

Tarımda Dijital Teknolojiler Ve Kullanımının Önemi

Zeki Bayramoğlu^{1,*}

¹Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Konya, Türkiye

zbayramoglu@selcuk.edu.tr ORCID: 0000-0003-3258-3848

Özet

Bu çalışmanın amacı, küresel ölçekte artan iklimsel, ekonomik ve sosyal risklerin tarımsal üretim üzerindeki baskılarını ele alarak dijital tarım teknolojilerinin önemini bütüncül biçimde değerlendirmektir. Nüfus artışı, iklim değişikliği, girdi maliyetlerindeki yükseliş, su kıtlığı ve tarım işletmelerinin yapısal sorunları; geleneksel üretim modellerinin sürdürülebilirliğini zayıflatmaktadır. Bu bağlamda dijital tarım, sensörler, uydu ve drone tabanlı izleme sistemleri, yapay zekâ, büyük veri analitiği ve blockchain gibi teknolojilere dayanan yeni bir üretim paradigması ortaya koymaktadır. Çalışmada dijital teknolojiler düşük, orta ve yüksek teknoloji seviyelerinde sınıflandırılmış; bu teknolojilerin verim, su kullanımı, girdi tasarrufu, ürün kalitesi, izlenebilirlik, çevresel performans ve çiftçi geliri üzerindeki etkileri uluslararası bulgularla desteklenmiştir. Ayrıca Türkiye’de dijital tarımın geliştirilebilmesi için altyapı, su yönetimi, veri entegrasyonu, yapay zekâ uygulamaları, sensör tabanlı hayvancılık, izlenebilirlik sistemleri ve kamu–üniversite–özel sektör işbirliğine yönelik politika önerileri sunulmuştur. Sonuç olarak dijital tarım, hem küresel risklerle mücadele hem de sürdürülebilir üretim modellerinin geliştirilmesi açısından stratejik bir zorunluluk olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Dijital Tarım, Tarımsal Sürdürülebilirlik, İklim Adaptasyonu, Gıda Güvenliği, Tarım Politikası*

Abstract

This paper provides a comprehensive assessment of the growing importance of digital agriculture in the face of increasing climatic, economic, and social pressures on global food systems. Population growth, climate change, rising input costs, water scarcity, and structural constraints in agricultural enterprises undermine the sustainability of traditional production models. In this context, digital agriculture represents a new production paradigm based on technologies such as sensors, satellite and drone-based monitoring, artificial intelligence, big data analytics, and blockchain. Digital technologies are classified into low, medium, and high levels, and their effects on productivity, water use efficiency, input savings, product quality, traceability, environmental performance, and farm income are discussed using global evidence. The study further offers policy recommendations for Türkiye, focusing on digital infrastructure, smart irrigation, data integration, AI-driven decision support, sensor-based livestock systems, blockchain-enabled traceability, and multi-stakeholder collaboration. Overall, the findings indicate that digital agriculture is not merely an option but a strategic necessity for enhancing resilience, food security, and sustainable agricultural production.

Key Words: *Digital Agriculture, Agricultural Sustainability, Climate Adaptation, Food Security, Agricultural Policy*

Giriş: Tarımda Dijitalleşmenin Artan Önemi

Tarım, küresel ölçekte ekonomik faaliyet alanı olmakla birlikte aynı zamanda ülkelerin siyasal bağımsızlığını, toplumsal istikrarını ve gelecek kuşakların yaşam güvencesini belirleyen stratejik bir sektördür. Dünya nüfusu 2024 itibarıyla 8,1 milyara ulaşmış ve gıda talebi hızla artmaya devam etmiştir (UN DESA, 2024). Buna karşın, kişi başına düşen ekilebilir arazi miktarında azalmalar olmuş, küresel ölçekte tarımsal üretim üzerinde ciddi baskılar oluşmuştur. Böyle bir ortamda dijital tarım teknolojileri, üretim sürecini daha rasyonel, izlenebilir, verimli ve sürdürülebilir hâle getiren önemli bir dönüşüm aracı hâline gelmiştir.

Dijitalleşmenin tarımsal üretimle ilişkilendirilmesinin temelinde, insan davranışlarını açıklayan psikoloji kuramlarından biri olan Maslow’un ihtiyaçlar hiyerarşisi yer alır. Maslow’a göre beslenme, barınma ve güvenlik gibi temel fizyolojik gereksinimler, tüm diğer ihtiyaçların önünde gelir. Gıda, hiyerarşinin en alt basamağını oluşturduğu için toplumların sürdürülebilirliğini doğrudan belirler (Maslow, 1943). Bu nedenle modern tarım sistemlerinde üretimin sürekliliği, verimliliği ve güvenilirliği artık yalnızca ekonomik bir mesele değil, aynı zamanda insani bir zorunluluktur. Tarımda dijitalleşme; su, toprak, enerji ve işgücü gibi kıt kaynakları daha etkin kullanmayı sağlayarak toplumların en temel ihtiyacının sürdürülebilir biçimde karşılanmasına katkı sunmaktadır.

Küresel gıda güvenliği son yıllarda daha da kırılgan hâle gelmiştir. Dünya nüfusunun bir bölümü açlık riski altında ve göç nedeniyle düzenli gıdaya erişememektedir (FAO, 2025). Ayrıca 2024 yılı, modern kayıtların tutulduğu tarihten bu yana “en sıcak yıl” olarak kaydedilmiş; IPCC verilerine göre 2025–2029 arasında 1,5°C ısınma eşiğinin aşılma ihtimali %80’e yükselmiştir (IPCC, 2024). Sıcaklık artışı buğday veriminde %6, mısırdaki %7,4, pirinçte %3,2 ve soyada %3,1 oranında kayıp riskini artırmaktadır. Bu eğilim, tarımsal üretimin geleceğini doğrudan tehdit ederken dijital tarım teknolojilerine olan ihtiyacı daha görünür kılmaktadır.

Dünya nüfusu artarken tarım alanlarının daralması, sektörün dijital teknoloji kullanımını zorunlu kılan diğer önemli faktörlerden biridir. FAO’nun arazi istatistiklerine göre bazı ülkelerde tarım alanları son on yılda %10’un üzerinde daralırken, diğer taraftan tarımsal girdilerdeki fiyat artışları maliyetleri ağırlaştırmaktadır. 2025 yılı itibarıyla dünya gübre fiyatları TSP’de %43, DAP’ta %23 artış göstermiş; navlun fiyatları ise Süveyş ve Panama geçişlerindeki sorunlar nedeniyle tarihsel ortalamaların çok üzerine çıkmıştır (World Bank, 2025). Tarım alanları azalırken üretimin sürdürülebilmesi için birim alanda daha yüksek verim alınması gerekmektedir. Bu zorunluluk, sensör tabanlı sulama, yapay zekâ destekli verim tahmini, dronlarla görüntüleme ve otomatik gübreleme gibi dijital teknolojilerin hızla yaygınlaşmasına yol açmaktadır.

Genel olarak küresel eğilimler değerlendirildiğinde tarım sektörü, hem biyofiziksel hem de sosyoekonomik baskıların yoğun olduğu bir döneme girmiştir. Nüfus artışı, iklim değişikliği, girdi maliyetlerindeki yükseliş ve arazi kayıpları tarımsal üretimi daha karmaşık hâle getirmektedir. Bu nedenle dijitalleşme, tarımı geleceğe hazırlayan stratejik bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Veri odaklı karar verme süreçleri, otomasyon, yapay zekâ, sensör teknolojileri ve blockchain tabanlı izlenebilirlik uygulamaları, yalnızca üretim verimliliğini artırmakla kalmamakta; aynı zamanda gıda güvenliği, sürdürülebilirlik ve kırsal kalkınma açısından yeni fırsatlar yaratmaktadır.

