

Sürdürülebilirlik Kapsamında Akıllı Tarım Uygulamaları

Begüm Dilara Emiroğlu¹

Özet

Hızla artan dünya nüfusu, iklim değişikliği ve tarım arazilerinde kimyasal kullanımı gibi faktörler doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı artırarak tarım arazilerinin kullanılamaz hâle gelmesine sebep olmakta ve bu durum yenilikçi bir yaklaşım olan akıllı tarım uygulamalarının ön plana çıkmasına neden olmaktadır. Akıllı tarım; nesnelerin interneti (IoT), sensörler, robotlar, dronlar, yapay zekâ ve makine öğrenmesi, blokzincir, büyük veri ve GPS gibi dijital teknolojilerin tarımsal tedarik zincirinin her aşamasına entegre edilmesini ifade etmektedir. Bu teknolojiler sayesinde bitki ve hayvan sağlığının izlenmesi, sulama ve gübrelemenin optimizasyonu, hastalık ve zararlı takibi, hasat zamanının belirlenmesi ve tedarik zincirinin izlenebilirliği daha hassas ve veri temelli biçimde yönetilebilmektedir. Akıllı tarım uygulamaları, tarımsal verimlilikte artış, girdi ve kaynak tasarrufu ve olumsuz çevresel etkilerin azaltılması yoluyla daha sürdürülebilir bir tarıma olanak tanımaktadır. Akıllı tarım ekonomik, sosyal ve çevresel yönden pek çok fayda sağlamasına rağmen, altyapı eksiklikleri, dijital uçurum, siber güvenlik ve gizlilik riskleri ve kalifiye iş gücü eksikliği gibi bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Günümüzde Tayvan, İsrail, Hollanda, ABD ve Japonya gibi ülkeler akıllı tarımı başarılı bir şekilde uygulamaktadır. Son yıllarda ülkemizde de kamu ve özel sektör iş birliği ile akıllı tarım uygulamaları geliştirilmekte ve bu tür uygulamaların yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında akıllı tarımın kuramsal çerçevesi açıklanarak akıllı tarımın temel teknolojik bileşenleri, akıllı tarım uygulamalarının sağladığı avantajlar ve dezavantajlar ile dünyadan ve Türkiye’den en iyi uygulama örnekleri incelenecektir.

1 Dr. Öğr. Üyesi Begüm Dilara Emiroğlu, Şırnak Üniversitesi Turizm ve Otel İşletmeciliği Yüksekokulu, begum-88@outlook.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3668-1632>

1. Giriş

Birleşmiş Milletler'e (BM) göre dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9 milyarın üzerine çıkması ve mevcut nüfusa kıyasla neredeyse üçte bir oranında artması beklenmektedir. Bu demografik artış artan gıda talebini karşılamak amacıyla gıda üretiminin yaklaşık %70 oranında artırılmasını zorunlu kılmaktadır. Hızla büyüyen nüfus, toprak, su ve diğer doğal kaynaklar üzerinde rekabeti ve aşırı kullanım baskısını artırmakta; bu durum, gıda sisteminin çevresel kaynaklara bağımlılığının azaltılması gereğini gündeme getirmektedir. (Gupta vd., 2020).

İklim değişikliği, dünya genelinde hava ve su rejimlerini dönüştürmekte; bazı bölgelerde uzun süreli kıtlık ve kuraklığa, diğerlerinde ise sel ve taşkınlar gibi aşırı hava olaylarına yol açmaktadır. Mevcut tüketim eğilimleri sürdüğü takdirde bu tablonun daha da ağırlaşacağı öngörülmektedir. Nitekim 2025 yılına kadar dünya nüfusunun yaklaşık üçte ikisinin su kıtlığından etkileneceği ve ekosistemlerin çok daha savunmasız hâle geleceği tahmin edilmektedir. Küresel ısınma, hasat sezonlarının kısalmasına, fotosentetik süreçlerin değişmesine, bitkisel ürünlerin solunum hızının artmasına ve bakteriyel popülasyonların yapısal olarak etkilenmesine neden olarak tarımsal üretim üzerinde ilave baskılar yaratmaktadır (Vishnoi ve Goel, 2024).

Tarımsal kullanım için yapılan ormansızlaşma, küresel sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde artırmakta; doğal yaşam alanlarının ortadan kalkmasına, tür kayıplarına ve biyolojik çeşitlilikte belirgin azalmaya yol açmaktadır. Mevcut tarım uygulamalarıyla artan tarımsal talebi karşılamaya çalışmak, doğal kaynaklar üzerindeki rekabeti yoğunlaştıracak, sera gazı emisyonlarını artıracak, daha fazla ormansızlaşma ve arazi tahribatına yol açarak gıda kıtlığı ve kötüleşen çevresel koşulların ortaya çıkmasına neden olacaktır. Söz konusu bu eğilimler, tarım sistemlerinin uzun vadeli sürdürülebilirliğini riske atmakta, küresel ölçekte gıda arz kapasitesini zayıflatmakta ve çevresel sürdürülebilirlik konusunda ciddi soru işaretleri doğurmaktadır (Thilakarathne vd., 2025). Dolayısıyla, artan gıda ve tarımsal ürün talebiyle başa çıkmak ve sürdürülebilir kalkınmayı güvence altına almak için, evrimsel nitelikte yeni bir tarımsal paradigmanın geliştirilmesine duyulan ihtiyaç kaçınılmaz hâle gelmiştir (Gupta vd., 2020). Bu bağlamda, tarım sektöründe iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak üzere geliştirilen ve "akıllı tarım" ya da "Tarım 4.0" olarak kavramsallaştırılan yenilikçi yaklaşımlar giderek daha fazla ön plana çıkmaktadır (İpek, 2022).

Akıllı tarım kavramı, artan talebi karşılayabilme kapasitesi ve küresel gıda arzı gereksinimlerinin karşılanmasına sunduğu katkılar nedeniyle giderek daha fazla ilgi görmeye başlamıştır. Akıllı tarım, ürün verimliliğini artırmak ve

gıda ürünlerinin kalitesini iyileştirmek amacıyla teknolojinin ve veri odaklı tarım uygulamalarının üretim süreçlerine entegre edilmesini kapsamaktadır (Gupta vd, 2020). Bu kapsamda akıllı tarım; nesnelerin interneti, robotik sistemler, sensörler, büyük veri analitiği, yapay zekâ, akıllı tedarik zincirleri ve blokzincir gibi teknolojilerin tarım endüstrisine entegrasyonunu ifade etmektedir (Jararweh vd., 2023).

Akıllı tarım uygulamaları tarla öncesinden tarla sonrasına kadar tarımsal üretim zincirinin tüm aşamalarının bir parametre yelpazesi dikkate alınarak yönetilmesini ifade etmektedir. Bu parametreler arasında girdi uygulamaları, bitki ve hayvan karakteristikleri, toprak özellikleri, hasat süreçleri, çevresel koşullar ve üretim verileri gibi unsurlar yer almaktadır (Silveira ve Amaral, 2022). Son yirmi yılda tarım sektöründe dikkate değer bir dijitalleşme süreci yaşanmıştır. Özellikle uzaktan algılama, çiftlik yönetimine yönelik MIS sistemleri, akıllı tarım uygulamaları, robotik çözümler, tedarik zinciri yönetimi ve karar destek sistemleri alanlarında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Yapay zekâ, robotikleşme, blokzincir, büyük veri, IoT ve bulut bilişim gibi yeni nesil teknolojiler, birbirinden kopuk yürütülen tarımsal faaliyetlerin bütünleşik ve otonom sistemlere dönüştürülmesinde kritik bir rol üstlenmiştir (Sharma vd., 2022b). Akıllı tarım yaklaşımı, doğal ve çevresel kaynakların kullanımını optimize ederek verimlilik, kalite ve etkinlik düzeylerinin artırılmasına yönelik çok sayıda avantaj ve fayda sunmaktadır (Silveira ve Amaral, 2022). Hollanda, İsrail ve Tayvan, tarım sektöründe önde gelen ülkeler arasında yer almakta olup akıllı tarım teknolojilerinin benimsenmesi konusunda birçok ülkenin önünde bulunmaktadır (Kaya, 2019; İpek, 2022). Bu doğrultuda çalışma kapsamında, akıllı tarımın kuramsal çerçevesi açıklanarak, akıllı tarımın temel teknolojik bileşenleri, akıllı tarım uygulamalarının sağladığı avantaj ve dezavantajlar ile dünyadan ve Türkiye’den en iyi uygulama örnekleri incelenecektir.

2. Akıllı Tarım Kavramı ve Gelişimi

Birleşmiş Milletler (BM)’e göre dünya nüfusunun 2030 yılında 8.5 milyara ulaşması, 2050 yılına kadar ise 9 milyarı aşması beklenmektedir. Artan bu nüfus artışı tarım ve gıda ürünlerine karşı büyük bir talep yaratacaktır. Bu nedenle artan bu talep oranını karşılamak için gıda üretim oranının da %70 oranında arttırılması gereklidir (Jararweh vd., 2023). Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artması, su, toprak ve diğer doğal kaynaklar üzerinde büyük bir baskı yaratmakta ve kaynakların aşırı kullanımıyla birlikte çeşitli sorunları da beraberinde getirecektir. Artan gıda talebiyle başa çıkabilmek ve sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirebilmek için evrimsel nitelikte bir tarımsal paradigmaya ihtiyaç vardır (Gupta vd, 2020).

Dünya nüfusunun 1950'li yıllardan sonra hızla çoğalmasıyla artan gıda ihtiyacını karşılamak için tarımda daha fazla gübre kullanılmasının tarımsal verimliliğin arttırılacağı ve birim alandan daha fazla ürün elde edilebileceği düşünülmüştür. Bu doğrultuda gelişmekte olan ülkelerde tarımda suni gübre kullanımı ve çeşitli kimyasal ilaçların kullanımı yaygınlaşmıştır. Ancak bunların kullanımı çok çeşitli çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Pek çok alanda toprak verimliliği kaybedilmiş, topraklar çoraklaşmış ve kimyasal ilaçların kullanımıyla elde edilen ürünler insan sağlığını tehdit eder hale gelmiştir. Bu tür sorunların üstesinden gelebilmek için devletler ve uluslararası kuruluşlar çeşitli konferans ve toplantılarda sürdürülebilir tarım modelleri üzerine yoğunlaşmaya başlamışlardır (Akova ve Tapan, 2022). Tüm bunların yanı sıra iklim değişikliği ve olağan dışı hava durumlarının tarımsal üretim açısından ciddi bir sorun oluşturması beklenmektedir (Gyamfi vd., 2024). Küresel çapta meydana gelen iklim değişikliği ile birlikte atmosferdeki karbondioksit yoğunluğunun artması, düzensiz yağışların görülmesi ve yüksek sıcaklıktaki hava koşulları tarımsal verimlilik ve üretim miktarı, su kaynakları ve toprak yapısında olumsuz değişmelere yol açmıştır. İklim değişikliğine bağlı olarak meydana gelen bu tür sorunlar akıllı tarım uygulamaları” veya “tarım 4.0” olarak adlandırılan yenilikçi tarımsal yaklaşımların ortaya çıkmasına neden olmuştur. (İpek, 2022).

