

The Rise of Digital Agriculture and Sustainable Production with Smart Technologies

Zeynep Ünal¹

¹ Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Niğde Ömer Halisdemir University, Turkey

Abstract

The agricultural sector has reached a critical juncture in its historical development through the process of digitalization. Moving beyond traditional methods, digital agricultural practices are rapidly expanding with the integration of advanced technologies such as sensors, the Internet of Things, artificial intelligence, big data analytics, unmanned aerial vehicles, and autonomous land systems into production processes. These innovations facilitate real-time data collection, enable precise monitoring of environmental conditions, and support production decisions grounded in scientific analysis. Therefore, digitalization not only increases production efficiency and quality but also contributes to the sustainable use of natural resources. One of the most striking aspects of this transformation is the capacity to develop solutions for anticipated future food security challenges. Under the pressure of increasing populations and climate change, ensuring a predictable, traceable, and resilient agricultural structure has become a global strategic imperative. Digital agriculture enables both economic and environmental sustainability in production through precision farming practices and intelligent decision support systems. This study comprehensively examines the rise of digital agriculture and, in particular, discusses the impact of smart technologies on sustainable production. The findings show that digitalization in agricultural production will play a critical role not only in today's but also in future agricultural policies and strategies.

Key Words: *Agricultural Technologies, Digital Agriculture, Smart Agriculture, Precision Agriculture, Artificial intelligence*

Tarım Dijital Tarımın Yükselişi ve Akıllı Teknolojilerle Sürdürülebilir Üretim

Özet

Tarım sektörü, dijitalleşme süreciyle birlikte tarihsel gelişiminde önemli bir kırılma noktasına ulaşmıştır. Geleneksel yöntemlerin ötesine geçen dijital tarım uygulamaları, sensörler, nesnelerin interneti, yapay zekâ, büyük veri analitiği, insansız hava araçları ve otonom kara sistemleri gibi ileri teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonu ile giderek daha yaygın bir hale gelmektedir. Bu teknolojilerin sağladığı olanaklar sayesinde tarımsal üretimde anlık veri toplanabilmekte, çevresel faktörler hassas biçimde izlenebilmekte ve üretim kararları bilimsel temellere dayalı olarak alınabilmektedir. Dolayısıyla dijitalleşme, yalnızca üretim verimliliğini ve kaliteyi artırmakla kalmamakta, aynı zamanda doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımına da katkı sağlamaktadır. Bu dönüşümün en dikkat çekici yönlerinden biri, gelecekte karşılaşılabilecek beklenen gıda güvenliği sorunlarına yönelik çözüm geliştirme kapasitesidir. Artan nüfus ve iklim değişikliği baskısı altında, tarımın öngörülebilir, izlenebilir ve esnek bir yapıya kavuşması, küresel ölçekte stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir. Dijital tarım, hassas tarım uygulamaları ve akıllı karar destek sistemleri aracılığıyla, üretimde hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliği mümkün kılmaktadır. Bu çalışma, dijital tarımın yükselişini kapsamlı biçimde ele almakta ve özellikle akıllı teknolojilerin sürdürülebilir üretim üzerindeki etkilerini tartışmaktadır. Elde edilen bulgular, tarımsal üretimde dijitalleşmenin yalnızca günümüzün değil, aynı zamanda geleceğin tarımsal politikaları ve stratejileri açısından da kritik bir rol oynayacağını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Tarım Teknolojileri, Dijital Tarım, Hassas Tarım, Akıllı Tarım, Yapay Zeka*

Giriş

Tarım, insanlık tarihi boyunca temel ihtiyaçların karşılanmasında kritik bir öneme sahip olarak ekonomik ve sosyal kalkınmanın vazgeçilmez bir unsuru olmuştur. Türkiye’de ise tarım sektörünün stratejik önemi, tarihsel olarak güçlü bir üretim kültürüne dayanmasından kaynaklanmaktadır (Büyükokutan & Söğüt, 2022). Tarımsal üretim, bir çok disiplinin içerisinde barındırdığı ve karmaşık süreçlerin bütünleştiği çok boyutlu bir sisteme sahiptir (Swanson, 1979). İklim, toprak yapısı, hastalıklar ve çevresel faktörler bu sistemi doğrudan etkilediğinden yalnızca teorik bilgi değil, çevresel koşulların yönetimi de başarı için belirleyici olmaktadır (Özgüven, 2023).