Küresel Ölçekte Tarımı Tehdit Eden Riskler

Küresel ölçekte tarımsal üretim, iklim değişikliği, ekonomik dalgalanmalar, sosyal dönüşümler ve demografik baskılar nedeniyle tarihinin en kırılgan dönemlerinden birinden geçmektedir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), 2025 yılında dünya genelinde 673 milyon insanın açlık riski altında olduğunu ve gıda güvencesizliğinin özellikle iklimsel şoklarla birlikte hızla arttığını belirtmektedir (FAO, 2025). Artan sıcaklıklar, su kıtlığı, girdi maliyetleri, enerji fiyatlarındaki dalgalanmalar ve göç hareketleri tarım sektörünü doğrudan etkilemekte; üretim miktarını, verim düzeyini ve tarımsal tedarik zincirlerini tehdit etmektedir. Ayrıca 2024 yılının modern ölçümlerin başladığı tarihten bu yana en sıcak yıl olarak kaydedilmesi, tarım sektörü üzerindeki baskının boyutunu daha da görünür hâle getirmiştir (World Meteorological Organization [WMO], 2024).

İklimsel Riskler

İklim değişikliği, tarımsal üretim için en kritik risk alanıdır. WMO’nun 2024 raporuna göre okyanus ısıları rekor seviyeye ulaşmış, küresel sıcaklık artışı 1850–1900 ortalamasına göre 1,45°C dereceye yaklaşmıştır. 2025–2029 döneminde 1,5°C eşiğinin aşılma olasılığı %80 olarak hesaplanmaktadır (WMO, 2024). Bu sıcaklık artışı özellikle buğday, mısır, pirinç ve soya gibi temel gıda ürünlerinde ciddi verim kayıplarına yol açmaktadır. Her +1°C sıcaklık artışı, buğdayda %6, mısırdaki %7,4, pirinçte %3,2 ve soyada %3,1 oranında verim azalmasına neden olmaktadır (FAO, 2025).

Kuraklık, sıcak dalgaları, ani yağışlar ve sel gibi uç hava olayları da tarım sektöründe üretim kayıplarını artırmaktadır. IPCC, özellikle Akdeniz Havzası’nı dünyanın en kırılgan bölgelerinden biri olarak tanımlamakta ve bu bölgede uzayan kuraklık dönemleri, su kıtlığı ve aşırı sıcak dalgalarının daha sık görüleceğini belirtmektedir (IPCC, 2023). Su kıtlığı da tarımsal üretimi tehdit eden diğer bir önemli faktördür; çünkü dünya genelinde tatlı su kullanımının %70’den fazlası tarımsal sulamada yoğunlaşmaktadır.

Bu veriler, iklimsel risklerin yalnızca üretim miktarını azaltmakla kalmadığını; aynı zamanda üretim maliyetlerini artırarak tarımın sürdürülebilirliğini de olumsuz etkilediğini göstermektedir.

Ekonomik Riskler

Küresel tarım ekonomisi, girdi fiyatlarındaki istikrarsızlık, enerji maliyetlerinin artışı, döviz kuru dalgalanmaları, navlun fiyatlarındaki yükseliş ve jeopolitik gelişmeler nedeniyle ciddi baskı altındadır. FAO’nun 2025 Gıda Fiyat Endeksi, önceki yıla göre %7,6 artış göstererek 130,1 puana yükselmiştir (FAO, 2025). Özellikle gübre fiyatları dünya genelinde çiftçiler üzerinde büyük baskı yaratmaktadır: TSP fiyatları %43, DAP fiyatları ise %23 artmıştır.

Ayrıca, Süveyş Kanalı ve Panama Kanalı gibi kritik ticaret güzergâhlarında yaşanan aksaklıklar navlun fiyatlarını yükselterek tarımsal ürünlerin lojistik maliyetlerini artırmaktadır. Hindistan’ın pirinç ihracatına getirdiği

sınırlamalar ise küresel gıda fiyatlarında zincirleme bir etkiye neden olmuş; pek çok ülke için kritik arz sorunları ortaya çıkarmıştır (World Bank, 2025).

Enerji fiyatlarındaki artış; sulama, gübre üretimi, depolama ve ulaşım maliyetlerini doğrudan yukarı çekmektedir. Birçok ülkede tarımsal işçilik maliyetlerinde yıllık artış oranları %50'nin üzerine çıkmış; bu durum özellikle gelişmekte olan ülkelere üretim maliyetlerini daha da yükseltmiştir. Ekonomik risklerin bu boyutu, tarım sektörünün kırılganlığını artırmakta ve çiftçilerin üretimden çekilmesine zemin hazırlamaktadır.

Sosyal ve Demografik Riskler

Küresel ölçekte tarımı tehdit eden bir diğer önemli alan sosyal ve demografik değişimlerdir. Dünya genelinde kırsal nüfus hızla yaşlanmakta, tarım sektöründe genç işgücü oranı düşmekte ve kırsaldan kentlere göç artmaktadır. FAO'ya göre dünya genelinde 123,2 milyon kişi zorunlu göçmen durumundadır ve bu kitlesel hareketler özellikle tarımsal işgücü arzında istikrarsızlık yaratmaktadır (FAO, 2025).

Birçok ülkede tarım işletmeleri küçük ölçekli ve parçalı yapıda olduğu için modern tarım tekniklerinin uygulanması zorlaşmakta; verim düşüklüğü ve rekabet gücü kayıpları yaşanmaktadır. Tarımsal arazilerin miras yoluyla bölünmesi, üretim yapılarını daha kırılgan hâle getirmekte ve işletme başına düşen arazi miktarını azaltmaktadır. Bunun yanında çiftçilerin dijital okuryazarlık ve teknoloji kullanım düzeylerinin yetersiz olması, dijital tarım uygulamalarının yaygınlaşmasını sınırlandıran başka bir sosyal risktir.

Ayrıca savaş, iç çatışma ve siyasi istikrarsızlık gibi faktörler, özellikle Afrika ve Orta Doğu'da tarım sektörünü derinden etkilemekte; üretim alanlarının tahrip olmasına, girdi tedarikinde kesintilere ve kırsal yoksulluğun artmasına neden olmaktadır. Bu sosyal ve demografik baskılar, küresel tarımın sürdürülebilirliği için önemli tehdit unsurlarıdır.

Dijital Tarım Teknolojileri ve Sınıflandırılması

Dijital tarım teknolojileri, bilgi ve iletişim teknolojileri, sensörler, uydu ve drone tabanlı uzaktan algılama, yapay zekâ, büyük veri analitiği ve blokzincir gibi araçların tarımsal üretim, lojistik ve pazarlama süreçlerine entegre edilmesini ifade etmektedir (FAO, 2019; Trendov, Varas & Zeng, 2019). Bu teknolojiler, klasik mekanizasyonun ötesine geçerek tarladan sofraya uzanan değer zincirinin tamamında veri temelli karar alma, izlenebilirlik, kaynak verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine hizmet etmektedir (FAO, 2023; OECD, 2022). Ancak pratikte, hala dijital tarım teknolojilerinin gelişim süreci devam etmektedir. OECD'nin "The Digitalisation of Agriculture" raporu, özellikle sıra bitkileri üretiminde dijital teknolojilerin yaygınlaşmasına rağmen küresel ölçekte dönüşümün henüz olgunlaşmadığını belirtir (OECD, 2022). Avrupa Birliği Konseyi'nin 2024 tarihli değerlendirmesi, dijital tarım pazarının 2023 itibarıyla yaklaşık 24,91 milyar USD büyüklüğe ulaştığını ve 2030'da 71,48 milyar USD'ye çıkmasının öngörüldüğünü; bu genişlemenin %16,3'lük bir bileşik büyüme oranına işaret ettiğini ifade etmektedir (Consilium, 2024). Benzer biçimde Global Market Insights verileri, 2023 yılında dijital tarım pazarının 22 milyar USD'yi aştığını ve 2032 yılında 57 milyar USD seviyesine yükselebileceğini, bu süreçte yıllık büyüme hızının %11'in üzerinde seyrettiğini rapor etmiştir (Global Market Insights, 2024). Dünya Bankası'nın "Data-Driven Digital Agriculture" çalışması ise dünya genelinde yaklaşık 570 milyon çiftliğin bulunduğunu ve bu çiftliklerin veri temelli dijital teknolojilere entegrasyonunun üretkenliği yükseltip gıda güvenliği ile eşitsizlikleri azaltabileceğini vurgulamaktadır (World Bank, 2023).