Akıllı tarım ya da diğer bir adıyla Tarım 4.0 tarım sektöründe verimliliği ve üretkenliği arttırmayı hedefleyen teknoloji odaklı bir tarımsal dönüşümdür. Gıda israfı, kıt kaynaklar, demografik değişimler ve iklim değişikliği gibi unsurlar tarımda bu tarz yenilikçi bir yaklaşımın benimsenmesine sebep olmuştur (Gyamfi vd., 2024). Akıllı tarım insan müdahalesine gerek kalmaksızın tarımda proaktif kararların alınarak tarımsal verimlilik ve üretkenliği arttırabilir (Jararweh vd., 2023). Tarım 4.0 çeşitli dönemlerde ortaya çıkan tarımsal devrimlerin (Tarım 1.0, Tarım 2.0 ve Tarım 3.0) evrimleşmesiyle ortaya çıkan bir sonuçtur (Silveira ve Amaral, 2022).

Tarım 1.0, temel olarak hayvan ve insan gücüne odaklanan geleneksel yöntemlere dayanmakta idi. Bu dönemde ileri tarım teknikleri ve modern teknolojiler yoktu. Çiftçiler orak ve saban gibi ilkel tarım araçları kullanıyor, sulama sistemleri ise oldukça basit seviyede kalıyordu. 19 yüzyılda başlayan tarımsal mekanikleşme süreci, tarımda köklü değişikliklere yol açmış ve Tarım 1.0'dan Tarım 2.0'a geçişe sebep olmuştur. Buharlı makineler, traktörler ve biçerdöverlerin ortaya çıkması ile birlikte insan gücüne bağımlılık azalmış, tarımsal verimlilik ve üretim miktarı da yükselmeye başlamıştır. Bu dönemde toprağın işlenmesi, tarımsal ürünlerin hasat edilmesi ve depolanması gibi tarımın tüm aşamalarında üretim maliyetlerinin azaltılarak verimliliğin arttırılması hedeflenmiştir. Tarım 3.0 ya da diğer bir adıyla “Yeşil Devrim”

olarak bilinen dönem ise 20. yüzyılın ortalarına doğru ortaya çıkmıştır. Bu dönemde bitki ıslahında bilimsel gelişmeler kaydedilmiş, sentetik gübreler ve pestisit kullanımı artmış ve yüksek verimli çeşitler geliştirilmiştir. Biyoteknoloji alanında meydana gelen gelişmeler bitkilerin hastalık direnci ve verimliliğini arttıracak şekilde genetik düzenlemeleri mümkün kılmıştır. Bu tür gelişmeler büyük ölçüde verimlilik artışı sağlamış ve gıda kıtlığını azaltmıştır. Ancak tarımsal faaliyetlerde kimyasal ilaçların kullanılması çevresel ve sürdürülebilirlik sorunlarına yol açmıştır (Gyamfi vd., 2024).

Tarım 4.0, tarımın dijital bir hale dönüşmesini ifade etmektedir (Kirmikil ve Ertaş, 2020). Bu nedenle Tarım 4.0 kavramı, akıllı tarım veya dijital tarım gibi kavramlarla da ifade edilmektedir. Akıllı tarım; "tarımsal değer zincirinin tüm aşamalarında karar verme süreçlerini iyileştirmek amacıyla verinin toplanması, üretilmesi, iletilmesi, depolanması ve analiz edilmesine yönelik bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımını" kapsamaktadır (Dibbern vd., 2024: 1). Bu yaklaşım, tarımsal üretim sürecinde rol oynayan tüm aktörlerin davranışsal ve kültürel olarak değişimini gerektirmektedir (Silveira ve Amaral, 2022). Akıllı tarım uygulamalarıyla su, gübre, tohum ve işgücü gibi kaynaklardan tasarruf sağlanarak tarımsal ürünlerin kalite ve miktarının artırılması amaçlanmaktadır (Vishnoi ve Goel, 2024). Bu uygulamalar, gübrenin daha dengeli uygulanması, pestisit ihtiyacının düşürülmesi ve sulama suyunun daha tasarruflu kullanılması gibi bir dizi tarımsal koşulun iyileştirilmesini sağlayarak üreticilerin gıda çıktısını artırmasına önemli ölçüde katkı sunmaktadır (Thilakarathne vd., 2025). Bir başka deyişle akıllı tarım uygulamalarının amacı doğru zamanda ve doğru yerde, ihtiyaç duyulan miktardaki girdinin en uygun yöntemlerle uygulanmasını sağlayarak bitkisel üretimin verimli bir biçimde artırılmasıdır (Çilesiz ve Karaköy, 2022).

Akıllı tarım, çiftçilerin girdi maliyetlerini azaltarak, tarımsal üretimlerini arttırmalarına ve sürdürülebilir tarımsal yöntemleri benimseyerek önemli faydalar elde etmelerine yol açabilir (Gyamfi vd., 2024). Akıllı tarım; yapay zekâ, büyük veri, bulut bilişim, sensörler, IoT (nesnelerin interneti), blok zincir, büyük veri analitiği, CBS (coğrafi bilgi sistemleri) ve robotik sistemler gibi teknolojilerin tarım endüstrisine entegre edilmesini ifade etmektedir (Jararweh vd., 2023; Dibbern vd., 2024; Gyamfi vd., 2024; Thilakarathne vd., 2025; Greco vd., 2025). Bu teknolojiler çiftçilere değerli ve kritik veriler ve analitik iç görülerle sunarak dijitalleştirilmiş kararlar almalarına ve üretim süreçlerini daha etkin bir biçimde optimize etmelerine olanak tanımaktadır (Dibbern vd., 2024). Tarımda bilişim ve makine sistemlerinin birbirleriyle entegre bir biçimde çalıştığı bütünlük bir yapının oluşturulması, geleneksel üretim yöntemleri ile gerçekleştirilen tarımsal uygulamalara kıyasla daha verimli sonuçların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu tarz teknolojiler ile

birlikte, girdi maliyetleri azaltılıp tarımsal verimlilik artırılmakta ve olumsuz çevresel etkiler minimum seviyeye indirilmektedir (İpek, 2022).

Akıllı tarım tarla öncesinden hasat sonrasına kadar tarımsal üretim zincirinin tüm aşamalarını kapsayan geniş bir parametre setinin izlenmesi ve yönetilmesi yaklaşımını ifade etmektedir. Bitki ve hayvanlara ilişkin özellikler, toprakla ilgili bilgiler (veriler), çevresel koşullar, hasat, girdi uygulamaları ve genel üretim sürecine yönelik bilgiler gibi pek çok unsur bu parametreler arasında yer almaktadır. (Silveira ve Amaral, 2022). Akıllı tarımda çok çeşitli sensörler kullanılarak, bitki ve ürünleri izleme, sulama, toprak durumu, bitki hastalıklarının belirlenmesi, bitkilere zarar veren unsurların kontrolü ve lojistik takibi için sıcaklık, nem, ışık ve basınç gibi çok çeşitli çevresel göstergelere ilişkin veriler toplanabilmektedir. Toplanan bu veriler, farklı iletişim protokollerinin kullanıldığı haberleşme altyapıları üzerinden sistemlere aktarılmakta; sonrasında veri analitiği araçları ve karar destek platformları tarafından işlenerek yönetim süreçlerinde kullanılmaktadır (Thilakarathne vd., 2025).

Akıllı tarım, araziye yerleştirilen çeşitli akıllı cihazlar ve sensörler aracılığıyla geleneksel tarım yöntemlerini daha üst bir düzeye taşımaktadır (Gupta vd, 2020). Geleneksel tarımda üreticilerin tarım arazisinde sürekli bulunması, tarlanın ve bitkilerin durumunu doğrudan gözlemlemesi zorunluydu. Arazi küçük olduğunda bu durum yönetilebilir olsa da, geniş alanlarda bitki gelişimini sürekli takip etmek zaman alıcı ve oldukça yorucu bir süreç dönüşmekteydi. Özellikle farklı noktalara dağılmış küçük tarım arazilerinin farklı koşullar ile toprak ve su kontrolü gerektirmesi, gözlem ve kontrolü çok daha karmaşık hâle getirmekteydi. Buna karşılık, akıllı tarım teknolojileri; tarla ve arazilerin uzaktan izlenmesi, uygun otomasyon teknikleri ve sensörler kullanılarak böcek ve haşere gibi zararlılarla mücadele edilmesi, gerekli alanların uygun bir biçimde sulanması ve toprak koşullarının değiştirilmesi gibi konularda çiftçilere kolaylıklar sağlamaktadır. Akıllı tarımda kullanılan sensörler; çiftçilerin izleme, görüntüleme, su kullanımı, hasat, iklim koşullarının kontrolü, optimizasyon, ürün yönetimi, toprak kalitesinin gözlemlenmesi ve gıda güvenliği gibi çok çeşitli faaliyetler gerçekleştirmesine olanak sağlamaktadır. Bu sensörler aracılığıyla hava sıcaklığı, ışık durumu, toprak sıcaklığı, rüzgâr hızı ve toprağın nem ve pH düzeyi gibi pek çok parametre yüksek doğrulukla ölçülebilmektedir. Hayvancılık açısından değerlendirildiğinde, büyükbaş hayvancılık faaliyetleri, arazinin büyükbaş hayvancılığa uygun yapıda olmasına ve hayvanların uygun miktarlarda besin alabilmelerine bağlıdır. Gelişmiş bilişim ve ağ teknolojileri; gübre uygulamalarının planlanması, hayvanların uygun ve elverişli bölgelere nakledilmesine yönelik kararların alınabilmesi hususunda çiftçilere yenilikçi çözümler sunmaktadır (Jararweh vd., 2023).

Akıllı tarım, yalnızca üretim aşamasındaki faaliyetlerle sınırlı değildir. Büyük veri analitiğinin sağladığı olanaklar sayesinde tarımsal sürecin tamamına yönelik önemli içgörüler üretmekte, gerçek zamanlı karar verme süreçlerini desteklemekte ve böylece tarımsal iş modellerinde köklü bir dönüşüm yaratmaktadır. Bu dönüşüm, gıda tedarik zincirinin bütün aşamalarına yansımış durumdadır (Gupta vd., 2020). Ancak tedarik zincirinin dağıtım ve tüketici aşaması, akıllı tarım uygulamalarının en sınırlı biçimde kullanıldığı alanlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle, üretim zincirinin bu bölümünde yeni ve gelişmekte olan teknolojilere yönelik Ar-Ge çalışmalarının önümüzdeki dönemde artış göstermesi öngörülmektedir. Akıllı tarım kapsamındaki yeniliklerin ağırlıklı olarak ekim aşamasında yoğunlaştığı görülmektedir. Bunun temel nedeni; hazırlık, ekim, sulama gibi tarımsal döngünün önemli faaliyetlerinin bu aşamada toplanması ve süreçlerin daha karmaşık bir yapıya sahip olmasıdır (Silveira ve Amaral, 2022).

3. Akıllı Tarımın Bileşenleri

3.1. IoT (Nesnelerin İnterneti)

IoT-Internet of Things (nesnelerin interneti) terimi, bilgilerin toplanıp paylaşılması amacıyla kablolu ve kablosuz olarak birbirine bağlı fiziksel cihazları ifade etmektedir. "İnternet" terimi sistemler arasındaki iletişim bağlantısını, "Things (Nesneler)" terimi ise RFID, akıllı telefonlar ve bilgi işlem cihazları gibi bileşenleri temsil eder (Choudhary vd., 2025).

