

Tarımda Otonom Araçların Kullanımı

Use of Autonomous Vehicles in Agriculture

Mehmet Metin Özgüven^{1,*}  Maksut Barış Eminoğlu¹  Ahmet Çolak¹ 

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 : 27.09.2024
Düzeltilme tarihi : 28.10.2024
Kabul tarihi : 03.11.2024

Anahtar Kelimeler:

Otonom araçlar
İnsansız kara araçları
İnsansız hava araçları
İnsansız deniz araçları

Özgüven, M.M., Eminoğlu, M.B., Çolak, A. "Tarımda Otonom Araçların Kullanımı" Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 20(3): 217-233

ÖZET

Tarım, tarımsal üretimin her aşamasında yer alan çeşitli zorluklar ve sorunlarla mücadele içerisinde yapılan emek yoğun faaliyetlerden oluşmaktadır. Tarımsal üretimde yer alan ürün çeşitliliğinin ve yetiştiricilik alanlarının sayıca fazla olması çeşitli konularda tarımsal uzmanlıklara sahip olunmasını gerektirmektedir. Ayrıca verimli ve kaliteli üretim yapılabilmesi için yetiştiricilik şartlarının bitki-hayvan isteklerine uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla ekim, gübreleme, bitki koruma, sulama gibi uygulamaların tarım makineleri ile gerektiği şekliyle yapılmasıyla iş gücü, zaman ve üretim maliyetlerinden tasarruf sağlanabilmekte ve daha büyük üretim kapasitelerine ulaşılabilir. Tohum, gübre, pestisit ve su girdilerinin etkinliğinin artırılması ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerin en aza indirilmesi amacıyla çeşitli teknolojik tarım makineleri geliştirilmiş ve teknoloji geliştikçe yeni çözümler geliştirilmeye de devam edilmektedir. Aynı zamanda, tarımda teknolojinin kullanılmasıyla, günümüzde üretim alanlarından gerçek zamanlı bilgi ve veri toplanabilmektedir. Bu aşamaya son dönemde geliştirilen sensör, kamera, aktüatör, sinyal şartlandırıcı, işlemci gibi donanımların artması ve bu donanımların makine öğrenmesi, derin öğrenme, yapay zeka, modelleme, simülasyon gibi yazılım uygulamaları ile uyumlu çalışabilmesiyle ulaşılmıştır. Tarımda teknolojinin geldiği son aşamada ise çok sayıda ticarileşmiş otonom traktör, otonom olarak çalışan tarım makineleri ve tarım robotları bulunmaktadır. Bu çalışmada, otonom araçlar ile otonom araçların özellikleri ele alınmış, tarımda kullanılan otonom araçlara örnekler verilerek açıklanmıştır.

Article Info

Received date : 27.09.2024
Revised date : 28.10.2024
Accepted date : 03.11.2024

Keywords:

Autonomous vehicles
Unmanned ground vehicles
Unmanned aerial vehicles
Unmanned marine vehicles

Özgüven, M.M., Eminoğlu, M.B., Çolak, A. "Tarımda Otonom Araçların Kullanımı" Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 20(3): 217-233

ABSTRACT

Agriculture consists of labor-intensive activities that involve coping with various difficulties and problems at every agricultural production stage. The large diversity of product and cultivation areas in agricultural production requires agricultural expertise in various subjects. In addition, to achieve efficient and high-quality production, cultivation conditions must be adapted to plant and animal demands. For this purpose, by carrying out applications such as planting, fertilizing, plant protection and irrigation with agricultural machinery as required, savings in labor, time and production costs can be achieved and larger production capacities can be achieved. Various technological agricultural machinery has been developed to increase the efficiency of seed, fertilizer, pesticide and water inputs and to minimize the negative effects on the environment, and new solutions continue to be developed as technology develops. At the same time, with the use of technology in agriculture, today, information and data from production areas have been collected in real-time. This stage has been reached with the increase in recently developed hardware such as sensors, cameras, actuators, signal conditioners, processors, and the ability of these hardware to work in harmony with software applications such as machine learning, deep learning, artificial intelligence, modeling, simulation. At the latest stage of technology in agriculture, there are many commercialized autonomous tractors, autonomous agricultural machines and agricultural robots. In this study, autonomous vehicles and their features are discussed and explained by giving examples of autonomous vehicles used in agriculture.