FAO ve Dünya Bankası'nın son raporlarında, dijital tarımın üretkenliği artırırken aynı zamanda gıda güvenliği, iklim değişikliğine uyum ve kırsal yoksulluğun azaltılması açısından kritik bir dönüşüm aracı hâline geldiği vurgulanmaktadır (FAO, 2022; World Bank, 2019). Ancak bu teknolojilerin tek tip olmadığı; basit veri toplama sistemlerinden, tam otomatik ve yapay zekâ destekli üretim modellerine uzanan bir yelpaze oluşturduğu görülmektedir (Abiri, ve ark., 2023; Sonka, 2020).

Bu nedenle literatürde dijital tarım teknolojileri, düşük, düşük-orta, orta-yüksek ve yüksek teknoloji olmak üzere kademeli bir sınıflandırma ile ele alınmakta; her düzey hem teknik karmaşıklık hem de veri yoğunluğu ve karar destek kapasitesi açısından birbirinden ayrılmaktadır (FAO, 2019; FAO, 2023). Aşağıda bu sınıflandırma, dünyadan örnekler ve somut uygulama alanlarıyla birlikte açıklanmaktadır.

Düşük Teknoloji Uygulamaları

Düşük teknoloji düzeyi, çoğunlukla mevcut mekanizasyon altyapısına basit dijital bileşenlerin eklenmesiyle oluşan, veri toplama ve temel izleme işlevlerine odaklanan çözümleri kapsamaktadır. Bu kategoride;

basit toprak nem sensörleri,

temel hava durumu istasyonları,

GPS ile konum kaydı yapan el terminalleri,

Çiftlik faaliyetlerini kayıt altına alan mobil uygulamalar gibi sistemler yer almaktadır (Trendov et al., 2019; FAO, 2022).

Bu teknolojilerin temel amacı, küçük ölçekli işletmelerin dijital dönüşüme düşük maliyetle adım atmasını sağlamak ve üretici davranışını veri temelli hâle getirmektir. Örneğin Afrika ve Asya’da yaygınlaşan mobil tarım uygulamaları, çiftçilere hava durumu tahmini, fiyat bilgisi ve basit kayıt tutma imkânı sağlayarak verimlilik ve gelir artışına katkı sunmaktadır (FAO, 2022; World Bank, 2019). Bu düzeyde veri analizi çoğunlukla tanımlayıcı istatistiklerle sınırlı olup, karar destek sistemi oldukça basittir. Bununla birlikte, düşük teknoloji uygulamaları dijital uçurumun azaltılması ve dijital okuryazarlığın geliştirilmesi açısından kritik bir başlangıç evresi oluşturmaktadır.

Düşük–Orta Teknoloji Uygulamaları

Düşük–orta teknoloji kategorisi, sensör sayısının ve çeşitliliğinin arttığı, veri toplamanın daha sistematik hâle geldiği ve konumsal bilginin üretim sürecine entegre edildiği çözümleri içermektedir. Bu grupta;

GPS tabanlı traktör yönlendirme sistemleri,

basit otomatik dümenleme,

daha gelişmiş toprak ve iklim sensör ağları,

temel uzaktan algılama verilerinin (uydu görüntüleri vb.) kullanıldığı karar destek panelleri ön plana çıkmaktadır (Sonka, 2020; FAO, 2019).

Literatürde bu teknolojilerin; yakıt tüketiminde düşüş, girdi kullanımında (özellikle gübre ve pestisit) tasarruf ve işgücü verimliliğinde artış gibi etkilerle farm düzeyinde kârlılığı iyileştirdiği gösterilmektedir (OECD, 2022; Abiri, 2023). Örneğin GPS destekli otomatik dümenleme sistemleri ile yakıt tüketiminin %5–10, girdi kullanımının ise %5–7 oranında azalabildiği rapor edilmektedir (FAO, 2022; Sonka, 2020). Bu düzeyde veri analizi hâlâ nispeten basit olmakla birlikte, mekânsal veri (haritalama) kullanımının artması, hassas tarımın temel bileşenlerinden biri olan değişken doz uygulamasına geçiş için altyapı hazırlamaktadır.

Orta–Yüksek Teknoloji Uygulamaları

Orta–yüksek teknoloji düzeyinde, hassas tarım uygulamaları belirginleşmekte; daha yoğun sensör kullanımı, uzaktan algılama, veri entegrasyonu ve gelişmiş analiz araçları devreye girmektedir. Bu kategoride;

çok bantlı (multispektral) sensörlerle donatılmış insansız hava araçları (dronlar),

verim monitörleri ve verim haritalama,

değişken oranlı (variable rate) gübre ve ilaç uygulama sistemleri,

Bulut tabanlı çiftlik yönetim yazılımları gibi çözümler yer almaktadır (Guebsi et al., 2024; Sonka, 2020).

Dronların bitki gelişimi, stres ve hastalık tespiti için kullanılmasına ilişkin çalışmalar, bu teknolojilerin hem tanı (diagnostik) hem de müdahale (ilaçlama, ekim vb.) aşamalarında önemli verimlilik kazançları sağladığını ortaya koymaktadır (Guebsi et al., 2024). Hassas tarım uygulamalarının, girdi kullanımını azaltırken verim ve kaliteyi artırarak hem ekonomik hem de çevresel fayda sağladığı; özellikle azot gübresi ve pestisit kullanımında %20–30'lara varan tasarruf potansiyeli taşıdığı vurgulanmaktadır (FAO, 2022; Abiri, 2023).

Bu düzeyde veri analizi; zaman serisi ve mekânsal analizler, zonlama, tahmin modelleri gibi daha ileri istatistiksel ve analitik yöntemleri içermekte, çiftçi kararlarını parsel altı düzeyde optimize etmeye imkân tanımaktadır. Orta–yüksek teknoloji uygulamaları, aynı zamanda tarla düzeyinde toplanan verilerin bölgesel ve ulusal karar destek sistemleriyle entegre edilmesine zemin hazırlamaktadır (FAO, 2023; World Bank, 2025).

Yüksek Teknoloji Uygulamaları

Yüksek teknoloji düzeyinde dijital tarım, yalnızca veri toplama ve izleme değil, tam entegre, yapay zekâ destekli, otonom ve blokzincir tabanlı sistemlerle bütüncül bir dönüşüm sürecine girmektedir. Bu kategori;

yapay zekâ ve makine öğrenmesi ile çalışan hastalık ve zararlı tahmin sistemlerini,

otonom traktörler, hasat makineleri ve tarla robotlarını,

gerçek zamanlı büyük veri analitiği yapan bulut platformlarını,

blokzincir temelli izlenebilirlik ve akıllı sözleşme uygulamalarını kapsamaktadır (FAO, 2023; FAO, 2024; Keramati et al., 2025).

FAO'nun yapay zekâ odaklı raporlarında; drone, akıllı telefon ve robotlar tarafından üretilen görüntülerin, yapay zekâ sistemleri ile işlenerek hastalık, besin noksanlığı ve su stresi tespitinde yüksek doğruluk sağladığı; böylece girdilerin tam zamanında ve hedefli kullanımına imkân verildiği vurgulanmaktadır (FAO, 2022; FAO, 2023). Diğer yandan, IBM Food Trust gibi blokzincir tabanlı sistemlerin tedarik zinciri izlenebilirliğini günler seviyesinden saniyeler seviyesine düşürdüğü; Walmart örneğinde mango tedarikinde iz sürme süresinin 7 günden 2,2 saniyeye gerilediği gösterilmiştir (Kamath, 2018; UNDP, 2021).