Son yıllarda yaşanan nüfus artışı, iklim değişikliği ve iş gücü maliyetlerindeki artış, tarımda dijitalleşme ve otomasyonu kaçınılmaz hâle getirmiştir (İnan & Karıcı, 2021). Tarımsal üretim tarihsel olarak dört evrede özetlenebilir. Bu evreler sırayla, Tarım 1.0 insan gücü, Tarım 2.0 mekanizasyon, Tarım 3.0 hassas tarım ve son olarak tarım 4.0 dijitalleşme sürecidir (Şahin, 2022). Bu son evre, aynı zamanda Dijital Tarım olarak adlandırılmakta ve sensörler, yapay zekâ, büyük veri ve otonom sistemlerinin entegrasyonunu içermektedir (Aydın, 2022). Bu teknolojiler sayesinde çiftçiler, toprak, ürün ve iklim gibi erişimi zor verilere anlık olarak ulaşarak daha doğru kararlar alabilmekte, böylece üretimde sürdürülebilirlik ve verimlilik sağlanmaktadır (Sevli, 2023).

Bu çalışmanın temel amacı, literatürde sıklıkla birbirinin yerine kullanılan “hassas tarım”, “akıllı tarım” ve “dijital tarım” gibi kavramları tanımsal çerçeveleriyle birlikte açık bir şekilde ortaya koymaktır. Böylece, tarım teknolojileri alanında karşılaşılan kavramsal belirsizliklerin giderilmesi, terminolojik tutarlılığın sağlanması ve gelecekte bu konularda yapılacak akademik ve uygulamalı çalışmalara kuramsal bir temel sunulması hedeflenmektedir.

Dijital Tarım Kavramı

Hassas tarım, akıllı tarım ve dijital tarım kavramları, tarımsal üretimde teknolojinin giderek artan rolü ile birlikte ortaya çıkan ve tarım teknolojilerinin evrimsel sürecini yansıtan, birbirinden farklı ancak ilişkili yaklaşımlardır (Alakuş & Türkoğlu, 2024). Her üç kavram da, üretim süreçlerinde verimliliği artırmak, kaynak kullanımını optimize etmek ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla süreci kolaylaştıracak araçların entegrasyonunu hedeflemektedir (Beluhova-Uzunova & Dunchev, 2022). Bununla birlikte, bu kavramlar sıklıkla birbirinin yerine kullanılsa da, içerik ve uygulama bağlamında belirgin farklılıklar içermektedir (Ünal & Kızıldeniz, 2023). Tarımda dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte, söz konusu kavramlar literatürde zaman zaman eş anlamlı olarak değerlendirilmiş ve bu durum kavram kargaşasına yol açmıştır (Beluhova-Uzunova & Dunchev, 2022). Ancak, bu kavramsal belirsizliğin giderilmesi amacıyla, 2018 yılında Alman Tarım Topluluğu tarafından düzenlenen bir çalıştayda, hassas tarım, akıllı tarım ve dijital tarım terimlerinin kapsamaları netleştirilmiş ve her birinin özgün nitelikleri açık bir şekilde tanımlanmıştır (DLG, 2025). Bu bağlamda, bu kavramlar arasındaki farklılıkların doğru bir şekilde anlaşılıyor olması, tarım teknolojilerinin sunduğu yeniliklerin etkin bir biçimde yorumlanması ve uygulanması açısından büyük bir öneme sahiptir.

Hassas Tarım

Hassas Tarım, tarımsal üretim süreçlerinin etkinliğini artırmak ve çevresel etkileri en aza indirmek amacıyla teknoloji ve veri temelli uygulamaların entegrasyonunu esas alan modern bir yönetsel tarım yaklaşımıdır (Mandal & Ghosh, 2000). Bu yöntem, toprak özellikleri, sulama gereksinimleri, pH düzeyleri ve diğer çevresel parametrelerin detaylı analizine dayanarak her tarım parseline özgü uygulamaların geliştirilmesini sağlamaktadır. İlk olarak 1980’lerde, hassas tarımın babası olarak bilinen Dr. Pierre Robert tarafından ortaya atılan bu fikir, zamanla tarımın can damarı haline gelerek kapsamlı bir araştırma alanına dönüşmüştür (Rust & Robert, 1980). Gelişmiş teknolojilerin kullanımı yaygın olmayan o yıllarda basit el tipi cihazlarla ölçümlerin yapılmasıyla uygulanan Hassas Tarım, üretim maliyetlerini düşürmek ve kaynak kullanımını optimize etmek üzere geliştirilmiştir (Quebrajo, Pérez-Ruiz, Rodriguez-Lizana, & Agüera, 2015). Ayrıca mikro-değişkenliklerin dikkate alınması durumunda sensörler ve haritalama sistemlerini kullanarak ihtiyaca yönelik uygulamaların yapılması ile minimum kaynak kullanımı ile maksimum verim sağlanmaktadır (Bozdağ, ve diğerleri, 2025). Uygulamalarda girdi optimizasyonu ve maliyetin düşürülmesi ön planda tutulmakta ve karar alma süreci otomatik çalışan sistemlere dayalı olmadan genellikle çiftçinin desteğiyle sağlanmaktadır. Bu nedenle ürün yetiştirilen alanın tamamına yönelik homojen uygulamalar yerine, arazi içerisindeki değişkenlikleri dikkate alan farklılaştırılmış müdahaleler yapılmaktadır (Colaço & Molin, 2017). Böylece örneğin, gübre uygulaması ihtiyaç temelli gerçekleştirildiği için hem ekonomik hem de ekolojik fayda sağlamaktadır. Özetle Hassas Tarım, gözlem ve ölçüme dayalı yönetim yaklaşımlarıyla doğru zamanda, doğru yerde ve doğru müdahaleyi gerçekleştirmeyi amaçlayan bir sistemdir (Keskin, Şekerli, Say, & Arslan, 2018).

