

Derleme Makalesi / Review Article

Akıllı Tarım Uygulamalarında Kullanılan İlaçlama Sistemlerinin Araştırılması

Beyza Sunar¹, Bekir Yalçın^{1*}, Berkay Ergene², Ali Önal³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

²Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli.

³Önallar Tarım Makinaları AŞ, Konya.

e-posta: bekiryalcin@aku.edu.tr

Geliş Tarihi:23.022024

; Kabul Tarihi:25.03.2024

Öz

Geçmişten günümüze gelişen teknolojinin de etkisiyle tarımda makineleşme ve otomasyonla birlikte akıllı tarım konsepti ortaya çıkmıştır. Artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamak için akıllı tarım uygulamalarıyla insansız hava araçları, uydu ve dronlar, tarım makine ve robotlarına entegre edilmekte, sensörler ve yapay zekâ teknolojileri sürdürülebilir tarım için yenilikçi ve çevre dostu yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Bu çalışmada derinlemesine ele alınan akıllı tarımda ilaçlama sistemleri, tarım sektörünün verimliliğini, ürün kalitesini ve miktarını arttırmak, çevre kirliliğini, maliyetleri ve işçilik ihtiyacını azaltmak gibi amaçlar doğrultusunda geliştirilen teknolojik sistemlerdir. Teknolojinin getirmiş olduğu avantajları kullanarak geliştirilen ilaçlama sistemlerinin tarımda verimi ve çeşitliliği arttıracığı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler

Akıllı tarım; İlaçlama sistemleri; Dron teknolojisi; Yapay zekâ; Eklemeli imalat

Investigation of Spraying Systems Used in Smart Agriculture Applications

Abstract

The concept of smart agriculture has emerged with mechanisation and automation in agriculture with the effect of developing technology from past to present. In order to meet the food needs of the increasing world population, unmanned aerial vehicles, satellites and drones are integrated into agricultural machinery and robots, sensors and artificial intelligence technologies offer an innovative and environmentally friendly new perspective for sustainable agriculture. Smart agriculture spraying systems, which are discussed in depth in this study, are technological systems developed for the purposes of increasing the productivity, product quality and quantity of the agricultural sector, reducing environmental pollution, costs and labour requirements. It is thought that the spraying systems developed by using the advantages of technology will increase the efficiency and diversity in agriculture.

Keywords

Smart agriculture;
Spraying systems;
Drone technology;
Artificial intelligence;
Additive manufacturing

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Sanayi devrimine neden olan tarımda makineleşme, tarımın endüstri 4.0 kavramına uyarlanmasıyla birlikte akıllı tarım konsepti ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilir ve ölçülebilir tarım için teknolojiden yararlanılmalıdır. Tarımsal faaliyetlerin

çıktılarının kesin olmadığı bilinmekte olup, bu belirsizliğin sektörü olumsuz olarak etkilediği görülmektedir. Akıllı tarımın amacı, belirsizliği en aza indirmek, verimi en üst düzeye çıkarmak, kaliteli mahsuller üretmek ve bu süreçte tasarruf etmektir.

Artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamak için insansız hava araçları, uydu, dron, tarım makine ve robotlarına entegre edilmiş sensörler ve yapay zekâ teknolojileri sürdürülebilir tarım için yenilikçi ve çevre dostu yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Akıllı tarımla birlikte yeni ilaçlama teknolojilerini kullanarak mevcut olumsuz etkileri ortadan kaldırarak üretim maliyetlerini azaltmak ve hedeflenen zararlılara karşı bitki korumasını en üst düzeye çıkarmaktır. Xu vd. (2022) yaptıkları çalışmada ilaçlama operasyonlarının süre ve buna bağlı olarak maliyetini düşürebilmek adına bir dizi optimizasyon gerçekleştirmiştir. Bir diğer çalışmada ise ekim alanında en kısa yolu en iyi koşullarla sunan bir optimizasyon çalışması yapılmıştır (Tian vd., 2023). Son olarak, Mukhamediev vd. (2023) de çalışmalarında insansız hava araçlarının tarımsal faaliyetlerinde kullanımını aktif bir hale getirmek adına maliyet odaklı bir optimizasyon sunmuşlardır.

1.1. Tarımda teknolojik dönüşüm

Artan dünya nüfusu, temel ihtiyaçlardan biri olan gıda sorununu gündeme getirmektedir. Bu durum sürdürülebilirlik için çözüm arayışlarına yol açmaktadır. 2050 yılına doğru dünya nüfusunun giderek artacağı ve gıda ihtiyacını karşılamak için tarımsal üretimin %70 oranında artmasının gerektiği tahmin edilmektedir. Ancak tarımsal üretimdeki bu artışın nasıl sağlanacağı ve değişkenlik gösteren iklim koşullarında sürdürülebilirliğinin nasıl sağlanacağı günümüzde artık önemli bir soru olarak yanıt bulmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Küresel sera gazı emisyonlarının %11 ve %15'i endüstriyel tarım uygulamalarının sonucudur. Bunun yanı sıra, kontrolsüz üretim artışının iklim değişikliği üzerinde olumsuz bir etkisi vardır. Nüfus artışının diğer bir etkisi de dünya çapında hızla artan kentleşme ve buna bağlı olarak tarım arazileri ile tarımsal iş gücündeki azalmadır. Tüm bunlara ek olarak, tarım sektörünün yüksek teknoloji ve girdi maliyetleri ile enerji talebindeki artış da eklendiğinde, tarımsal üretimi 2050 yılına kadar arttırmak için bir eylem planına ihtiyaç olduğu ortaya çıkmaktadır. Günümüzde ise teknolojik gelişmenin etkisiyle tarım sektöründe büyük bir değişim yaşanmakta ve teknolojik uygulamalar şu anda tarım sektörünün geleceğini

şekillendirmektedir. Mevcut uygulamaları daha iyi göstermek için tarımdaki teknolojik değişimi incelemek çok önemlidir (Saygılı vd., 2018).

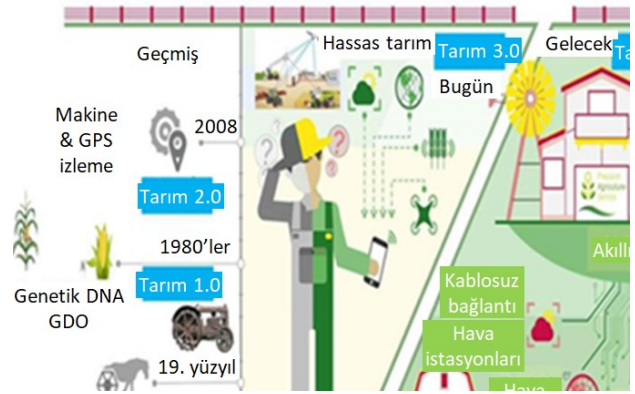
Akıllı tarımda geleneksel nokta uzun yıllar süren bir gelişim aşamasının sonucudur. Bu aşamalar (Şekil 1);

Tarım 1.0: Temel araç olarak insan gücü ve hayvan gücüne dayanan tarım

Tarım 2.0: Tarımda traktör ve motor kullanımının başlaması

Tarım 3.0: Dijital tarım uygulamalarına ve kontrol sistemlerine geçiş

Tarım 4.0: Akıllı ve sürdürülebilir tarıma geçiş.



Şekil 1. Tarımda Teknolojik Dönüşüm (Tarımda Dijitalleşme, 2023)

1.1.1 1. Tarım devrimi

İngiltere'de 17. yüzyılın ortalarında giderek artan bir nüfusun gıda ihtiyacını karşılamaya yönelik tarımdaki değişiklikler Birinci Sanayi Devrimi'nin yolunu açmıştır. Tarımdaki bu değişimlere 'Tarım Devrimi' adı verilmiştir (USB, 2017). Bu tarım döneminde hayvanların evcilleştirilmesi ve bitki yetiştiriciliğinin yapıldığı, makinelerin yaygın olmadığı, verim ve etkinliğin düşük olduğu, üretimin çevre koşullarına bağlı olduğu bir aşama olarak kabul edilmiştir. İşlerin yoğun emek ile yürütüldüğü bu dönemde kürek, orak gibi basit aletler kullanılmıştır (Dhanaraju vd., 2020). Besin ve enerjinin temel kaynağı olan buğday, turuncgiller, sebzeler vb. bitkiler bu dönemde yetiştirilmiş ve koyun, keçi, köpek gibi hayvanlar evcilleştirilmiştir.