Yüksek teknoloji uygulamaları, yalnızca çiftlik içi verimliliği değil, aynı zamanda gıda güvenliği, geri çağırma süreçleri, ticaret ve tüketici güvenliğini de doğrudan etkilemektedir (Jouanjean, 2019; FAO, 2022). Bununla birlikte, bu düzeydeki teknolojilerin yüksek yatırım maliyetleri, veri yönetimi, mahremiyet ve dijital eşitsizlik gibi yeni tartışmaları da gündeme getirdiği; bu nedenle kamu politikaları, standartlar ve kapsayıcı finansman modellerinin kritik olduğu vurgulanmaktadır (OECD, 2022; World Bank, 2019).

Sonuç olarak, düşük teknolojiden yüksek teknolojiye uzanan bu sınıflandırma, tarımda dijitalleşmenin basitten karmaşığa doğru evrilen bir süreç olduğunu göstermektedir. Her bir düzey, bir sonrakine geçiş için ön koşul niteliği taşımakta; bu nedenle ülkelerin dijital tarım stratejilerini kademeli, kapsayıcı ve çiftçi odaklı bir yol haritası üzerine inşa etmeleri gerekmektedir.

Dijital Tarım Teknolojilerinin Tarımsal Üretime Etkileri

Dijital tarım teknolojileri farklı düzeylerde ve farklı ürün/hayvancılık sistemlerinde uygulansa da, literatürde ortaya çıkan temel etkiler benzer başlıklar altında toplanmaktadır. Aşağıda bu etkilere ilişkin bazı özetler Tablo 1' de verilmiştir;

Tablo 1. Dijital Tarım Teknolojileri ve Uygulama Etkilerine İlişkin Bazı Çalışma Özetleri

Yazarlar ve Yıl	Teknoloji / Uygulama	Alan / Ürün	Temel Verimlilik Bulgu ve Artış Oranları
Schimmelpfennig (2018)	Hassas Tarım (PA) / Değişken Oranlı Gübreleme	ABD Mısır ve Soya	PA'nın benimsenmesi, ortalama olarak %4 ile %6 arasında verim artışı sağlarken, gübre ve ilaç kullanımını azalttığı tespit edilmiştir.
Pallottino vd. (2018)	IoT ve Sensör Tabanlı Sulama	İtalya Bağcılık	Akıllı sensörler aracılığıyla gerçekleştirilen değişken oranlı sulama, su kullanımında %15-20 tasarruf sağlarken, ürün kalitesini korumuştur. Bu, birim su başına verimlilikte önemli bir artış anlamına gelir.
Lowenberg-DeBoer & Erickson (2019)	Otomasyon (Robotik) ve Yapay Görme	Genel Tarım	Robotik ve yapay görme sistemlerinin, özellikle yabani otlar mücadelesinde (ototlu ilaçlama) ilaç kullanımını %70'e kadar düşürdüğü ve bu sayede girdi maliyetini azaltarak net karlılığı artırdığı vurgulanmıştır.
Krueger vd. (2020)	Uzaktan Algılama (Drone/Uydu) ve Analiz	Almanya Tahıl Üretimi	Erken hastalık ve besin eksikliği tespiti sayesinde zamanında müdahale olanağı sağlamış, bu da mahsul kaybını minimuma indirerek verimlilik artışına dolaylı katkı yapmıştır.
Gebbers & Adamchuk (2010)	Toprak Haritalama ve PA	Çeşitli Ürünler	Hassas toprak yönetimi ve parseller arası farklılıkların haritalanması, gübrenin sadece ihtiyaç duyulan yere uygulanmasını sağlamıştır. Bu, toprak verimliliğini korurken, gübre kullanımında %10-20 arasında optimizasyon sağlamıştır.

Verimlilik Artışı

Dijital teknolojiler, arazi içi heterojenliği yüksek çözünürlükte ortaya koyarak hedefe yönelik müdahale imkânı sağlar. Hassas gübreleme, değişken oranlı ilaçlama ve satıhtan sensör destekli ekim kararları sayesinde aynı alanda daha yüksek biyolojik ve ekonomik verim elde edilir (Abiri ve ark., 2023; Getahun ve ark., 2024). Lowenberg-DeBoer & Erickson (2019), hassas ekim ve değişken oranlı ilaçlama uygulamalarının, kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını sağlayarak tarladaki verim farklılıklarını (heterojenliği) azalttığını belirtir. Bu sayede, tarla içindeki düşük performanslı alanlar belirlenir ve düzeltilir, bu da genel verimi yukarı çekmektedir.

Akıllı sulama sistemleri ve sera otomasyonunda ise, sensör verisine dayalı iklim kontrolü, bitki gelişiminde stabilite sağlayarak verim dalgalanmalarını azaltmaktadır (Shamshiri ve ark., 2024). Meta-analiz bulguları, hassas tarım uygulamalarının verimde %5–20 arası artış sağlayabildiğini, özellikle yüksek girdi kullanılan sistemlerde bu etkinin daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır (Finger ve ark., 2023; Papadopoulos ve ark., 2024).

Su ve Enerji Tasarrufu

Su kıtlığının arttığı koşullarda dijital sulama sistemleri kritik önem taşımaktadır. IoT tabanlı sensörler ve YZ destekli sulama kararları, suyun yalnızca ihtiyaç duyulan zaman ve dozda uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Türkiye ve dünya genelindeki pilot projeler, bu sistemler sayesinde sulama suyunda %20–40, bazı çalışmalarda %50'nin üzerinde tasarruf sağlandığını göstermektedir (Abiri ve ark., 2023; Ahmed ve ark., 2025). Pallottino vd. (2018) gibi araştırmacılar, akıllı sulama sistemlerinin suyu sadece doğru zamanda değil, doğru miktarda ve doğru alana vermesi sayesinde sulanan alanlarda %20'ye varan su tasarrufunun yaygın bir bulgu olduğunu göstermiştir. Bu, su kıtlığı çeken bölgelerde sürdürülebilir bir verimlilik artışının anahtarıdır.

İHA ve uydu görüntülerine dayalı bitki su stresi haritaları, sulama planlarını daha isabetli hâle getirerek hem su hem de enerji tüketimini azaltmaktadır. Özellikle pompajla sulama yapılan alanlarda, enerji tasarrufu çiftçi gelirine doğrudan olumlu yansımaktadır (Raj, 2025).

Girdi Maliyetlerinin Azalması

Dijital tarımın en somut çıktılarından biri de girdi maliyetlerinin düşmesidir. Değişken oranlı gübreleme, sadece ihtiyaç duyulan alanlara ve dozlara uygulama yapılmasını sağlayarak gübre tüketimini azaltır; benzer biçimde, sensör ve görüntü analizine dayalı hassas ilaçlama da pestisit kullanımını önemli ölçüde düşürür (Anastasiou ve ark., 2023; Kumar ve ark., 2024).

Raj'ın (2025) derlemesine göre, dijital teknolojilerin bütünleşik kullanıldığı örneklerde gübre tüketiminde %10–30, pestisit tüketiminde %15–25, yakıt kullanımında ise %10'a varan azalmalar rapor edilmektedir. Bu tasarruf, özellikle artan girdi fiyatları karşısında çiftçi kârlılığını korumada kritik bir araç hâline gelmiştir.

Ürün Kalitesi ve Standart Artışı

Sensörler, İHA'lar ve görüntü işleme algoritmaları sayesinde bitki gelişimi, besin elementi eksiklikleri ve hastalık–zararlı sorunları daha erken safhada tespit edilebilmektedir. Bu sayede reaksiyon süresi kısalmakta, kaliteyi bozan stres faktörleri azaltılmaktadır (Ramsari ve ark., 2024; Agrawal ve ark., 2024).

Seralarda sıcaklık, nem, CO₂ ve ışık şiddetinin otomasyonla sınır değerler içinde tutulması, özellikle sebze ve meyve üretiminde daha homojen ürün kalitesi, raf ömründe artış ve ihracat standartlarına uyumu kolaylaştırmaktadır (Shamshiri ve ark., 2024; EPO, 2024).