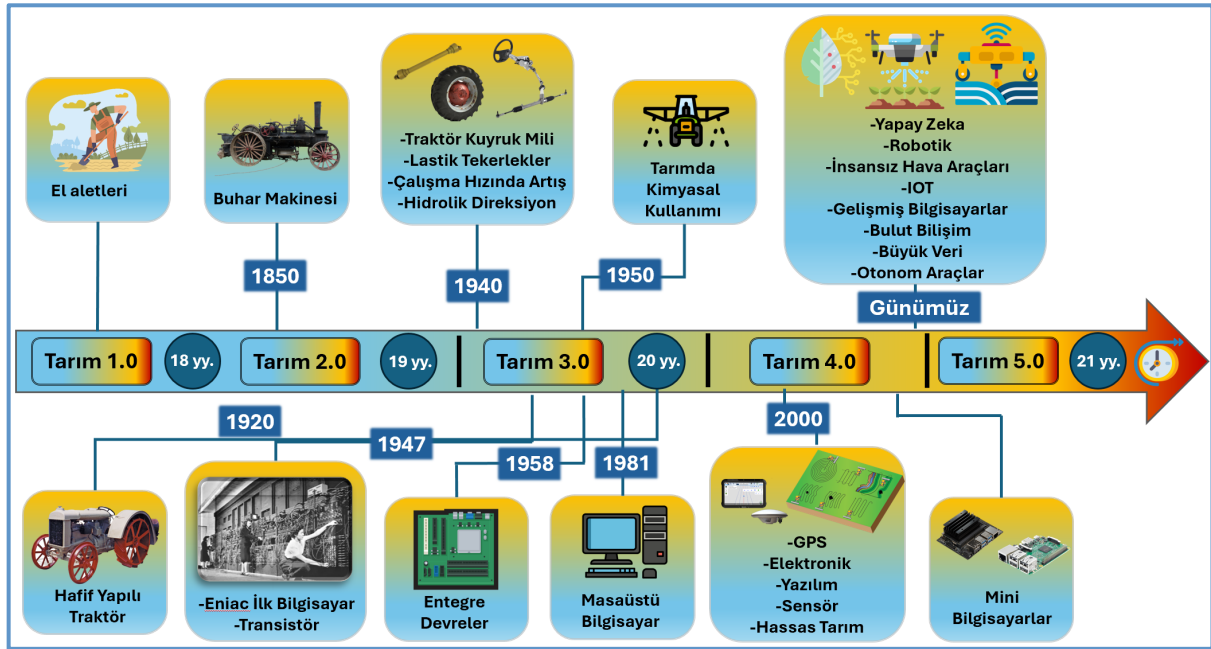
1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle ortaya çıkan donanım, algoritma ve yazılımlar tarımsal işlemlerin kolaylaştırılması ve çözüm veya iyileştirme bekleyen sorunlara alternatif çözümlerin getirilmesini mümkün hale getirmiştir. Bu gelişmeler bilginin elde edilmesi, depolanması, aktarılması, işlenmesi ve kullanılması süreçlerini yöneten teknolojik yöntem, model ve araçlarda, işlem ve hesaplama gücü yüksek, taşınabilir bilgisayarlar ve donanımlarda görülmüş ve piyasada kolay bulunabilir olunmasıyla da saha uygulamalarında kullanımları artmıştır (Özgüven vd., 2020). Son yıllardaki bu hızlı teknolojik gelişmeler, tarım sektörünün çalışma ortamında köklü değişikliklere yol açmış ve tarımda başarılı üretimin anahtarının zamanında bilgiye erişim ile detaylı karar alma olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle, çiftlik yöneticileri araştırma ve teknolojideki en son gelişmeleri kullanarak çeşitli üretim seçenekleri arasından doğru seçimi yapmalıdır (Fountas vd., 2015). Tarımsal üretimin gelişme dönemi boyunca mekanizasyon, otomasyon, kontrol ve bilişimden sonra makine öğrenmesi, derin öğrenme, yapay zeka, modelleme ve simülasyon uygulamaları gibi bilgi teknolojilerinde görülen hızlı gelişim sonucu günümüzde gerçek zamanlı ve otomatik çalışan uzman sistemler, otonom traktör veya tarım makinaları ve tarımsal robotik uygulamaların geliştirilmesini sağlamıştır (Ozguven, 2018). Tarım robotları, tarımsal üretimde verimliliği ve ürün kalitesini artırarak, birçok zahmetli tarım işinde üretim maliyetlerini ve insan gücünü azaltarak çiftçi refahını artıracak çok önemli bir araçtır (Özgüven vd., 2016). Bu gelişmelere ek olarak, tarım endüstrilerinin artan nüfusu beslemek için giderek daha zorlu görevlere katılmak üzere kent merkezlerinden daha az insan gücünün olduğu bölgelere taşınması eğilimi vardır. Entegre otonom çiftçilik sistemlerine ulaşmak için, tarım robotları ve platformları yalnızca gerekli tarımsal görevlerin daha az insan gücüyle gerçekleştirilmesine olanak sağlamakla kalmaz, aynı zamanda faktörlere bağımlılığı azaltarak gıda kalitesini iyileştirme ve mahsuller üzerinde daha fazla kontrol fırsatı da sağlamaktadır (Oetomo vd., 2009). Tarımsal yetiştirme ve üretim alanlarının yapılandırılmaması, yapılan çalışmaların karmaşıklığı, çalışma alanları ve uygulama alanlarının çeşitliliği gibi zorluklar nedeniyle ticarileştirilebilen tarım robotu sayısı sınırlı kalmış ve bu alandaki çalışmalar genellikle akademik ve araştırma boyutunu aşmamıştır. Ancak öğrenme ve ürün geliştirme süreci devam etmektedir. Tarımsal robotların verimlilik, kalite artışı ve maliyet düşüşü gibi faydaları ve tarım robotu çalışmalarında elde edilen başarılar değerlendirildiğinde yakın gelecekte bu çalışmaların sayıca belirgin şekilde artacağı ve ticari ürüne dönüşme olanaklarının da giderek yükseleceği düşünülmektedir (Ozguven, 2023).