1.1.2 2. Tarım devrimi

İngiltere’de ekilebilir arazilerin büyük çiftliklerde birleştirilmesinden sonra üretim daha iyi kontrol edilmeye başlanmış ve tarımda buhar makineleri ile yeni tür makineler ortaya çıkması üretkenlik ve karlılığı arttırmıştır. Tarım makinelerinin ortaya çıkması ve 1840’larda gübre kullanımıyla çiftliklerde etkinlik ve üretkenliğini arttıran Tarım 2.0 çağı başlamıştır. 1870 ve 1914 yılları arasında 2. Sanayi Devrimi ile elektrik üretimine ve seri üretime olanak sağlayan montaj hattına geçilmiştir (Persson, 2010). Bununla birlikte tarım birçok sektörle karşılaştırıldığında üretim koşullarını önemli ölçüde iyileştirmiş ve hızını arttırmıştır. Bu dönemde gübre, azot takviyesi, ilaç kullanımı ve tarımda mekanikleşme de artarak verim potansiyeli de önemli ölçüde artış göstermiştir. Ancak aynı zamanda çevresel bozulma, kimyasal kirlilik, aşırı enerji tüketimi ve doğal kaynak israfı gibi önemli olumsuz etkiler de gelişmiştir (Dhanaraju vd., 2020).

1.1.3 3. Tarım devrimi

Dijital devrim olarak bilinen Üçüncü Sanayi Devrimi 1960’larda yarı iletkenlerin, ana bilgisayarların, kişisel bilgisayarların ve internetin geliştirilmesiyle başlamıştır. 1960 yılında, dünya nüfusu 3 milyara ulaşarak “endüstriyel” tarım çağının başladığı yıl olmuştur. Endüstriyel tarım yöntemleri Batı ülkelerinde iyi bir şekilde benimsenerek kimyasal girdileri önemli oranlarda artmıştır. Tarım ve gıda üretiminin makineleşmesi olağan hale gelmiştir (Mckenzie S, 2007). Bu dönemde GPS teknolojisi ile ilaçlama makinelerinde verim kontrolü, biçerdöverlerde VRA sistemleri ile gübreleme işlemlerinin takip edilmesi, veri işlemeyi sağlayacak bilgisayar programları geliştirilmiştir (Makfed, 2020).

Aynı zamanda bu dönem bilgisayar ve dijital devrim olarak adlandırılan üçüncü sanayi devriminin başlamasıyla yeni mahsuller, sulama, gübreleme, tarım ilaçları, mekanizasyon, teknolojik bilgi aktarımı ile çiftçilere malzeme tedarik yoluyla mahsul verimliliğini ve üretkenliği arttırarak açlığı sona erdirmeye yönelik tarımda yapılan çalışmalar

bütününe "yeşil devrim" adı verilmiştir. Tüm bu geliştirme çalışmaları dünyanın artan nüfusunu beslemeyi amaçlasa da, üretim maliyetleri arttıkça çevresel sorunlara yol açmıştır (Mckenzie S, 2007).

1.1.4 4. Tarım devrimi

2011 yılından sonra ilk kez Almanya’da Endüstri 4.0 olarak bilinen, sanayi sektörü ile bilişim teknolojilerinin birlikte çalışacağı, üretimde maksimum düzeyde verimlilik entegre bilgisayar sistemleri sayesinde elde edileceği ve yapay zekânında ön planda olacağı sanayi sektöründe dönüm noktasının yaşandığı açıklanmıştır. Endüstri 4.0 ile tarım sektöründe de sanayide yaşanan devrime benzer bir süreç yaşanmaya başlamış ve böylece Tarım 4.0 adı verilen tarım devri başlamıştır (Karaköy & Çilesiz, 2022).

Tarım 4.0 beraberinde farklı kavramları da getirmiştir. Literatürde terminolojik olarak akıllı tarım, dijital tarım ve hassas tarım gibi terimler kullanılmaktadır. 1990’lı yıllardan itibaren tarımsal bilgi teknolojisiyle farklı terimlerle tanımlanmaya çalışılmıştır. Uzmanlar arasında önce "hassas tarım" terimi, ardından "akıllı tarım" ve "dijital tarım" terimleri kullanılmıştır (Kılavuz & Erdem, 2019).

Bir felsefe olarak akıllı tarım, doğanın heterojenliğini yöneterek bilgiye dayalı tarımsal üretimdir. Yani doğru zaman, doğru yer ve doğru miktarda girdinin optimum şekilde uygulanmasıdır. Akıllı tarım felsefesi, tarım teknolojileri tarafından desteklenmektedir. Geleneksel tarımın geleceği olarak gördüğümüz “akıllı tarım” kavramının, sağladığı ekonomik faydaları ve çevre kirliliğini azaltmadaki rolü çok önemlidir. Örneğin geleneksel tarımdaki bitki besin değişkenlerine dikkat edilmeden tarlanın tamamına veya yetersiz bir kısmına uygulanan gübre bitki gelişimine zarar verir. Ancak akıllı tarım teknolojilerinin kullanılması ile toprak ve bitkinin ihtiyacını karşılayacak uygulamalar yapılabilmektedir. Ayrıca toprağın ihtiyaç duyduğundan daha fazla gübre uygulanması agronomik olarak düşük verimle sonuçlanabilir. Gübre israfını önlemek, mahsulleri korumak ve ekonomik kaybı önlemek için geleneksel tarımdan akıllı tarıma geçiş önemlidir. Geleneksel tarımın

dönüşümü için örnekte de görüldüğü gibi geleneksel tarımdan akıllı tarıma geçiş tercih edilmiştir (Tekin, 2018). Çizelge 1’de geleneksel ve akıllı tarımın mukayesesi sunulmuştur.

Çizelge 1. Geleneksel tarım ile akıllı tarımın karşılaştırılması (Karaköy & Çilesiz, 2022).

Geleneksel Tarım	Akıllı Tarım
Yoğun işgücü gerektirir.	Geliştirilen robotik cihazlar ve dron teknolojisi sayesinde daha az işgücü ile yapılabilmektedir
Ürün elde etme süreci daha uzundur ve bunun sonucu olarak üretim miktarı düşüktür	Daha kısa sürede ürün yetiştirilebilmektedir. Buna bağlı olarak üretim oranı yüksektir
Bitki hastalık ve zararlıları çoğu zaman geç dönemde farkedilebilmektedir	Bitki hastalıkları daha erken tespit edilebilmektedir
Arazi durumu, ürün ve verim hakkında tahmin yürütülmektedir	Büyük oranda hassasiyet ve doğrulukla sonuca ulaşılabilir
Aşırı girdi kullanımı ve düşük verimlilik	Modern tarımda girdiler daha düşüktür
Bu teknikler çok zaman alır ve üretim azdır	Zamandan tasarruf sağlanır ve bilime dayalı üretim yapılıdır
Geleneksel tarım uygulamaları, geçmişte çok eskilere dayanan ve artık uygulanmayan uygulamalardır	Çiftçiler, sulama için tüp kuyulara erişebildikleri için muson yağmurlarına bağımlı değildiler
Gübre olarak inek gübresi ve diğer doğal gübre türleri kullanılır	Pestisitler ve kimyasal gübreler kullanılmaktadır
Kullanılan geleneksel tohumlar vardır	Modern tarım tamamen sermaye yoğunluğuna dayalıdır

1.2 Akıllı tarım

Akıllı tarımın amacı, tarladan toplanan veriler analiz edilerek sorunlar tespit edilir ve erkenden hedefe yönelik pratik çözümler ortaya konulur, bir başka deyişle toplanan bilgilerin akıllıca kullanılmasıdır. Sahadan gelen bilgileri dijital toplama, analizi ve depolanması “dijital tarım” olarak tanımlanmaktadır. Sensörlerden, uydulardan ve dronlar gibi dijital teknolojiler tarafından toplanan

veriler çiftçi kullanımına web ara yüzü platformlarında sunulmaktadır.

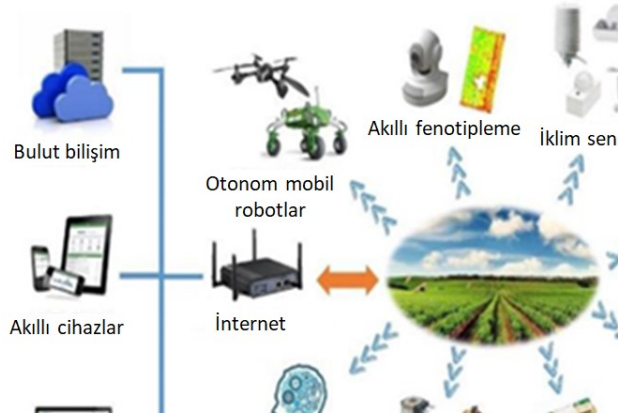
Akıllı tarım felsefesi, işlenmiş bilgilere dayalı yönetim kararları vermeye dayalıdır. Çünkü sahayı gezdikten ve ürünün durumuna baktıktan sonra ürünle ilgili karar vermek yerine pratik çözümler sunan geliştirilmiş ileri yöntem akıllı tarım sistemleri daha sürdürülebilir bir yöntemdir. Çiftçi yeterince bilgili ve deneyimli de olsa insan gözünün göremediği problemler teknoloji sayesinde tespit edilir (Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020).