Hasat–Depolama Kayıplarının Azalması

Dijital tarım yalnızca tarladaki üretim sürecine değil, hasat, depolama ve lojistik aşamalarına da etki etmektedir. Sensör tabanlı olgunluk izleme, hasat zamanının daha isabetli belirlenmesini sağlayarak tarladaki kayıpları azaltırken, soğuk zincir izleme sistemleri ve akıllı depolama çözümleri depo içi sıcaklık, nem, gaz konsantrasyonu gibi parametreleri sürekli izleyerek bozulma riskini azaltmaktadır (Benyam ve ark., 2021).

Gıda kayıp ve israfını inceleyen çalışmalar, dijital teknolojilerin üretim–depolama–dağıtım zinciri boyunca kayıpları %10–30 aralığında azaltma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Taner, 2024).

Gıda Güvenliği ve İzlenebilirlik (Blockchain)

Blokszincir tabanlı izlenebilirlik sistemleri, tarımsal ürünlerin tarladan sofraya tüm yolculuğunu şeffaf ve değiştirilemez bir biçimde kayıt altına almayı mümkün kılmaktadır. Üretim tarihi, kullanılan girdiler, depolama

koşulları ve lojistik bilgiler blokzincire işlendiğinde, hem kamu otoritesi hem de tüketici için güçlü bir doğrulama mekanizması oluşmaktadır (Ellahi ve ark., 2024).

Son yıllardaki incelemeler, blokzincir tabanlı gıda tedarik zinciri projelerinin geri çağırma sürelerini kısalttığını, sahtecilik ve taşıma riskini azalttığını ve tüketici güvenliğini artırdığını göstermektedir (Sri Vigna Hema ve ark., 2024). Bu sistemler, özellikle süt ürünleri, et ve taze sebze-meyve gibi gıda güvenliği açısından kritik ürünlerde önem kazanmaktadır.

İşgücü ve Zaman Tasarrufu

Otonom traktörler ve ilaçlama drone'ları, insan emeği gerektiren işlerin hızını ve hassasiyetini artırarak işgücü maliyetlerini azaltır ve çiftçinin zamanını daha stratejik kararlara ayırmasını sağlar. Bu, birim zaman başına üretilen mahsul miktarını (emek verimliliği) artırır. Dijital teknolojiler, hem manuel iş yükünü azaltmakta hem de iş organizasyonunu rasyonelleştirmektedir. GPS'li ve otomatik dümenlemeli traktörler, operatör yorgunluğunu azaltırken aynı alanın daha kısa sürede işlenmesini sağlar; İHA'lar sayesinde büyük alanların gözlemi dakikalar içinde tamamlanabilmektedir (Rejeb ve ark., 2022; Raj, 2025).

OECD raporları, dijital teknolojileri daha yoğun kullanan işletmelerde işgücü verimliliğinin anlamlı biçimde yükseldiğini; bazı faaliyetlerde işgücü ihtiyacının %15–20 azaldığını göstermektedir (OECD, 2024; McFadden ve ark., 2022). Bu durum, özellikle kırsalda genç nüfusun azaldığı ve yaşlı çiftçi oranının arttığı ülkeler için stratejik önem taşımaktadır.

Çiftçi Gelirinde Artış

Verim artışı, girdi ve işgücü tasarrufu ile kalite ve pazarlama avantajları birlikte değerlendirildiğinde, dijital tarım teknolojilerinin çiftçi geliri üzerinde net pozitif etki yarattığı görülmektedir. Abiri ve ark. (2023), farklı ülkelere vaka çalışmalarını derledikleri çalışmalarında, dijital teknolojilerin bazı örneklerde çiftçi net gelirini %10–25 oranında artırdığını rapor etmektedir. Schimmelpfennig (2018), ABD'deki mısır ve soya çiftlikleri üzerinde yaptığı çalışmada, PA'nın benimsenmesinin ekonomik analizini yapmış ve girdilerdeki tasarrufun ve küçük verim artışlarının birleşimiyle çiftçilerin net karlılıklarında anlamlı bir artış olduğunu kanıtlamıştır.

Benzer biçimde Finger ve ark. (2023), dijital inovasyonların hem volatilitiyi düşürerek gelir istikrarını artırdığını hem de risk yönetimini güçlendirdiğini vurgulamaktadır. Ancak bu kazanımların tüm çiftçi grupları için eşit olmadığını; sermaye, eğitim düzeyi ve dijital altyapı açısından dezavantajlı gruplar için hedefli destek politikalarına ihtiyaç bulunduğunun da altı çizilmektedir (OECD, 2024; McFadden ve ark., 2022).

Çevresel Fayda ve Sürdürülebilirlik

Dijital tarımın en kritik çıktılarından biri de çevresel baskıların azaltılmasıdır. Girdi kullanımındaki azalma, toprak–su–hava kirliliğini sınırlandırmakta; sera gazı emisyonlarını düşürmektedir. IoT, YZ ve büyük veri destekli sistemler, özellikle su–enerji–gıda ilişkisini dikkate alan sürdürülebilir yönetim modelleri geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Dayıoğlu, 2021; Shamshiri ve ark., 2024).

Çeşitli derlemeler, dijital inovasyonların doğru uygulandığında su kullanımını, nitrat sızıntısını ve pestisit yayılımını azaltırken, aynı zamanda iklim değişikliğine uyum kapasitesini artırdığını ortaya koymaktadır (Finger ve ark., 2023; Papadopoulos ve ark., 2024; Ahmed ve ark., 2025). Böylece dijital tarım, yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda ekolojik ve toplumsal sürdürülebilirliğin de temel araçlarından biri hâline gelmektedir.

Türkiye’de Dijital Tarımın Geliştirilmesi İçin Politika ve Strateji Önerileri

Türkiye’de dijital tarımın ölçek kazanabilmesi için ilk ve temel adım, güçlü bir dijital tarım altyapısının oluşturulmasıdır. Kırsal alanda genişbant internet erişiminin yetersizliği, sensör, uydu ve makine verilerinin aktarımını sınırlamakta; bulut tabanlı karar destek sistemlerinin kullanımını da zorlaştırmaktadır. FAO’nun dijital tarım ve yapay zekâ yol haritası, ülkelerin öncelikle güvenli veri altyapısı, ulusal tarımsal veri standartları ve çiftçi haklarını gözetken veri yönetimi çerçeveleri oluşturmaları gerektiğini vurgulamaktadır (FAO, 2025). Dünya Bankası’nın dijital tarım profilleri de Türkiye dâhil pek çok ülkede dijital altyapının gelişmiş olmasına rağmen, küçük ölçekli işletmelerde bağlantı, donanım maliyeti ve dijital okuryazarlık eksikliği nedeniyle teknolojilerin yeterince kullanılmadığını göstermektedir (World Bank, 2021). Bu nedenle Türkiye’de kırsal genişbant yatırımları, tarımsal veri merkezleri, ulusal tarım veri tabanı ve DİTAP benzeri platformların güçlendirilmesi; sensör, IoT ve makine verilerinin ortak bir standartta toplanarak kamu, üniversite ve özel sektörün kullanımına açılması temel bir politika alanı olmalıdır. Böyle bir altyapı, hem kamunun tarımsal destekleri daha hedefli tasarlamasına hem de firmaların çiftçilere veri temelli dijital hizmetler geliştirmesine imkân verecektir (OECD, 2019).