Akıllı Tarım

Akıllı tarım, bilişim teknolojilerin tarımsal üretime entegre edilmesiyle süreçleri daha verimli, otomatik ve veriye dayalı hale getiren bir yaklaşımdır (Tantalaki, Souravlas, & Roumeliotis, 2019). Bu yaklaşımda cihazlar yalnızca veri toplamakla kalmaz, aynı zamanda bu verileri işleyerek karar almada kullanılabilecek bir bilgi tabanı oluşturmaktadır (Velamuri, 2023). Akıllı tarım, hassas tarımın daha gelişmiş bir formu olup, çiftçilere iklim, toprak ve bitki verilerine gerçek zamanlı erişim sunarak bilinçli karar alma olanağı sağlamaktadır. Böylece daha az insan gücüyle daha yüksek miktar ve kalitede ürün elde edilmesi mümkün olmaktadır (Walter, Finger, Huber, & Buchmann, 2017). Akıllı tarım, bitkilerin ihtiyaç duyduğu su, besin ve bakım gibi girdileri doğru zamanda ve miktarda sağlayarak birim alandan en yüksek verim elde etmenin yanında karar destek mekanizmaları ile uygulama kaynaklı hataların önüne geçme amacı taşımaktadır. Otomasyon ve IoT ile gerçek zamanlı uzaktan kontrol sağlayarak sulama ve gübreleme gibi işlemleri otomatik gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır (Li & Niu, 2020). Ayrıca ürün izlenebilirliği, üretim planlaması ve rekolte tahmini gibi konularda da önemli katkılar sunmaktadır (Ağızan, Bayramoğlu, & Ağızan, 2022).

Dijital Tarım

Dijital tarım, bilişim sistemlerinin ve yüksek teknoloji aygıtlarının bir araya gelerek oluşturduğu modern bir tarım yaklaşımını ifade etmektedir. Literatürde 2016 yılından sonra yer almaya başlayan Dijital tarım kavramının bir çok çalışmada eş anlamlı olarak kullanıldığı görülmüştür (Keogh & Henry, 2016). 2018 yılında Alman Tarım Topluluğu tarafından düzenlenen bir çalıştayda dijital tarım terimi açık bir şekilde tanımlanmıştır (DLG, 2025). Dijital tarım, tarımsal üretim süreçlerinin dijital teknolojiler aracılığıyla bütüncül biçimde yönetilmesini amaçlayan bir yaklaşımdır. Sensör teknolojileri, büyük veri analitiği, bulut bilişim, yapay zeka, nesnelerin interneti (IoT), coğrafi bilgi sistemleri (CBS), insansız araçlar ve web tabanlı veri platformları gibi çeşitli dijital araç ve sistemler entegre bir şekilde kullanarak, tarımsal faaliyetlerde veri odaklı ve bilinçli karar alma süreçleri desteklenmektedir (Paraforos & Griepentrog, 2021). Dijital tarım, çoğunlukla üretim verimliliğini artırma ve iklim değişikliğine adaptasyonu sağlama gibi hedeflerle uygulanırken, yalnızca üretim süreçleriyle sınırlı kalmayıp tedarik zinciri yönetimi, pazarlama, girdi temini ve çiftlikler arası iş birlikleri gibi alanları da kapsamaktadır (Zakota, 2024). Bu yönüyle dijital tarım, hassas tarım ve akıllı tarım yaklaşımlarını da içinde barındırırken onlardan daha geniş bir dijital dönüşüm çerçevesi sunmaktadır (Dayıoğlu & Türker, 2021). Dijital tarım, hassas tarım ve akıllı tarım yaklaşımlarının ötesine geçerek iç ve dış tüm tarımsal süreçlerin dijital ekosistem içinde bütünsel biçimde yönetilmesini hedeflemektedir (Göl & Tarhan, 2024).

Dijital Tarım Teknolojileri

Dijital tarımda, üretim süreçlerinin optimize edilmesi ile veri toplama, analiz ve değerlendirme aşamalarında çeşitli ileri teknolojiler başarıyla kullanılmaktadır. Bu teknolojiler arasında Uzaktan Algılama, İnsansız Hava Araçları, Sensörler, İnsansız Kara Araçları, Makine Öğrenmesi, Bulanık Mantık, Nesnelerin İnterneti yer almaktadır. Tüm bu teknolojiler, Karar Destek Sistemleri içerisinde entegre bir şekilde kullanılarak çiftçilere bütüncül ve veriye dayalı çözümler sunmaktadır (Çakmakçı & Çakmakçı, 2023). Bu teknolojilerin uygun kombinasyonları, akıllı tarım uygulamaları kapsamında üretkenliği artırmakta ve çiftçilerin karar verme süreçlerini desteklemektedir (Dayıoğlu & Türker, 2021).