Akıllı tarım bitki ıslahı ve genetik devrimden sonra nesnelerin İnterneti (IoT), insansız hava araçları (İHA), hassas ekipman, sensörler ve aktüatörler, büyük veri, coğrafi bilgi sistemleri, robotik vb. bilgi ve iletişim teknolojileri (BİT) çözümlerinin entegrasyonuna dayalı tarımı ele almaktadır (Smart Farming, 2023). Teknolojinin gelişmesiyle hizmetlerin en çok üreticilere sunulduğu tohum ekim döneminden başlayıp ürün hasat dönemine olan süreçte üretim alanının takibi, bilgi iletişim teknolojileri, yapay zekâ ile çiftlik yönetiminin kolaylaştırılması, toprak haritalarını coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak oluşturmak, iklim değişikliğine bağlı risk analizlerini yapmak, ürünlerin verimini ve kalitesini tahmin etmek, belirli programlar dâhilinde kültürel uygulamaların gerçekleştirilmesi, insansız hava araçlarıyla ilaçlama ve gübreleme işlemlerini gerçekleştiren uygulamalardır (Çokuysal, 2021).

1.2.1 Akıllı tarımda kullanılan bilişim teknolojileri

İnsanlar yüzyıllar boyunca farklı iletişim araçları geliştirmiştir. Teknoloji, bilim ve bilgideki gelişmelerle birlikte, 19. yüzyılda telgrafın icadı iletişim çağını başlatmıştır. Telgraf gibi kablolu iletişim araçlarının dezavantajı, iki veya daha fazla sistem arasındaki iletişimin kablo bağlantısı ile sağlanmasıdır. Radyo frekansı, kızılötesi gibi teknolojilerin gelişmesiyle birlikte bağlantılar kablosuz olarak sağlanmıştır. Kablosuz ağlara geçiş ile lisanssız frekanslar, verimlilik, kurulum kolaylığı, mobilite, ölçeklenebilirlik, güvenlik ve maliyet açısından avantaj sağlamıştır. Kablosuz teknoloji birçok alanda kullanılmaktadır (Yapay Zekâ, 2023).

Akıllı tarım sistemleri uzaktan izleme sistemi, yapay zekâ, büyük veri, bulut bilişim, IoT, makineden makineye iletişim ve mobil cihazlar gibi uygulama araçlarını içermektedir. Bu sistemin amacı, tarımda kullanılan girdileri azaltmak ve tarımsal uygulamaların üretim aşamasında doğru uygulanmasını sağlayarak çevresel ve tarımsal sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktır (Ertaş, 2020). Akıllı tarım sistemleri ile su, sıcaklık, ışık ve nem gibi verilerin analizini yapabilen sensörlerle yaprak rengi ve ışık yansımaları gibi çeşitli görüntüleme sensörlerini kullanarak bitkilerde meydana gelen fizyolojik, biyokimyasal vb. süreçlerin takibi yapılmaktadır. Böylece bitki besin maddeleri, herbisit ihtiyaçları, pestisit kullanımı, sulama, gübreleme ve hasat zamanının belirlenmesi gibi tarımsal uygulamalar doğru şekilde uygulanmaktadır. Şekil 2'de akıllı tarım teknolojilerine ait bir görsel paylaşılmıştır.



Şekil 2. Akıllı tarım teknolojileri (Karaköy & Çilesiz, 2022).

1.2.1.1 Bluetooth teknolojisi

Bluetooth kablosuz ağı ilk olarak 1994 yılında Ericsson şirketi tarafından kullanılmıştır. Cihazların iletişim kurmasını ve veri aktarımını sağlayan bir teknolojidir. Bluetooth kısa mesafeli radyo frekansı ile iletişimi sağlar. Bluetooth teknolojisi, yoğun bir trafik yükünü taşımak için tasarlanmamıştır. Bluetooth teknolojisi kısa menzil haberleşmeyi sağlamak amacıyla telefonlar, LAN erişim aygıtları, modem, dizüstü bilgisayarlar, kulaklık, yazıcı, klavye gibi birçok cihazda kullanılabilir. Sistem, makineden makineye, makineden mobil cihaza veya mobilden makine arasında veri aktarımına olanak sağlamaktadır. Bu teknolojiyle birlikte sera

izleme ve kontrol sistemi geliştirilmiştir. Sistem ve sensörler sayesinde her türlü veri toplanarak merkezi kontrol sistemine iletilir böylece çiftçilerin daha iyi ürün almasına yardımcı olmaktadır (Tekin vd., 2011).

1.2.1.2 Yapay zekâ

Günümüzde bilgisayarlar, görsel algılama, karar verme, konuşma tanıma ve diller arası çeviri gibi insan zekâsı gerektiren görevleri yerine getirebilen bilgisayar sistemleri, sohbet robotları, fotoğraf-video tanıma gibi yapay zekâ uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yapay zekâ ilk olarak 1956 yılında bir konferansta John Mc Carthy tarafından dile getirilmiştir (Miller, 2011). Yapay zekâ, insani yeteneklerin makinelerle öğretilmesi ile insanlar gibi düşünüp, yorumlayan ve karar veren algoritma ve yazılımların ele alınması olarak tanımlanmaktadır.

Yapay zekâ çalışmalarının asıl amacı, insan zekâsını yapay zekâ çalışmaları model olarak insan zekâsı gerektiren işleri makinelerle yapılmasını sağlamaktır. Oyunlarda, matematikte, çeviri işlemlerinde, görüntü işleme, veri sistemleri, makinelerin öğrenimi ve robotik gibi çeşitli alanlarda geliştirilmekte ve kullanılmaktadır (Torkul vd., 2017).

Tarımsal üretimi desteklemek için son yıllarda kullanılmaya başlanan yapay zekâ uygulamaları daha verimli üretime yol açacaktır. Üreticiden tüketiciye tüm aşamalarda her zaman yapay zekâ uygulamaları gözlemlenmektedir.

Akıllı tarım teknolojileri yapay zekâ uygulamaları ile yeni bir dijital tarım konsepti sunmakta ve yaygınlaşarak birçok gelişmiş ülkede uygulanmaktadır. Ürün verim tahmini ve bitkilerde hastalık tespitleri yüksek çözünürlüklü kameralarla ürün görüntülerini yapay zekâ ve görüntü işleme teknikleri ile ortaya koymaktadır. Ek olarak elde edilen veriler ışığında yapay zekâ teknolojisi kullanılarak otonom olarak sulama, gübreleme ve ilaçlama uygulamaları yapılmaktadır (Kosgeb, 2023).

1.2.1.3 Büyük veri

Günümüzde elde edilen veriler elektronik ortamda işlenip, bu ortamda saklanmaktadır. Elektronik

ortamın gelişmesiyle birlikte veri boyutu artmakta ve veriler giderek çeşitlenmektedir. Veri yönetimi, değer elde edilerek ekonomiye dönüştürülmesi "Veri Bilimi" olarak isimlendirilir. Büyük veri ise hızlı ve büyük miktarlarda farklı formatlarda üretilen verilerdir.

Elektronik ortamda yapılan işlemler, belgeler, uygulamalar, videolar, fotoğraf, sosyal ağlar, resmi ve özel kayıtlar gibi vb. kayıtların oluşturduğu verilerden oluşmaktadır. Elektronik veri oluşturan cep telefonları, bilgisayar, tablet vb. gibi aygıtlardan milyarlarca adet olduğundan verilerin boyutu da katlanarak büyümektedir.

Büyük Veri oluşumunun 5 bileşeni vardır. Bunlar 5v olarak adlandırılan variety, veracity, velocity, volume ve value'dir:

1-) Variety (Çeşitlilik): Farklı kaynak ve formatlardan elde edilen her türlü veri çeşitliliğini kapsar. Video, ses, e-posta, finansal veri, e-ticaret gibi farklı verilerden oluşmaktadır.

2-) Veracity (Geçerlik): Veri oluşumunda güvenilirlik, doğruluk ve tutarlılık önemlidir. Büyük veri analizinde bu tür faktörler olmadığı sürece verileri anlamlandırmak zorlaşmaktadır.

