


Bahçe Bitkileri Yetiştiriciliğinde Kullanılan Dijital Tarım Teknolojileri

Digital Agriculture Technologies Used in Horticultural Cultivation

Mehmet Metin Özgüven^{1,*} 

¹ Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): M.M. Özgüven, e-mail (e-posta): mmozguven@ankara.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 29.01.2023
Düzeltilme tarihi : 19.07.2023
Kabul tarihi : 09.08.2023

Anahtar Kelimeler:

Hassas Tarım
IoT
İHA
Yapay Zeka
Tarım Robotu

Atf için:

Özgüven, M. M., (2023). "Bahçe Bitkileri Yetiştiriciliğinde Kullanılan Dijital Tarım Teknolojileri", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 19(3): 174-193.

ÖZET

Tarımsal üretimde bulunan ürün çeşitliliği, yetiştiricilik alanlarının çok çeşitli olması ve yetiştiriciliğin emek yoğun olarak yapılması nedeniyle tarımsal faaliyetler sırasında birçok sorunla karşılaşmaktadır. Tarımsal üretim ve yetiştiricilik sırasında hastalık, zararlı, ekonomik kriz, kuraklık, dolu, sel gibi çok çeşitli zorluk ve belirsizlikle mücadele edilmektedir. Teknolojinin sunduğu teknik imkanlar, birçok tarımsal işlemin kolaylaştırılmasını, mevcut bazı sorunlara alternatif çözümler getirmesini ve özellikle üretim ve uygulamaların doğru ve zamanında yapılmasını sağlamasıyla, tarımsal üretimin etkin, verimli ve kaliteli yapılmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Ayrıca dünya nüfusunun artması ve tarımsal alanların azalmasına bağlı olarak artan gıda talebinin karşılanması için teknoloji kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Dijital tarım kavramı günlük hayatımıza yakın bir zamanda girmiştir. Dijital tarım, hassas tarım, akıllı tarım ve Tarım 5.0 gibi kavramlar yanlışlıkla birbirleri yerine kullanılabilir. Bunun nedeni, herbir kavramda makine mühendisliği, yazılım mühendisliği, elektronik mühendisliği gibi bir dizi teknik disiplinde uzmanlık gerektiren konuların bulunmasıdır. Dijital tarım kavramı en çok hassas tarım teknolojisi ile karıştırılmaktadır. Hassas tarım uygulamaları denildiğinde ise genelde akla tarla tarımı gelmektedir. Bunun sebebi hassas tarım teknolojilerinde geliştirilen sensör, cihaz, ekipman ve sistemlerin tarla tarımına daha uygun olması ve hassas tarımın tarla tarımında daha yoğun kullanılmasıdır. Bu çalışmada, bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde kullanılan hassas tarım, kamera-sensörler, uzaktan algılama, IoT, İHA, yapay zeka-makine öğrenmesi, tarım robotları, görüntü işleme ve makine görüşü gibi dijital tarım teknolojileri örnek uygulamalarla açıklanmıştır.

Article Info

Received date : 29.01.2023
Revised date : 19.07.2023
Accepted date : 09.08.2023

Keywords:

Precision Agriculture
IoT
UAV
Artificial Intelligence
Agricultural Robot

How to Cite:

Özgüven, M. M., (2023). "Digital Agriculture Technologies Used in Horticultural Cultivation", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 19(3): 174-193.

ABSTRACT

Many problems are encountered during agricultural activities due to the variety of products in agricultural production, the wide variety of cultivation areas and the labor-intensive cultivation. Various difficulties and uncertainties such as diseases, pests, economic crisis, drought, hail, flood are struggled during agricultural production and cultivation. Technical possibilities offered by technology enable many agricultural processes to be facilitated, provide alternative solutions to some existing problems and especially by ensuring that production and applications are carried out correctly and on time, it makes significant contributions to the effective, efficient and high quality of agricultural production. In addition, the use of technology has become necessary to meet the increasing food demand due to the increase in the world population and the decrease in agricultural areas. The concept of digital agriculture has recently entered our daily lives. Concepts such as digital agriculture, precision agriculture, smart agriculture and Agriculture 5.0 can be mistakenly used interchangeably. This is because each concept contains topics that require expertise in a range of technical disciplines such as mechanical engineering, software engineering, electronics engineering. The concept of digital agriculture is most often confused with precision agriculture technology. When it comes to precision agriculture practices, field agriculture generally comes to mind. The reason for this is that the sensors, devices, equipment and systems developed in precision agriculture technologies are more suitable for field agriculture and precision agriculture is used more intensively in field agriculture. In this study, digital agriculture technologies such as precision agriculture, camera-sensors, remote sensing, IoT, UAV, artificial intelligence-machine learning, agricultural robots, image processing and machine vision used in horticultural cultivation are explained with sample applications.

1. GİRİŞ

Bahçe bitkilerinde meyve, sebze, asma ve süs bitkilerinin ıslahı, yetiştiriciliği ve muhafazası çalışmaları yapılmaktadır. Ülkemizde 2022 yılı TÜİK verilerine göre bahçe bitkileri üretim miktarı yaklaşık 57.9 milyon tondur. Bu üretimin yaklaşık 31.6 milyon tonu sebze, 26.8 milyon tonunu ise meyve oluşturmaktadır. Süs bitkileri üretimi ise 2 milyar adet civarındadır (TÜİK, 2022). Bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde sulama, gübreleme, hastalık-zararlılarla mücadele ve hasat gibi işlemler dijital tarım teknolojilerinin sunduğu otomatik izleme, değerlendirme ve kontrol sistemleri gibi teknik imkan ve uygulama becerilerinin kullanılmasıyla daha kaliteli ve verimli üretim yapılması, minimum girdi kullanımı, daha etkin yönetim kararlar alınması, tarımsal işlemlerin optimize edilmesi, daha rekabetçi bir tarımsal üretimi mümkün hale getirmektedir.

Tarım biliminde, uzmanlık gerektiren çok çalışma alanı bulunmasının yanında tarım içerisinde biyolojik, fiziksel ve kimyasal süreçlerin bulunduğu karmaşık olaylardan oluşmaktadır. Ayrıca tarımsal üretim, kontrol altına alınamayan hava durumu, iklim, toprak özellikleri, hastalık ve zararlılar, çevre kirliliği gibi birçok faktörden olumsuz etkilenebilmektedir. Bu nedenle verimli bir tarımsal üretim için sadece uzmanlık yetmemekte, yetiştirme şartlarının da isteğe uygun olması gerekmektedir. Yetiştiriciliği yapılan bitki ve hayvanın tür ve cinsinin de uygun olması koşuluyla yetiştirme şartları optimum şekilde karşılanırsa en verimli üretim gerçekleşmiş olmaktadır. Optimum şartların sağlanması ise oldukça zor ve masraflı olabilmektedir. Bu nedenle başarılı bir tarımsal işletmecilik için her bir bileşendeki değişimler doğru ve zamanında belirlenmeli, olabilecek etkileşimlerde göz önüne alınarak yapılacak uygulamalara karar verilmelidir (Özgüven, 2023).

Bilginin elde edilmesi, işlenmesi, depolanması, aktarılması ve kullanılması süreçlerini yöneten teknolojik yöntem, model ve araçların, işlem ve hesaplama gücü yüksek, taşınabilir bilgisayarların ve donanımların piyasada kolay bulunabilir olmasıyla saha uygulamalarında kullanımı artmış ve kullanım sırasında elde edilen tecrübeye bağlı olarak da gelişme farklı alanlara da uygulanarak daha da hızlanmıştır (Özgüven vd., 2020). Tarımda mevcut bilgi ve tecrübelerin, bilgi teknolojilerinin sunduğu makine öğrenmesi, derin öğrenme, yapay zeka, modelleme ve simülasyon uygulamaları ile birlikte değerlendirilmesi sonucu gerçek zamanlı ve otomatik çalışan uzman sistemler, otonom traktör veya tarım makinaları ve tarımsal robotik uygulamaların geliştirilmesini sağlamıştır (Özgüven, 2018). Tarihsel olarak tarım; etkinliği, verimi ve karlılığı daha önce ulaşılamaz seviyelere taşıyan bir dizi devrimden geçmiştir. Önümüzdeki on yıl için piyasa tahminleri, tarımın küresel nüfusun ihtiyaçlarını karşılamasını sağlamaya yardımcı olabilecek en yeni geçişin “dijital tarım devrimi” olacağını öne sürmektedir (Trendov vd., 2019).

Dijital tarım uygulamaları, tarım alanlarından elde edilen bilgiler ve verilerin çeşitli sensör, kamera veya sistemlerden gerçek zamanlı olarak toplanması, elde edilen verilerin geliştirilen yazılımlara iletilmesi, verilerin analiz edilmesi, verilerin depolanması ve veriye bağlı işlemlerin yönetilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Bu çalışmada, dijital tarım uygulamalarında kullanılan teknolojilerin teknik detayları örnek çalışmalar ile anlatılmaktadır.

2. DİJİTAL TARIM TEKNOLOJİLERİ

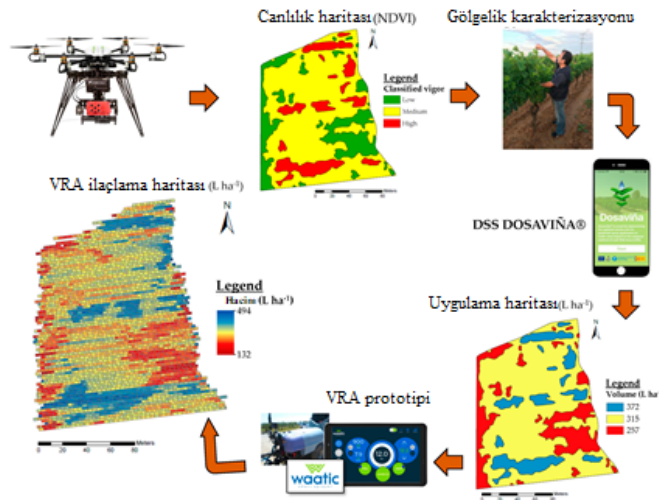
Tarım, geçmişten günümüze kadar her aşamada teknolojiler tarafından dönüştürülmüştür. Sanayi devrimleri, tarım alanında her zaman bir atılım üretmiştir. Hassas tarımın uygulanması, ilk olarak akıllı tarım ve daha sonra dijital tarıma doğru paradigma kayması ile sonuçlanmıştır (Ahmad ve Nabi, 2021). Tarımda dijitalleşme ile sistem genelinde kaynakların yönetimi optimize edilmiş, bireyselleştirilmiş ve

gerçek zamanlı olarak çalışabilmekte ve ayrıntılı izlenebilmektedir. Böylece, artan üretkenlik, maliyet verimliliği ve pazar fırsatları yoluyla ekonomik faydalar, artan iletişim ve kapsayıcılık yoluyla sosyal ve kültürel faydalar ve optimize edilmiş kaynak kullanımı ile iklim değişikliğine uyum yoluyla çevresel faydalar sağlanmaktadır (Trendov vd., 2019). Bu bölümde dijital tarım teknolojileri uygulama örneği ile birlikte maddeler halinde açıklanmaya çalışılmıştır.