Karar Destek Sistemleri (KDS)

Karar destek sistemi, iş veya organizasyonel karar alma faaliyetlerini destekleyen bir bilgi sistemidir. Bir organizasyonun yönetim, operasyon ve planlama düzeylerine hizmet eden bu sistemler, insanların önceden kolayca belirlenemeyen sorunlar hakkında hızlı karar almalarına yardımcı olmaktadır. 1970'li yıllarda ortaya atılan bu yaklaşım bilgi teknolojileri gelişmesi ile beraber bir çok iş dalında kullanılmaya başlanmıştır (Power, 2008). Karar destek sistemleri, tarımda da yaygın olarak kullanılmakta olup verilerin analiz edilmesi, çıkarımlar yapılması ve bilgi kaynağı oluşturulmasını sağlamaktadır. Tarımda karar destek sistemlerinin kullanımı özellikle, sulama kaynaklarının yönetiminde, görev planlamasında, iklim değişikliğine uyum sağlanmasında, israfın önlenmesi ve atık yönetiminde, tarımsal tedarik zincirlerinde ve sürdürülebilirlik konularında öne çıkmaktadır (Zhai, Martínez, Beltran, & Martínez, 2020). Bir karar destek sistemi, bir bilgi tabanı, yazılım ve bir kullanıcı arayüzünden oluşmaktadır. Bilgi tabanı, sistemin muhakeme motoru tarafından kullanılan dahili ve harici kaynaklardan gelen bilgileri depolamaktadır (Wang, 1997). Yazılım sistemi, gerçek dünya sistemlerini simüle ederek çalışma biçimlerini anlayan ve iyileştiren model yönetim sistemlerinden oluşmaktadır (Shim, ve diğerleri, 2002). Modeller, karmaşık, pahalı veya tehlikeli sistemler için ve bir sistemdeki değişikliklerin sonuçlarını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Kullanıcı arayüzü, kolay gezinme ve veri manipülasyonu sağlamaktadır. Yapay zeka teknolojilerine dayalı akıllı karar destek sistemleri bilişsel karar alma işlevlerini de gerçekleştirmektedir.

Nesnelerin İnterneti (IOT) ve Sensörler

Nesnelerin İnterneti, kablosuz iletişim teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte giderek önem kazanan bir kavramdır. IoT, fiziksel nesnelerin standart iletişim protokolleri aracılığıyla internete bağlanarak birbirleriyle veri alışverişi yapmasını sağlamaktadır. Bu sayede insan müdahalesi olmaksızın cihazlar arasında senkronize bilgi iletimi, veri toplama ve karar alma süreçleri mümkün hale gelmektedir (Gündüz & Daş, 2018).

Sensörler aracılığıyla fiziksel çevreden veri toplayarak dijital ortama aktaran bu aygıtlar, toprağın pH değeri, nem, sıcaklık ve yağış gibi verileri gerçek zamanlı olarak ölçülmesini mümkün kılmaktadır. Ancak farklı sensör üreticilerinin veri toplama yöntemleri arasında farklılıklar bulunması, tutarsızlıklara ve dolayısıyla hatalı kararlara yol açabileceğinin bilinmesi oldukça önemlidir (Aydın, 2022). Tarım alanında çevresel ve biyolojik parametrelerin izlenmesine yönelik olarak çeşitli işlevlere sahip sensör teknolojilerinin bulunması, bu aygıtların yönetimini uzmanlık gerektiren bir konu haline getirmiştir. Yaygın olarak kullanılan sensörler arasında olan optik sensörler, hayvan, biyoçeşitlilik, zararlı organizmalar, bitki sağlığı, stres düzeyi ve gelişim durumu gibi unsurları değerlendirmeye yönelik görüntü verileri toplamaktadır (Özgüven, 2023). Ayrıca bitkinin gelişimini etkileyen toprak besin içeriğine ilişkin veriler elektrokimyasal sensörler ile toplanmaktadır. Bunların dışında da kullanım alanı bulan konum sensörleri, küresel konumlama sistemleri aracılığıyla mekânsal veri sağlayarak dijital tarım uygulamalarına katkı sunmaktadır. Son olarak bir çok sensörü içerisinde barındıran meteoroloji istasyonları, uygulama alanlarının farklı noktalarına yerleştirilerek hava akışı, güneş radyasyonu, yaprak nemi, mevsimsel yağış, nem oranı, rüzgâr hızı ve yönü ile atmosfer basıncı gibi meteorolojik değişkenleri izlemeye imkân vermektedir (Çakmakçı & Çakmakçı, 2023).