3-) Velocity (Hız): Verinin saniye cinsinden üretilmiş olması verinin hızını temsil eder. Çeşitli sensörler, tablet, bilgisayar ve IoT gibi cihazlar verileri çok hızlı bir şekilde üretir. Hızlı veri büyümesi, analizi için hem yazılım hem de donanımsal yoğun bir çaba gerektirir.

4-) Volume (Veri Büyüklüğü): Yapılan her hangi bir işlemin (megabayt, terabayt vb.) gibi boyutlara ulaşması verinin boyutunu oluşturmaktadır. Büyük veri analizinin mümkün olmadığı durumlarda veri hacminin büyüklüğü sorun teşkil etmektedir.

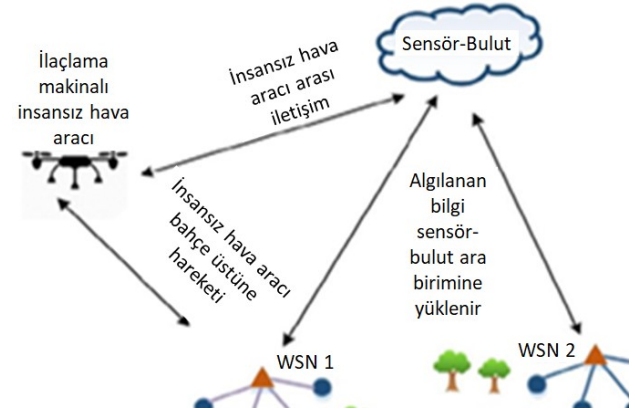
5-) Value (Değer): Veri analizinden anlamlı bir sonuç elde etme sürecidir. Değer üretilmeyen veri

depolama, işleme ve aktarılması gibi durumlardan bir anlam da ifade etmez. Çıkarılan sonucun eylemlere artı değer katması da önemlidir (Büyük Veri, 2023).

1.2.1.4 Bulut bilişim

Bulut bilişim, tarımsal bilgileri ortak bir havuzda toplayarak analiz edilmesinde ve uygun biçimlerde toplanan verilerin kurulan hizmet sağlayıcılara aktarımını sağlayacak uygulama yazılımlarını geliştirmede kullanılmaktadır. İnternet üzerindeki bütün program, uygulama ve verilerin bulutta depolanmasıyla bu bilgilere internet bağlantısı olan her yerden ve cihazdan kolaylıkla ulaşmak mümkündür. Her noktaya erişim sağlanarak işlerin daha esnek ve hızlı yapılabilmesi, izlenebilir, kontrol edilebilir ve raporlanabilmesi söz konusudur (Şekil 3).

Bulut bilişimde üç farklı hizmet modeli mevcuttur ve bunlar yazılım, platform ve altyapı hizmetidir. Bulut teknolojisi sayesinde, sunucu ekipmanı, soğutma sistemleri, personel giderleri vb. maliyet tasarrufu edilerek uygun yöntemlerle veri depolama avantajı sağlanmıştır. Birçok alanda maliyet avantajları nedeniyle çoğu şirket bulut bilişimi tercih etmektedir.



Şekil 3. Akıllı Tarımda Sensör-Bulut Bilişimi (Makineçiler, 2023)

Bulut bilişim, önümüzdeki günlerde daha fazla gündemimize girecek ve tüm iş ve süreçleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olacaktır. Büyük veri tarafından üretilen devasa veri hacmi, verilere

sürekli erişim ve maliyetlerin düşmesi her sektörü bulut bilişime bağlı hale getirecektir (Yıldız, 2009). Bulut verileri, birçok alanda olduğu gibi akıllı tarımda da etkin rol oynamaktadır. Hassas sensörler ile sahadan alınan veriler bulut sisteminde saklanarak yapay zekâyla işlenmektedir.

1.2.1.5 Nesnelerin interneti (IoT)

Çiftlik yönetiminde nesnelerin internetinin kullanımına dayalı bir teknoloji olan akıllı tarım, iklim faktörü, toprak özellikleri vb. gibi değişikliklerin izlenmesine olanak sağlar ve mahsul üretimiyle ilgili birçok konuyu da ele alır. Bu teknoloji, yer sensörleri, robotlar, dronlar ve diğer cihazların otomatik olarak çalıştırılması için internet kullanımıyla birbirine bağlanmalarını sağlar (Almetwally vd., 2020). Başka bir deyişle, küresel tarım ortamında verimlilik ve üretimi arttırmak için kullanılan teknolojik gelişmedir. Nesnelerin internetinde kullanılan akıllı cihazlar ağ kurma, bilgi toplama, depolama ve analiz etme yeteneğine sahip ayrıca verileri bulut hizmetlerine aktarma seçeneğine de sahiptirler (Ercan & Kutay, 2016). IoT, akıllı şehir, akıllı ev, akıllı cihaz, akıllı tarım gibi akıllı olan her ortamda sıra dışı ve pratik çözümler sunan akıllı ve geleceği olan teknolojidir. Elektronik minyatürleştirilmesi ve ağların gelişimi ile kablosuz ağ üzerinden bağlanabilen IoT teknolojisi aynı zamanda bu ağ ile web teknolojisiyle erişilebilir algılayıcı cihaz ve ağlardan oluşur. Nesnelerin interneti devriminin temeli, verimlilik, kapsam ve ölçeklenebilirlik gibi üç temel unsurun ihtiyaçlarını karşılayabilen iletişim teknolojisi benimsenmesidir.

IoT uygulamalarına dayalı akıllı tarım teknolojisi, ürün kalitesinin iyileştirilmesi, sulama ve bitki koruma, gübreleme ve ilaçlama süreci, hastalık kontrolü gibi tarımsal uygulamalarla ilgili birçok avantaja sahiptir. Bu teknoloji sulama ve gübre uygulamalarında doğru kararları vermek için tüm cihaz ve gereçlerin birbirine bağlanmasına izin vermektedir. Aynı zamanda bitki geliştirme süreci ve kültürel işlemin otomatikleştirilmesi için günlük toplanan veriler kablosuz bağlantı kullanarak son kullanıcıya iletimini sağlamaktadır.

Tarım sektöründe IoT uygulamalarının yaygınlaşmasının iki ana nedeni şu şekildedir:

Bunun nedeni artan verim ve sulama suyu miktarındaki tasarrufla açıklanabilir. Bu sonuçları almak için sistemin kullanıldığı en yaygın tarımsal uygulamalar; genel durum takibi, akıllı sera uygulamaları, gübre yönetimi sulama suyu kalitesi izleme, sulama yönetimi, hastalık ve zararlı takibi ve envanter takibidir (Yetik & Aşık, 2021).

1.2.1.6 5G

İletişim amacıyla teknolojinin dijital dönüşümü ile birlikte haberleşme amacıyla kullanılmaya başlanan birçok cihaz insan yaşamının vazgeçilmezi haline gelmiştir. İletişim alanında beşinci nesil hücresele teknoloji "İnsandan İnsana", "İnsandan Makineye" ve "Makineden İnsana" vb. hedef doğrultusunda kullanıcılar adeta bağımlı hale gelmektedir. Mobil hizmetlerde ve uygulamalarda taleplere cevap vermek ve iletişim teknolojisini hayatın her alanında kullanarak tüm nesnelere iletilim kurma imkanı sağlamak 5G'nin en önemli hedefleridir (Özduman vd., 2020).

5G, bir önceki nesil mobil iletişim teknolojisi LTE ile uyumlu ve verileri daha yüksek kapasite ve hızda aktarmak için tasarlanmıştır. 5G daha güvenilir koşullar altında daha hızlı veri iletimi için pek çok alanda tüketici ve hizmet deneyimini iyileştirmeyi hedeflemektedir. 3G ve 4G ile karşılaştırıldığında ise veri aktarım hızı, enerji tasarrufu, maliyet yatırımları vb. konularda büyük faydalar göstermiştir.

IoT, birçok görevi, üretkenliği ve öngörülebilirliği arttırmak amacıyla veri toplamak için internet üzerinden bağlanan sensör, robot ve dronları içerir. Ayrıca akıllı tarım yapay zekâ kullanılarak toprak özelliklerinin belirlenmesi, iklim koşullarına ve su mevcudiyetine göre ürün seçim tekniklerinin belirlenmesi, bitki hastalıkları tespiti, verimi arttırmak için uygun pestisitlerin seçimi ve uygulamalarında uygun olan sensörlü aygıtlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Özellikle yakın gelecekte verimlilik, en az emek ve kalitenin üst düzeye çıkarılmasını esas alan 5G ağ mimarisi tarım endüstrisinde oldukça önemli rol oynaması beklenmektedir.