2.1. Hassas Tarım

Hassas tarım, doğru uygulamayı, doğru yerde, doğru zamanda yapma fikridir. Bu düşünce, tarım kadar eskidir. Ancak 20. yüzyılda tarımın mekanize edilmesi sırasında, üniform tarımsal uygulamalarla büyük tarlaları işlemek için güçlü bir ekonomik baskı söz konusudur. Hassas tarım, bilgi teknolojisini kullanarak değişken oranlı uygulamayı (VRA) otomatikleştirmenin bir yolunu sağlamaktadır (Bongiovanni ve Lowenberg-Deboer, 2004). Hassas tarım uygulamaları çeşitli sensörler ve uzaktan algılama teknolojilerinin kullanılarak verilerin elde edilmesiyle başlamakta ve üretim alanının toprak analizleri ile toprak özelliklerinin belirlenmesiyle devam etmektedir. Önceki üretim sezonlarına ait verim değerleri, gübre ve ilaç uygulama normları, hastalık durumu gibi mevcut tüm bilgiler üretim alanındaki gerçek konumlarıyla ilişkilendirilerek uygulama haritaları oluşturulmaktadır. Daha sonra uygun donanım ve yazılımlar kullanılarak arazide VRA yapılmaktadır. Böylece gereksiz girdi kullanımının önüne geçilmesiyle ekonomik üretim yapılmasına katkı sağlanmakta ve bu girdilerin çevreye zarar vermesi engellenmektedir (Özgüven, 2018).

Campos vd. (2020) tarafından bağlarda değişken oranlı ilaçlama yapabilen yeni bir pülverizatör geliştirilmiş ve çalışma başarısı test edilmiştir (Şekil 1). Çalışmada, ilk olarak bağlarda ilaçlama uygulamalarında kullanılan pestisit miktarının ve hacminin doğru ve güvenli bir şekilde belirlenmesi için yeşil aksam özellikleri belirlenmiş, dört bağ arazisinde tüm büyüme mevsimi boyunca bir İHA'ya yerleştirilmiş multispektral kamera ve DOSAVIÑA karar destek sistemi kullanılarak reçeteli haritalar üretilmiştir. Daha sonra bu haritalar VRA prototipine yüklenmiş ve uygulama süreçleri tamamlandıktan sonra gerçek VRA haritalarının elde edildiği belirtilmiştir. Prototip, %20-40 aralığında kaplama değerleri ile yeterli bir püskürtme dağıtım kalitesine sahip olduğu ve geleneksel uygulama hacimlerine kıyasla külleme üzerinde biyolojik etkinlik açısından benzer sonuçlar sergilediği rapor edilmiştir.

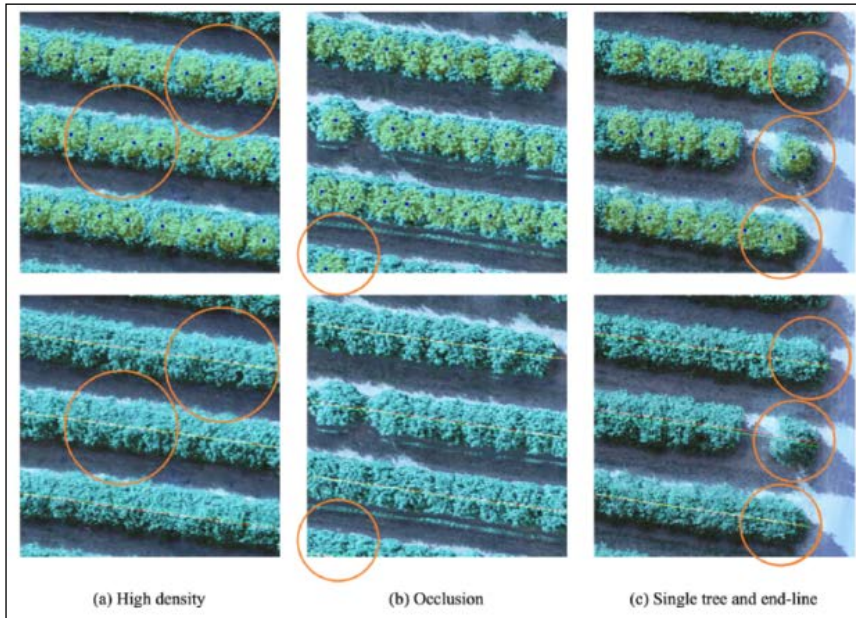


Şekil 1. Bağda değişken oranlı ilaçlama çalışması (Campos vd., 2020)

2.2. Kamera ve Sensörler

Tarımsal faaliyetlerde ortomozaik haritaların oluşturulması, NDVI türetilmesi, bitki özellikleri hakkında bilgi edinilmesi, bitki hastalık ve zararlılarının tespit edilmesi, nem tahmininin yapılması, ürün su stresinin izlenmesi, 3 boyutlu modelleme yapılması, arazilerin sınıflandırılması, bitki gelişiminin izlenmesi gibi bilgilerin elde edilmesi için özellikle drone ile çeşitli kamera ve sensörler kullanılabilir (Özgüven vd., 2022). Tarımda yetiştiriciliğin yapıldığı ortam ve çevre şartlarının belirlenmesinde çeşitli sensörler kullanılmaktadır. Örneğin toprak özelliklerinin belirlenmesi için organik madde, pH düzeyi ve bitki besin elementleri, elektriksel iletkenlik, nem içeriği ve toprak sıkışıklığı gibi sensörler kullanılmaktadır. Ayrıca sıcaklık, nem, basınç, rüzgâr hızı, yağış, konum gibi çevre hakkında bilgi elde edilmesi için de çeşitli sensörler kullanılmaktadır.

İHA görüntülerinden bitkiyi tek tek ve plantasyon sıralarını aynı anda çıkarabilen bir mimarinin geliştirilmesi, tarımsal sistemlerin yönetimini desteklemek için önemli bir ihtiyaçtır. Bu amaçla Osco vd. (2021), yüksek yoğunluklu plantasyon konfigürasyonları dikkate alınarak narenciye bahçesindeki ağaçları (Şekil 2) sayarken aynı anda plantasyon sıralarını tespit eden ve konumlandıran bir Evrişimli Sınır Ağına (CNN) dayalı yeni bir derin öğrenme yöntemi geliştirmişlerdir. Sistemin doğru çalıştığının test edilmesi için iki veri kümesinde, farklı konumlarda, farklı ürün türleriyle ve farklı sensörler ve tarihlerdeki farklı bitki yoğunluklarında denendiği, CNN yöntemi sonuçlarının, aynı görev ve veri kümesiyle değerlendirilen diğer derin ağlardan (HRNet, Faster R-CNN ve RetinaNet) elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlar verdiğini bildirilmiştir. Ayrıca önerilen yöntemin, farklı bitki türlerinden alınan İHA görüntülerinde bitkileri ve bitki sıralarını saymak ve konumlandırmak için kullanılabileceği ve karar verme modellerine uygulanmasıyla tarımsal sistemlerin sürdürülebilir yönetimine katkıda bulunabileceği belirtilmiştir.



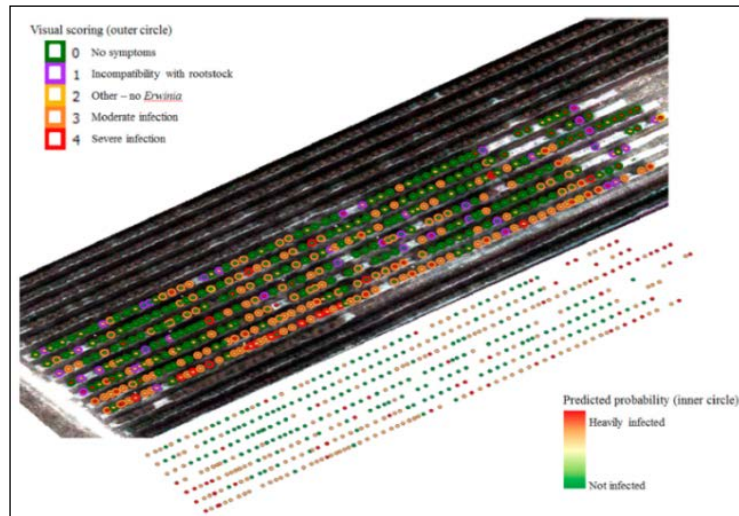
Şekil 2. Narenciye veri kümesindeki bitki ve plantasyon sıraları tespitlerinin örnekleri. Bitki ve plantasyon sıraları algılamaları sırasıyla görüntünün üst ve alt sıralarında gösterilmesi (Osco vd., 2021)

2.3. Uzaktan Algılama

Güneş ışınımı elektromanyetik dalgalar halinde yayılmakta ve nesnelere temas ettiğinde, cisimlerin yapısal, kimyasal ve kromatik özelliklerine göre değişen oranda bir kısmı yansıtılmakta, bir kısmı emilmekte, bir kısmı ise iletilmektedir. Böylece her nesne için var olan spektral imzalar ile nesnelere tespit edilebilmektedir. Nesnelere yayılan bu elektromanyetik dalgalar uzaktan algılama sensörleri tarafından ölçülmektedir. Ölçülen yansıma değerleri ile nesnelere çeşitli özellikleri belirlenebilmektedir.