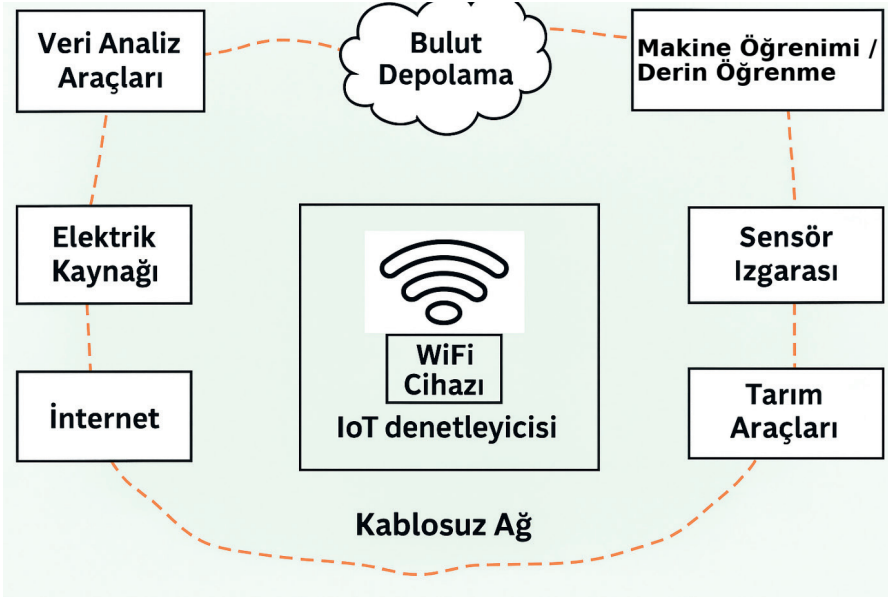
IoT, birbirleriyle bağlantılı ve ilişkili fiziksel nesneler ve cihazlardan oluşan bir iletişim ağıdır. Sharma vd., 2022a). IoT teknolojilerinin sağlık hizmetleri, çevresel uygulamalar (ör. hava durumu, hava kalitesi tahminleri), akıllı şehirler ve akıllı tarım gibi çok çeşitli alanlarda yoğun biçimde kullanılmaktadır (Polymeni vd., 2023). Bu sistem ve teknolojiler 2009 yılından beri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. IoT teknolojilerinin en temel amacı tüm cihazların ve sunulan hizmetlerin internet aracılığıyla birbirleriyle bağlantılı hale getirilmesidir (Sharma vd., 2022b). Bu ağ yapısı insan müdahalesine gerek kalmaksızın bilgi alışverişi gerçekleştirebilmektedir. Günümüzde IoT teknolojileri, otomasyon sistemlerinin temel bir parçası haline gelmiş ve işletmelerin verimliliğini önemli ölçüde arttırmıştır (Sharma vd., 2022a).

IoT (nesnelerin interneti); sensörlerin, elektronik cihazların, kameraların, makinelerin ve GPS cihazlarının tek bir ağ içerisinde birbirine bağlanmasını ifade etmektedir. Bir IoT ağında yer alan cihazlar, birlikte çalışacak ve birbirleriyle bilgi alışverişine izin verecek şekilde programlanarak, büyük veri araçları ve makine öğrenmesi algoritmalarıyla işlenen veriler sayesinde, sistemin kendi kendine uygun kararlar üretebildiği otonom bir izleme ve kontrol

ortamı oluşturur. IoT uygulamaları; kameralı güvenlik ve izleme sistemleri, elektronik kapılar, buzdolabı klima, çamaşır makinesi, tv kumandası gibi pek çok sistemin içine yaygın biçimde yerleştirilmiş ve gündelik yaşantımızın vazgeçilmez unsurları arasında yer almaya başlamıştır (Sharma vd., 2022a; Sharma vd., 2022b).

IoT, temel olarak bulut depolama ve analiz, elektronik cihazlar, sensörler, internet, büyük veri araçları ve makine öğrenmesi algoritmalarından oluşur. Tüm bu cihazlar operasyonel senkronizasyon ve bilgi alışverişinin sağlanabilmesi için kablosuz bir ağ üzerinden birbirlerine bağlanır (Sharma vd., 2022b).

Şekil 1: IoT Çerçevesi



Kaynak: Sharma vd., 2022a.

IoT uygulamaları, kablosuz ağlar, bulut depolama, büyük veri, robotlar, sensörler, radyo frekansı tanımlama (RFID), GPS sistemleri, makine öğrenmesi ve dronlar gibi teknolojiler aracılığıyla uygulanır (Sharma vd., 2022a). IoT teknolojileri, tarımsal uygulamalarının otomasyonunda ise bir öneme sahiptir (Sharma vd., 2022b). IoT tabanlı çözümler, tarımsal ürün tedarik zinciri yönetiminin önemli ölçüde iyileştirilmesine olanak tanır (Sharma vd., 2022b).

IoT sistemleri tarım sektöründe nem ve sıcaklık seviyelerinin ölçülmesi, hayvan davranışlarının gözlenmesi ve toprak neminin takip edilmesi gibi

farklı süreçlerde etkin bir biçimde kullanılmaktadır. IoT cihazları genel olarak hayvancılık tesislerinde, seralar gibi farklı üretim alanlarında sıklıkla kullanılmakta olup, gerçek ve eş zamanlı veri akışı sayesinde kaynakların korunarak üretkenlik ve verimliliğin artmasına da yardımcı olmaktadır (Gyamfi vd., 2024).

IoT tabanlı sistemler tarım arazilerinin ve ürünlerin sürekli fiziksel olarak denetlenmesi gerektiğine dair geleneksel yaklaşımı geçersiz kılmıştır. Örneğin çiftçiler artık tarlanın işlenmesinde kullanılan traktörleri IoT tabanlı kontrol ve izleme sistemleri aracılığıyla uzaktan yönetebilmektedir. Benzer şekilde sulama pompalarının çalıştırılması ve durdurulması da uzaktan erişimle yapılabilmektedir (Sharma vd., 2022b). Örneğin geleneksel sulama yöntemleri modern yöntemlere kıyasla daha fazla su israfına sebep olmaktadır. IoT desteği, bu modern yöntemlerin otomatik bir biçimde yürütülmesini mümkün kılmaktadır. Bu çerçevede, sistemde tanımlanan sulama planı; tavsiye algoritmalarının analizleri doğrultusunda dinamik olarak güncellenebilmektedir. Yağış sonrası toprak nemi yüksekse sulama ertelenebilmekte ya da azaltılabilmekte; toprak nemi kritik seviyelerin altına düştüğünde ise gerekli su ihtiyacı karşılanana kadar otomatik sulama devreye alınabilmektedir (Thilakarathne vd., 2025).

IoT teknolojileri, sulama, pestisit uygulamalarının optimize edilmesi, hasat süreci, su kaynaklarının korunması, ürünlerin gelişim ve sağlık durumlarının izlenmesi, ürünlerin depolanması, lojistiği (ürünlerin taşınması) ve tazelik düzeylerinin kontrolü gibi pek çok kritik aşamada etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Bu teknolojiler pompalar, traktörler, hasat makineleri, damla su sistemleri, gübre ve pestisit püskürtme ekipmanları gibi faaliyetlerin yönetiminde önemli operasyonel kolaylıklar sağlamaktadır. IoT tabanlı sistemler; sensörler ve kameralar aracılığıyla toplanan yüksek hacimli verilerin (örn. toprak bileşeni ve sağlığı, topraktaki su seviyesi, güneş ışığı miktarı, sıcaklık kontrolü, pestisit ve zararlılar, kamera modülleri üzerinden görüntü tabanlı izleme, ürün gelişimi ve sağlık durumunun takibi, makine algoritmalarını kullanarak verimlilik tahmini vb.) makine öğrenmesi algoritmaları ve büyük veri araçları aracılığıyla veri analitiğini gerçekleştirmektedir. IoT tabanlı çerçeveler tarımsal süreçlerin hassas bir şekilde izlenmesi ve karar verme yetkinliğini güçlendirerek niceliksel ve niteliksel açıdan yüksek kaliteli tarımsal ürünlerin makul maliyet ve işgücü yoluyla üretilmesine olanak sağlamaktadır (Sharma vd., 2022b).

IoT cihazları büyükbaş hayvanların izlenmesine yönelik veri toplama süreçlerinde de yoğun biçimde kullanılmaktadır (Jararweh vd., 2023). Çiftçiler bu sayede hayvanların kan basıncı, sıcaklık ve kalp atış hızları gibi durumları

izleyebilmekte ve ölçebilmektedir. Örneğin bir hayvanın sıcaklığı normal değerlerin üzerine çıktığında sistem kısa mesaj yoluyla bildirim göndermekte ve erken ve hızlı bir müdahaleye olanak tanıyarak veterinerlik masraflarından tasarruf edilmesine de yardımcı olmaktadır (Polymeni vd., 2023).

3.2. İnsansız Hava Araçları (İHA)

İnsansız Hava Araçları (İHA'lar) ve dronlar; kamera, sensör ve GPS üniteleriyle donatılmış, çoğunlukla otonom biçimde görev yapabilen hava araçları olarak tanımlanmaktadır. Bu araçlar içinde herhangi bir insan pilota ihtiyaç bulunmaksızın uzak bir konumdan kontrol edilebilir (Gyamfi vd., 2024). Bu kapsamda İHA'lar ve sensör tabanlı izlemeler IoT 'un en temel 2 izleme mekanizmasını oluşturmaktadır (Sharma vd., 2022b). İnsansız hava araçları ürünlerin gelişim süreçlerini izlemek ve ürün verimliliğini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır (Thilakarathne vd., 2025). Ayrıca bu araçlar toplanan verilerin analiz edilmesiyle görsel haritalar oluşturmak için de kullanılmaktadır (Gyamfi vd., 2024). Tarım ürünlerinin izlenmesi, saha araştırmaları, gübre püskürtme ve arazi takibinde drone teknolojisinden yararlanılmaktadır (Thilakarathne vd., 2025). Çoklu görüşe sahip olan İHA sistemlerinin, tarımsal ürünleri izlemede kullanılması tarımda çığır açıcı bir niteliktedir. İHA'lar kapsamında tarım arazilerinin farklı bölümlerinden renkli görüntüler alınabilmekte ve daha sonrasında alınan bu görüntüler algoritmik sistemler tarafından analiz edilerek çiftçilerin tarım ürünleriyle ilgili doğru kararlar alabilmelerine yardımcı olmaktadır (Sharma vd., 2022b). Nesnelerin İnterneti (IoT), kameralar ve sensörlerle donatılabilen, aynı zamanda kimyasal püskürtme yapabilen dronların da uzaktan kontrol edilmesine olanak tanımaktadır. Bu tür dronlar aracılığıyla çiftçiler, ürün gelişimini, hastalık ve zararlı yoğunluğunu izleyebilmekte ve pestisitleri yalnızca ihtiyaç duyulan belirli alanlara otomatik olarak uygulayabilmektedir. Tüm bu işlemler uzaktan gerçekleştirilebilmekte ve izlenebilmekte, böylece çiftçinin fiziksel olarak tarlaya gitme gereksinimi ortadan kalkmaktadır (Sharma vd., 2022a).

