Ar-Ge Destek Programı. <https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Menu/82/Ar-Ge-Destek-Programi>, Erişim Tarihi: 04.03.2025.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024), 2024-2028 Stratejik Plan. FAOLEX. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/tur224726.pdf>, Erişim Tarihi: 20.02.2025.
- Tarla.io. (2019), Akıllı Tarım Çözümleri. Tarla.io. <https://www.tarla.io/tr-TR>, Erişim Tarihi: 19.02.2025.
- Teke, M., Deveci, H. S., Öztoprak, F., Efendioğlu, M., Küpçü, R., Demirkese, C., ... & Demirpolat,

- C. (2016), Akıllı Tarım Fizibilite Projesi: Hassas Tarım Uygulamaları İçin Havadan ve Yerden Veri Toplanması, İşlenmesi Ve Analizi.
- Türker, U., Akdemir, B., Topakcı, M., Tekin, B., Ünal, İ., Aydın, A., ... & Evrenosoğlu, M. (2015), Hassas Tarım Teknolojilerindeki Gelişmeler, Türkiye Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi.
- Yıldız, M. (2023), Smart Agriculture Applications: a Smart Greenhouse Design (Yüksek lisans tezi). Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Yılmaz, E. B., & Tunalıoğlu, R. (2024), “Akıllı Tarım Uygulamalarının Sektörel Bakış Açısıyla Değerlendirilmesi”, ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 12(1), 55-66.
- Yürüdü, E., Kara, H., & Arıbaş, K. (2010), “Türkiye'nin Organik (Ekolojik) Tarım Coğrafyası”, Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 9(32), 402-424.