Yaprak renkleri, dokuları, şekilleri ya da yaprakların bitkilere nasıl bağlandığı arasındaki farklar, ne kadar enerjinin yansıtılacağını, emildiğini ya da iletileceğini belirlemektedir (Nowatzki vd., 2004). Ayrıca yakın zamanlarda İHA'lara entegre edilebilen küçük boyutlu ve hafif sensörlerden oluşan çok popüler ve uygun maliyetli bir uzaktan algılama teknolojisi olarak ortaya çıkmıştır (Adão vd., 2017).

Armut üretim alanlarında ateş yanıklığının kontrol altında tutulması, bahçelerin bu hastalığa karşı düzenli görsel denetimlerine bağlıdır. Ancak, görsel izleme emek yoğun ve zaman alıcıdır. Bu soruna çözüm bulunması amacıyla mevcut saha incelemelerinin İHA'lar üzerinde takılı spektral sensörler ile yapılması, daha geniş alanların kısa sürede izlenmesini mümkün kılmaktadır. Schoofs vd. (2020) çalışmalarında, hiperspektral bir COSI-cam kamera taşıyan bir İHA platformu kullanarak, aşırı derecede enfekte bir armut bahçesini haritalamışlardır. Çalışmada uzmanlar tarafından sağlıklı ve enfekte ağaçların sınıflandırıldığı, incelenen 440 ağaçtan modelleme için eğitim setini oluşturmak üzere mevsim boyunca görünür hastalık semptomları gösteren 24 referans "enfekte" ağaç ve 23 referans "sağlıklı" ağacın seçildiği ve modellemede standartlaştırılmış fark bitki örtüsü indeksi (SDVI) ve ağaç tabanlı sınıflandırma modelinin (TBM) kullanıldığı bildirilmiştir. Araştırmacılar çalışma sonunda, her iki yöntemde de (SDVI ve TBM), 611 nm (RED) ve 784 nm (NIR) dalga boyları, farklı dalga boylarının veya bunların doğrusal kombinasyonlarının ayırt edici performansını değerlendirmek ve karşılaştırmak için kullanılan istatistiksel ölçüsü olan C-indeksi değerlerinin 0.8'in üzerinde ve %85'lik sınıflandırma doğruluğu ile ateş yanıklığı ile ilişkili semptomların tespit edilmesi için uygun bulunduğunu, enfekte olmuş piksellerin sağlıklı piksellere oranının bahçedeki her ağacın enfeksiyon olasılığını temsil etmek için kullanıldığını (Şekil 3), şekildeki kırmızının yüksek, yeşilin düşük enfeksiyon olasılığına karşılık geldiğini bildirmişlerdir.

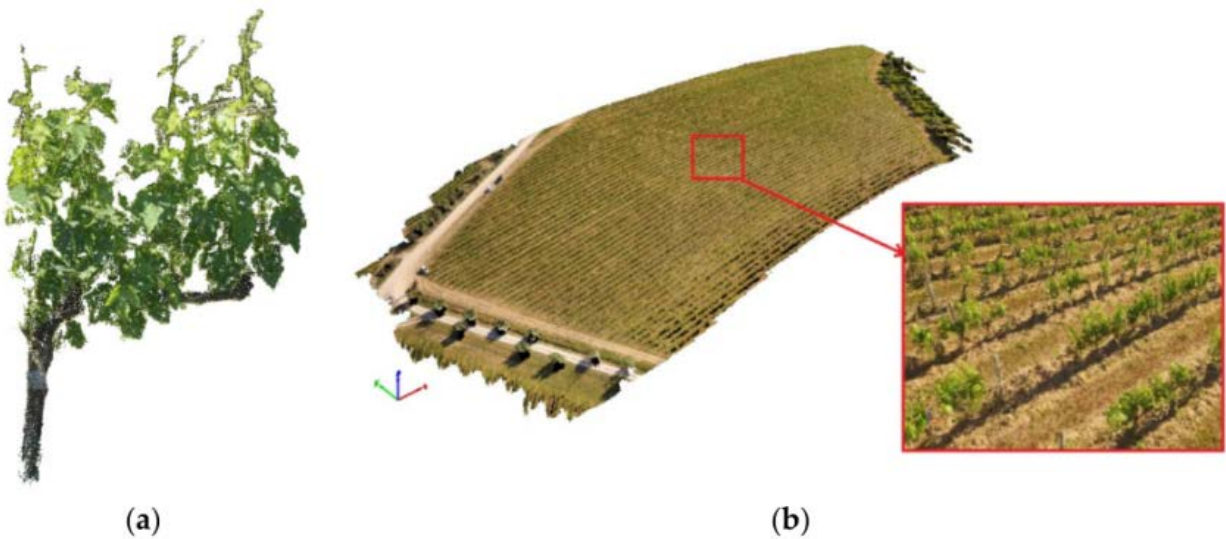


Şekil 3. Her ağaç için, görsel puanlama (dış daire) ile COSI-cam görüntülerinden hesaplanan enfeksiyon olasılığı (Schoofs vd., 2020)

2.4. İnsansız Hava Araçları

Drone'ların kullanım kolaylığı ve üzerlerine monte edilen kamera ve sensörlerin yetenekleri nedeniyle, tarımda genellikle tespit, izleme, inceleme, kontrol, değerlendirme, karar verme, sınıflandırma, haritalama, algılama, tahmin, araştırma, yönetim vb. görevlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Özgüven ve Yanar, 2022). Bitki büyümesi sırasında bitki fizyolojisi, genetiği ve çevresel koşullarının kritik yönlerini incelemek için bitki boyu ölçümleri yapılmaktadır. Bu işlemin manuel ve tekrarlı şekilde yapılması zor ve zaman almaktadır. Bitki boyu yüksekliğinin ölçümü için Hareketten Oluşum Fotogrametri (SfM) teknikleri kullanılarak drone görüntülerinden oluşturulan 3 boyutlu nokta bulutları ile geniş alanlarda kısa sürede ölçümler yapılabilmektedir. Ticari bir ürün olan Pix4D görüntü işleme ve sayısallaştırma yazılımı ile 3 boyutlu renkli nokta bulutu, sayısal yükseklik modeli, sayısal arazi modeli, 3 boyutlu model ve sınıflandırılmış sonuç ürün analizi yapılabilmektedir (Özgüven, 2023).

Pagliai vd. (2022) yaptıkları çalışmada, kalınlık, yükseklik ve hacim gibi kanopi boyutu parametrelerini üç farklı fenolojik aşamanın değerlendirilmesi ve test asmalarının (*Vitis vinifera* L.) 3 boyutlu nokta bulutlarının oluşturulması için Mobil Uygulama (MU), mobil lazer tarayıcı ve İHA gibi farklı dijital araçlar kullanılmıştır. Araştırmacılar, çalışmanın sonuçlarının alan içi değişkenliği ve kanopi boyutu parametrelerini tespit etme açısından tüm araçlar arasında iyi bir korelasyon gösterdiğini bildirmişlerdir. Çalışmada, bağ sıralarının ve asmaların 3 boyutlu nokta bulutunun yeniden yapılandırılması için Pix4Dmapper Pro yazılımı kullanılmıştır (Şekil 4). İHA ve MU 3 boyutlu nokta bulutları, MATLAB'da kodlanmış bir algoritma ile işlenmiştir. x, y ve z eksenlerinin bağ sırası, kanopi genişliği ve dikey eksen ile aynı hizada olduğu bir bağ sırası bölümünün 3 boyutlu nokta bulutu, yerel toprak gradyanını gözönünde bulunduran bir dizi mekansal manipülasyon yoluyla işlenmiştir. Daha sonra kanopi yoğunluğu, yüksekliği ve kalınlığı hesaplanmıştır. Mevcut kod, sayısal tanımlayıcılar olarak en iyi sayısal tanımlayıcıların kullanıldığı bildirilmiştir. Böylece kod, işlenmiş İHA ve MU 3 boyutlu nokta bulutlarını okuyabilmekte ve sonuç olarak kalınlık, yükseklik ve hacim gibi ana kanopi boyutu parametrelerini vermektedir.

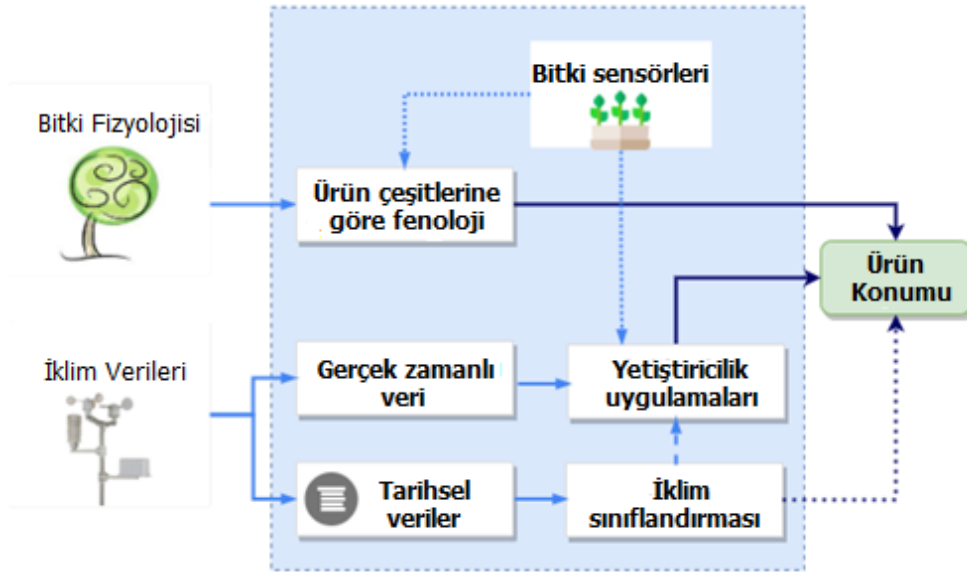


Şekil 4. Bağ sıralarının ve asmaların 3 boyutlu nokta bulutu ile yeniden yapılandırılması. (a) Pix4DMapper ile işlenen ve CloudCompare ile temizlenen MA asma nokta bulutu, (b) Pix4DMapper ile işlenen İHA bağ nokta bulutu (Pagliai vd., 2022)

2.5. Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin İnterneti (IoT), benzersiz bir şekilde tanımlanabilen nesnelere bilinen sensörleri, bilgi işlem cihazlarını, algoritmaları ve fiziksel nesnelere entegre eden dağıtılmış bir bilgi ve iletişim teknolojisidir (Khan, 2019). IoT teknolojisinde herhangi bir zamanda, herhangi bir yerde, her nesne, herhangi bir ağ üzerinden birbirine bağlanabilmektedir (Guillemine ve Friess, 2009). IoT'nin nihai hedefi, her alanda her şeyi internete bağlayarak yeni uygulamalar ve hizmetler üretmektir. Milyarlarca IoT cihazının internet üzerinden bağlanacağı ve bulut ve/veya sis bilişim (fog computing) teknikleri ile işlenmesi gereken çok büyük miktarda veri (Büyük Veri) oluşturarak birbirleriyle etkileşime girebilecekleri tahmin edilmektedir (Khan ve Yuce, 2019).