Dünyada tarımsal işgücü maliyetinin hızla artması, tarımsal robotlara olan ilginin ve tercihin artmasına yol açmıştır (Qiu vd., 2018). Tarımsal robotlar, geleneksel tarımsal üretim sistemlerinden daha ucuz, daha hızlı ve daha güvenlidir. Ancak, tarımsal alanlarda robotiklerin geniş ölçekli kullanımının önünde önemli teknik zorluklar bulunmaktadır. Başlıca engel, tarımsal koşullara uyarlanmış sistemlerin geliştirilmemiş olmasıdır. Çünkü endüstride ve akıllı şehirlerde kullanılan birçok otomatik ve robotik eleman tarımda kullanılamamaktadır. Ayrıca, geniş alanlardaki robotik sistemlerin uzun mesafelerde bağlanabilirliği sorunu ciddi bir sorundur. Tüm bu zorluklara rağmen, tarım robotları kaçınılmaz bir eğilimdir ve giderek daha fazla geliştirilecek ve kullanılacaktır (Albiero, 2019). Tarımsal alanlarda bulunan nem, sıcaklık, toz gibi aşındırıcı faktörlerin yanında kırsal alanlarda yaşanan iletişim sorunları gibi teknik zorluklar, tarım robotları ve akıllı tarım makinalarının geliştirilmesi önündeki engellerden bazılarıdır (Özgüven ve Közkurt, 2021).

Tarımda kullanılan otonom araçları açıklamadan, bu aşamaya gelinmesindeki süreçte yer alan bazı önemli gelişmelerden bahsedilmesi iyi olacaktır (Şekil 1). Tarım 1.0 döneminde tarımsal faaliyetler

orak, kürek gibi basit aletler kullanılarak insan ve hayvan gücüne bağlı olarak yapılırken 1850 yılında buhar makinelerinin geliştirilmesi ve tarımsal faaliyetlerde güç kaynağı olarak kullanılmaya başlamasıyla tarım makinelerinin tarihsel gelişiminde önemli olan Tarım 2.0 dönemini başlatmıştır. Otto ve dizel motorların geliştirilmesi ilk olarak buhar makineleri gibi büyük yapıtlı traktörlerin ardından 1920'lerde daha hafif yapıtlı traktörlerin üretilmesini sağladı. 1940'larda traktörlerde kuyruk mili, demir tekerlekler yerine lastik tekerleklerin kullanımı, çalışma hızlarının artması, hidrolik direksiyon, konforlu koltuklar gibi bir dizi önemli gelişme yaşandı. Tarım 3.0 dönemi 1950'lerde çok gelişmiş olmamakla birlikte ilaçlama ve gübreleme makineleri kullanılarak tarımda kimyasal uygulamaların yapılmasıyla tarımsal verimlilik de önemli artışlar görülmesiyle başlamıştır. 1904 yılında yarı iletken malzemelerin ilk uygulaması yapılmış ve bu konudaki gelişmeler 1958 yılında entegre devrelerin geliştirilmesini, 1947 yılında geliştirilen 30 ton ağırlığında ve oda büyüklüğünde olan ilk bilgisayarın, 1981 yılında masaüstü bilgisayara daha sonra günümüzde kullanılan işlem ve hesaplama gücü yüksek taşınabilir ve mini bilgisayarlara dönüşümünü sağlamıştır.