3.3. Robotlar

Robotlar, üzerinde bulunan mekanik denetleyicileri (mekanik kolları) sayesinde özel ürün yetiştiriciliği, sera uygulamaları ve süt üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Robotlar ekim hatalarının belirlenmesi ve böcek istilasının tespiti gibi çeşitli görevleri yerine getirmeye yardımcı olmaktadır (Jararweh vd., 2023). Görüntü işleme teknikleriyle donatılmış yabancı ot temizleme robotları, bitki sıraları arasındaki yabancı otları algılayarak robotik kolları ile bu otları hedefe yönelik biçimde uzaklaştırabilmektedir. Pestisitlerin gereğinden fazla kullanımı, uzun vadede verimli tarım alanlarının bozulmasına, ürün kalitesinin

düşmesine ve insan sağlığının risk altına girmesine neden olmaktadır. Bu nedenle yabancı otların agribotlar aracılığıyla mekanik olarak kontrol edilmesi, hem toprak ve bitki sağlığının sürdürülebilirliğini desteklemekte hem de kimyasal kullanımını azaltarak çiftçiler için önemli ölçüde maliyet tasarrufu sağlamaktadır (Sharma vd., 2022a). Örneğin ecoRobotix şirketi yabancı ot temizleme robotu, istenmeyen bitkileri herbisit kullanarak öldürmekte ve ekosistemlere zararı dokunabilecek ilaç kullanımını azaltmaktadır. Benzer şekilde, Blue River Technology şirketi de pamuk bitkileri arasında çıkan yabancı otlara herbisit uygulayarak temizleyen bir makine tasarlamıştır (Jararweh vd., 2023). IoT kontrollü agri robotlar, makine öğrenmesi ve görüntü işleme teknikleriyle entegre biçimde çalışarak sebze ve meyve toplama gibi işlemleri içeren otomatik hasat süreçlerinde de çiftçilere destek olmaktadır. Bu kapsamda, bu teknolojiler meyvelerin toplanmasının yanı sıra, olgun ve henüz olgunlaşmamış meyvelerin tespit edilerek ayırt edilmesine de katkı sunmaktadır (Sharma vd., 2022a)

3.4. Blokzincir

Blokzincir, “iki grup arasındaki işlemleri verimli, inkâr edilemez ve kalıcı bir şekilde kaydedebilen açık ve paylaşılmış bir kayıt” olarak kabul edilmektedir (Jararweh vd., 2023:5). Bu teknoloji tedarik zincirinin tüm aşamalarında gerçekleşen bütün işlemlerin ve olayların kaydedildiği, değiştirilemez bir dijital defter altyapısı sunmaktadır. Blokzincir teknolojisi kullanıldığında veriler gizli bir şekilde depolanabilmekte ve güvenilir bir hal almaktadır (Vishnoi ve Goel, 2024). Tarımsal ekosistem, tedarikçiler, perakendeciler ve çiftçiler arasındaki iletişim kopuklukları, ürün menşesine (kaynağına) dair şeffaflık eksiklikleri ve çiftçiler için finansman kaynaklarının yetersizliği gibi bir dizi sorunla karşı karşıyadır. Blokzincir teknolojisi, söz konusu sorunlara yönelik çeşitli çözüm imkânları sunarak verilerin izlenmesine ve gıda güvenliğine ilişkin sözleşmelerin şeffaf biçimde yürütülmesine olanak tanımaktadır. Örneğin blokzincir teknolojisi ile yapılan akıllı sözleşmeler, tarafların sözleşmeyi kendine kendine yürütebilmelerine ve doğrulanabilir bir bilgisayar kodu biçiminde oluşturmalarına imkân tanır. Bu teknolojiye sözleşmeye yönelik koşullar, taraflar arasında önceden belirlenmekte ve süreç boyunca bu koşulların izlenebilirliği sağlanmaktadır. Akıllı sözleşmelerin yeni sözleşmeler oluşturabilecekleri, hesaplarda bakiye depolayabilecekleri, para transfer işlemi yapabilecekleri ve taraflar arasında mesajlaşmaya imkan tanıyan bir depolama alanları da bulunmaktadır. Tüm bunların yanı sıra blokzincir teknolojisi tüketicilerin gıda ürünlerini geriye dönük olarak izleyebilmelerine; ürünün kaynağına, nakliye sürecine, parti numaralarına, üretim tesisine ilişkin

bilgilere, son kullanma tarihine ve saklama sıcaklıklarına erişebilmelerine de olanak tanımaktadır (Jararweh vd., 2023).

3.5. Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi

Yapay zekâ- Artificial Intelligence (AI), makineleri akıllı sistemlere dönüştürerek insan eliyle yürütülen pek çok işi otomatik karar alma ve işlem yürütme mekanizmaları aracılığıyla gerçekleştirebilir hâle getirir. Gelişmiş teknolojilerin hâkim olduğu günümüzde, daha yüksek verim elde edebilmek için karmaşık görev ve sistemlerin analiz edilmesi ve yönetilmesi zorunlu hâle gelmiştir. Yeterince eğitilmiş akıllı makineler, bu tür karmaşık süreçlerin çok daha kısa sürede yürütülmesi ve optimize edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Makinelerde zekânın harekete geçirilmesi ile, insan beynini taklit edecek şekilde bilgi işleme ve karar verme süreçlerini mümkün kılan algoritmalar aracılığıyla sağlanmakta; böylece makineler, insan beyninin üstlendiği işlevlere benzer görevleri yerine getirebilmektedir. Makine öğrenmesine-Machine Learning (ML) dayalı yapay zekâ; büyük ölçekli veri setlerini işleme, bu verilerden otonom biçimde kurallar veya örüntüler türetme, elde edilen kurallara göre kararlar alma ve bu kararları uygulamaya aktarabilme yeteneğine sahiptir. Dolayısıyla makine öğrenmesi destekli yapay zekâ teknolojileri, agro-gıda sistemlerinde karşılaşılan karmaşık sorunların çözümünde her geçen gün daha fazla kabul görmektedir (Begum ve Hazerika, 2022).

Yapay zekâ ile desteklenen sensörler, kameralar ve diğer operasyonel cihazlar, tarım arazisinde ve envanterin işlenip izlenmesi aşamalarında uygun kararların alınabilmesi için bilgi ve verileri gerçek zamanlı olarak süzebilmektedir. Makine öğrenmesi algoritmaları sayesinde tarımsal üretimin farklı zaman dilimlerinde ortaya çıkan gereksinimler kolaylıkla analiz edilebilmektedir (Sharma vd., 2022a). Yapay zekâ teknolojisi, agro-gıda sistemlerinin çok sayıda aşamasında kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknoloji, yabancı ot tespiti, bitki sağlığının takibi, sulama programlarının belirlenmesi, verim tahmini, ürün kalitesi, pestisit miktarının belirlenmesi ve hasat zamanının ayarlanması gibi pek çok süreçte kullanılmaktadır (Sharma vd., 2022a ; Begum ve Hazerika, 2022; Jararweh vd., 2023; Gyamfi vd., 2024).

Yapay zekânın kullanıldığı farklı gıda teknolojisi alanları aşağıdaki gibidir (Begum ve Hazerika, 2022):

- **Gıda takviyesi:** Yapay zekâ tabanlı sistemler, tüketilecek gıdaların içerdiği kalori miktarının tahmin edilmesine yardımcı olmaktadır.
- **Gıda sınıflandırma/ayıklama:** Yapay zekâ, gıda işleme sırasında yabancı maddelerin yanı sıra hasarlı veya kusurlu ürünlerin tespit edilmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

- **Gıda güvenliği:** Yapay zekâ, ürünleri işleme süreci sırasında ürüne karışan istenmeyen ve yabancı maddelerin tanımlanmasına imkân verir
- **Gıda kalitesi:** Muayene, pazarlama ve paketleme aşamalarında meydana gelen kusurları belirleyerek gıda kalitesinin korunmasına yardımcı olur.

3.6. Sensörler

İletişim kabiliyetine sahip elektronik cihazlar olan akıllı sensörler, bulundukları ortamdaki veri toplayarak iletmekte ve akıllı tarım uygulamalarında başta toprak sağlığı, ürün büyüme süreci ve hayvan refahının izlenmesi olmak üzere çeşitli parametrelerin takibinde etkin rol oynamaktadır (Gyamfi vd., 2024). Sensörler, farklı amaçlara hizmet edecek şekilde (örneğin nem, ısı, sağlık izleme, zararlı tespiti sensörleri vb.) tarlanın çeşitli noktalarına yerleştirilebilmekte ve bu sensörler tarafından üretilen veriler bulut tabanlı depolama sistemlerine aktarılmaktadır. Büyük veri ve makine öğrenmesi araçları, bu yüksek hacimli ve heterojen veri setini analiz ederek anlamlı içgörüler üretmekte; böylece çiftçi ürünün farklı gelişim aşamalarını izleyebilmekte ve gerekli düzeltici önlemleri zamanında alabilmektedir. Sensörler esas olarak ürün, hava durumu, toprak kalitesi, hava durumu, hasat ve sulama süreçlerine odaklanmaktadır (Sharma vd., 2022a). Ayrıca hayvancılık yönetiminde de önemli bir rol üstlenmekte, çiftlik hayvanlarının hareket kalıpları ve hayati bulguları sürekli olarak izlenebilmektedir. Tüm bunlara ilaveten, ürünlerin depolanma ve taşınma süreçlerinde güvenli ve hijyenik koşulların sağlanmasına katkıda bulunarak ürünlerin izlenebilirliğini güvence altına almaktadır (Gyamfi vd., 2024).

3.7. GPS

Uydu tabanlı yön ve konum belirleme sistemleri, tarımda kullanılan en temel ve önemli veri toplama teknolojilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu teknoloji sayesinde, tarım arazisi üzerindeki herhangi bir noktanın veya bir tarım makinesinin coğrafi koordinatları hassas bir şekilde tespit edilebilmektedir (KOSAM, 2024). GPS teknolojisi, IoT kontrolü ile birlikte, çiftçilere ağır tarım ekipmanlarını ve traktör gibi makineleri uzaktan, yüksek hassasiyetle kontrol ederek tarlayı otomatik olarak sürme imkânı sağlamakta ve çalışma süreci mobil uygulamalar üzerinden izlenebilmektedir. Bu noktada makine öğrenmesi teknikleri, makinelerin daha akıllı hale gelmesine yardımcı olmaktadır (Sharma vd., 2022a).

Bu tür GPS modülleri ile GPS haritasının drone'a yüklenmesi sonucu ekili tarım arazilerinin uzaktan izlenmesi de mümkün hâle gelmektedir.

Bir GPS modülü, tarım arazisinin çok çeşitli bölgelerine yerleştirilen dron ve sensörlerden elde edilen verileri kullanmaktadır. Bu yüksek hacimli veriler, kablosuz sensör ağları aracılığıyla bulut tabanlı depolama ve izleme sistemlerine iletilmektedir. GPS modülü, çiftçilere yabancı otların, hastalıkların ve zararlıların konumsal olarak haritalanmasını sağlayarak hedefe yönelik müdahaleye imkân tanımaktadır. Toplanan verilerin dronlarla birlikte kullanılması sayesinde, pestisitler yalnızca tarlanın belirli bölümlerine püskürtülebilmekte; böylece kimyasal yayılım en aza indirilmekte ve sonuç olarak ürün verimliliği ile çevresel sürdürülebilirlik de desteklenmektedir. GPS tabanlı IoT uygulamaları, tarımsal süreçlerin planlama, ürün keşfi, toprak sağlığının izlenmesi, haritalama, verim haritalarının oluşturulması, makine kontrolü ve yönlendirme gibi aşamalarında kullanılmaktadır. Bu tür sistemler, çiftçinin tarlada fiziksel olarak bulunmasına gerek kalmaksızın, karanlık, sis, yağmur, toz bulutu ve yüksek sıcaklık gibi olumsuz çevresel koşullardan bağımsız bir şekilde çalışabilmektedir (Sharma vd., 2022a).