López-Morales vd. (2021) çalışmalarında, iklim değişikliği nedeniyle, tarım işletmeciliğinin sorunlarından birinin sert çekirdekli meyve ağaçlarının döngüsünün ilerlemesi veya bozulması olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca iklim verileri ve biyoiklim göstergelerine dayalı olarak belirli bir alanın belirli çekirdekli meyve ağaçlarının dikilmesi için minimum iklim gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığının araştırılması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu amaçla bir IoT platformu kullanılarak bir pilot çalışma gerçekleştirmişlerdir (Şekil 5). Çalışma, hava koşullarına, diğer tarım yıllarına ait deneyimlere, tarla defterlerine ve bitki sensörlerine dayalı olarak bir alanda çeşit seçiminde karar vermeye yardımcı olan bir sistemdir. Çalışmada, çevreye daha iyi uyum sağlayan sert çekirdekli meyve çeşitlerinin geliştirilmesi don riski için önceden tahmin senaryoları simüle edilmiştir.

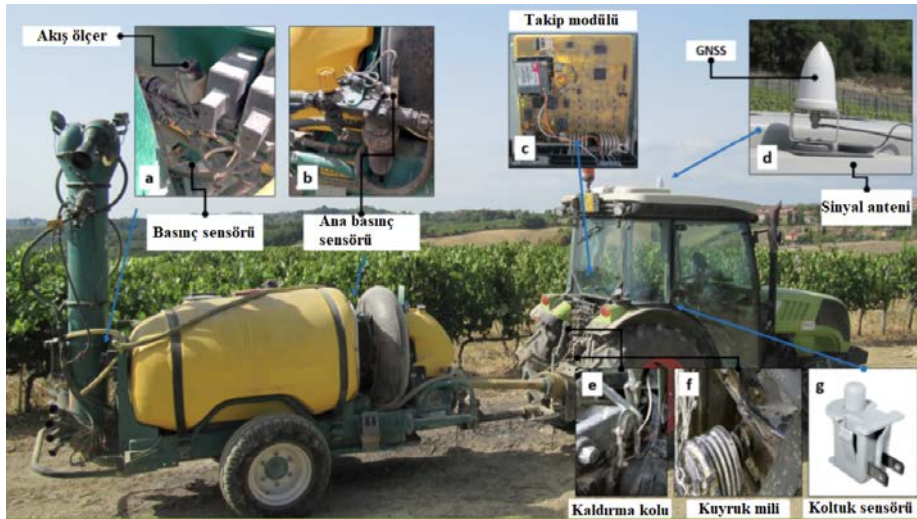


Şekil 5. Geliştirilen yöntemin akış şeması (López-Morales vd. 2021)

Telemetri, uzakta bulunan çeşitli ortamlardaki bilgilerin algılanması ve ölçülmesi, ardından bu bilgilerin merkezi veya ana konuma iletilmesi olarak tanımlanmaktadır. Telemetri uzak sahadaki bir işlemi izlemek ve kontrol etmek için kullanılmaktadır. Uzak sahada, bir sensör veya sensörler tipik olarak veri kaynağıdır. Sensörün/sensörlerin çıkışı, küçük bir bilgisayar cihazı veya RTU (Uzak Terminal Birimi) tarafından dijital verilere dönüştürülmektedir. RTU, dijital verileri hava üzerinden iletebilen bir analog sinyale dönüştüren bir modem cihazına arabirimdir. Radyo vericisi daha sonra sinyali ana radyo alıcısına iletir ve süreç tersine döner. Modem, alınan analog sinyali alır ve veri kurtarma ekipmanı tarafından işlenebilecek dijital bir forma geri dönüştürmektedir. Tipik bir

uygulamada, ana bilgisayar, uzak saha(lar)dan veri istemektedir. Baz istasyonu, uzak birime verilerini göndermesini söyleyen bir istek iletmektedir. Baz istasyonu alma moduna döner ve uzak sahadan iletimi beklemektedir. Uzaktan kumanda verilerini gönderdikten sonra, baz istasyonundan gelecek talimatları bekleyen alma moduna geri dönmektedir. Baz istasyonu uzak saha bilgilerini aldığı anda, o sahaya ek talimatlar gönderebilir veya bir sonraki uzak sahadan veri talep etmeye devam edebilmektedir. Bu yoklama işlemi, sistemdeki tüm uzaktan kumandalar verilerini gönderene kadar devam etmektedir (Kumar, 2004).

Sarri vd. (2017) yaptıkları çalışmada, üzüm üreticilerinin ilaçlama operasyonlarının performansını gerçek zamanlı olarak izlemeleri ve faydalı veriler elde etmeleri için Şekil 6'da görülen prototip telemetri sistemini geliştirmişlerdir. Prototip telemetri sistemi, veri toplama için bir izleme modülü, uzaktan izleme ve veri depolama için bir sunucu, veri iletimi için bir GSM/GPRS/GPS modülü ve pülverizatörün lokalizasyonu için bir GNSS'den oluşmaktadır. Elde edilebilen veriler enlem, boylam, pülverizatörün ilerleme hızı, üç nokta askı sisteminin durumu, PTO, püskürtme borusunun çalışma tarafı (sol ve sağ), operatörün varlığı, santrifüj pompadaki ve püskürtme borusundaki basınç değerleri ve akış hızıdır. Araştırmacılar tarafından geliştirilen bu telemetri sistemi, tüm bileşenlerin düzgün çalışıp çalışmadığının değerlendirilmesi için farklı üzüm bağlarında test edilmiştir. Çalışma sonunda araştırmacılar, telemetri sisteminin sensörleri tarafından ölçülen püskürtme basıncının ve akış hızının, pülverizatörün düzenlenmesi için tanımlanan teorik değerlere benzer olduğunu ve sağlanan ilerleme hızından türetilen bir sayı olan uygulama hızının tahmini değerinin de teorik değere benzer olduğunu ve bunun da telemetri sistemi tarafından kaydedilen ilerleme hızının doğru olduğunu gösterildiğini bildirmişlerdir.



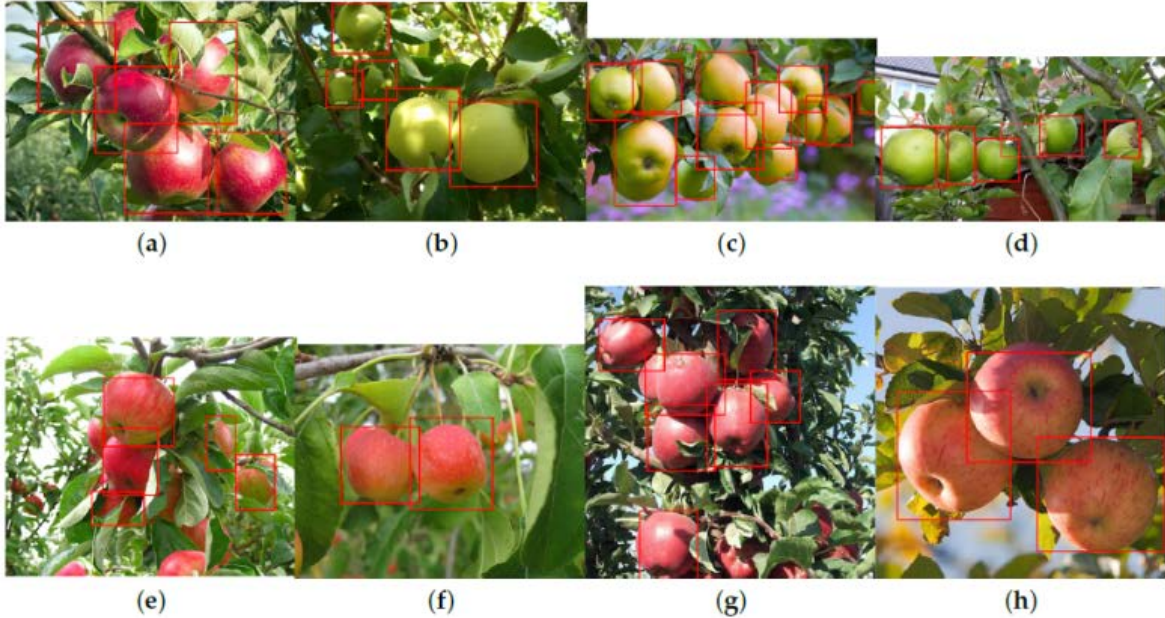
Şekil 6. Prototip telemetri sistem mimarisini. a) ve b) pülverizatör üzerindeki sensörler, c) yerleşik izleme modülü, d) traktör çatısına yerleştirilen haberleşme cihazları, e), f) ve g) sürüş durumunu izlemek için traktöre monte edilmiş sensörler (Sarri vd., 2017).