Şekil 1. Tarım 5.0 a giden yolda önemli aşamalar

Tarım 4.0 döneminde elektronik, yazılım, sensör gibi bilgi teknolojilerinin uygulamaların yaygınlaşması ve 2000 yılında GPS'in sivil kullanılmaya açılması konum bazlı veri toplama ve hassas tarım olarak adlandırılan değişken oranlı uygulamalarının yapılabilmesini ve sonrasında otomatik dümenleme sistemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Sonraki süreçte yapay zeka, robotik, IoT, otonom araçlar, drone, gelişmiş bilgisayarlar, bulut bilişim, büyük veri gibi teknolojilerin yaygın olarak kullanılması sonucu günümüzdeki teknoloji seviyesine kadar gelinmiştir. Günümüzde bu teknolojiler sayesinde otonom traktör, robot ve tarım makineleri geliştirilmeye başlanmıştır. Halen tarım makinelerinin akıllı hale getirilmesi ile gerçek zamanlı ve otomatik çalışan uzman sistemlerin geliştirilmesi çalışmaları yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Önümüzdeki yıllarda Tarım 5.0 çalışmaları kapsamında seri üretim yerine kişisel çözümlerin ön plana çıkacağı, tarım makine ve teknolojilerinin daha akıllı ve otonom çalışma özelliği kazanacağı dönemdir. Bu dönem tam olarak başlamamıştır ancak bu döneme yönelik çalışmalar yapılmaya başlamıştır.

2. OTONOM ARAÇLAR

Akıllı tarım makinaları ve robotlarda kullanılacak yeni donanım ve yazılımların geliştirilmesiyle ortaya çıkan iki önemli özellik "Akıllı" davranış geliştirme ve "Otonom" çalışabilme özelliğidir. Akıllı olma özelliği, makina ve robotun çalışma sırasında etraftan haberdar olması ve önceden belirlenmiş durumlara göre hareket tarzı veya hızını değiştirme gibi değişikliklere kendinin karar vermesini ve kararı yine kendisinin uygulamasını içermesidir. Otonom özellik ise makina ve robotların insan müdahalesi olmadan çalışması ve güvenli çalışma için makina ve robotlara algılama, değerlendirme, karar verme, kontrol ve arıza tespiti gibi yetenekler kazandırılmasıdır (Özguven, 2023). Otomatik dümenlemeli bir traktör, çalışması sırasında bir operatöre ihtiyaç duymaktadır. Otonom bir traktör ise tarımsal ortamda bulunan çok sayıda belirsizliğe rağmen, emniyet, bilinmeyen engellerden kaçınma ve önceden belirlenmemiş görevlerin yerine getirilmesini operatörsüz kendi kendine yerine getirebilmektedir. Otonom traktörlerde hareketin kontrolü, engellerden kaçınma ve rotanın belirlenmesi için aracın konumunun doğru bir şekilde kestirilmesi ve aracın hareketi sırasında çevrenin hassas olarak algılanması gerekmektedir (Özgüven, 2018).

Otonom özelliğinin çeşitli uygulama seviyeleri bulunmaktadır. Otomotiv Mühendisleri Derneği (Society of Automotive Engineers, SAE), SAE J3016 standardında bir aracın otonom sürüş yeteneklerini altı aşama olarak tanımlamaktadır (C&T Solution INC., 2024):

- **Seviye 0 (Otonomi Yok):** Bu seviyede insan sürücü tüm sürüş görevlerini gerçekleştirmektedir. Araç basit uyarılara veya anlık yardımlara (acil frenleme gibi) sahip olabilmektedir. Ancak kontrol kesinlikle insan elindedir.

- **Seviye 1 (Sürücü Yardımı):** Bu seviyede sürücü sürüş sürecine aktif olarak katılmakta ve teknoloji insan sürücünün yerini almak yerine sabit bir hızı korumaya ve aracı şeridinde tutmaya yardımcı olan adaptif hız sabitleme ve şerit takip yardımcısı gibi sürücü asistanı özellikleri ile yalnızca yardımcı olmaktadır. Seviye 1, en düşük otonomi seviyesidir.