Akıllı tarım teknolojisi, geleneksel üretim yöntemlerinin yerini alarak üreticilerin alışkanlıklarına entegre edilmesiyle çiftçilerin daha

bilgili hale gelmesine ve tarımın gelişmesine katkıda bulunarak tarım seyrini değiştirecektir. Bir yandan akıllı tarım uygulamaları üretimde ürün miktarını ve kalitesini artırmayı amaçlarken bir taraftan da ürün kaybının en aza indirilmesi ve işçiliğin en aza indirilmesi esasına dayanmaktadır. Akıllı tarım, iklim değişikliği, toprak yapısı, gıda güvenliği, su kıtlığı, doğal kaynakların kullanımı, işgücü gibi bir iletişim ağı kullanmaktadır (Yu Tang, 2021).

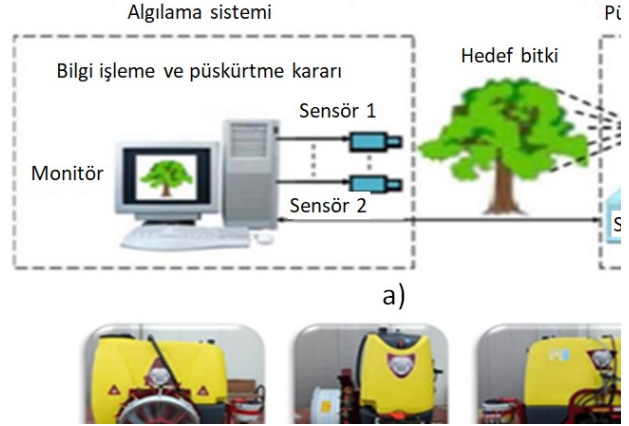
İlaçlama dronları, yardımcı robot, otonom traktör ve otonom çiftlik, sürekli teknolojik gelişme ve giderek büyüyen bağlantı kapasitesi ile desteklenmesi, tarım ve gıda sistemlerinde dijitalleşmede günümüzün örnekleridir. Bu dijital dönüşüm, IoT, büyük veri, blok zinciri ve yapay zekâ algoritmalarını kullanan gerçek zamanlı veri analizini içermektedir. Tarımsal üretimin sürekli izlenmesi verim ve kalite açısından önemlidir. 5G uygulamaları tarımsal ürün bilgilerinin gerçek zamanlı paylaşımını sağlamaktadır. Tarım ürünlerinin kalitesi için izlenebilirlik sistemi kurulması, tarım ürünlerinin tüm sürecinin takibi, bilgi asimetrisi derecesi düşürülmesi, tarım ürünlerinde kalite ve güvenliğin sağlanması yetiştirilen tarım ürünlerinin uluslararası arenada rekabet düzeyinin yükselmesine katkı sağlamaktadır (Van Hilten & Wolfert, 2022).

2. Akıllı Tarım Uygulamalarında Kullanılan İlaçlama Sistemleri

2.1 Akıllı tarımda püskürtme sistemleri

Genel amaçlı olarak kendi kendine yeten bir kimyasal püskürtme sistemi iki temel teknoloji içermektedir: hedeflenen algılama için sensör teknolojisi ve püskürtme uygulaması robotiktir. Bu nedenle, akıllı püskürtme sistemleri genel olarak bir hedef tespiti yapan sistem ve bir de kimyasal püskürtme sistemlerinden oluşmaktadır. Sensör teknolojisine dayalı akıllı bir püskürtme sistemi Şekil 4'te gösterilmiştir. Algılama sistemi, hedef tespit sensörlerini, veri işlemeyi ve karar verme sistemlerini entegre etmekte ve püskürtme sistemlerini, kontrol ünitesini ve püskürtücüyü içermektedir. Şekil 4b'de ise ülkemizde tarımsal ilaçlama sistemleri üzerine de faaliyet gösteren

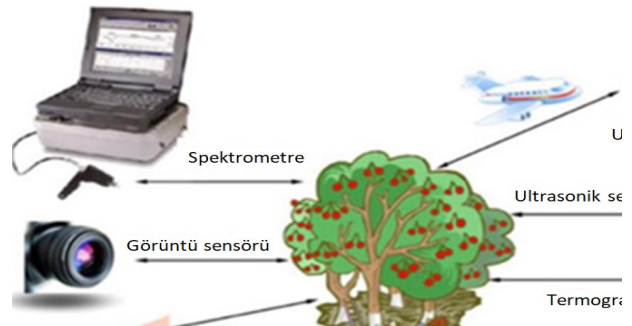
Önallar Tarım Makineleri AŞ'ye ait bir püskürtücüye ait görsel sunulmuştur.



Şekil 4. a) Akıllı bir püskürtme Sistemi (Karaköy & Çilesiz, 2022), b) Tarımsal ilaçlama makinesi.

2.2 Hedef tespit sistemleri

Tarımda yüksek verimlilik ve düşük işçilik gerekliliği ile yabancı otların hedefli tespiti, sınıflandırılması ve lokalizasyonu, zarar gören ve hastalıklı bitkilerin tespiti ve tarlada ciddi tahmininin esasına vurgu yapılmaktadır. Yabancı otları kontrol ederken, algılanan ana nesnelere yabancı otlar, ekinler veya ağaçlardır. İki araştırma hattı vardır: ilk olarak, tüm bitkilerin tespit edildiği ve yabancı otların tanımlandığı yabancı ot tespiti ikincisi, tarla bitkisi tespiti ve diğer tüm bitkilerin yabancı ot olarak kabul edildiği mahsul tespitidir. Pestisit yönetimi, genellikle hastalık oranları ve ciddiyetiyle ilgili olan bitkilerin büyüme durumunu ölçer ve analiz eder. Meyve bahçesi ilaçlamasında odak noktası genellikle bitki konumu, gölge hacmi, hastalık oranı ve şiddet seviyesidir. Görüntü sensörü, uzaktan algılama, spektrometreler, termograflar gibi hedef tespiti için çok sayıda sensör Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Hedef tespit sensörleri (Karaköy & Çilesiz, 2022).

Tümü, 109 nm ile 1023 nm arasında değişken dalga boylarında elektromanyetik absorpsiyon sergileyen spektral teknolojiye dayalı olarak geliştirilmiştir. Yeşil bitki örtüsünün yaygın olarak uygulanan dalga boyu, görünür ila yakın kızılötesi spektrumu ifade etmektedir. Tipik olarak, spektral teknolojinin uygulanması spektral analiz ve görüntü işleme olarak iki gruba ayrılmaktadır. Spektral aralığa göre görüntü renkli görüntüye ve spektral görüntüye ayrılabilir.

Elektromanyetik spektrum analizde bir spektrometre veya radyometre spektrumun belirli bir bölümünde ışığın spektral yansıması ölçmek için kullanılır. Spektral teknolojinin, görüntü işleme teknolojisinin ve veri toplama teknolojisindeki gelişmeler sayesinde bitkilerin büyüme durumlarını izlemek ve analizi için bunların birleşik analitik teknikleri geliştirildi. Sonuç olarak, araştırmalarda uzaktan görüntüleme ve termografi giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ayrıca meyve bahçelerinde kök tespiti için lazer sensör ve taç için ultrasonik sensör gibi seçici olmayan konum dedektörleri de kullanılır.

Algılama algoritmaları, sensörler tarafından ölçülen verilere dayanarak geliştirilir. Genel olarak, görüntüler üç yöntemle analiz edilebilir: görsel doku, biyolojik morfoloji ve spektral özellikler. Spektral özellikler, analizin temel bilgileridir. Biyolojik morfoloji ise organizmanın şekli, yapısı ve konfigürasyonudur. Örneğin, seçici herbisitlerin gerçek zamanlı uygulaması için görüntüleri geniş ve dar kategorilere ayırmak için kenar tabanlı bir yabani ot sınıflandırıcı algoritması geliştirildi. Görsel doku analizinde bölge tanımlı görüntü dokusu içeriğini ölçmek için kullanılır. Dokuları tanımlamak için istatistiksel, spektrum ve yapısal kullanılan üç ana yöntemdir.