2.6. Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi

Yapay zeka insan zekasının sahip olduğu algılama, öğrenme, geçmiş tecrübe ve düşünme yeteneğinin bilgisayar, makine veya sistemlere kazandırılarak yeni durumlar karşısında karar vermesini sağlaması ve gerekli işlemi yapabilmesidir. Bu karar verme işlemi sırasında insan zekası

tarafından ilgili konunun hangi parametrelerine bakılıp değerlendiriliyorsa, yapay zekaya bu değişkenler öğretilmekte ve karar vermenin sağlanması için de insanın zihinsel fonksiyonlarına benzeyen yorumlar yapabilen bilgisayar modelleri yardımıyla formüller oluşturulmaktadır (Özğüven, 2019). Makine öğrenmesi ise modeller ve özellikler olarak iki önemli matematiksel varlığı içermektedir. Matematiksel bir veri modeli, veri, model ve görev arasındaki ilişkileri formüle etme sürecidir. Bu amaçla kullanılan matematiksel formüller, sayısal nicelikleri birbiriyle ilişkilendirmektedir. Ancak ham veriler genellikle sayısal değildir. Sayısal olan ve olmayan verileri birbirine bağlayan bir parça olarak bu özellikler kullanılmaktadır. Özellikler, eldeki görevle ilgili ham verilerin sayısal bir temsilidir. Modelin eğitim sürecinde yeterli sayıda ve bilgilendirici özellik yoksa, model nihai görevi gerçekleştiremez. Çok fazla özellik varsa veya çoğu alakasız ise, model daha pahalı ve eğitilmesi zor olacaktır. İyi özellikler, sonraki modelleme adımını kolaylaştırmakta ve sonuçta ortaya çıkan model, istenen görevi tamamlama konusunda daha yetenekli hale gelmektedir. Kötü özellikler, aynı performans düzeyini elde etmek için çok daha karmaşık bir model gerektirebilmektedir (Zheng ve Casari, 2018).

Sa vd. (2016) yaptıkları çalışmada, önceden eğitilmiş bir Faster R-CNN kullanarak otonom bir tarımsal robotik platform ile gerçek zamanlı meyve tespiti için meyve algılama sistemi geliştirmişlerdir. Araştırmacılar, modelin minimum sayıda eğitim görüntüsü ile farklı meyve türlerine kolayca uyarlanabilir olduğunu ve RGB ile NIR görüntülerinin erken ve geç füzyonla birleştirildiği yaklaşımlar sunduklarını, çalışma sonucunda Kavun, $F1=0.848$; Çilek, $F1=0.948$; Elma, $F1=0.938$; Avokado, $F1=0.932$; Mango, $F1=0.942$; Portakal, $F1=0.915$; Tatlıbiber, $F1=0.828$ puanlarının elde edildiği ve bu doğruluğa ek olarak, piksel düzeyinde açıklama yerine sınırlayıcı kutulara açıklama eklemenin daha hızlı gerçekleştirileceğini belirtmişlerdir. Şekil 7'de çalışmada yapılan meyve tespitlerinden örnekler verilmiştir.



Şekil 7. Farklı çeşitlerdeki kırmızı (a,e-h) ve yeşil (b-d) elma tespiti için sekiz örnek (Sa vd., 2016)

2.7. Tarım Robotları

Tarım robotları, bitkisel ve hayvansal üretimin birçok uygulamasının gerçekleştirilmesi için geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Tarım robotlarının, tarımsal yetiştirme ve üretim alanlarının yapılandırılmamış olması ile çalışmalarda bulunan karmaşık olaylar, çalışma alanlarının ve uygulamaların çeşitliliği gibi zorluklardan dolayı ticarileşmiş tarım robotu sayısı sınırlı kalmış ve bu alandaki çalışmalar genelde akademik ve araştırma boyutundadır. Ancak öğrenme ve ürün geliştirme süreci devam etmektedir. Yakın bir tarihte bu çalışmaların mutlaka yaygınlaşacağı ve ticari ürüne dönüşme potansiyelinin yüksek olduğu düşünülmektedir (Özgüven, 2023). Bununla birlikte, tarımsal alanlarda bulunan nem, sıcaklık ve aşındırıcı faktörler gibi ortam şartları ile uzak mesafelerde yaşanan iletişim sorunları gibi teknik zorluklar tarım robotları ve akıllı makinelerin uygulanması önündeki engellerden bazılarıdır (Özgüven ve Közkurt, 2021). Ayrıca, tarım robotları tarımsal üretimde verimliliğin ve ürün kalitesinin artırılması, üretim maliyetlerinin ve zahmetli birçok tarımsal işteki insan iş gücünün azaltılması sayesinde çiftçi refahının artırılmasını sağlayacak çok önemli bir araçtır (Özgüven vd., 2016).

Vatavuk vd. (2022) tarafından farklı asma sıra yapılarına adapte olabilen ve gerçek zamanlı uygulamalara uygun bağ ilaçlaması için Model Tahmini Kontrol (MPC) tabanlı bir yaklaşım sunulmuştur. Bu yaklaşımda robotik kol püskürtme memesinin konumunu ve yönünü kontrol ederken, mobil taban bir dizi asma boyunca hareket edebilmektedir. Çalışmada, asma örtüsünü ilaçlarken gereksiz ilaçlamayı en aza indirmek amacıyla asma yeşil aksamı tanımından bir referans çim biçme makinesi desen yörüngesi oluşturulmuştur. MPC algoritması tarafından sağlanan manipülatör araç hızı komutları, görev alanı kontrolü kullanılarak izlenmektedir. Sunulan yaklaşımın değerlendirilmesi için Optitrack kamera sistemi ile donatılmış kapalı bir ortamda bir bağ ilaçlama ve dış değerlendirme senaryosu olmak üzere iki deney yapılmıştır (Şekil 8). Tüm deneylerde kullanılan referans robot yörüngesinin hızı 0,3 m/s'dir. $T=0.1$ s'lik bir örnekleme periyodu ile 40 adımlık bir tahmin ufku kullanılmıştır. 600 deneme için MPC ve görev alanı kontrol optimizasyon problemlerinin ortalama hesaplama süreleri sırasıyla 3.998 ms ve 0.201 ms'dir. Araştırmacılar bu değerlerin, sunulan yaklaşımın daha büyük tahmin ufkularıyla bile gerçek zamanlı bir senaryoda kullanılmasına izin verdiğini bildirmişlerdir.



Şekil 8. Bağda ilaçlama yapan mobil robot (Vatavuk vd., 2022)

Van Henten vd. (2002) tarafından, serada salatalıkların hasat edilmesi için otonom bir robot geliştirilmiştir. Salatalık hasat robotu bir serada test edilmiş ve insan müdahalesi olmadan %80 başarıyla robotun salatalık alabilme yeteneğine sahip olduğu belirlenmiştir. Ortalama olarak robot bir salatalığı seçmesi için 45 s gerekmektedir. Robotun geliştirildiği Hollanda'da salatalıklar oldukça üniform bir düzene sahip seralarda yetiştirilmektedir. 2 ha'lık bir sera için yoğun sezon boyunca 4 hasat robotu ve bir adet yerleştirme istasyonu gerekmektedir. Bu bilgilere dayanarak hasat robotunun tasarım özellikleri tanımlanmıştır. Temel şart, tek bir hasat işleminin en fazla 10 saniye sürebileceğidir. Standart 2 ha'lık bir serada, ana yola dik her biri yaklaşık 60 m uzunluğunda koridorlar ile seranın merkezi boyunca ana yol bulunmaktadır. Ana yolun her iki tarafında salatalık bitkileri bulunan 100 sıra vardır. Bir koridor, bir yol adı verilen bitki sıraları arasında bulunur. Koridorun her iki yanında iki sıra arasındaki mesafe 0.9 m'dir. Sıradaki salatalık sapları arasındaki mesafe 0,35 m'dir. Toplamda üst üste yaklaşık 180 sap olmaktadır. O zaman yoğunluk 3.6 sap/m²'dir. Koridorlarda yerdeki ısıtma boruları, mahsul bakımı ve hasat sırasında nakliye rayları olarak kullanılır. Manuel hasat sırasında meyveler bir arabada sandıkla toplanmaktadır. Dolu kasalar ana yolda boş kasalarla değiştirilmektedir. Hasat edilen salatalıklar daha sonra depolanma alanına taşınır, burada sınıflandırılır, ambalajlanır ve satışa kadar depolanır. Otonom salatalık robotu; otonom araç, manipülatör, robot kol ucu, meyve ve çevrenin algılanması ve 3 boyutlu görüntülenmesi için iki bilgisayar görü sistemi ile hasat sırasında manipülatör için çarpışmadan hareket üreten bir kontrol şemasından oluşmaktadır (Şekil 9). Manipülatörün yedi serbestlik derecesi vardır. Bu hasat görevi için yeterlidir. Robot kol ucu, yumuşak meyveyi kalite kaybı olmadan tutacak şekilde tasarlanmış ve içerisindeki termal kesme cihazı virüslerin sera boyunca yayılmasını engeller.



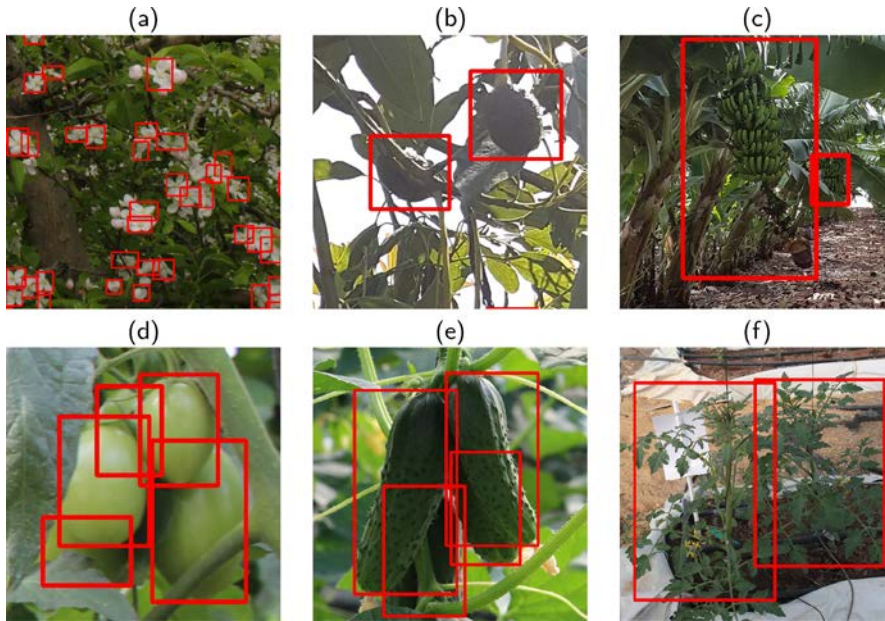
Şekil 9. Salatalık hasat robotu (Van Henten vd., 2003).