4. Akıllı Tarımın Avantajları

Akıllı tarım teknolojilerinin kullanımı ile birlikte tarım arazileri daha iyi tanımlanmakta, makineler etkin bir şekilde yönetilebilmekte, bitki hastalıklarının tespiti yapılabilmekte, maliyetler azaltılmakta, pestisit ilaçları ve tarımsal girdiler verimli bir şekilde kullanılabilir. Bu unsurlar sayesinde tarım arazisinden yüksek verimlilik elde edilmekte, ürünlerin kalitesi arttırılmakta ve çevre üzerinde olumsuz etkiler azaltılmaktadır (Silveira ve Amaral, 2022).

Sharma vd. (2022b) akıllı tarımın faydalarını teknolojik, işlevsel, sosyal, ekonomik, çevresel ve işletme faydaları olmak üzere 6 ana kategoride sınıflandırmıştır.

1. Teknolojik faydalar: batarya ile çalışan kablosuz sensör ağları, yerel düğümler aracılığıyla uzak alanlardan kesintisiz veri toplanıp analiz edilebilmekte; eşler arası bağlantı yapısı sayesinde tutarsız internet erişimine dair problemler giderilebilmektedir. Karar alma süreçlerinin merkezi olmayan şekilde dağıtılması, yönetim ve sahiplik sorunlarını hafifletirken, bulut tabanlı depolama, gelişmiş veri analitiği, yerel kimlik doğrulama ve yetkilendirme mekanizmaları veri güvenliğini güçlendirmektedir.
2. İşlevsel faydalar: sensör tabanlı izleme ile sıcaklık, hastalık ve zararlıların yoğunluğu, hasat zamanı, toprak nemi, sulama ve gübre ihtiyacı ve iklim etkileri gibi pek çok kritik parametre gerçek zamanlı olarak

izlenebilmekte; bu göstergelerin otomatik biçimde yönetilmesi, üretim süreçlerinin hassas ve kontrollü yürütülmesini sağlamaktadır.

3. Sosyal faydalar: IoT tabanlı izleme ve kontrol sistemleri gıdaların taze bir şekilde tedarik edilmesini sağlayarak tüketicilerin ürün güvenliği ve kalitesi konusunda güvenlerini arttırmaktadır. Bu nedenle kalite sertifikasyon sistemleri tedarik zincirine yönelik genel güveni pekiştirmektedir.
4. Ekonomik faydalar: Tarımsal ürünlerde IoT tabanlı bir tedarik zincirinin kullanılması işletme maliyetlerini düşürmekte ve sistem verimliliğini arttırmaktadır. Düşük güç tüketimli sensörler, kablosuz teknoloji ve eşler arası bilgi akışı operasyonel maliyetleri azaltmaktadır. Yapay zekâ ve bulut teknoloji ile desteklenen ver analizleri ise ürün kalitesinin yükselmesi ve verimlilikte artış sağlayarak hem tüketici hem de üreticiler açısından ekonomik fayda sağlamaktadır.
5. Çevresel faydalar: IoT teknolojileri iklim ve toprak koşullarına uygun kontrollü üretim uygulamalarını destekleyerek su, gübre ve pestisit kullanımını optimize etmekte; sensör tabanlı izleme ve makine öğrenmesi tabanlı tahminler sayesinde kaynak ve ürün israfını en aza indirerek çevresel baskıyı azaltmaktadır.
6. İşletme faydaları: Iot tabanlı sensörlerin sağladığı kontrollü izleme ve karar destek mekanizmaları sayesinde çiftçilerin gelirlerini artırmaktadır.

Gyamfi vd. (2024) ise akıllı tarım uygulamalarının sağladığı avantajları artan verimlilik, kaynak optimizasyonu, sürdürülebilirlik, geliştirilmiş hayvancılık yönetimi ve Pazar erişimi olmak üzere 5 kategoride sınıflandırmıştır:

1. Artan verimlilik: Akıllı tarım uygulamalarında kullanılan cihaz ve sensörlerden elde edilen gerçek zamanlı veriler, çiftçilerin zararlıların kontrolü, gübreleme ve sulama gibi konularda daha isabetli kararlar almalarına olanak tanımakta ve bu durum hem hayvansal hem de bitkisel üretimde verim artışına sebep olmaktadır. Teknolojinin gelişimi ile birlikte tarımda verimlilik artışının hız kazanacağı düşünülmektedir. Özellikle yapay zekâ algoritmaları, robotik uygulamalar ve otomasyon sistemlerinin tarıma entegrasyonu tarımsal verimliliği yükselterek çiftçilerin daha az kaynak kullanarak daha fazla gıda üretmesine de katkıda bulunacaktır.
2. Kaynak optimizasyonu: Akıllı tarım kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını teşvik eden uygulamalardan oluşmaktadır. Hava durumu, bitki sağlığı ve toprak koşullarının eş zamanlı izlenimi sayesinde çiftçiler gübre ve su gibi kaynakları çok daha etkin bir biçimde

kullanabilmektedir. Bu yaklaşım hem atık miktarının azalmasına hem de tarımsal faaliyetlerin çevresel etkisinin düşmesine katkı sağlamaktadır. Gelecek yıllarda yapay zekâ destekli araçlar ve gelişmiş sensör teknolojilerinin kaynak gereksinimlerini önceden tahmin ederek tam isabetli bir kaynak tahsisini mümkün kılması beklenmektedir.

3. Sürdürülebilirlik: Akıllı tarım, sürdürülebilir tarım uygulamalarının desteklenmesi açısından önemli bir avantaja sahiptir. Akıllı tarım uygulamalarında atık miktarının en aza indirilmesi, kimyasal girdi kullanımının azaltılması ve doğal kaynakların korunması sayesinde çevresel sorumluluk teşvik edilmektedir. Ayrıca günümüzde gıda tedarik zincirinin her aşamasının izlenebilirliği son derece önemlidir. Akıllı tarım, ekim aşamasından nihai tüketime kadar tarımsal sürecin her adımının kapsamlı biçimde izlenmesini ve denetlenmesini mümkün kılmaktadır. Özellikle blok zincir teknolojisinin izlenebilirlik ve gıda güvenliğini sağlamada merkezi bir rol üstlenmesi beklenmektedir.
4. Geliştirilmiş hayvancılık yönetimi: Akıllı tarım uygulamalarının sunduğu avantajlar hayvancılık sektöründe de güçlü bir biçimde hissedilmektedir. IoT tabanlı cihazlar aracılığıyla hayvanların davranışları, sağlık durumları ve bulundukları ortamın çevresel koşulları izlenebilmektedir. Bu tür izleme uygulamaları, hastalık salgınlarının azaltılmasına, daha etkin besleme stratejilerinin geliştirilmesine ve genel olarak hayvan refahının yükseltilmesine katkı sağlamaktadır. Teknolojik gelişmelerin sürmesi ile birlikte hayvancılık sağlık takibi, otonom besleme ve otomatik tedavi gibi uygulamaların çok daha yaygın hâle gelmesi beklenmektedir.
5. Pazar erişimi: Akıllı tarım; çiftçilere ürün miktarı, kalitesi ve piyasa talebine ilişkin güncel veriler sağlayarak pazar erişimini önemli ölçüde iyileştirmektedir. Bu durum, kırsal bölgelerde ekonomik büyümeyi desteklemekte, hasat sonrası kayıpları azaltmakta ve çiftçi gelirlerinin artmasına katkı sunmaktadır. Gelecek yıllarda adil ticaret uygulamalarının güçlendirilmesi ve küresel pazarlara erişimin genişletilmesinin ön plana çıkacağı öngörülmektedir.

5. Akıllı Tarımın Dezavantajları

Tarımsal üretim zincirinde dijital teknolojilerin benimsenmesinin önündeki başlıca engeller; altyapı yetersizliği (özellikle kırsal alanlarda güçlü bağlantı eksikliği), veri güvenilirliği ve siber güvenlik endişeleri, dijital beceri eksikliği, teknolojik ekipmanların kullanılabilirliğine ilişkin sorunlar (teknolojik karmaşıklık) ve nitelikli işgücü yetersizliği olarak sıralanmaktadır (Silveira ve Amaral, 2022)

Tarım endüstrisinde İnternet'e bağlı çok sayıdaki cihazın ve veri odaklı uygulamanın yaygınlaşması, gizlilik ve güvenlik ile ilgili sorunların artmasına yol açmıştır. Tarımda IoT uygulamalarının yaygınlaşmaya başlamasıyla birlikte tarımsal üretim ve işleme süreçleri siber saldırılara ve casusluk faaliyetlerine karşı daha kırılgan bir hale gelmiştir. Tarımsal faaliyetlerde kullanılan IoT sistemine yönelik saldırılar, mevcut sensörlerin kopyalanması, izinsiz ek sensör cihazlarının yerleştirilmesi, sahtecilik saldırıları, biyometrik şablon saldırıları, wormhole (tünel), truva atı ve Sybil saldırıları gibi çeşitli saldırı yöntemlerini içermektedir. Karşılıklı kimlik doğrulama ve anahtar yönetimi, IoT destekli tarımda güvenli iletişimin sağlanması açısından kritik bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Özellikle fidye yazılımı saldırıları da akıllı tarımdaki IoT sistemleri için ciddi bir tehdit oluşturmakta; saldırganlar, fidye ödenene kadar çiftlik verilerini şifreleyebilmektedir. Güvenlik uzmanları, saldırı tespit sistemleri, erişim kontrolü, kimlik doğrulama ve bütünlük denetimi gibi bileşenleri içeren çok katmanlı savunma yaklaşımlarının kullanılmasını önermektedir (Jararweh vd., 2023).

Akıllı tarımda kullanılan cihaz ve sensörler, hem daha verimli bir tarım deneyimi sunmak hem de ürün verimini artırmak amacıyla birbiriyle eşgüdümlü biçimde çalışmaktadır. Ancak her ne kadar sektörün verimliliğine önemli katkılar sağlasa da, heterojen ve İnternet'e bağlı cihazların yoğun kullanımı tarım sektöründe potansiyel güvenlik açıklarına ve siber saldırılara zemin hazırlamıştır. Bu tür saldırılar, tarım arazisinde kullanılan sensörlerin ve otonom araçların (insansız hava araçları ve traktörler vb.) başkaları tarafından uzaktan kontrol edilmesine ve kötüye kullanılmasına imkân tanıyabilmektedir. Tarıma yönelik bu potansiyel saldırılar, güvensiz ve verimsiz bir üretim ortamının ortaya çıkmasına neden olabilir. Örneğin, kötü niyetli bir istismar sonucunda olgunlaşmış bir mahsul tarlasının tamamen tahrip edilmesi, tarım alanlarının su altında bırakılması ya da akıllı dronlar aracılığıyla aşırı pestisit püskürtülmesi hem ciddi ekonomik kayıplara hem de güvensiz gıda tüketimine neden olabilir. Bu tür saldırıların büyük çapta ve koordineli bir biçimde gerçekleştirilmesi ise agro-terörizm olarak adlandırılmaktadır (Gupta vd., 2020).