2.3 Püskürtme sistemleri

Püskürtücüler genellikle birden çok sayıda geometriğe sahiptir. Tipik bir püskürtme memesi sıvıyı sıkıştırmak için bomları veya sıvıyı memelere iletmek için bir pompanın yanı sıra pompayı, boru ve memeyi kontrol etmek için araçlar içerir. Bu sistemi kontrol etmek için, püskürtme tekniği, püskürtme modeli ve değişken püskürtücünün

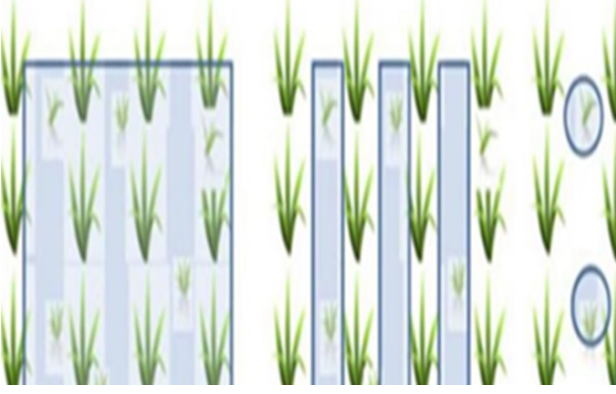
kontrolü olmak üzere dikkate alınması gereken üç genel husus vardır.

Kimyasal püskürtmenin teknikleri hava püskürtme, elektrostatik ve hidrolik püskürtmedir (Giles vd., 2008). Geleneksel hava üfleli püskürtücüler, püskürtme karışımını iletmek için bir basınç pompası kullanmaktadır. Bu hava akışı büyük bir fan tarafından üretilerek ve spreyi hedefe taşımak için kullanılır. Bu tekniğin avantajı, spreynin hızlı bir şekilde iletilmesi ve meyve bahçesi hava hacmini pestisit yüklü bir sisle artırılabilmesidir.

Sürüklenme sorunu da dezavantajlardan biridir ve sis hedeflere ulaşmadan önce havaya yayılmaktadır. Elektrostatik püskürtme zıt yükleri çeken ve iten yüklere dayalı bir püskürtme tekniğidir. Bir kimyasal karışım nozuldan ayrıldığında negatif yüke maruz kalmaktadır. Daha sonra bu yükler pozitif yüklü yaprak tabakaya çekilir. Elektrostatik püskürtme, pestisit birikimini iyileştirmek ve nihayetinde ekolojik atıkları azaltmak için geçerli bir yöntem olarak kabul edilmiştir (Giles vd., 1991).

Bir hidrolik püskürtücü, pompa basıncını kullanarak kimyasalları bitkilere iletir. Püskürtme malzemesi çoğunlukla ıslak veya damla olarak uygulanır. Bom nozulları spreyi küçük damlacıklara ayırarak yapraklara yönlendirir. Hava ve elektrostatik atomizörlerden daha büyük damlaya sahiptir. Şekil 6'da da gösterildiği gibi yayma, bant ve hedefli olmak üzere üç genel püskürtme modeli vardır. Geleneksel olarak, yayılmış sprej, hedef olsun veya olmasın, püskürtücü geçişine büyük verimsizlikle uygulanmıştır ve genellikle % 60-70'e varan hedef dışı kayıplara neden olur. Hedefsiz kayıpların israfını ve çevre kirliliğini azaltmak için bantlama ve hedefli ilaçlama yöntemi geliştirilmiştir.

Bant desen, spreji geniş alanın tamamı yerine seçilen alana uygular. Sahada, bantlama ve mekanik uygulamanın yalnızca kimyasalların kullanımını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda dikkatli bir kimyasal seçiminin daha sonra minimum çevresel etkiyle sonuçlanabileceği gösterilmiştir. Hedeflenen püskürtme sistemi, tarladaki hasarlı alanlardaki bitkilerin tespitini ve ardından püskürtmenin iyi gittiğini doğrulamayı gerektirir.



Şekil 6. Farklı ilaçlama modelleri (Karaköy & Çilesiz, 2022).

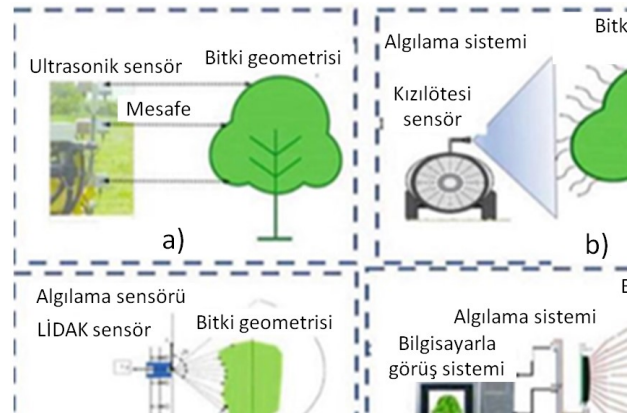
Tünel püskürtücü, bir bant modeline dayalı elektrostatik bir yöntemle geliştirilmiştir. Kalkan, sıranın her iki tarafının yüksekliğinin çoğunu kaplar. Kap fanı, uygulama sıvısına akışına paralel hareket eden bir hava akışı oluşturmak için kullanılır ve püskürtülen sıvıyı sıranın her iki tarafına ilgili nozullar aracılığıyla iletir. Kapsayıcı fan, uygulama sıvısına akışına paralel hareketli hava akışı oluşturur ve püskürtülen sıvıyı sıranın iki tarafına da ilgili nozullar aracılığıyla iletir. Sıra boyunca çalışan kalkan, rüzgârın sürüklenmesinden kaynaklanan difüzyonu önlemek için arıtma sıvısını emer, hava kaybını ve fazla sıvının zemine damlamasını sınırlar. Tünel püskürtücüsünün sürüklenmeyi ve yaprak yüzeyi birikintilerinin oluşumunu daha iyi önlediği kanıtlanmıştır. Püskürtme sistemlerinde, püskürtücü genellikle birden çok bağımsız olarak kontrol edilebilen püskürtme bölümlerine sahip olan boma sahiptir. Değişken kimyasal kontrol ve memeyi hedef tespitine göre ayarlama yeteneği için tasarlanmıştır.

Günümüzde akıllı püskürtücü, yer hızını, meme basıncını, akış hızını, ayak izini ve kullanılan püskürtme miktarını kaydederken operatöre hedef algılama, otomatik kontrol ve sezgisel geri bildirim sağlayan bir cihaz olarak ortaya çıkıyor (Aware vd., 2019).

2.4 Sensör tabanlı ilaçlama sistemleri

Şekil 7'de gösterilen ultrasonik, kızılötesi, LIDAR sensörleri ve bilgisayarla görme teknolojileri gibi sensörler bitki geometrisini algılamak için kullanılmaktadır. Ultrasonik sensörler, hedef mesafeyi algılama yapar fakat sıcaklık ve nem gibi

çevresel koşullara duyarlıdır (Li vd., 2018). Kızılötesi sensör, görüş alanındaki nesnelerin yaydığı kızılötesi ışığı ölçerek bir hedef alanı algılayan elektronik bir sensördür. Kızılötesi sensör ışığı ölçerek bir hedef alanı tespit eden elektronik sensördür. LIDAR sensörü ise mesafe ölçümlerini yapan uzaktan algılamalı sensörlerdir (Zhang vd., 2018). Bilgisayarlı görme teknolojisinde bitkilerin yüzey alanını, yüksekliğini, yoğunluğunu ve fiziksel parametrelerini ayırt eden kameralar püskürtücüye yerleştirilir.



Şekil 7. Sensör tabanlı ilaçlama sistemleri (a) Ultrasonik sensör (b) Kızılötesi sensör(c) LIDAR sensör (d) Bilgisayarla görme tabanlı teknoloji (Karaköy & Çilesiz, 2022).

2.5 Dron ile ilaçlama

Bugüne kadar, dünyanın çeşitli yerlerinde pestisit uygulaması için çoğunlukla geleneksel yöntemler kullanılmıştır. Manuel mekanik püskürtücü, geleneksel pestisit uygulaması için en yaygın araçtır. Pestisitlerin elle püskürtülmesi insanları etkilemekte ve kanser, aşırı duyarlılık, astım ve diğer rahatsızlıklar gibi hastalıklara yol açmaktadır. Ayrıca, geleneksel yöntemlerin ekstra kimyasal kullanımı, çiftlikte işgücü sıkıntısı, daha düşük püskürtme homojenliği, çevre kirliliği ve daha az alan kapsamı gibi başka eksiklikleri de vardır. Bu geleneksel yöntemler daha yüksek pestisit uygulama maliyetine neden olmakta ve haşere ve hastalıkların kontrolünde daha az etkili olmaktadır (Hafeez vd., 2022). Dron ile ilaçlama yirminci yüzyılın ortalarından beri kullanılmaktadır ancak dron teknolojisindeki yeniliklerin çoğu geleneksel yer püskürtücülerine göre büyük avantajlara sahiptir. Tarımsal ilaçlama ve bitki koruma

teknolojisindeki en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilmektedir. Günümüzde, dron 40 litreye kadar pestisit tankı taşıyabilmekte ve ihtiyaçlara göre ekinleri püskürtmek için önceden haritalanmış rotaları takip edebilmektedir. Dronlar, traktör ve uçaklar için erişimi zor olan tarlaların kapsanmasında büyük potansiyel göstermektedir. Dron monte edilmiş püskürtücünün bazı görüntüleri Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. (a) Çeltik tarlasında (b) Çay mahsulünde ve (c) Muz ağaçlarında kullanılan İHA tabanlı ilaçlama sistemi (Hafeez vd., 2022).