2.8. Görüntü İşleme

Görüntü işleme tekniği, bir kamera, tarayıcı veya sensörler ile elde edilen fotoğraf veya video karesindeki görüntüyü kayıttan sonra dijital formata dönüştürmek ve bu dijital verilerden birtakım algoritmalar yardımıyla bazı faydalı bilgiler çıkarmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu teknikte görüntüler çeşitli işlemlerle yeniden düzenlenmekte ve sonunda bu işlemlerden anlamlı sonuçlar elde edilmektedir. Bu işlemler sırasında görüntüdeki önemli verileri temsil eden tanımlayıcı parametreler bulunmaktadır. Bu sayede ölçülecek özneliklerin tanımlanması ve ayrılması, görüntü bozukluklarının düzeltilmesi, belirli özneliklerin görünürlüğünün artırılması ve arka planda eşiklenmesi gerçekleştirilmektedir (Özgüven ve Yanar, 2022). Görüntü işleme tekniklerinin tarımsal faaliyetlerde

uygulanmaya başlanması ile hastalık, zararlı ve yabancı ot tespiti, bitki streslerinin belirlenmesi, verim tahmini, ürün gelişiminin takibi, sulama yöntemlerinin modellenmesi, toprak özelliklerinin belirlenmesi gibi birçok konuda çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmaların uygulanması sırasında elde edilen deneyim, makine öğrenmesi, derin öğrenme, yapay zeka, modelleme ve simülasyon uygulamaları ile birlikte değerlendirilmesi sonucu gerçek zamanlı ve otomatik çalışan uzman sistemler, otonom traktör veya tarım makinaları ve tarımsal robotik uygulamalarının geliştirilmesini sağlamıştır (Altaş vd., 2019).

Görsel nesne algılama, otomatik tarımın çeşitli uygulamalarında önemli bir bileşendir. Tarımsal ortamda çeşitli tespit problemleri bulunmaktadır. Bu zorluklar dört grupta incelenebilmektedir. Birincisi, alan görüntüleri yüksek ölçekli varyansa sahip düzinelerce nesne içerebilmektedir. Bitkiler genellikle sıralar halinde büyütüldüklerinden hem yakın hem de uzak nesnelere yakalanmakta ve tek bir görüntüde birçok oktavda nesnelere algılanması gerekmektedir. İkincisi, örneğin elma çiçeklerinde veya domateslerde tipik olan kümelenmiş bir büyüme modeli, birçok nesne için şiddetli oklüziona yol açmaktadır. Üçüncüsü, hedef nesnelere genellikle arka plan yapılarına biraz benzerlik gösteren, ayırt edici ayrıntıların olmadığı basit bir şekile sahiptir. Örneğin, domates ve avokado gibi yuvarlak şekilli nesnelere, yapraklardaki yuvarlak yapraklarla karıştırılabilmektedir. Hıyar gibi sopa benzeri nesnelere, bazı dal ve saplara benzerliği yüksektir. Domates gibi bütün bitkiler ise dışbükey değildir ve iskeletlidir. Son olarak, dış ortam koşullarındaki aydınlatma, şiddetli gölgeler oluşturmada ve çekim saatlerinde değişmemesi gerekmektedir. Bu zorluklardan bazıları Şekil 10'daki örnek görüntülerde gözlemlenebilmektedir (Wosner vd., 2021).



Şekil 10. Tarımsal ortamda tespit güçlükleri: (a) Kırılmış görüntüde düzinelerce elma çiçeği (b) Basit şekilli ve yapraklara yüksek benzerlik gösteren, ayırt edilemeyen nesnelere (avokadolar) (c) Nesne ölçeğinde aşırı farklılık (d), (e) Domates ve salatalıktaki kümelenmiş büyümeden kaynaklanan ciddi tıkanıklıklar (f) Domates bitkileri dışbükey olmayan nesnelere, bu da komşu nesnelere ayırtmayı zorlaştırmaktadır (Wosner vd., 2021)

Millan vd. (2018) yaptıkları çalışmada, görüntü analizi ve Boolean modeli kullanarak üzüm bağlarında verimin tahribatsız, objektif ve otomatik olarak değerlendirilmesi için yeni bir sistem

geliştirmişlerdir (Şekil 11). Araştırmacılar görüntü almada asmanın salkımından veya diğer organlarından kaynaklanan tıkanıklıkların, sonuçların kalitesini düşüren bir etkiye sahip olduğunu, tahmindeki tıkanıklıkların etkisini azaltmak için meyve sayılarının Boolean modeli kullanılarak değerlendirildiğini ve Boolean modelinin küme alanı ve ağırlık arasındaki ilişkiye dayalı daha basit bir tahminci ile karşılaştırıldığında, sonuçları büyük ölçüde iyileştirdiğini metodolojiyi değerlendirmek için küme görüntüleri, manuel olarak elde edilen asma görüntüleri ve hareket halindeyken yakalanan asma görüntüleri olmak üzere üç farklı veri seti üzerinde çalışmalar yapıldığı belirtilmiştir. Çalışma sonunda, kök ortalama kare hatası (RMSE) değeri 20 ve determinasyon katsayısı (R^2) 0.80 ile küme görüntülerindeki üzüm sayısının tahmin edildiği, manuel olarak çekilen asma görüntüleri 310 gram ortalama hata ve $R^2=0.81$ ile değerlendirildiği ve yapay ışık ve otomatik kamera tetikleme ile çekilen görüntülerde üç asmadan oluşan bölüm başına 610 gram ortalama hataya ve $R^2=0.78$ ile tahmin edildiği rapor edilmiştir.

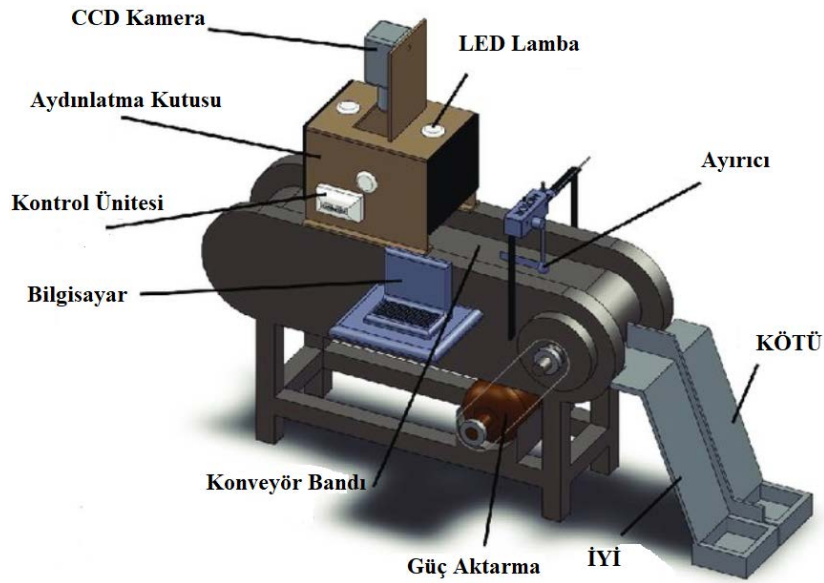


Şekil 11. (a) Hareket halindeyken görüntü yakalama sistemi: otomatik kamera tetikleme, LED aydınlatma ve kolay konum ayarı için yapı, (b) Kontrolsüz aydınlatma koşullarında çekilmiş bir asma görüntüsü, (c) RGB ve HSV temsillerini kullanarak yapılan segmentasyon sonucu (Millan vd., 2018).

2.9. Makine Görüsü

Makine görüşü, insan müdahalesi olmadan hızlı bir şekilde çok büyük miktarda veriyi işleme kabiliyetine sahiptir. Böylece bir nesneye ait alınan görüntülere ait sayısal veriler zıtlık geliştirme, netleştirme gibi çeşitli işlemlerle amaca uygun geliştirilen algoritmalarla işlenerek görüntüler tanınmakta ve sisteme bağlı robotik veya diğer cihazlar otomatik olarak kontrol edilmektedir. Tarımsal ürünlerin kalite durumlarının belirlenmesinde makine görüşü sistemlerinin kullanımında karşılaşılan bazı zorluklar bulunmaktadır. Bu zorluklar; tarımsal ürünlerin çok çeşitli ve farklı özellikte olması, düzensiz şekillere sahip olmaları, doğal koşullarda çalışılması durumunda aydınlatmanın kontrol altında tutulamaması, küçük yapıları olmalarından dolayı ürünlerin birbirine temas etmesi, üst üste gelmesi veya arka planda benzer çeşitli nesnelerin bulunmasıdır (Özgüven vd., 2020). Tarımsal ürünlerin piyasa fiyatları ürünün kalitesiyle doğrudan ilişkilidir. Özellikle meyveleri sınıflandırmak için en yaygın yöntem elle sınıflandırmadır. Elle sınıflandırmada yüksek işçilik maliyetleri, işçi yorgunluğu, tutarsızlık ve ortam ışığı yoğunluğundaki değişiklikler, kişisel kalite algısındaki farklılıklar ve eğitimli işçi azlığı gibi çeşitli faktörler olumsuz etkilemektedir. Meyve sınıflandırmasında makine görüşünün tahribatsız olarak kullanılmasıyla sınıflandırma doğru ve kaliteli yapılmakta, işçilik maliyetleri azalmaktadır (Özgüven, 2023).

Arjenaki vd. (2013) yaptıkları çalışmada, domatesleri olgunluk (renk), kusur (renk bozuklukları, büyüme çatlakları, güneş yanığı ve erken yanıklık), şekil (dikdörtgen ve dairesel) ve boyut (küçük ve büyük) olmak üzere 4 kalite kriterine göre online olarak sınıflandırması için bir makine görüsü sistemi geliştirmişlerdir (Şekil 12). Bu çalışmada geliştirilen yazılım, domates şeklini eksantrikliği, domates boyutunu 2 boyutlu görüntü alanı, domates olgunluğunu ortalama rengi ve domates kusuru dolgunluk parametresi ile değerlendirilmiştir. Bir CCD kamera, bir mikro denetleyici, sensörler ve bir bilgisayardan oluşan sistemin bantlı konveyör hızı, domates aralığı ve ışık yoğunluğu koşullarına göre test edilmesi için makine görüsü ile donatılmış deneysel bir ayırma sistemi kurulduğu, optimum çalışma koşulları belirlendikten sonra, ayırma makinesi kullanılarak domates örnekleri şekil, renk, boyut ve kusurlarına göre ayrıldığı, kusur tespiti, şekil ve boyut algoritması ve genel sistem doğruluğunun sırasıyla %84,4, %90,9, %94,5 ve %90,61 olduğu bildirilmiştir.