Gizlilik ve güvenlik endişelerinin yanı sıra, yenilikçi teknolojilerin uygulanmasında çiftçilerin dijital teknolojileri öğrenme ve bunlara uyum sağlama süreçlerinde yaşanan güçlükler de ön plana çıkmaktadır (Dibbern vd., 2024). Tarımda ileri teknolojilerin entegrasyonu, kırsal toplum yapısında meydana gelebilecek dönüşümler, istihdam kaybı ve akıllı hayvancılık uygulamalarında hayvan refahına ilişkin kaygılar gibi çeşitli etik ve sosyal sorunları da gündeme getirmektedir (Gyamfi vd., 2024)

Akıllı tarımın hayata geçirilebilmesi için ihtiyaç duyulan teknolojik altyapı ve kaynaklara erişim açısından çiftçiler arasında belirgin eşitsizlikler bulunmaktadır. Dijital uçurum kişilerin teknolojiye erişim ve dijital okuryazarlık becerileri arasındaki farkları ifade etmekte olup, eşitsizlikleri daha da derinleştirme potansiyeline sahiptir. Küçük ölçekli ya da kaynakları sınırlı çiftçilerin akıllı tarımın sunduğu avantajlardan yararlanabilmesi için bu uçurumun giderilmesi zorunludur. Bunu yanı sıra, akıllı tarım uygulamalarının benimsenmesi, kaynak yönetiminin iyileştirilmesi açısından önemli bir potansiyel barındırır da hızlı teknolojik dönüşüm; artan enerji tüketimi, kaynakların aşırı kullanımı ve çevresel bozulma gibi istenmeyen sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle akıllı tarımın yaygınlaştırılması sürecinde sürdürülebilir uygulamaların ve düzenleyici çerçevelerin sisteme entegre edilmesi kritik bir önem taşımaktadır (Gyamfi vd., 2024).

6. Dünyada Akıllı Tarım Uygulamaları

Tarım sektöründe öne çıkan Hollanda, İsrail ve Tayvan, akıllı tarım teknolojilerinin benimsenmesi konusunda birçok ülkenin önünde yer almaktadır (İpek, 2022)

6.1. Tayvan

Tayvan, 1960'lı yıllardan bu yana tarımsal makineleşmeye, tarım sektöründeki yeniliklere ve teknolojik sistemlerin geliştirilmesine sistematik biçimde yatırım yapmıştır. Bu çabalar sonucunda ülke, ileri teknolojik tarım ekipmanları ve akıllı tarım uygulamaları ile dünya ölçeğinde tanınır duruma gelmiştir. Ülke; IoT teknolojileri, LED teknolojileri, damla sulama sistemleri, güneş panelleri, kapalı tarım sistemleri, dikey çiftlikler, hassas tarım çözümleri, robotlar, dronlar, robotlar ve otomasyon sistemleri gibi akıllı tarım kapsamında yer alan hemen hemen tüm bileşenlerin önde gelen üreticilerinden biri konumundadır (Kirmikil ve Ertaş, 2020)

İç mekân tarımının uygulanabilmesi için yoğun biçimde LED teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Tayvan bu alanda dünyada ikinci büyük ülke konumundadır ve söz konusu Led teknolojisindeki gelişmelerle iç mekân tarımını doğrudan desteklemektedir. Dron ve robot üretimine oldukça büyük önem veren ülke, aynı zamanda tarım projelerinin gerçekleştirilebilmesinde ihtiyaç duyulan güneş pili üretiminde dünyada birinci sırada yer yer almaktadır. Akıllı seralarda, LED tabanlı aydınlatma teknolojileriyle güneş ışığı taklit edilmekte; bitkileri yakma riski taşıyan ultraviyole ve kızılötesi ışıklar filtrelenerek, her bitki türüne özgü ayarlarla yılın her döneminde kontrollü büyüme koşulları sağlanmaya çalışılmaktadır. Çay toplama makineleriyle hasat süreci hızlandırılırken, damla sulama sistemleri sayesinde yalnızca sudan değil,

aynı zamanda işgücü ve enerji kullanımından da tasarruf elde edilmektedir. Akıllı tarım teknolojilerinin kullanımı ile gübre ve su kullanımında üretimde mümkün olan en yüksek verimin sağlanması amaçlanmaktadır. Tayvan'ın Taoyuan kentinde bulunan YesHealth iFarm isimli tesis, iklim ve yetiştirme koşullarının bütünüyle kontrol edilebildiği akıllı bir dikey çiftlik altyapısına sahiptir. 14 katlı bu dikey tarım tesisinde hava akışı, nem ve sıcaklık gibi tüm çevresel parametreler sürekli denetim altında tutulmaktadır. Ayrıca tesis içerisinde klasik müzik kullanılarak bitkilerin besin maddelerini emilim süreçleri üzerine çalışmalar yürütülmektedir (Kılavuz ve Erdem, 2019).

6.2. Hollanda

Hollandalı çiftçiler; yenilenebilir enerji sistemleri , otomasyon sistemleri ve robotlar, büyük veri analitiği, ileri tohum teknolojileri, kaynak kullanımını optimize ederek verimlilik sağlayan sulama teknolojileri ve akıllı çiftlik yazılımlarını kullanarak dijital tarım dönüşümünde son derece önemli bir başarıya imza atmıştır (Kirmikil ve Ertaş, 2020). İnovasyondaki başarısıyla öne çıkan Hollanda, akıllı tarım tekniklerini etkili bir şekilde hayata geçirerek tarımsal üretim ve ihracatta dünya liderleri arasına yerleşmiştir. Ülke tarım ürünlerinin işlenmesinde kullanılan makineler ve robotik yumuşak meyve toplayıcıları gibi otomasyon seviyesini üst düzeye çıkaran sistemlere sahiptir. Dünyanın tarım alanındaki en saygın kurumlarından biri kabul edilen Wageningen Üniversitesi, doğal kaynaklar ve yaşam bilimleri çerçevesinde ticari ve bilimsel meselelere konu olan araştırmalar yürütmektedir. Tüm bu teknolojik gelişmelerle 2017 yılı itibarıyla Hollanda, tarım ürünleri ve tarım teknolojileri alanında yaklaşık 100,8 milyar avroluk ihracat gerçekleştirmiştir. Ülkenin tarımsal alandaki başarısının arkasında, sektördeki uzmanlaşma ve modern teknolojilerin yoğun biçimde kullanılması belirleyici rol oynamaktadır. Güçlü bir tarımsal altyapıya sahip olan Hollanda, üreticiler, kamu kurumları ve üniversiteler arasında kurduğu profesyonel işbirliği ve akıllı tarım uygulamalarını sektöre başarıyla entegre etmesi sayesinde, tarım alanında dünyada önde gelen ülkelerden biri konumuna yükselmiştir (Kılavuz ve Erdem, 2019).

6.3. İsrail

İsrail, yoğun Ar-Ge faaliyetleri sayesinde tarım alanında küresel ölçekte öne çıkan bir ülke konumuna ulaşmıştır (İpek, 2022). İsrail günümüzde, damla sulama teknolojisini küresel ölçekte ön plana çıkaran, tohum ıslahı ve genetiği üzerinde çalışabilen, tarımsal üretimde büyük ölçüde kendine yeterli, en son teknolojilerle verimliliği düşük alanlarda dahi üretim yapabilen ve kayda değer düzeyde tarım ürünü ihraç edebilen bir ülke konumundadır. Toprak

ve su kıtlığı gibi kurak koşullara rağmen modern tarım teknolojilerini devreye sokarak tarım sektöründe önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Su kullanımını en aza indiren damla sulama sistemleri, kurak koşullara uyumlu tohum türleri, tatlı kiraz ve domatesler ve hasat sonrasında dayanıklılığı artıran uygulamalar bu başarıların somut örnekleri arasındadır. İsrail’de çölde bulunan Arava tarım merkezindeki seralarda, gübreleme ve sulama süreçleri bilgisayar kontrollü olarak yürütülmekte, bitki zararlılarıyla farklı metotlar kullanılarak başa çıkılmakta ve güneş panellerinden üretilen enerjiyle üretim maliyetleri azaltılmaktadır. Bu sayede verimliliğin artırılmasında ileri teknolojilerden yoğun şekilde faydalanılmaktadır. Çöl ikliminin bir sonucu olarak gece–gündüz sıcaklık farklarının ani değişim göstermesi, İsrailli bilim insanlarını gündüzleri soğutma, geceleri ise ısıtma uygulamalarına yöneltmiştir. Metrekare maliyeti 10 bin dolara ulaşan bu ileri teknoloji yatırımlarıyla Arava bölgesindeki seralarda gül yetiştiriciliği yapılmakta olup, metrekare başına yaklaşık 350 adet gül elde edilebilmektedir. Ulusal Musevi Fonu tarafından fonlanan Arava tipi ileri tarım merkezlerinde, çiftçilerin modern tarım tekniklerini benimsemesine yönelik eğitim faaliyetleri de yürütülmektedir. Ülkedeki tarım çiftliklerinde yalnızca gıda amaçlı ürünler değil, aynı zamanda ilaç endüstrisinde kullanılan bitkiler üzerine de araştırma ve üretim çalışmaları yürütülmektedir. Üretimin kısmen merkezileştirilmesi ve araştırma merkezlerinin kurulmasını destekleyen işletme modelleri, İsrail’in tarımsal üretimde yüksek verimlilik düzeylerine ulaşmasını sağlamaktadır. Kısacası İsrail’in tarımsal rekabet gücü, doğal karşılaştırmalı üstünlüklere değil, büyük ölçüde bilgi birikimi ve teknolojik gelişmelere dayanmakta ve günümüzde tarım teknolojilerinde dünya liderleri arasında yer almaktadır (Kılavuz ve Erdem, 2020).

6.4. Japonya

Japonya, son dönemde ülkemizde de giderek yaygınlaşan topraksız tarım uygulamaları açısından başarılı ülkelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Robotlar kullanılarak her 8 saniyede bir meyve toplanmakta ve bu sayede hasat süreci önemli ölçüde hızlandırılmaktadır. Ülkede kurulan bio-çiftliklerde çiftçiler, bilgisayarlar aracılığıyla nem, ışık ve sıcaklık gibi faktörleri kontrol edebilmekte; kameralar ve sensörler aracılığıyla uygun hasat zamanını, toprağın sıcaklık ve su tutma kapasitesini, zararlılarla mücadele düzeyini ve gün ışığı süresini belirleyebilmektedir. Ayrıca, kullanılan özel lens sistemleriyle zararlı güneş ışınları filtrelenerek daha kontrollü üretim koşulları sağlanmaktadır (Kirmikil ve Ertaş, 2020).

6.5. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)

Dünya badem üretiminin yaklaşık %80'i ABD tarafından gerçekleştirilmektedir. Bademin yüksek su ihtiyacı, üretim maliyetlerinin de oldukça yüksek seyretmesine yol açmaktadır. Bu sorunu hafifletmek amacıyla badem ağaçlarına yerleştirilen sensörler aracılığıyla toprak analizleri yapılmaktadır. Bu sensörlerden elde edilen veriler sulama sistemlerine aktarılmış ve sulamanın en uygun biçimde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Bulut ortamında toplanan bu verilerin kullanılması sonucunda sulama suyunda yaklaşık %20 oranında tasarruf sağlandığı belirlenmiştir. NASA'ya fırlatılan gözlem uydusu ile nem düzeyi izlenmekte; ayrıca her üç günde bir sel, kuraklık ve iklim değişimi gibi olgulara dair ayrıntılı verilere erişim sağlanmaktadır. Akıllı tarım uygulamalarında ABD'nin öne çıkmasında, tarımsal ekipman, makine ve yazılım üreten özel şirketlerin geliştirdiği yenilikçi çözümlerin de önemli bir payı bulunmaktadır (Kirmikil ve Ertaş, 2020). Saiz-Rubio ve Rovira-Más (2020)'a göre, ABD'li çiftçilerin yaklaşık %10 ila %15'inin, toplam 1.200 milyon hektarlık alanda ve 250.000 civarında çiftlikte IoT çözümlerini kullandığını belirtmiştir.