İnsansız Kara Araçlar (İKA) ve İnsansız Hava Araçları (İHA)

Yapay zekâ ve uzaktan algılama teknolojilerinin tarıma entegrasyonu ile birlikte, insansız robot sistemlerinden elde edilen faydalar da artmıştır. Bu robotlar, veri toplama sürecini hızlandırmakta, veri standardizasyonunu kolaylaştırmakta ve özne hataları azaltarak daha güvenilir veri setleri oluşturmaktadır. Tarımsal uygulamalarda kullanılan İnsansız Kara Araçları (İKA), çoklu sensörlerle donatılarak yere temas halinde uzaktan kumanda ile veya otonom şekilde hareket ederek veri toplamak veya verilen görevi gerçekleştirmek için kullanılmaktadır (Zhao, Li, Li, Zhang, & Guo, 2013). İnsan müdahalesi olmadan otonom bir şekilde şarj istasyonlarına gelerek şarjını tamamlayarak görevine devam edebilen bu araçların insan sağlığını tehlikeye atacak görevler için kullanımı bu araçları avantajlı hale getirmektedir. Ancak bu araçların meyve bahçelerinde sıra aralıklarına uygun palet genişliği, tarlada yetişen bitkinin boyuna göre yeterli uygulama yüksekliği ve engebeli arazilerde denge için süspansiyon sistemlerinin varlığını gibi belirli yapısal özelliklerinin bulunması gerekmektedir. (Kırçıl & Tepe, 2024). İnsansız Hava Araçları (İHA) ise, uluslararası tanımlamalara göre insan taşımayan, manuel ya da otomatik olarak kontrol edilebilen sistemlerdir (Kahveci & Can, 2017). Temel olarak faydalı yük, yer kontrol istasyonu ve aviyonik sistemden oluşan bu araçlar, tarımsal görüntüleme, ilaçlama veya veri iletiminde kullanılmaktadır. Üzerinde bulunan küresel konumlandırma sistemi ve sensör sistemleri sayesinde uçuş rotası ve manevraları otomatik olarak koordine edilmektedir (Kırçıl & Tepe, 2024). Tüm operasyonları havadan gerçekleştiren bu araçlar, engebeli ve dik eğimi olan araziler için vazgeçilmez hale gelmiştir, ancak bataryanın kapasitesi aracın havada kalma süresini kısıtladığından ve yük kaldırma kapasitesinin sınırlı olmasından dolayı bu araçların tarımsal faaliyetlerde uzun süreli kullanım durumu azalmakta veya geniş alanlı uygulamalarda verimliliği düşebilmektedir (Mohsan, Khan, Noor, Ullah, & Alsharif, 2022). Bu nedenle, batarya teknolojilerinin geliştirilmesi ve görev optimizasyonuna yönelik stratejiler, bu sistemlerin daha etkin kullanılabilirliği açısından kritik bir önem taşımaktadır. Son olarak zirai mücadele amacıyla kullanılan insansız hava araçlarının uygun olmayan irtifalarda operasyonun gerçekleştirmesi pestisit veya sıvı uygulamalarında sürüklenme (drift) olgusunu artırmaktadır. Bu durum hedef dışı alanlara kimyasal taşınımına yol açarak uygulama alanı dışındaki bitkisel üretilere zarar verme riskini beraberinde getirmektedir. Özellikle rüzgar, nem ve sıcaklık gibi faktörlerin etkisiyle bu etki daha da şiddetlenebilmektedir. Bu nedenle, uçuş yüksekliği, hava koşulları ve uygulama tekniklerinin dikkatle seçilmesi bu tür istenmeyen etkileri azaltacaktır.

Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)

Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), Dünya yörüngesindeki uydular aracılığıyla yeryüzündeki alıcılara konum bilgisi sağlayan bir navigasyon sistemidir. GPS nesne ya da bireylerin yersel koordinatlarının belirlenmesinde, uydular aracılığıyla gönderilen elektromanyetik sinyallerin alıcı cihazlar tarafından analiz edilmesi yoluyla konumsal veri sağlamaktadır. Bu teknoloji, hassas konum belirleme gerektiren tarım, ulaşım, afet yönetimi ve otonom sistemler gibi çeşitli alanlarda temel bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, sinyalin atmosferik bozunmalar, fiziksel engeller veya çok yollu yayılma gibi çevresel faktörlerden etkilenmesi, sistemin konumsal doğruluğunu ve güvenilirliğini sınırlayabilmektedir. Tarımda GPS, çiftçilerin toprak örnekleri toplamak veya ürün durumu izlemek için her yıl aynı noktaya hassas şekilde ulaşmalarını sağlamaktadır. Ayrıca tarla sınırları, yollar, sulama sistemleri ve sorunlu alanların haritalanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ise coğrafi verileri toplamak, depolamak, analiz etmek ve görselleştirmek için kullanılan bilgisayar tabanlı bir sistemdir. GPS, nesnelerin veya bireylerin konumunu belirlerken, bu veriler CBS yazılımlarıyla analiz edilerek harita ve karar destek verisine dönüştürmektedir. Uygulamalarda GPS'ten elde edilen veriler, CBS ortamına aktarılmakta ve burada analiz edilerek dijital tarım uygulamalarına katkı sunmaktadır (Görmez & Ertaş, 2019). Bu entegrasyon sayesinde, tarımsal faaliyetlerin mekânsal olarak izlenmesi, arazi kullanım planlaması, hassas ilaçlama ve gübreleme gibi uygulamaların etkinliğinin artırılması yönünde stratejiler üretilebilmektedir. Dolayısıyla, GPS ve CBS teknolojilerinin birlikte kullanımı, veri odaklı karar alma süreçlerini destekleyerek dijital tarım açısından önemli bir araç konumundadır.

Yapay Zeka

Yapay zekâ, doğal sistemlerin gerçekleştirebildiği bilişsel faaliyetlerin, yapay sistemler tarafından daha yüksek performans düzeylerinde yerine getirilmesini inceleyen bir bilim dalıdır (Dobrev, 2005). Yapay zekanın alt dalı olan makine öğrenmesi ise son yıllarda tarımda geniş kullanım alanı bulmuştur. Makine öğrenmesi insanın düşünme mekanizması temel alınarak geliştirilen bir yaklaşımdır (Lake, Ullman, Tenenbaum, & Gershman, 2017). İnsanın bilgiyi işleme yeteneği daha önce edinilmiş tecrübeye diğer bir ifade ile öğrenmesine bağlı olup, öğrenme ise bilgiye bağlıdır. İnsanın bilişsel faaliyetleri veya bilgiyi işleme kapasitesi, öğrenme süreçleriyle kazanılmış bilişsel birikime dayanmaktadır. Öğrenme ise temelde bilgi edinimiyle doğrudan ilişkili olup, bireyin çevresel uyarıcılardan elde ettiği verileri anlamlandırma ve yapılandırma süreci olarak tanımlanabilir (Morik, 1991). İnsanın öğrenme süreçlerinde bilginin işlenip anlamlandırılması nasıl temel bir rol oynuyorsa, makine öğrenmesi algoritmalarında da benzer biçimde, büyük veri kümeleri üzerinden desenlerin ve ilişkilerin çıkarılması yoluyla öğrenme gerçekleştirilir. Bu bağlamda, makine öğrenmesi, istatistiksel modeller ve algoritmalar aracılığıyla veriden anlamlı sonuçlar üretmeyi amaçlayan, veri odaklı bir öğrenme yaklaşımıdır.

Tarımda yapay zekâ uygulamaları ile tahmine dayalı analitik yöntemlerin entegrasyonu, üretim süreçlerinin daha öngörülebilir ve optimize edilebilir hale gelmesini sağlamaktadır (Javaid, Haleem, Khan, & Suman, 2023). Bu teknolojilerle bağlantılı olarak kullanılan sensör sistemleri ise, bitki verimliliğinin artırılmasının yanı sıra, su, besin elementleri ve diğer tarımsal girdilerin kullanımında kaynak verimliliğini yükseltme potansiyeline sahiptir. Uzaktan algılama teknolojileri ile birlikte veri toplama, analiz, depolama, yönetim, aktarım, paylaşım, iletişim ve işleme alanlarında yaşanan teknolojik gelişmeler, büyük veri transferini ve analitik süreçlerin otomasyonunu mümkün kılmıştır (Martos, Ahmad, Cartujo, & Ordoñez, 2021).

Yapay zeka teknolojileri, tarımda zorluklarla başa çıkmak için çeşitli yöntemler sunmaktadır. Yapay Zeka, makine öğrenimi, derin öğrenme, görüntü işleme gibi tekniklerle bir çok karmaşık görevi hızlı ve tutarlı şekilde yerine getirmektedir. Mahsul izleme, hastalık tespiti, zararlıları tespiti, yabancı ot tespiti, bitki sınıflandırması (fenotipleme), arazi örtüsü tanımlanması, toprak hatalarının tespiti, hassas hayvancılık, nesne tanıma, akıllı sulama ev hava durumu tahminleri gibi uygulamalar yapay zekanın tarımda kullanıldığı başlıca alanlardır. Ayrıca, bu teknolojiler, çiftçilerin uygun ürün seçiminden fiyat tahminlerine kadar birçok alanda kararlarını iyileştirmelerini sağlamakta ve dijital çiftçilik uygulamalarıyla kayıpların azaltmasına imkan vermektedir (Öztürk, Eminoğlu, & Küçükıldırım, 2025).