Şekil 12. Domateslerin kalitelere göre ayıran bir makine görü sistemi (Arjenaki vd., 2013).

3. TARTIŞMA

Teknolojide sürekli ve hızlı gelişmeler yaşanmakta ve gün geçtikçe yeni teknik, yöntem, model, makine, donanım, sensör ve cihazların ortaya çıkması ve fiyat olarak alınabilir düzeyde olmasıyla kolay ulaşılabilir olmasını sağlamış ve dijital teknolojilerin yaygınlaşmasına katkı sağlamıştır. Çok yakın bir gelecekte 5G teknolojisinin de devreye girmesiyle tüm kırsal alanlarda internet olacak ve önemli tarımsal uygulamaların önünün açılması sağlanacaktır. Bu nedenle tarımsal verimliliği ve çiftçi gelirlerini artıracak, emek yoğun olarak yapılan işleri kolaylaştıracak çalışmalar desteklenmelidir. Dijital tarım uygulamaları, akıllı sensörler, dronlar, robotlar, otonom araçlar, uzaktan algılama, nesnelerin interneti, değişken oranlı uygulama, yapay zeka, makine öğrenmesi, görüntü işleme ve makine görüsü gibi gelişmiş teknolojilerle bahçe bitkileri yetiştiriciliği uygulamalarını daha etkili hale getirebilir. Günümüz şartlarında dijital tarım uygulamalarının bir veya birkaçını kullanabilmek teknik ve ekonomik imkanlar ile kalifiye insan gücü ile doğrudan ilişkilidir. İmkanlar dahilinde çiftçi veya işletmeler fayda sağlayan dijital tarım uygulamalarından bazılarını kullanmayı deneyebilir. Kullanıp kullanılmayı belirleyici unsur mutlaka uygulama sonucunda ekonomik ve çevresel fayda sağlanıp sağlanmadığının veya fayda seviyesine (az, çok veya hiç) bakılmalıdır.

4. SONUÇ

Bahçe bitkileri yetiştiriciliği tarımsal katma değer içerisinde önemli bir paya sahiptir. Meyve ve sebze talebi dünya nüfusunun artmasına bağlı olarak sürekli artmaktadır. Artan talebin karşılanması amacıyla kurulan büyük bahçe ve seraların kurulum sayısında önemli artışlar bulunmakta ve bu alanda önemli yatırımlar yapılmaktadır. Dijital tarım uygulamalarının bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde kullanılması ile tarımsal işlemlerin iyileştirilmesi ve işletme verimliliğinin en üst düzeye çıkarılması sağlanmaktadır. Dijital tarım uygulamalarının sağladığı faydalar, bu alandaki durum tespiti veya yaşanan sıkıntılarla birlikte maddeler halinde sıralanmıştır.

- ✓ Dünya nüfusunun artmasına bağlı olarak artan gıda talebinin karşılanması için tarımsal üretimin etkin, verimli ve kaliteli yapılması zorunluluğunu gerekli kılmıştır. Dijital tarım uygulamaları, tarımsal faaliyetlerden elde edilen bilgileri ve verileri gerçek zamanlı olarak toplanmasını sağlamakta, elde edilen verilerin çiftçiler, üreticiler ve tarım işletme yöneticileri tarafından tüm faaliyetler anlık takip edilebilmekte ve gerekli kararlar anında alınabilmektedir. Bu nedenle tarımda teknoloji kullanılmasıyla daha kaliteli, daha rekabetçi, daha verimli ve sürdürülebilir üretim için daha etkin yönetim kararları alınmasına katkı sağlamaktadır.
- ✓ Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin neden olduğu kuraklık, dolu, sel, hortum vb. doğa olayları tarımsal faaliyetleri daha da zorlaştırmaktadır. Dijital tarım teknolojilerinin özellikle sulamada kullanılması ile kuraklığın etkisinin azalmasına, su kullanımının iyileştirilmesine ve işletme üretkenliğinin en üst düzeye çıkarılmasına yardımcı olmaktadır.
- ✓ İklim ve hava koşullarına bağlı olarak üretim sırasında belirsizlikler bulunmakta ve bu belirsizlikler tarım ürünlerinin dönemsel fiyat istikrarsızlarına sebep olmaktadır. İklim istasyonları ve erken uyarı sistemlerinin kullanılması belirsizliklerin giderilmesi ve olabilecek olumsuzluklara karşı gerekli tedbirlerin alınmasına yardımcı olabilmektedir.
- ✓ Rekoltenin bilinmemesi ürün fiyatının belirlenmesinde sorunlar oluşturabilmekte ve üretici gelirlerinde kayıplar olabilmektedir. Rekoltenin uzaktan algılama, görüntü işleme ve yapay zeka teknikleri ile ürün fiyatlarına ilişkin öngörülebilir ve belirli olması konusunda fayda sağlayabilir.
- ✓ Meyve ve sebze yetiştiriciliğinde birim alandan elde edilen verim dolayısıyla gelir, diğer tarım ürünlerine göre daha yüksektir. Ancak ürünlerimizin ihracat değerleri istenen seviyelerde değildir. İhracat gelirlerinin ve miktarlarının arttırılabilmesi için dış pazarlarda talep edilen ürünlerin üretiminin teşvik edilmesi, ürün kalitesinin yüksek olması ve hasat sonrası depolama, taşıma, pazar bulma gibi konularda IoT, iyi tarım uygulamaları, hal kayıt sistemi ve dijital pazar imkanlarının kullanılması fayda sağlayabilir. Tarımda üretici ve işletmeler, tedarikçiler, devlet kurumları, kooperatifler, satıcılar, servis gibi tarım ve gıda sektörü arasındaki etkin iş birlikleri tarımsal ürünlerden daha fazla gelir elde edilmesine katkı sağlayabilir.
- ✓ Tarımsal üretimde üretici gelirlerinin düşük olması ve tarım ile uğraşan genç nüfusun köylerden kentlere göç etmesi sonucu, köydeki yaşlı nüfusun artmakta ve işçi sıkıntısı yaşanması nedeniyle istenen tarımsal üretimin yapılamamasına neden olmaktadır. Bu nedenle çiftçiliğe teşvik edilmesi, kırsal kalkınmanın sağlanması, tarımsal üretim, üretici gelirlerinin artırılması ve pazarlama koşullarının iyileştirilmesi için teknoloji kullanımı fayda sağlayabilir.
- ✓ Üreticiyi en zorlayan konulardan biri döviz kuruna bağlı olan akaryakıt, gübre, tohum ve ilaç gibi girdi maliyetlerinin çok yüksek olmasıdır. Gübre bitkisel üretim artışı için kullanımı

zorunludur. Aynı şekilde bitkilerin hastalık, zararlılar ve yabancı otlara karşı korunması amacıyla pestisit uygulanmakta ve artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacının sağlanabilmesi için pestisit kullanımı da zorunludur. Değişken oranlı uygulamalar ile gereksiz gübre ve ilaç kullanımının önlenmesi engellenmektedir. Aynı zamanda bu uygulamalar çevre kirliliğinin önlenmesine katkı sağlamaktadır.

- ✓ Hastalık ve zararlılar tarımsal üretimde büyük verim ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bitkilerde ve yapraklarda hastalık ve zararlı tespiti için görüntü işleme ve makine öğrenmesi kullanımı hızlı, pratik ve insan kaynaklı yanılma payını azaltacak çözümler sunmaktadır.
- ✓ İlaçlama zorlukları bulunan meyve ağaçlarında drone ile ilaçlama, hastalık ve zararlılarla mücadelenin etkin yapılmasına katkı sağlamaktadır.
- ✓ Bilinçsiz ve kontrolsüz kimyasal ilaçlarla mücadele, zararlı organizmalarda duyarlılık azalışına yol açmakta, pestisitlerin etkisiz hale gelmelerine neden olmakta, çevre kirliliği oluşturmakta, gıdaları zehirli kalıntıları ile bulaştırmakta ve tarım ürünü ihracatında sorunlar ortaya çıkarmaktadır. The Rapid Alert System for Food and Feed Annual Report (RASFF), 2020 yılı verilerine göre Türkiye'den Avrupa Birliği'ne ihraç edilen meyve ve sebzelerde tehlikeli düzeydeki pestisit kalıntı bildirim sayısı 190'dır. Özellikle Türkiye'den Bulgaristan'a giden meyve ve sebzelerdeki pestisit uygunsuzlukları konusundaki bildirimlerde ciddi artış bulunmaktadır. Değişken oranlı ilaçlama uygulamaları ile pestisitler gerektiği yerde, gerektiği kadar ve uygun teknikler ile kullanılması sağlanmaktadır.
- ✓ Meyvenin oluşması için gerekli olan tozlaşmada yaşanan sorunlar, meyve üretiminde verim düşüklüğüne neden olmaktadır. Drone ile yapay tozlaşma, bu sorun için getirilen en iyi çözüm olabilir. Drone ile geniş bahçelerde kısa sürede etkili tozlaşma yapılabilir.
- ✓ Özellikle sebze yetiştiriciliği ve muz yetiştiriciliğinin yapıldığı seraların, yarı veya tam otomasyonlu hale getirilmesi, işleri kolaylaştırmakta ve verimliliğe katkısı olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Adão, T., Hruška, J., Pádua, L., Bessa, J., Peres, E., Morais, R., ve Sousa, J. J. (2017). Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry. *Remote Sens.*, 9, no. 11: 1110. <https://doi.org/10.3390/rs9111110>
- Ahmad, L., ve Nabi, F. (2021). *Agriculture 5.0: Artificial intelligence, IoT and machine learning*. Taylor & Francis Group, LLC. ISBN: 978-0-367-64608-0
- Altaş, Z., Özgülven, M.M., ve Yanar, Y. (2019). Bitki Hastalık ve Zararlı Düzeylerinin Belirlenmesinde Görüntü İşleme Tekniklerinin Kullanımı: Şeker Pancarı Yaprak Leke Hastalığı Örneği. *International Erciyes Agriculture, Animal&Food Sciences Conference 24-27 April 2019-* Erciyes University - Kayseri, Türkiye
- Arjenaki, O.O., Moghaddam, P.A., and Motlagh, A.M. (2013). Online Tomato Sorting Based on Shape, Maturity, Size, and Surface Defects Using Machine Vision. *Turk J Agric For.* 37: 62-68. doi:10.3906/tar-1201-10
- Bongiovanni, R., ve Lowenberg-Deboer, J. (2004). Precision Agriculture and Sustainability. *Precision Agriculture*, 5, 359-387