Türkiye gibi su stresi yüksek ülkelerde dijital tarım politikalarının merkezine akıllı sulama ve su yönetimi yerleştirilmelidir. Su çekiminin büyük kısmının tarımsal sulamadan kaynaklandığı koşullarda, damla sulama, sensör destekli nem takibi, otomatik sulama sistemleri ve uzaktan izleme teknolojileri su verimliliğini artırmak için kritik önemdedir. FAO ve Dünya Bankası'nın iklim akıllı tarım çalışmalarında, dijital sulama çözümlerinin bir yandan verimi korurken diğer yandan su tüketimini ciddi biçimde azaltabildiği, bunun da kuraklık riskine uyum kapasitesini yükselttiği gösterilmektedir (World Bank, 2024; FAO, 2023). Türkiye'de tarımsal sulamada su sayaçlarının dijitalleştirilmesi, su kotası ve fiyatlandırma politikalarının sensör verileriyle entegre edilmesi, baraj ve yeraltı suyu izleme sistemlerinin gerçek zamanlı veriyle yönetilmesi, havza bazlı su tahsis planlarının dijital karar destek sistemleri üzerinden yapılması, hem çevresel sürdürülebilirliği güçlendirecek hem de üreticilere suyu en verimli kullanan işletme olma yönünde ekonomik motivasyon sağlayacaktır.

Drone ve uydu destekli izleme sistemleri, Türkiye'de hem tarımsal verimliliğin artırılmasında hem de tarımsal desteklerin denetlenmesinde önemli bir politika aracı hâline gelebilir. Avrupa Birliği ve OECD ülkelerinde, uydu görüntüleriyle ürün gelişimini ve arazi kullanımını izleyen sistemlerin, destek suiistimallerini azalttığı, çevresel şartlıkların (çevreye duyarlı destek) denetimini kolaylaştırdığı ve afet-sonrası zarar tespitini hızlandırdığı rapor edilmektedir (OECD, 2023). Türkiye'de de ÇKS verisinin uydu ve drone görüntüleriyle entegrasyonu, ekim deseninin ve nadas alanlarının izlenmesi, ürün hastalık ve zararlı yoğunluğu haritalarının oluşturulması ve bu haritaların sigorta, kredi ve destek politikalarına entegre edilmesi, tarımsal politikalarda isabet oranını artıracaktır. Aynı zamanda, bu görüntülerin üretici örgütleri ve kooperatiflerle paylaşılması; girdi kullanımının optimizasyonu, hasat zamanının planlanması ve pazarlama stratejilerinin geliştirilmesi açısından da önemli fırsatlar sunmaktadır (FAO, 2024).

Dijital tarımın kritik bileşenlerinden biri de büyük veri ve yapay zekâ uygulamalarıdır. FAO'nun stratejik çerçevesinde, tarımsal üretimden pazarlamaya kadar oluşan çok büyük hacimli verinin makine öğrenmesi ve yapay zekâ ile analiz edilmesinin, hem verimliliği hem de çevresel performansı iyileştirmek için büyük potansiyel taşıdığı vurgulanmaktadır (FAO, 2022). Türkiye'de iklim verileri, toprak analiz sonuçları, uydu görüntüleri, fiyat serileri, girdi kullanım kayıtları ve çiftçi davranış verilerinin bütünsel bir yapıda toplanması ve anonimleştirilerek araştırma kurumları ile özel sektöre açılması, veriye dayalı modellerin geliştirilmesini mümkün kılacaktır. Bu modeller; ürün deseni planlaması, verim tahmini, hastalık ve zararlı erken uyarıları, fiyat dalgalanmalarının öngörülmesi ve karbon ayak izi hesaplamaları gibi alanlarda kullanılabilir. OECD raporları, dijital teknolojilerin doğru tasarlanmış politikalarla birleştiğinde tarımsal üretimde verim artışı sağlarken, girdi kullanımını optimize ederek çevresel baskıları da azaltabildiğini göstermektedir (OECD, 2019). Bu çerçevede Türkiye'de "ulusal tarımsal büyük veri ve yapay zekâ merkezi" benzeri bir oluşumun desteklenmesi, üniversite-sanayi-kamu işbirliğiyle algoritmaların tarla ölçeğinde test edilmesi stratejik öncelik olmalıdır.

Sensör tabanlı hayvancılık sistemleri, Türkiye'nin önemli bir potansiyel barındırdığı bir başka dijitalleşme alanıdır. Ruminant işletmelerde sürü sağlığının, yem tüketiminin, hareketliliğin, vücut sıcaklığının ve süt veriminin sensörlerle izlenmesi; hastalıkların erken teşhis edilmesi, antibiyotik ve ilaç kullanımının azaltılması, yem verimliliğinin ve hayvan refahının yükseltilmesi açısından önemli kazanımlar sağlamaktadır. FAO ve Dünya Bankası, sensör tabanlı hayvancılık teknolojilerinin, birim hayvan başına verimi artırarak hem üretici gelirlerini yükseltebileceğini hem de sera gazı emisyonlarını azaltabileceğini belirtmektedir (FAO, 2022; World Bank, 2024). Türkiye'de kırmızı ve beyaz et, süt ve yumurta üretiminde rekabetçiliğin korunması için, özellikle orta ve büyük ölçekli işletmelerde sensör tabanlı yönetim sistemlerinin destek kapsamına alınması, yatırım ve işletme kredilerinde pozitif ayrımcılık yapılması ve bu teknolojilerin kooperatifler aracılığıyla küçük ölçekli üreticilere uygun maliyetle ulaştırılması önemlidir. Ayrıca, sensör verilerinin sigorta ve kredi değerlendirmelerinde risk analizine dâhil edilmesi, finans sektörünün de dijital hayvancılık yatırımlarına daha istekli yaklaşmasını sağlayacaktır.

Gıda güvenliği ve izlenebilirlik boyutunda blockchain tabanlı çözümler, Türkiye için hem iç pazar hem de ihracat pazarları açısından stratejik imkânlar sunmaktadır. Blockchain tabanlı izlenebilirlik sistemlerinin, gıda tedarik zincirinde veri bütünlüğünü ve şeffaflığı artırarak, geri çağırma maliyetlerini düşürdüğü ve tüketici güvenliğini güçlendirdiği; çok sayıda uluslararası çalışma tarafından ortaya konmuştur (Mirabelli & Solina, 2020; van Hilten et al., 2020). UNDP'nin gıda izlenebilirliğine yönelik raporunda da bu teknolojinin Küresel Amaçlar başta olmak üzere gıda güvenliği, adil ticaret ve küçük çiftçi lehine gelir dağılımı gibi alanlarda önemli katkı sağlayabileceği vurgulanmaktadır (UNDP, 2021). Türkiye'de özellikle ihracat odaklı yaş meyve-sebze, zeytin-zeytinyağı, fındık, üzüm ve organik ürün zincirlerinde blockchain tabanlı izlenebilirlik projelerinin desteklenmesi; kooperatif ve üretici birliklerinin bu sistemlere entegre edilmesi ve tüketicilere QR kodları üzerinden ürün hikâyesinin sunulması, Türk tarım ürünlerinin markalaşmasına ve fiyatlama gücünün artmasına katkı sağlayacaktır.

Dijitalleşme politikalarının bir diğer ayağı da mekanizasyon ve otonom tarım araçlarıdır. Otomatik dümenleme sistemleri, sensör destekli ekipmanlar, otonom traktörler ve robotik hasat makineleri; özellikle işgücü kıtlığı yaşayan bölgelerde üretim maliyetlerini düşürmekte ve iş süreçlerini hızlandırmaktadır. FAO'nun tarımsal

otomasyonla ilgili politika notlarına göre, uygun şekilde tasarlanan otomasyon yatırımları; verimliliği artırmakla kalmamakta, aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği risklerini azaltmakta ve genç nüfusu tarıma yeniden çekebilmektedir (FAO, 2022). Türkiye’de yaşanan kırsal nüfus ve mevsimlik işgücü arzındaki dalgalanmalar dikkate alındığında, otonom tarım ekipmanlarının yatırımlarında KDV ve gümrük muafiyetleri, uygun faizli krediler ve leasing modelleriyle desteklenmesi, aynı zamanda yerli makine sanayinin dijital donanım üretimine yönlendirilmesi önem taşımaktadır.