Sonuç

Küresel düzeyde yaşanan iklim değişikliği, su kaynaklarının azalması ve nüfus artışı gibi dinamikler, tarımsal üretimde verimlilik ve sürdürülebilirlik gereksinimini daha da ön plana çıkarmaktadır. Bu bağlamda, dijitalleşme süreci tarım sektörü için kaçınılmaz bir dönüşüm alanı haline gelmiştir. Bu çalışmada ele alınan dijital tarım kavramı, geleneksel üretim yapılarından farklı olarak, yüksek teknoloji entegrasyonuna dayalı bir üretim modeli sunmaktadır. Sensör sistemleri, otomasyon teknolojileri, robotik uygulamalar ve yapay zekâ tabanlı karar destek mekanizmaları ile tarımsal üretim süreçleri daha hassas, izlenebilir ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmaktadır.

Veri toplama teknikleri ve bu verilerin işlenmesi dijital tarımın en önemli yapı taşları arasında yer almaktadır. Çevresel değişkenleri anlık olarak takip edebilen sensörler aracılığıyla elde edilen veriler, yapay zekâ algoritmaları yardımıyla analiz edilmekte ve üreticiye karar desteği sunmaktadır. Ayrıca Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) entegrasyonu ile konum bazlı veriler işlenerek detaylı haritalama ve uygulama planlaması yapılabilmektedir. Bu durum, hem verimliliği artırmakta hem de tarımsal girdilerin daha etkili ve çevreye duyarlı bir biçimde kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Özellikle hassas tarım uygulamalarında bu teknolojiler, doğru zamanda, doğru miktarda ve doğru yere müdahale edilmesini sağlamaktadır.

Drone teknolojileri ise engebeli, eğimli ve erişimi zor alanlarda operasyonel kolaylık sağlaması bakımından önemli bir yenilik olarak öne çıkmaktadır. Havadan gerçekleştirilen gözlem, ilaçlama ve gübreleme faaliyetleri sayesinde insan gücüne olan ihtiyaç azalmış, buna karşılık işlem hassasiyeti artmıştır. Ayrıca, yapay zekâ tabanlı sistemlerin tam kapasite çalışabilmesi için büyük ve güvenilir veri setlerine duyduğu ihtiyaç, dijital tarımın altyapısal ve kurumsal gelişimine olan gereksinimi ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, dijital tarımın yaygınlaştırılabilmesi için çiftçilerin dijital okuryazarlığının geliştirilmesi, teknik altyapının güçlendirilmesi ve kamu politikalarının bu dönüşümü destekleyecek şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, dijital tarım yalnızca teknolojik bir

<https://www.dlg.org/en/mediacenter/alle-publikationen/strategische-positionspapiere/digital-agriculture-opportunities-risks-acceptance> adresinden alındı

- Dobrev, D. (2005). Formal definition of artificial intelligence. . *International Journal" Information Theories & Applications*, 12(3), 277-285.
- Göl, B., & Tarhan, Ç. (2024, Eylül 3). Tarımda Dijitalleşmenin Zorlukları ve AB İklim Politikasında Dijital Tarım. *Bilişim Sistemleri ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, s. 12-23.
- Görmez, E., & Ertaş, N. (2019). Sosyal Bilgiler Öğretmenlerinin Küresel Konumlandırma Sistemi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Hakkındaki Görüşleri. *YYÜ Eğitim Fakültesi Dergisi* 16(1), s. 1492-1514.
- Gündüz, M., & Daş, R. (2018). Nesnelerin interneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), s. 327-335.
- İnan, M., & Karcı, A. (2021, Haziran 1). Tarımda Ağaç İlaçlamanın Drone'larla Yapılmasında Yeni bir Yöntemin Geliştirilmesi ve Uygulanması. *Anatolian Journal of Computer Sciences cilt: 6 (2)*, s. 72-89.
- Javaid, M., Haleem, A., Khan, I. H., & Suman, R. (2023). Understanding the potential applications of Artificial Intelligence in Agriculture Sector. *Advanced Agrochem*, 2(1), 15-30.
- Kahveci, M., & Can, N. (2017, Ağustos 09). İnsansız hava araçları: tarihçesi, tanımı, dünyada ve türkiye'deki yasal durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt: 5 Sayı: 4*, s. 511-535.
- Keogh, M., & Henry, M. (2016). The implications of digital agriculture and big data for Australian agriculture. *Australian Farm Institute*.