Üretim alanındaki ürünlerin ve pestisitlerin doğru zamanda yerinde izlenmesi ve gübre ihtiyaçlarının değerlendirilmesi, girdi verimliliğinin artırılması etkin kullanım için önemli bir parametre olmaktadır (Gayathri, 2020). Dronların kullanıldığı havadan ilaçlama yöntemi dünya çapında büyük ilgi görmektedir. Dolayısıyla şu anda insansız hava araçları, verimli ve doğru bir şekilde püskürtmeye yardımcı olmak için en gelişmiş olanlarıdır.

İHA'lar, tarımsal kimyasalların uygulanması sürecinde çevre ve insanlar üzerinde olumsuz etkisi olan pestisitlerin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Tarımda insansız hava araçlarının kullanımı, bitkisel üretim uygulamalarını kolaylaştırarak mısır, pamuk, pirinç gibi ürünlerin ilaçlanmasını uygun hale getirmektedir.

Genellikle pestisitler ve gübreler gibi kimyasallar, belirli koşulların gerçek zamanlı değerlendirmesi yapılmadan, zemin püskürtücüler, kimyasal püskürtücüler, havadan püskürtme ve yayın yöntemleri kullanılarak uygulanır (Lan, 2020). Bir İHA püskürtücüsü ile ilaçlama yaparken, küçük damlacıklar genellikle bitki örtüsüne girerken bazı damlacıklarda sürüklenmeye neden olur. Damlacık boyutu, iklim ve hava koşulları, püskürtme kapsam ve emilimi hedefe bağlanmasını etkilemektedir.

İnsansız araçlar, operatör uçakla görsel temas kurduğunda telemetri kullanılarak uzaktan yönlendirilebilir veya GPS ile planlanmış bir rota boyunca otonom olarak kontrol edilebilir. Püskürtme sürüklenmesini azaltan İHA püskürtücü, 4G, 5G ve GPS ağ teknolojisi ile alana doğru rotayı planlayarak, bitkilere doğru miktarda ilaç püskürtmek için doğru yolu sağlayarak ve ilaç kullanımından da tasarruf sağlamaktadır.

Taşıma sorunları ve büyük kanat boyutları nedeniyle, eski İHA püskürtücüleri yanlış hedeflenmiş sprey birikimleri yaratır. Boyutlarından dolayı ağaç ve bahçelerde kullanılmazlar, sadece geniş tarlalarda kullanılırlar. Küçük insansız hava araçlarının bitki koruma özellikle küçük tarlalar ve çeşitli mahsuller için alçak irtifa, hava hızı kontrolü ve iyi alan özelleştirme avantajları sunar.

4 rotorlu, 6 rotorlu ve 8 rotorlu gibi küçük boyutlarda olan birçok dron türü, günümüzde meyve bahçeleri, ağaçlar ve tarlalarda çok etkin şekilde kullanılabilen dronlardır. Küçük boyutlu dron püskürtücü, hedefe etkili bir şekilde püskürtme yapmamıza ve meyve bahçeleri ile ekinler arasında kolayca çalışmamıza yardımcı olmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. İHA püskürtücüler (a) Tek rotorlu İHA püskürtücü (b) Dört rotorlu İHA püskürtücü (c) Altı rotorlu İHA püskürtücü (d) Sekiz rotorlu İHA püskürtücü (Karaköy & Çilesiz, 2022).

2.6 Robot sistemleri ile ilaçlama

Genel olarak, geleneksel ürün koruma, çiftçilerin sağlığını olumsuz yönde etkileyen zehirli pestisitlerin manuel olarak püskürtülmesini içerir. Pestisitlere maruz kalmayı azaltmak için navigasyon

için bir kontrol algoritmasına ve yüksek verimli bir yörünge hesaplama algoritmasına dayalı olarak pestisitleri otomatik olarak püskürtmek için akıllı bir robotik sistem geliştirilmiştir.

Geleneksel tarım uygulamalarında, zararlıları ve yabancı otları kontrol etmek için kullanılan kimyasallar genel olarak eşit olarak uygulanır fakat yabancı ot ve hastalık etmenleri için geliştirilmiş robotlar kimyasalları istenilen alana uygun dozda püskürterek uygular. Minimum düzeyde maliyet için talebi fazla olan robotlar yabancı ot kontrolü ve hedefli ilaçlama robotlarıdır. Bu otonom robotlar, mahsulün konumunu algılayabilen ve kimyasalları uygularken mahsulü koruma yeteneğine sahip bir görüş sistemine sahiptir.

Tarla bitkilerine pestisit püskürtmeye benzer şekilde, meyve ve sebzelere pestisit püskürtmek de aşırı püskürtme aralıkları nedeniyle çevre üzerinde büyük bir yük oluşturmaktadır. Bu nedenle, servo kontrollü nozullar, akış kontrol sistemleri ve ultrasonik sensörler gibi çeşitli sistemlerle daha hassas püskürtme elde etmek için birçok pestisit püskürtme robotu tasarlanmıştır.

Yakın zamana kadar, tarımda haşere kontrolünün odak noktası dronların kullanımı üzerineydi. 2022'de tarlalara salınan tarım robotları arasında sürücüsüz traktörler, otomatik hasat sistemleri ve otonom yabancı ot ve haşere kontrol agribotları yer almaktadır.

Robotlar, bir kamera kullanarak giriş görüntüleri almak, bunları analiz etmek ve yaprak, kök veya bitki üzerinde haşere ve hastalık kontrollerini yaparak gerektiğinde püskürtme sistemlerini açmak ve doğru pestisiti yaymak için yapay zekâ ile ilaçlama yapmak üzere tasarlanmıştır (Şekil 10) (Yeditepe, 2023).



Şekil 10. Robot sistemleri ile ilaçlama (Yeditepe, 2023).

3. Akıllı Tarımda Eklemeli İmalatın Yeri ve Geleceği

Hızlı prototipleme ya da katmanlı imalat olarak da adlandırılan eklemeli imalat teknolojisi ile karmaşık geometrilere sahip ve doluluk oranının kullanıcı tarafından ayarlanabildiği fonksiyonel parçaların üretilebildiği bilinmektedir (Ergene & Yalçın, 2023; Ergene & Bolat, 2022). Otomotiv, biyomedikal, savunma, uzay-havacılık ve inşaat başta olmak üzere birçok alanda uygulama alanlarına sahip olan eklemeli imalat teknolojisi hali hazırda akıllı tarım uygulamalarında da kendine yer bulmaktadır. Özellikle ilaçlama sistemlerinde kullanılan robotlar ve dronların ağırlığını azaltmak amacıyla tercih edilen eklemeli imalat teknolojisinin yakın gelecekte akıllı tarım uygulamalarında farklı alanlarda da ön plana çıkacağı düşünülmektedir (Ferro vd., 2016). Özellikle dört boyutlu (4B) baskı teknolojisi ile şekil hafızalı malzemelerden üretilen fonksiyonel parçaların Ph, ısı, ışık ya da bunların birer kombinasyonu halinde uyarıcılarla uyarılması halinde zamanla şekil değiştirme kabiliyetine sahip olması (Ergene & Yalçın, 2020), ilaçlama sistemlerine de 4B teknolojisinin adapte edilebileceği ve istenilen ortam koşulları sağlandığında ilgili parçaların aktive edilmesi ile ilaçlamanın sağlanabileceği öngörülmektedir.

4. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışmada akıllı tarımda kullanılan ilaçlama sistemleri detaylı olarak incelenmiş olup, günümüzdeki teknolojik gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan yapay zekâ, eklemeli imalat ve büyük veri gibi alanların akıllı tarıma olan etkisi tartışılmıştır. Gelecekte de akıllı robotlar, yazılım, yapay zekâ ve otonom sistemlerin gelişimi ile ilaçlama sistemlerinin de kayda değer gelişim içerisinde olacağı ve araştırmacıların daha fazla dikkatini çekeceği öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamında bünyesinde bulundurduğu ilaçlama sistemlerinin incelenmesine olanak tanıdığı ve diğer ilaçlama sistemleri ile ilgili bilgi

paylaşımı ve desteklerinden dolayı Önallar Tarım Makinaları AŞ'ye teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

Almetwally, S.A.H., Mourad, M.H., Hassan, M.K., (2020). "Real Time Internet of Things (IoT) Based Water Quality Management System", *Procedia CIRP*,91, 478–485.