Akıllı depolama ve lojistik sistemleri de dijital tarım stratejisinin ayrılmaz parçasıdır. FAO ve OECD, hasat sonrası kayıpların özellikle gelişmekte olan ülkelerde toplam üretimin ciddi bir kısmını oluşturduğunu ve dijital soğuk zincir, akıllı silo ve stok yönetim sistemlerinin bu kayıpları önemli ölçüde azaltabileceğini vurgulamaktadır (FAO, 2023; OECD, 2019). Türkiye’de lisanslı depoculuk sisteminin dijitalleştirilmesi, ürün senetlerinin blockchain veya benzeri güvenli kayıt sistemlerinde tutulması, depo sıcaklık ve nem değerlerinin sensörlerle izlenerek yapay zekâ ile optimize edilmesi, hem üretici gelirini artıracak hem de fiyat dalgalanmalarını azaltacaktır. Lojistik tarafında ise, ürün hareketlerinin gerçek zamanlı izlenmesi, rota optimizasyonu ve karbon ayak izi hesaplamaları; tarım ürünlerinin iç ve dış pazarlardaki rekabet gücünü güçlendirecektir.

Tüm bu teknolojik dönüşümün başarısı, eğitim, yayım ve dijital okuryazarlık programlarıyla doğrudan ilişkilidir. FAO ve Digital Agri Hub’ın Avrupa ve Orta Asya için hazırladığı raporlarda, dijital tarım projelerinin başarısının büyük ölçüde çiftçilerin dijital okuryazarlık düzeyine, güven ilişkilerine ve yerel kurumların kapasitesine bağlı olduğu belirtilmektedir (FAO, 2024). Türkiye’de tarım meslek liseleri, ziraat fakülteleri, tarım danışmanları ve çiftçi örgütleri üzerinden dijital tarım eğitim modülleri geliştirilmesi; kadın ve genç çiftçilere yönelik özel dijital okuryazarlık programları tasarlanması ve bu programların sahada uygulamalı olarak yürütülmesi gerekmektedir. Dijital tarım platformlarının Türkçe ve sade arayüzlerle tasarlanması, sesli ve görsel eğitim içerikleriyle desteklenmesi ve çiftçinin karar süreçlerine güvenilir bir “dijital danışman” olarak entegre edilmesi de politika yapıcıların dikkat etmesi gereken noktalardır.

Son olarak, dijital tarım ekosisteminin sürdürülebilir biçimde gelişebilmesi için güçlü kamu–üniversite–özel sektör işbirliği modellerine ihtiyaç vardır. OECD ve Dünya Bankası raporları, dijital tarımda başarılı örneklerin çoğunda, kamu kurumlarının düzenleyici ve kolaylaştırıcı, özel sektörün yenilikçi ve yatırımcı, üniversitelerin ise bilgi üretici ve nitelikli insan kaynağı yetiştirici rolü üstlendiğini göstermektedir (OECD, 2019; World Bank, 2024). Türkiye’de Tarım ve Orman Bakanlığı, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, TÜBİTAK, üniversiteler, teknoparklar, start-up’lar ve kooperatifler arasında “Dijital Tarım İnovasyon Merkezleri” kurulması; bu merkezlerde Ar-Ge projeleri, pilot uygulamalar ve ölçekleme programlarının yürütülmesi, dijital tarım girişimlerinin fonlara erişiminin kolaylaştırılması ve kamu alımları yoluyla yerli dijital tarım çözümlerinin teşvik edilmesi önemlidir. Böylece dijital tarım, sadece teknoloji ithal edilen bir alan olmaktan çıkarak, Türkiye’nin bölgesel ölçekte rekabet avantajı elde ettiği bir uzmanlık alanına dönüşebilir.

Sonuç ve Değerlendirme

Dijital tarım, günümüz tarımsal üretim sistemlerinde artık bir tercih değil, giderek artan küresel riskler karşısında zorunlu bir dönüşüm alanı olarak ortaya çıkmaktadır. İklim değişikliğinin yol açtığı sıcaklık artışları, su kıtlığı, ekstrem hava olaylarının sıklığındaki yükseliş ve buna bağlı verim kayıpları, geleneksel üretim teknikleriyle sürdürülebilir bir tarımsal yapının korunamayacağını açıkça göstermektedir. Bu nedenle tarımsal verimliliği artıran, su ve girdi kullanımını optimize eden, üretim planlamasını bilimsel ve veri temelli bir zemine oturtan dijital teknolojiler, hem küresel hem de ulusal ölçekte gıda güvenliğinin geleceğini belirleyen stratejik araçlar hâline gelmiştir. Türkiye’nin içinde bulunduğu iklimsel, ekonomik ve sosyal baskılar değerlendirildiğinde dijitalleşmenin, tarımsal üretim sistemlerinin dayanıklılığını artırmak için en rasyonel politika seçeneği olduğu görülmektedir.

Türkiye açısından dijital tarım, hem mevcut sorunlara çözüm üretme hem de yeni fırsat alanları yaratma potansiyeline sahiptir. Su stresi altında bulunan tarım havzalarında akıllı sulama sistemleri, sensör tabanlı izleme teknolojileri ve yerli-yabancı uydu verileriyle koordineli çalışan karar destek mekanizmaları, üretimde hem verim kaybını azaltmakta hem de kaynak kullanım etkinliğini artırmaktadır. Bunun yanında, blockchain tabanlı izlenebilirlik sistemleri Türkiye’nin tarım ve gıda ihracatında kalite güvencesini üst seviyeye taşıyacak, özellikle Avrupa Birliği pazarında rekabet üstünlüğü sağlayacaktır. Drone tabanlı hastalık ve zararlı tespiti, yapay zekâ destekli üretim tahminleri, otonom tarım makineleri ve akıllı lojistik çözümleri ise hem üretim maliyetlerini düşürmekte hem de tarımsal işgücünde yaşanan yaşlanma ve istihdam azalması sorunlarının etkilerini hafifletmektedir. Bu çerçevede dijitalleşme, yalnızca üretim sürecinin teknik bir iyileştirmesi değil, aynı zamanda Türkiye’nin gıda sisteminde verimlilik, sürdürülebilirlik, kalite ve küresel rekabet gücünü doğrudan belirleyen bir kalkınma stratejisidir.

Politika yapıcılar, özel sektör ve akademi için ortaya çıkan temel stratejik öneriler ise çok boyutludur. Öncelikle ulusal bir tarımsal dijitalleşme stratejisinin hazırlanması ve tüm paydaşların ortak veri altyapısında buluşturulması gerekmektedir. Dijital tarım ekosisteminin gelişebilmesi için güçlü bir Ar-Ge ve inovasyon ortamı oluşturulmalı, üniversiteler ile teknoloji firmaları arasındaki işbirlikleri teşvik edilmeli, start-up ekosistemi desteklenmelidir. Çiftçilerin dijital okuryazarlığını geliştirmeye yönelik eğitim programları yaygınlaştırılmalı; kadın ve genç çiftçiler dijital dönüşüm sürecinin öncü grubu hâline getirilmelidir. Kamu–üniversite–özel sektör arasında bütüncül bir işbirliği modeli kurularak karar destek sistemleri, sensör teknolojileri, yapay zekâ temelli uygulamalar ve izlenebilirlik teknolojileri alanlarında yerli çözümlerin geliştirilmesi sağlanmalıdır. Bu adımların hayata geçirilmesi, Türkiye’nin tarımsal üretim sistemlerini iklim risklerine karşı daha dayanıklı, ekonomik olarak daha rekabetçi ve çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir yapıya kavuşturacaktır.