- Keskin, M., Şekerli, Y. E., Say, S. M., & Arslan, A. (2018, Mayıs - Haziran). Hassas Tarım Teknolojileri İle Sağlanabilecek Faydalar. *Tarım Türk Dergisi Sayı: 30*, s. 14-17.
- Kırçıl, U., & Tepe, C. (2024). İnsansız Kara Araçları İçin Çapraz Platform Destekli Telemetri Sistemi Tasarımı. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* , s. 53-60.
- Lake, B. M., Ullman, T. D., Tenenbaum, J. B., & Gershman, S. J. (2017). Building machines that learn and think like people. *Behavioral and brain sciences*, 40, e253.
- Li, C., & Niu, B. (2020). Design of smart agriculture based on big data and Internet of things. . *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 16(5), 1550147720917065.
- Mandal, D., & Ghosh, S. K. (2000). Precision farming–The emerging concept of agriculture for today and tomorrow. . *Current Science*, 79(12), 1644-1647.
- Martos, V., Ahmad, A., Cartujo, P., & Ordoñez, J. (2021). Ensuring agricultural sustainability through remote sensing in the era of agriculture 5.0. *Applied Sciences* 11 (13).
- Mohsan, S., Khan, M. A., Noor, F., Ullah, I., & Alsharif, M. H. (2022). Towards the unmanned aerial vehicles (UAVs): A comprehensive review. *Drones*, 6(6), 147.
- Morik, K. (1991). Underlying assumptions of knowledge acquisition and machine learning. *Knowledge Acquisition*, 3(2), 137-156.
- Özgüven, M. M. (2023). *The digital age in agriculture*. CRC Press.
- Öztürk, H., Eminoğlu, M. A., & Küçükyıldırım, H. (2025). Tarım Sektöründe Yapay Zeka: Uygulama Alanları ve Etkileri. İ. KAYA içinde, *Tarımda İnovasyon Ve Sürdürülebilirlik: Güncel Yaklaşımlar Ve Uygulamalar* (s. 3-25). Ankara: Iksad Publications.
- Paraforos, D. S., & Griepentrog, H. W. (2021). Digital farming and field robotics: Internet of things, cloud computing, and big data. *Fundamentals of agricultural and field robotics*, 365-385.
- Power, D. (2008). Decision Support Systems: A Historical Overview. P. Bernus, J. Blazewicz, G. Schmidt, & M. Shaw içinde, *In: Handbook on Decision Support Systems 1. International Handbooks Information System*. (s. 121-140). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Quebrajo, L., Pérez-Ruiz, M., Rodríguez-Lizana, A., & Agüera, J. (2015). An approach to precise nitrogen management using hand-held crop sensor measurements and winter wheat yield mapping in a mediterranean environment. *Sensors*, 15(3), 5504-5517.
- Rust, R. H., & Robert , P. (1980). A project to evaluate moisture stress in corn and soybean areas of western and southwestern Minnesota. *Minnesota Univ. A Study of Minn. Land and Water Resources Using Remote Sensing, Vol. 13.*, 89-98.
- Sevli, O. (2023, Aralık 29). Tarım 4.0 ölçeğinde bir dijital tarım uygulaması: Çiftlik izleme ve yönetim sistemi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi* 7(2), s. 105–116.
- Shim, J. P., Warkentin, M., Courtney, J. F., Power, D. J., Sharda, R., & Carlsson, C. (2002). Past, present, and future of decision support technology. *Decision support systems*, 33(2), 111-126.
- Swanson, E. R. (1979). Working with other disciplines. *American Journal of Agricultural Economics*, 61(5), 849-859.
- Şahin, H. (2022, Temmuz 12). Dijital Tarım, Tarım 4.0, Akıllı Tarım, Robotik Uygulamalar ve Otonom Sistemler . *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* 18(2), s. 68-83.
- Tantalaki, N., Souravlas, S., & Roumeliotis, M. (2019). Data-driven decision making in precision agriculture: The rise of big data in agricultural systems. *Journal of agricultural & food information*, 20(4), 344-380.
- Ünal, Z., & Kızıldeniz, T. (2023). Smart agriculture practices in potato production. M. M. Çalışkan içinde, *Potato Production Worldwide* (s. 317-329). Academic Press.
- Velamuri, A. (2023). Data-Driven Management in Agriculture. In. Q. Zhang içinde, *Encyclopedia of Digital Agricultural Technologies* (s. 267-276). Springer International Publishing.
- Walter, A., Finger, R., Huber, R., & Buchmann, N. (2017). Smart farming is key to developing sustainable agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(24), 6148-6150.

- Wang, H. (1997). ntelligent agent-assisted decision support systems: Integration of knowledge discovery, knowledge analysis, and group decision support.". *Expert Systems with Applications* 12.3, 323-335.
- Zakota, A. (2024). Institutional Conditions for the Development of the Agricultural Industrial Complex in the Conditions of Digitization. *Innovations in Sustainable Agricultural Systems, Volume 2: ISAS 2024*, 2, 180.
- Zhai, Z., Martínez, J., Beltran, V., & Martínez, N. (2020, March). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture* 170.
- Zhao, Y., Li, J., Li, L., Zhang, M., & Guo, L. (2013). Environmental perception and sensor data fusion for unmanned ground vehicle. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013(1), 903951.