7. Türkiye'de Akıllı Tarım Uygulamaları

Ülkemizde akıllı tarımın ekonomi üzerindeki etkisi dikkate alınarak çok çeşitli politikalar geliştirilmiştir. 2015 yılında TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü ile Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi iş birliği ile "Akıllı Tarım Fizibilite Projesi" başta olmak üzere bir dizi çalışma hayata geçirilmiştir. Proje kapsamında pilot bölge olarak İç Anadolu bölgesi seçilmiş ve bölgedeki tarımsal faaliyetlere yönelik yeni modeller geliştirilmesine dönük çalışmalar yürütülmüştür (İpek, 2022). Proje kapsamında akıllı tarım uygulamalarına ilişkin olarak hem sahadan hem de havadan veriler elde edilmiş; bu veriler değerlendirilmiş, işlenmiş ve çeşitli analizlerden geçirilmiştir. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne bağlı Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde, 400 hektarlık sahada 16 farklı tarım ürünü üzerinde denemeler gerçekleştirilmiştir. Projenin en temel amacı, uzaktan algılama sistemlerinden yararlanılarak verim haritalarının oluşturulması, gübreleme, hastalık ve zararlı tespiti, sulama gibi pek çok parametreye ilişkin verilerin elde edilmesi ve bunların analiz edilmesidir (Kirmikil ve Ertaş, 2020).

Tarım sektörüne ilişkin güncel girişimlerden biri de, TÜBİTAK desteğiyle Ege Üniversitesi çatısı altında kurulan ve üreticilere tarım teknolojileri alanında hizmet vermeyi hedefleyen Doktor Tarım ve Hayvancılık Bilgi Sistemleri Araştırma ve Geliştirme Sanayi ve Ticaret A.Ş.'dir. Söz konusu şirket aracılığıyla, 117 ürünü, 130 bin kayıtlı çiftçiyi, 800 bin hektarlık ekili

alanı ve yaklaşık 1,5 milyar TL değerindeki tarım ürünlerini kapsayan yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması hedeflenmektedir (Kılavuz ve Erdem, 2019)

Türkiye’de sürdürülebilir tarım uygulamalarının hayata geçirilebilmesi ve tarımsal faaliyetlerin tüm aşamalarının en üst düzeyde denetlenebilmesi için Tarım Sektörü Entegre Yönetim Bilgi Sistemi (TARSEY) projesi yürütülmektedir. Tarımda sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi açısından kritik bir eşik olması beklenen bu kapsamlı proje gerçek anlamda uygulamaya geçirildiğinde, kılı tarıma geçiş süreci pratikte de sona ermiş olacaktır. TARSEY, 2015 yılı itibarıyla ülkemizde sürdürülebilir tarıma yönelik gerçekleştirilen uygulamaların tamamını kapsayacak bir yapı olarak kurgulanmış ve bugüne dek yürürlüğe giren uygulamaları tek bir çatı altında bütünleştirmek üzere planlanmıştır. İki ana eksen üzerine kurgulanan TARSEY projesinin çekirdeğini TARBİL projesi oluşturmaktadır. Bu çerçevede 2008 yılında “Tarımsal Rekolte Tahmin ve Kuraklık İzleme (TARİT)” adlı bir pilot proje başlatılmış; pilot çalışmadan olumlu sonuçlar alınmasının ardından 2011’de TARBİL projesi uygulamaya sokulmuş ve bu proje 2015 yılına dek sürdürülmüştür. (Çeker, 2016). TARBİL Projesi çerçevesinde süreç dört safhada yürütülmekte; bu durum, söz konusu dört ana unsurun çalışma esaslarını da şekillendirmektedir. Bu çerçevede süreç; veri sağlayıcılardan alınan bilgilerin ortak bir veri havuzunda birleştirilmesi, bu verilerin uygun analiz teknikleriyle değerlendirilmesi, elde edilen sonuçlara göre tarımsal uygulamalar için en uygun kararların oluşturulması ve son aşamada bu kararların anlık komutlar şeklinde üreticilere iletilmesi biçiminde işlemektedir (Kaya, 2019). 2015 yılında ise Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı bünyesinde yürütülen tüm tarımsal uygulamalar bir araya getirilerek TARSEY adı altında yeniden yapılandırılması yönünde karar alınmıştır. TARSEY projesinin bir diğer ana unsuru, Tarım Bilgi Sistemi (TBS) ve buna entegre çalışan mobil uygulamalardan oluşmaktadır (Çeker, 2016)

TABİT (Tarımsal Bilişim ve İletişim Teknolojileri) ile Vodafone Türkiye’nin ortaklığında, kırsal kalkınmayı desteklemek amacıyla Aydın’da kurulan Vodafone Akıllı Köy, hem Türkiye’de hem de dünya genelinde tüm süreçleri dijital teknolojilerle desteklenen öncü akıllı köy örneklerinden biri olma yönünde hızla ilerlemektedir. Klasik tarım uygulamalarının modern teknolojilerle bütünleştirildiği bu modelde; tarımsal üretimde verimliliğin bilgi ve teknoloji kullanımıyla artırılması, geliştirilen teknolojilerin diğer köylerde yaygınlaştırılması ve tarımda genç istihdamının desteklenmesi gibi hedefler yer almaktadır. Proje kapsamında sulama süreçlerinde en az %20’lik, hayvansal üretime ilişkin maliyetlerde en az %22’lik ve bitkisel üretim

maliyetlerinde ise en az %20'lik ve bir tasarrufa ulaşılması amaçlanmaktadır (Kaya, 2019).

Türkiye’de yaklaşık 10 yıl öncesine kadar akıllı ve hassas tarım, yalnızca birkaç üniversitenin Ziraat Fakültelerinde lisans ve lisansüstü düzeyde ders olarak okutulurken, günümüzde neredeyse tüm fakültelerde bu alanda eğitim vermeye başlanmıştır. Ülkemizde son yıllarda bu konuda yüksek lisans düzeyinde eğitim-öğretim programları da açılmaktadır. Bu gelişmeler doğrultusunda, alandaki uzman personel açığının zamanla azalacağı düşünülmektedir (KOSAM, 2024)

Ankara Üniversitesi, Boğaziçi Üniversitesi, Ege Üniversitesi ve Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi başta olmak üzere, bu alandaki çalışmalar ulusal ve uluslararası iş birlikleriyle birlikte artış göstermeye başlamıştır. Bu kapsamda, Ege Üniversitesi İİBF ile İzmir Ticaret Borsası ortaklığında yürütülen “Türk Tarımının Global Entegrasyonu: Tarım 4.0” projesi de dikkat çeken örneklerden biridir (Kaya, 2019)

Tarımda dijital dönüşüm hamlesi kapsamında Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yürütülen faaliyetler temelde iki başlık altında toplanabilir. İlk olarak, destek ödemeleri, çiftçi kayıt sistemi vb. işlemlerin çiftçi bazında dijital ortama aktarılmasıyla bu süreçlerin internet üzerinden daha hızlı ve kolay bir şekilde yürütülmesi hedeflenmektedir. İkinci olarak ise, tarımsal üretim süreçlerinde dijital teknolojilerin kullanımının yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı’nın hizmetleri; 2,7 milyon kayıtlı çiftçi, 23,1 milyon hektar tarım alanı, 14,6 milyon hektar mera alanı, 22,6 milyon hektar orman alanı ve 73 milyon baş hayvanı kapsamakta ve bu hizmetlerin tamamının kademeli olarak dijital ortama taşınması planlanmaktadır. Ayrıca akıllı tarıma ilişkin stratejilerin geliştirilmesi, bu alandaki sanayinin desteklenmesi ve ilgili kurumlar arasında koordinasyonun sağlanması amacıyla, 2016 yılında TOB öncülüğünde “Akıllı Tarım Platformu” kurulmuştur. Platform; tarım makineleri sektörü temsilcileri Tarım ve Orman Bakanlığı personeli ve akademisyenlerden oluşan çok paydaşlı bir yapı niteliğindedir (KOSAM, 2024)

Turkcell’in Akıllı Tarım çözümleri kapsamında; kümes izleme uygulamaları, sera takip sistemleri, süt ölçüm ve takip çözümleri, balık çiftliklerine yönelik izleme sistemleri, büyükbaş hayvanların adım ve konum takibi ile ve iş yönetimi odaklı çeşitli dijital çözümler sunulmaktadır. Bu sistemlerde sahadan veri toplanmakta, toplanan veriler analiz edilerek üreticilere en uygun karar ve uygulama seçenekleri sağlanmaktadır. Benzer şekilde Vodafone Çiftçi Kulübü aracılığıyla da tarımsal üretimde tasarruf ve verimliliği artırmaya yönelik yöntemler üreticilerin kullanımına sunulmaktadır. Robot formundaki Farmbot isimli cihaz ile tohum ekiminden sulamaya, bitki sağlığının izlenmesi

ve analizine kadar çok sayıda süreç otomatik olarak yürütülebilmektedir (Kılavuz ve Erdem, 2019)

2016–2017 Prosperity Fund kapsamında İngiltere Büyükelçiliği ve Boğaziçi Üniversitesi tarafından eş finansmanı sağlanan Agritech projesi ile Türkcell Akıllı Tarım ve Farmbot girişimleri, üniversite–özel sektör işbirliğine dayalı akıllı tarım uygulamalarının dikkate değer örnekleri arasında sayılabilir (Kaya, 2019).

Öte yandan, Türk Telekom Grubu’nun BulutTT çatısı altında kurumsal müşterilere sağladığı M2M tabanlı iş çözümleri, tarım ve hayvancılık sektöründe faaliyet gösteren üreticilere önemli kolaylıklar sunacak şekilde tasarlanmıştır. küçük ve büyükbaş hayvanların sağlık durumunu etkileyen çeşitli parametreleri izleyip düzenlemek amacıyla, mobil altyapıya dayalı “Hayvan Barınağı Kontrol ve Takip Çözümleri” tasarlanmıştır. Bu çözümler; ısı takibi ve kontrolü, hastalıkları önlemeye yönelik gözlem ve alarm sistemleri, yemleme ve kontrollü aydınlatma gibi uygulamaları kapsamaktadır (Akıllı Tarım Platformu, 2019).

Ülkemizde İUT kapsamında Dünya Bankası ile Tarım ve Orman Bakanlığı ortaklığında 2023 yılında “Türkiye İklim Akıllı ve Rekabetçi Tarımsal Büyüme Projesi” başlatılmıştır. Toplam 341 milyon dolar bütçeye sahip proje çerçevesinde, 33 milyon dolarlık hibe bütçesiyle iyi tarım uygulamaları ve akıllı tarım teknolojilerinin kullanımı desteklenecektir. Proje kapsamında otomatik dümenleme sistemleri, değişken düzeyli tarımsal girdi uygulamaları ve tarımsal karar destek sistemleri gibi dijital tarım teknolojilerinin desteklenmesi amaçlanmaktadır. Projede ayrıca söz konusu desteklerden bireysel çiftçilerden ziyade çiftçi örgütlerinin yararlanması planlanmaktadır (KOSAM, 2024).