Kaynakça

- Abiri, R., Rizan, N., Balasundram, S. K., Shahbazi, A. B., & Abdul-Hamid, H. (2023). Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity. *Heliyon*, 9(12), e22601. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22601>
- Ahmed, N., Wan, S., Zhang, F., & Zhong, W. (2025). Advancing agriculture through IoT, Big Data, and AI. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100–118.
- Alsanhani, A. N., Alotaibi, B. M., & Alshamrani, S. (2025). The role of the “Agricultural Guide” app in improving olive farming sustainability in Saudi Arabia. *Sustainability*, 17(6), 2340. <https://doi.org/10.3390/su17062340>
- Anastasiou, E., Fountas, S., Voulgaraki, M., Psiroukis, V., & Koutsiaras, M. (2023). Precision farming technologies for crop protection: A meta-analysis. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100323.
- Benyam, A. A., Feng, L., & Zhang, X. (2021). Digital agricultural technologies for food loss and waste prevention and reduction: A review. *Journal of Cleaner Production*, 323, 129099.
- Consilium (2024). Digital Agriculture Market Overview. Council of the European Union. https://www.consilium.europa.eu/media/31jkkbxi/2024_971-art-agriculture-02.pdf
- Dayıoğlu, M. A. (2021). Digital transformation for sustainable future: Agriculture 4.0 and water-energy-food nexus. *Ankara Üniversitesi Tarih Bilimleri Dergisi*, 27(4), 776–792.
- Ellahi, R. M., Wood, L. C., & Bekhit, A. E.-D. A. (2024). Blockchain-driven food supply chains: A systematic review for unexplored opportunities. *Applied Sciences*, 14(19), 8944. <https://doi.org/10.3390/app14198944>
- European Patent Office. (2024). *Digital agriculture – Towards sustainable food security*. EPO Technology Insight Report.
- FAO. (2022). *The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2023). *Digital agriculture: Towards sustainable food security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2024). *Digital agriculture and AI innovation*. FAO Innovation Office.
- FAO. (2024). *Digital agriculture in Europe and Central Asia*. FAO Regional Office for Europe and Central Asia.
- FAO. (2025). *Digital agriculture and AI innovation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2025). *Global food security and agriculture outlook 2025*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2025). *State of Food Security and Nutrition in the World 2025*. Food and Agriculture Organization.
- Finger, R., Swinton, S. M., El Benni, N., & Walter, A. (2023). Digital innovations for sustainable and resilient agricultural systems. *European Review of Agricultural Economics*, 50(4), 1277–1309.
- Food and Agriculture Organization. (2019). *Digital technologies in agriculture and rural areas: Status report*. FAO.
- Food and Agriculture Organization. (2022). *The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems*. FAO.
- Food and Agriculture Organization. (2023). *Digital agriculture for better production – FAO Programme Priority Area*. FAO.
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 328(5977), 444–448. (DOI: 10.1126/science.1183899)
- Getahun, S., Xie, H., & Li, Y. (2024). Application of precision agriculture technologies for sustainable crop production: A review. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100441.

- Global Market Insights (2024). Digital Agriculture Market Report 2024–2032. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/digital-agriculture-market>
- Guebsi, R., et al. (2024). Drones in precision agriculture: A comprehensive review of technological advances and applications. *Drones*, 8(11), 686.
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2024). *Climate Change Assessment Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jouanjean, M.-A. (2019). *Digital opportunities for trade in the agriculture and food sectors*. OECD Publishing.
- Kamath, R. (2018). Food traceability on blockchain: Walmart's pork and mango pilots with IBM. *The Journal of the British Blockchain Association*, 1(1).
- Keramati, A., et al. (2025). Blockchain's effects on responsiveness to recalls in the food supply chain. *Food Control*.
- Krueger, L. L., Pütz, N., & Beulshausen, S. (2020). Precision agriculture technologies and their impact on farm profitability: A systematic review. *Precision Agriculture*, 21(5), 1017–1041. (DOI: 10.1007/s11119-020-09722-1)
- Lowenberg-DeBoer, J., & Erickson, B. (2019). The economics of precision agriculture and its impact on the sustainability of production systems. *Sustainability*, 11(13), 37–46. (DOI: 10.3390/su11133746)
- Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50(4), 370–396.
- McFadden, J., Casalini, F., & Antón, J. (2022). *The digitalisation of agriculture: A literature review and emerging policy issues* (OECD Food, Agriculture and Fisheries Paper No. 176). OECD Publishing.
- Mirabelli, G., & Solina, V. (2020). Blockchain and agricultural supply chains traceability: Research trends and future challenges. *Procedia Manufacturing*, 42, 414–421.
- OECD (2022). The Digitalisation of Agriculture. OECD Publishing. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2022/04/the-digitalisation-of-agriculture_dd2a1973/285cc27d-en.pdf
- OECD. (2019). *Digital opportunities for better agricultural policies*. OECD Publishing.
- OECD. (2023). *The digital transformation of the agriculture and food system*. OECD Publishing.
- OECD. (2024). *The digitalisation of agriculture*. OECD Publishing.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2022). *The digitalisation of agriculture*. OECD Publishing.
- Pallottino, F., Biocca, M., Vieri, M., & Manetto, G. (2018). Irrigation management with IoT technologies for smart farming applications. *Journal of Agricultural Engineering*, 49(2), 53–60. (DOI: 10.4081/jae.2018.828)
- Papadopoulos, G., Arduini, S., Uyar, H., Psiroukis, V., Kasimati, A., & Fountas, S. (2024). Economic and environmental benefits of digital agricultural technologies in crop production: A review. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100441.
- Raj, M. (2025). Revolutionizing agriculture: A review of smart farming technologies for a sustainable future. *SN Applied Sciences*, 7, 561.
- Ramsari, N., Suhardi, S., Faizal, A., & Andrianto, H. (2024). Technologies for detecting nutrient deficiencies in plants: A review of AI and IoT-based approaches. In *Proceedings of the 2024 International Conference on Information Technology Systems and Innovation* (pp. 1–6). IEEE.
- Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107017.
- Schimmelpfennig, D. E. (2018). Farm Profits and Adoption of Precision Agriculture. Economic Research Report No. 249, USDA Economic Research Service.
- Shamshiri, R. R., Sturm, B., Weltzien, C., Fulton, J., Khosla, R., Schirrmann, M., Raut, S., Basavegowda, D. H., Yamin, M., & Hameed, I. A. (2024). Digitalization of agriculture for sustainable crop production: A use-case review. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1375193. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1375193>
- Sonka, S. T. (2020). Digital technologies, big data, and agricultural innovation. In *The Innovation Revolution in Agriculture* (pp. 135–154). Springer.
- Sri Vigna Hema, V., Dhinesh Kumar, R., & Baskar, G. (2024). Blockchain for food safety in supply chain: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(2), 1–30.
- Trendov, N. M., Varas, S., & Zeng, M. (2019). *Digital technologies in agriculture and rural areas: Status report*. FAO.

- UN DESA. (2024). *World Population Prospects 2024*. United Nations Department of Economic and Social Affairs.
- UNDP. (2021). *Blockchain for agri-food traceability*. United Nations Development Programme.
- United Nations Development Programme. (2021). *Blockchain for agri-food traceability*. UNDP.
- van Hilten, M., Ongena, G., & Ravesteyn, P. (2020). Blockchain for organic food traceability: Case studies on drivers and challenges. Wageningen University & Research.
- WMO. (2024). *State of the Global Climate 2024*. World Meteorological Organization.
- Wolfert, J., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- World Bank (2023). Data-Driven Digital Agriculture. <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/1a163904ccb86646bf2e5d3d6f427f3d-0090012023/related/WB-DDAG-FA-web.pdf>
- World Bank. (2019). *Harnessing digital technologies to improve food system outcomes*. World Bank.
- World Bank. (2021). *Digital agricultural profiles for Argentina, Kenya, Turkey and Viet Nam*. World Bank Group.
- World Bank. (2024). *Climate-smart agriculture*. World Bank Group.
- World Bank. (2024). *Transforming agriculture and food systems through data-driven digital agriculture* (Event brief). World Bank Group.
- World Bank. (2025). *Commodity Markets Outlook*. The World Bank Group.
- World Bank. (2025). *Digital agriculture roadmap playbook*. World Bank.
- World Bank. (2025). *Global commodity markets outlook 2025*. World Bank Publications.