- Campos, J., Gallart, M., Llop, J., Ortega, P., Salcedo, R., ve Gil, E. (2020). On-Farm Evaluation of Prescription Map-Based Variable Rate Application of Pesticides in Vineyards. *Agronomy*. 10(1):102. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010102>
- Guillemin, P., ve Friess, P. (2009). *Internet of Things Strategic Research Roadmap*, The Cluster of European Research Projects, Tech. Rep., September 2009. [http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT Cluster Strategic Research Agenda 2009.pdf](http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT%20Cluster%20Strategic%20Research%20Agenda%202009.pdf). Erişim tarihi: 01.04.2016
- Khan, J. Y. (2019). *Introduction*. In J. Y., Khan ve M. R., Yuce (Editörler), *Internet of Things (IoT): Systems and applications*. Jenny Stanford Publishing Pte. Ltd. Singapore. ISBN 978-0-429-39908-4
- Khan, J. Y., ve Yuce, M. R. (2019). *Preface*. In J. Y., Khan ve M. R., Yuce (Editörler), *Internet of Things (IoT): Systems and applications*. Jenny Stanford Publishing Pte. Ltd. Singapore. ISBN 978-0-429-39908-4
- Kumar, J. (2004). [http://www.dr-joyanta-kumar-roy.com/study_meterial/Telemetry%20systems/Telemetry%20basics.pdf](http://www.dr-joyanta-kumar-roy.com/study_material/Telemetry%20systems/Telemetry%20basics.pdf). Erişim tarihi: 10.04.2021
- López-Morales, J. A., Martínez, J. A., Caro, M., Erena, M., ve Skarmeta, A. F. (2021). Climate-Aware and IoT-Enabled Selection of the Most Suitable Stone Fruit Tree Variety. *Sensors*. 21(11):3867. <https://doi.org/10.3390/s21113867>
- Millan, B., Velasco-Forero, S., Aquino, A., and Tardaguila, J. (2018). On-the-Go Grapevine Yield Estimation Using Image Analysis and Boolean Model. *Hindawi Journal of Sensors*. Volume 2018, Article ID 9634752, 14 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/9634752>
- Nowatzki, J., Andres, R., ve Kyllö, K. (2004). *Agricultural Remote Sensing Basics*. North Dakota State University Extension Service
- Oscó, L. P., De Arruda, M. S., Gonçalves, D. N., Dias, A., Batistoti, J., De Souza, M., Gomes, F. D. G., Ramos, A. P. M., De Castro Jorge, L. A., Liesenberg, V., Li, J., Ma, L., Marcato, J., ve Gonçalves, W. N. (2021). A CNN Approach to Simultaneously Count Plants and Detect Plantation-Rows from UAV Imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Volume 174, P 1-17, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.01.024>
- Ozguven, M. M. (2018). The Newest Agricultural Technologies. *Current Investigations in Agriculture and Current Research*. 5(1), 573-580. DOI: 10.32474/CIACR.2018.05.000201
- Ozguven, M. M., ve Yanar, Y. (2022). *The technology uses in the determination of sugar beet diseases*. In V., Misra, S., Srivastava ve A. K., Mall (Editörler), *Sugar beet cultivation, management and processing*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0_30
- Ozguven, M. M. (2023). *The digital age in agriculture*. CRC Press Taylor & Francis Group LLC. ISBN 978-103-23-8577-8
- Özgülven, M. M. (2018). *Hassas tarım*. Akfon Yayınları, Ankara. ISBN: 978-605-68762-4-0
- Özgülven, M. M. (2019). Teknoloji Kavramları ve Farkları. *International Erciyes Agriculture, Animal & Food Sciences Conference 24-27 April 2019- Erciyes University – Kayseri, Türkiye*
- Özgülven, M. M., Tan, M., Közkurt, C., Yardım, M. H., Özsoy, M., ve Sabancı, E. (2016). Çok Amaçlı Tarım Robotunun Geliştirilmesi. *GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33 (Ek sayı), 108-116

- Özgüven, M. M., Türker, U., Akdemir, B., Çolak, A., Acar, A. İ., Öztürk, R., ve Eminoğlu, M. B. (2020). Tarımda Dijital Çağ. *Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi*. Ocak 2020, Ankara. Bildiriler Kitabı-1, s.55-78
- Özgüven, M. M., ve Közkurt, C. (2021). Agricultural Robots and Smart Agricultural Machinery. *International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies*. 22-25 February 2021. Bandırma-Türkiye. p.81-85. 978-625-44365-8-1
- Özgüven, M. M., Altaş, Z., Güven, D., ve Çam, A. (2022). Tarımda Drone Kullanımı ve Geleceği. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12 (1), 64-83. <https://doi.org/10.54370/orudubtd.1097519>
- Pagliai, A., Ammoniaci, M., Sarri, D., Lisci, R., Perria, R., Vieri, M., D'Arcangelo, M. E. M., Storchi, P., ve Kartsiotis, S-P. (2022). Comparison of Aerial and Ground 3D Point Clouds for Canopy Size Assessment in Precision Viticulture. *Remote Sens.*, 14, 1145. <https://doi.org/10.3390/rs14051145>
- Sa, I., Ge, Z., Dayoub, F., Upcroft, B., Perez, T., ve McCool, C. (2016). DeepFruits: A Fruit Detection System Using Deep Neural Networks. *Sensors*. 16(8):1222. <https://doi.org/10.3390/s16081222>
- Sarri, D., Martelloni, L., and Vieri, M. (2017). Development of a Prototype of Telemetry System for Monitoring the Spraying Operation in Vineyards. *Computers and Electronics in Agriculture*. Volume 142, Part A, Pages 248-259, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.018>
- Schoofs, H., Delalieux, S., Deckers, T., ve Bylemans, D. (2020). Fire Blight Monitoring in Pear Orchards by Unmanned Airborne Vehicles (UAV) Systems Carrying Spectral Sensors. *Agronomy*, 10, no. 5: 615. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050615>
- RASFF. (2020). The Rapid Alert System for Food and Feed. 2020 Annual Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021. ISBN 978-92-76-34376-9 I
- Trendov, N. M., Varas, S., ve Zeng, M. (2019). Digital Technologies in Agriculture and Rural Areas. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome
- TÜİK. (2022). Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2022. Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni No:45504. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2022-45504>. Van Henten, E.J., Hemming, J., Van Tuijl, B.A.J., Kornet, J.G., Meuleman, J., Bontsema, J., ve Van Os, E.A. (2002). An Autonomous Robot for Harvesting Cucumbers in Greenhouses. *Autonomous Robots*. 13, 241-258. Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands
- Van Henten, E.J., Van Tuijl, B.A.J., Hemming, J., Kornet, J.G., Bontsema, J., ve Van Os, E.A. (2003). Field Test of an Autonomous Cucumber Picking Robot. *Biosystems Engineering*. Volume 86, Issue 3, Pages 305-313, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.08.002>
- Vatavuk, I., Vasiljević, G., ve Kovačić, Z. (2022). Task Space Model Predictive Control for Vineyard Spraying with a Mobile Manipulator. *Agriculture*. 12(3):381. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030381>
- Wosner, O., Farjon, G., ve Bar-Hillel, A. (2021). Object Detection in Agricultural Contexts: A Multiple Resolution Benchmark and Comparison to Human. *Computers and Electronics in Agriculture*. Volume 189, 106404, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106404>
- Zheng, A., ve Casari, A. (2018). *Feature engineering for machine learning: principles and techniques for data scientists*. O'Reilly Media Inc., 978-1-491-95324-2

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

In digital agricultural applications, data obtained from a wide variety of sensors, cameras or systems from agricultural fields is transferred to the cloud by wireless communication. These data can be accessed from anywhere in the world at any time. Then, the data obtained are evaluated in real time by expert systems using various computational techniques based on artificial intelligence, and the necessary applications can be made automatically without human intervention. In this study, the main digital agriculture technologies used in horticultural cultivation, which are used as an alternative to traditional production methods, are explained by giving case studies.

Methodology

Technical possibilities offered by technology enable many agricultural processes to be facilitated, provide alternative solutions to some existing problems and especially by ensuring that production and applications are carried out correctly and on time, it makes significant contributions to the effective, efficient and high quality of agricultural production. In this study, digital agriculture technologies such as precision agriculture, camera-sensors, remote sensing, IoT, UAV, artificial intelligence-machine learning, agricultural robots, image processing and machine vision used in horticultural cultivation are explained with sample applications.

Results and Conclusions

There are continuous and rapid developments in technology, and the emergence of new techniques, methods, models, machines, hardware, sensors and devices has contributed to the development of digital technologies. Digital agricultural technologies have the potential to increase agricultural productivity and farmer incomes and to facilitate labor-intensive work. In the near future, with the introduction of 5G technology, there will be internet in all rural areas and will pave the way for important agricultural applications.

In horticultural cultivation, it is done labor-intensively by struggling with many difficulties such as such as diseases, pests, drought due to global warming, natural events such as floods, and economic crises, which are seen in all other agricultural areas. It is necessary to use technology in order to make agricultural production effective, efficient and high quality. Devices and systems developed using digital agricultural technologies are becoming widespread and the variety in application areas is constantly increasing. The development of digital agricultural technologies that will increase productivity and quality should be considered as a priority within the scope of incentives and supports.

Yazarların Biyografisi



Mehmet Metin ÖZGÜVEN

1997 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda 2000 yılında yüksek lisans eğitimini, 2009 yılında ise doktora eğitimini tamamladı. 2021 yılında Biyosistem Mühendisliği Bilim Alanında Üniversite Doçenti unvan ve yetkisini aldı. Halen Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Bölümünde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Hassas tarım, Akıllı-dijital tarım, Tarımda bilgi teknolojileri konularında çalışmaktadır. Adres: Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 06135, Ankara, Türkiye. Tel: +90 312 596 1576.

İletişim mmozguven@ankara.edu.tr
ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0002-6421-4804>