8. SONUÇ

Hızla artan dünya nüfusuna yönelik gıda ihtiyacı, tarım arazilerinde pestisit gibi kimyasal girdilerin kullanılması ve iklim krizinin yarattığı çevresel baskılar tarım arazilerinin giderek küçülmesine yol açmış ve bu durum doğaya ve ekosistemlere zarar vermeyen yenilikçi tarımsal teknolojilerin kullanılmasını gündeme getirmiştir. Bu noktada sürdürülebilirlik anlayışıyla uyumlu olan akıllı tarım, otomasyon ve dijital teknolojilerle desteklenen ve tarımsal arazilerden alınan verilere dayalı olarak kararların alındığı yeni bir paradigma olarak ortaya çıkmakta ve kaynak verimliliği, çevresel sürdürülebilirlik ve gıda güvenliğini gibi konuları aynı çerçevede ele almayı mümkün kılmaktadır.

Nesnelerin interneti (IoT), robotlar, dronlar, sensörler, blokzincir, GPS tabanlı konumlandırma, yapay zekâ ve makine öğrenmesi ve büyük veri analitiği gibi bileşenler akıllı tarımın omurgasını oluşturmaktadır. Bu tür

teknolojiler tarladan sofraya kadar uzanan tarımsal tedarik zincirinin her aşamasında kullanılmakta; hasat zamanlaması, sulama, gübreleme, hastalık-zararlı takibi, hayvan refahı, depolama ve lojistik gibi kritik kararların gerçek zamanlı veriyle desteklenmesini sağlayarak verimliliği artırmakta, girdi maliyetlerini düşürmekte ve kimyasal kullanımını optimize etmektedir. Bu sayede hem üretici gelirleri arttırılmakta hem de su, toprak ve biyolojik çeşitliliğinin korunmasına katkıda bulunularak sürdürülebilirlik anlayışına katkıda bulunmaktadır.

Akıllı tarım uygulamaları sunduğu kolaylık ve olanakların yanında birtakım zorluk ve riskleri içinde barındırmaktadır. Küçük ölçekli üreticilerin yatırım ve finansmana erişim sorunları, kırsal alanlarda dijital altyapı eksiklikleri, dijital okuryazarlık düzeyinin düşüklüğü ve nitelikli işgücü açığı, bu teknolojilerin yaygın ve adil biçimde benimsenmesini güçleştirmektedir. Ayrıca IoT tabanlı sistemlere yönelik siber saldırılar, veri mahremiyeti ve güvenliği, tarım makineleri ve sensörlerin kötüye kullanımı ile “agro-terörizm” ihtimali gibi tehditler, tarımsal üretimi sadece ekonomik değil, aynı zamanda stratejik güvenlik meselesi hâline getirmektedir. Tüm bunların yanı sıra, hızlı teknolojik dönüşüm, doğru yönetim ve düzenleyici çerçevelerle desteklenmediğinde, enerji tüketimi ve elektronik atık artışı gibi yeni çevresel sorunlar üreterek beklenen sürdürülebilirlik kazanımlarını yok edebilir.

Akıllı tarım uygulamalarının başarısı sadece yüksek bir teknolojik altyapıya değil, bu alanda yapılan Ar-Ge yatırımlarına, kamu-özel sektör işbirliğine ve uzun vadeli stratejilere bağlıdır. Tayvan’ın dikey çiftlik ve LED tabanlı iç mekân tarımı, Hollanda’nın yüksek teknoloji seraları ve veri odaklı çiftlik yönetim sistemleri, İsrail’in damla sulama ve kurak koşullara uyumlu tohum ıslahı gibi uygulamaları, bilgi ve inovasyonun doğru politika tasarımıyla birleştiğinde tarımsal verim ve ihracatta çarpan etkisi yaratabildiğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Türkiye’de TARBİL ve TARSEY projeleri, akıllı köy uygulamaları, GSM operatörlerinin tarımsal M2M çözümleri ve üniversite odaklı Ar-Ge girişimleri, akıllı tarımın kurumsal ve teknolojik altyapısının adım adım oluşturulduğunu göstermekte; ancak bu çabaların henüz tam anlamıyla ölçeklenmediğini ve ülke geneline yayılmadığı görülmektedir.

Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda, akıllı tarımın sürdürülebilirlik bağlamında gerçek potansiyeline ulaşabilmesi için aşağıda sıralanan alanlara öncelik verilmesi gerekir:

- **Kapsayıcı dijital dönüşüm:** Kırsal altyapı yatırımlarının güçlendirilmesi, küçük ve orta ölçekli işletmelerin finansal destek mekanizmalarıyla akıllı tarım teknolojilerine erişiminin kolaylaştırılması ve dijital uçurumun azaltılması gerekmektedir.

- **Eğitim ve kapasite geliştirme:** Çiftçilerin, ziraat mühendislerinin ve teknisyenlerin dijital okuryazarlık ve veri temelli karar alma becerilerinin artırılması; üniversite programları ve yayım hizmetlerinin akıllı tarım odağında yeniden yapılandırılması gerekmektedir.
- **Veri güvenliği ve etik:** Tarımsal verilerin sahipliği, paylaşımı, güvenliği ve mahremiyetine ilişkin net hukuki çerçevelerin oluşturulması; IoT tabanlı sistemler için çok katmanlı siber güvenlik mimarilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.
- **Çevresel sürdürülebilirlik:** Yeni teknolojilerin enerji tüketimi, karbon ayak izi ve atık üretimi dikkate alınarak, yenilenebilir enerji ve döngüsel ekonomi ilkeleriyle entegre biçimde kurgulanması gerekmektedir.
- **Çok paydaşlı yönetim ve stratejik planlama:** Tarım ve Orman Bakanlığı, yerel yönetimler, üniversiteler, teknoloji firmaları ve üretici örgütleri arasında kalıcı işbirliği mekanizmalarının kurulması; ulusal ölçekte iklim akıllı ve rekabetçi bir tarım vizyonunun somut yol haritalarıyla desteklenmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, akıllı tarım uygulamaları, yalnızca teknoloji odaklı bir “verimlilik artırma” aracı olarak değil; ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarıyla birlikte ele alınması gereken bütüncül bir sürdürülebilirlik stratejisi olarak değerlendirilmelidir. Doğru tasarlandığında ve kapsayıcı politikalarla desteklendiğinde akıllı tarım, hem gıda güvencesinin sağlanmasına hem de kırılgan kırsal toplulukların iklim değişikliğine uyum kapasitesinin artırılmasına önemli katkılar sunabilecek; ancak ihmal edilen eşitsizlikler, yönetim zafiyetleri ve güvenlik riskleri, bu potansiyeli sınırlama tehlikesi taşımaya devam edecektir.

Kaynakça

- Akıllı Tarım Platformu (2019). Türkiye’de akıllı tarımın mevcut durum raporu, Ankara.
- Akova, S. B., & Tapan, İ. (2022). Sürdürülebilir tarım kapsamında iyi tarım uygulamalarının değerlendirilmesi: Malatya ili örneği. *Journal of Geography*, (44), 151-167.
- Begum, N., & Hazarika, M.K. (2022). Artificial Intelligence in Agri-Food Systems—An Introduction In P. K. Pattnaik, R. Kumar, & S. Pal (eds.), *Internet of Things and Analytics for Agriculture Volume 3* (pp.45-64), Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-6210-2>
- Choudhary, V., Guha, P., Pau, G., & Mishra, S. (2025). *An overview of smart agriculture using internet of things (IoT) and web services*. *Environ. Sustain. Indic.* 26, 10060, 1-18.
- Çeker, A. (2016). Sürdürülebilir tarım ve Türkiye açısından bir değerlendirme. *Turkish Studies*, 11/2, 809-836.
- Çilesiz, Y., & Karaköy, T. (2022). Akıllı tarım teknolojilerinin tarımsal üretimde kullanımı İçinde (Y. Çilesiz & T. Karaköy (eds.), *Teknolojik Tarım* (ss.3-20), İksad Publishing House: Ankara.
- Dibbern, T., Romani, L. A. S., & Massruhá, S. M. F. S. (2024). Main drivers and barriers to the adoption of Digital Agriculture technologies. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100459, 1-10.
- Greco, C., Gaglio, R., Settanni, L., Sciurba, L., Ciulla, S., Orlando, S., & Mammano, M. M. (2025). Smart farming technologies for sustainable agriculture: A case study of a Mediterranean aromatic farm. *Agriculture*, 15(8), 810, <https://doi.org/10.3390/agriculture15080810>
- Gupta, M., Abdelsalam, M., Khorsandroo, S., & Mittal, S. (2020). Security and privacy in smart farming: Challenges and opportunities. *IEEE access*, 8, 34564-34584.
- Gyamfi, E. K., ElSayed, Z., Kropczynski, J., Yakubu, M. A., & Elsayed, N. (2024, April). Agricultural 4.0 leveraging on technological solutions: Study for smart farming sector. In *2024 IEEE 3rd International Conference on Computing and Machine Intelligence (ICMI)* (pp. 1-9). IEEE.
- İpek, E. (2022). İklim değişikliği sürecinde sürdürülebilir bir tarım ekonomisi için akıllı tarım uygulamalarının önemi. *Adam Academy Journal of Social Sciences*, 12(1), 225-241.
- Jararweh, Y., Fatima, S., Jarrah, M., & AlZu’bi, S. (2023). Smart and sustainable agriculture: Fundamentals, enabling technologies, and future directions. *Computers and Electrical Engineering*, 110, 108799, 1-11.
- Kaya, M. (2019). Ağrı’nın kalkınması için 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.
- KOSAM (2024). *Akıllı tarım: Uluslararası düşünce kuruluşları gözüyle*. Konya Büyükşehir Belediyesi Kültür Yayınları.
- Kirmikil, M., & Ertaş, B. (2020). Tarım 4.0 ile sürdürülebilir bir gelecek. *Icontech International Journal of Surveys, Engineering, Technology*, 4(1), 1-12.
- Polymeni, S., Plastras, S., Skoutas, D. N., Kormentzas, G., & Skianis, C. (2023). The impact of 6G-IoT technologies on the development of agriculture 5.0: A review. *Electronics*, 12(12), 2651, <https://doi.org/10.3390/electronics12122651>
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(2), 207, <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>
- Sharma M.K., Shekhawat, R.S., & Mehta, R. (2022a). Functional Framework for IoT-Based Agricultural System. In P. K. Pattnaik, R. Kumar, & S. Pal (eds.), *Internet of Things and Analytics for Agriculture Volume 3* (pp.1-28), Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-6210-2>
- Sharma M.K., & Dhaka, V.S., & Shekhawat, R.S. (2022b). Intelligent agro-food chain supply. In P. K. Pattnaik, R. Kumar, & S. Pal (eds.), *Internet of Things and Analytics for Agriculture Volume 3* (pp.65-92), Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-6210-2>
- Silveira, F.D., & Amaral, F.G. (2022). Agricultura 4.0 In Q. Zhang (eds.), *Encyclopedia of Smart Agriculture Technologies* (pp.1-6). Springer: Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89123-7_207-1
- Thilakarathne, N.N., Bakar, M.S., Abas, P.E., & Yassin, H. (2025). Internet of things enabled smart agriculture: Current status, latest advancements, challenges and countermeasures. *Heliyon*, 11, e42136, 1-39.
- Vishnoi, S., & Goel, R. K. (2024). Climate smart agriculture for sustainable productivity and healthy landscapes. *Environmental Science & Policy*, 151, 103600, 1-10.