Aware, S.W., Shinde, U.P., Aware, V.V., Mohod, A.G., Patil, A.V., Shahare, P.U., (2019). "Sensors And Controller For Efficient Utilization Of Agricultural", *International Journal Of Tropical Agriculture*, 37(2).

Çokuysal, B., (2021). "Tarım, Dijitalleşme ve Sürdürülebilirlik Üçgeninde Etik Sorun Alanları", 3. Uluslararası Tarım ve Gıda Etiği Kongresi, 294-299,

Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., Kaliaperumal, R., (2022). "Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture", *Agriculture*, 12(10), 1745,

Ercan, T., Kutay, M., (2016). "Endüstride Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulamaları Internet of Things (IoT) Applications in Industry", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 599 – 607,

Ergene, B., Bolat, Ç., (2022). "An experimental study on the role of manufacturing parameters on the dry sliding wear performance of additively manufactured PETG", *International Polymer Processing*, 37, 255-270.

Ergene, B., Yalçın, B., (2020). "4 boyutlu baskı teknolojisi ve uygulama alanlarının araştırılması", *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 12, 108-117.

Ergene, B., Yalçın, B., (2023). "Eriyik yağma modelleme (EYM) ile üretilen çeşitli hücreli yapıların mekanik performanslarının incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38, 201-218.

Ertaş, B.A., (2020). "Tarım 4.0 İle Sürdürülebilir Bir Gelecek", *Icontech International Journal of Surveys*, 4, 1-12.

Ferro, C.G., Brischetto, S., Torre, R., Maggiore, P., (2016). "Characterization of ABS specimens produced via the 3D printing technology for drone structural components", *Curved and Layered Structures*, 3, 1.

Gayathri, D.K., Sowmiya, N., Yasoda, K., Muthulakshmi, K., Kishore, B., (2020). "Review on application of drones for crop health monitoring and spraying pesticides and fertilizer", *Journal of Critical Reviews*, 7, 667-672.

Giles, D.K., Akesson, N.B., Yates, W.E., (2008). "Pesticide Application Technology: Research And Development And The Growth Of The Industry", *Transactions Of The Asabe*, 51, 397-403.

Giles, D.K., Blewett, T., (1991). "Effects Of Conventional And Reduced-Volume, Charged-Spray Application Techniques On Dislodgeable Foliar Residue Of Captan On Strawberries", *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 39, 1646-1651.

Hafeez, A., Aslam Husain, M., Singh, S.P., Chauhan, A., Tauseef Khan, M., Kumar, N., Chauhan, A., Soni, S.K., (2022). "Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review", *Information processing in agriculture*,10, 192-203.

Karaköy, T., Çilesiz, Y., (2022). "Teknolojik Tarım, Ankara: Iksad Publications,

Kılavuz, E., Erdem, İ., (2019). "Dünyada Tarım 4.0 Uygulamaları Ve Türk Tarımının Dönüşümü", *Social Sciences*, 133-157,

Lan, Y., Shengde, C., Fritz, B.K., (2017). "Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies", *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 10, 1-6,

Li, L., He, X., Song, J., Liu, Y., Zeng, A., Yang, L., Liu, C., Liu, Z., (2018). "Design And Experiment Of Variable Rate Orchard Sprayer Based On Laser Scanning Sensor", *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11, 101-108.

Makfed, (2020). *Tarım Ve Makine Sanayi Etkileşim Raporu*.

Mckenzie S, (2007). A Brief History Of Agriculture And Food Production: The Rise Of "Industrial Agriculture.", Baltimore: Johns Hopkins Bloomberg School Of Public Health.

Miller, S., (2011). Computer Scientist Coined 'artificial Intelligence', The Wall Street Journal,

Mukhamediev, R. I., Yakunin, K., Aubakirov, M., Assanov, I., Kuchin, Y., Symagulov, A., & Amirgaliyev, Y. (2023). "Coverage path planning optimization of heterogeneous UAVs group for precision agriculture", IEEE Access, 11, 5789-5803.

Özduman, A., Gök, B., Gökçen, H., (2020). "Mobil Telefon Kullanıcılarının Mobil Bağımlılık Durumu ve 5G Teknolojisi Kabullenme Niyeti Modellerinin Geliştirilmesi", Bilişim Teknolojileri Dergisi, 13(3), 269 – 288.

Persson K. G, (2010). An Economic History Of Europe: Knowledge, Institutions And Growth, 600 To The Present, New York: Cambridge University Press.

Saiz-Rubio, V., Rovira-Más, F., (2020). "From Smart Farming Towards Agriculture 5.0: A Review On Crop Data Management", Agronomy, 207.

Saygılı, F., Kaya, A.A., Çalışkan, E.T., & Kozal, Ö.E. (2018). Türk tarımının global entegrasyonu ve tarım 4.0. İzmir Ticaret Borsası, Yayın No: 98, İzmir.

Tekin A B, Demirel Ç, Örün Ç, (2011). Tarımda Kablosuz Ağlar, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü.

Tekin, A.B., (2018). "Tarımsal Üretimin Geleceği: Akıllı Tarım", Türktob Dergisi, 26-27.

Tian, H., Mo, Z., Ma, C., Xiao, J., Jia, R., Lan, Y., & Zhang, Y. (2023). "Design and validation of a multi-objective waypoint planning algorithm for UAV spraying in orchards based on improved ant colony algorithm", Frontiers in Plant Science, 14, 1101828,

Torkul, O., Gülseçen, S., Uyaroğlu, Y., Çağil, G., Uçar, M.K., (2017). "Mühendislikte Yapay Zeka Ve Uygulamalar", Sakarya: Sakarya Üniversitesi

Usb (University Of Stellenbosch Business School), (2017). The Future Of The Western Cape Agricultural Sector In The Context Of The Fourth Industrial Revolution.

Van Hilten, M., Wolfert, S., (2022). "5G In Agri-Food - A Review On Current Status, Opportunities And Challenges", Computers And Electronics In Agriculture, 201.

Xu, Y., Xue, X., Sun, Z., Gu, W., Cui, L., Jin, Y., & Lan, Y. (2022). "Joint path planning and scheduling for vehicle-assisted multiple Unmanned Aerial Systems plant protection operation", Computers and Electronics in Agriculture, 200, 107221.

Yetik, A.K., Aşık, M., (2021). "Toprak Nem İçeriğinin İzlenmesi Ve Tayininde Kullanılan Yöntemler", Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8, 484 – 496.

Yıldız, Ö.R., (2009). "Bilişim Dünyasının Yeni Modeli: Bulut Bilişim Cloud Computing Ve Denetim", Sayıştay Dergisi, (74), 5-23.

Yu Tang, S.D., (2021). "A Survey On The 5G Network And Its Impact On Agriculture: Challenges And Opportunities", Computers And Electronics In Agriculture, 180.

Zhang Z, Wang X, Lai Q, Zhang Z, (2018). "Review of Variable-Rate Sprayer Applications Based on Real-Time Sensor Technologies ,Automation in Agriculture - Securing Food Supplies for Future Generations.

İnternet kaynakları

- 1- Büyük Veri, <https://docplayer.biz.tr/120602301-Buyuk-veri-ve-acik-veri-temel-kavramlar.html>,04.04.2023
- 2- Kosgeb, <https://www.kosgeb.gov.tr/site/tr/genel/detay/7944/tarimda-yapay-zeka-donemi>, 28.03.2023
- 3- Makineciler, <https://www.moment-expo.com/tr/dergiler/146/kapak/turkiyeni-makinecileri-tarimsal-mekanizasyonu-onemsiyor-guclu-tarim-icin-mekanizasyon-sart-x242>, 07.04.2023

- 4- Smart Farming, <https://www.smart-akis.com/index.php/network/what-is-smart-farming/>,28.03.2023
- 5- Tarımda Dijitalleşme, <https://docplayer.biz.tr/216822925-Tarimda-dijitallesme-ufuk-turker-ankara-universitesi-tarim-makinalari-ve-teknolojileri-muhendisligi-bolumu.html>, Nisan 25, 2023.
- 6- Yapay Zeka, <https://gamzenayir.wordpress.com/>,28.03.2023
- 7- Yeditepe, <https://eng.yeditepe.edu.tr/sites/default/files/u343/harmantime.pdf>, 23.05.2023.