- **Seviye 2 (Kısmi Otonomi):** Bu seviyede araçlar Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri ile hem direksiyonu hem de hızlanma/yavaşlamayı kontrol edebilmektedir. Araç belirli görevleri yerine getirebilse de Seviye 2 sistemleri dikkatli bir sürücüye olan ihtiyacı ortadan kaldırmaz. Sürücü ellerini direksiyonda tutmalı (veya bunu yapmaya hazır olmalı) ve durum gerektiriyorsa hemen müdahale etmeye hazır olmalıdır.

- **Seviye 3 (Koşullu Otonomi):** Bu seviyedeki sürüş, karmaşık karar alma ve hızlı veri işleme için kameralar, radar ve LiDAR gibi gelişmiş bir sensör paketine ve güçlü yapay zeka ve makine öğrenimine dayanmaktadır. V2X gibi gelişmiş bağlantı, aracın çevresiyle ilgili farkındalığını artırmaktadır. Güvenlik, sürücünün gerektiğinde kontrolü ele almaya hazır olmasını garantilemek için yedek sistemler ve sürücü izleme ile güçlendirilmektedir. Bu seviye, sürücünün rolünü daha çok bir denetleme işlevine kaydırmaktadır. Seviye 3'teki araçlar, otoyolda veya trafik sıkışıklığında direksiyon, hızlanma, frenleme ve çevreyi izleme gibi belirli koşullar altında tüm sürüş işlevlerini gerçekleştirebilmektedir. Ancak, sistem talep ettiğinde sürücü kontrolü ele almaya hazır olmalıdır. Sistem, yeteneklerinin ötesinde bir senaryo ile karşılaştığında veya tasarlandığı koşullardan çıktığında (örneğin, otoyoldan çıkma) sürücünün kontrolü ele alması istenmektedir.

- **Seviye 4 (Yüksek Otonomi):** Bu aşamada, araçlar insan müdahalesi olmadan belirli koşullarda veya ortamlarda tamamen otonom olarak çalışabilmektedir. Ancak, yine de insan kontrolü seçeneği vardır. Dinamik yol planlama ve navigasyon yeteneğine sahip Seviye 4 araçlar, belirlenen koşullarda ve

özel alanlar, kampüsler, kent merkezleri veya belirlenmiş kamu yolları gibi kontrollü yerlerde sürücü müdahalesi olmadan çalışmaktadır. Ancak bu alanların dışında kullanım için manuel çalıştırılabilirler.

• **Seviye 5 (Tam Otonomi):** Seviye 5 otonom araçlar, bir insan sürücünün üstesinden gelebileceği her senaryoda bağımsız olarak çalışabilen, otonom sürüş teknolojisinin zirvesini temsil etmektedir. Bu, hareketli şehir trafiğinde, her türlü hava koşullarında ve çeşitli zorlu ortamlarda sorunsuz bir şekilde sürüşü kapsamaktadır. Seviye 5 araçlar, direksiyon simidi, gaz pedalı veya fren pedalı gibi geleneksel sürüş kontrollerine olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır.

2.1. Otonom Araç Donanımları

Otonom araçların görevlerini yerine getirmesi sırasında istenen rotanın oluşturulması, konumlarının belirlenmesi, etraftaki engel ve nesnelere haritalanmasının doğru olarak yapılabilmesi için çeşitli sensörler ve kameralar kullanılmaktadır. Elde edilen bu verilerin işlenerek yararlı bilgiye çevrilmesi için görüntü ve video işleme algoritmaları, makine öğrenmesi, yapay sinir ağları ile istatistiksel veri analizi gibi gelişmiş karar mekanizmaları kullanılmaktadır. Otonom aracın açık alanda ve çok çeşitli ortamlarda çalışmasından dolayı bazı sensörlerden anlık veri alınamaması veya veri iletim hatalarının oluşması gibi durumlarla karşılaşılabilir. Bu durumlarda otonom aracın görevini sürdürebilmesi için farklı sensörlerin kendine özgü üstünlükleri birlikte kullanılarak bir sensör füzyonu oluşturulmaktadır. Otonom araçlarda kullanılan donanımlar aşağıda verilmektedir (Özgüven, 2018):

• **Radar Sensör:** Radyo dalgalarının çevreye yayılması ve yakınında bulunan objelerden gelen yansımanın dönüş sürelerinin hesaplanmasıyla mesafe, yükseklik, yön ve hızlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Otonom araçlarda kullanılan radar sensörler tüm hava koşullarında 250 m mesafede algılama ışının kapsadığı alandaki nesnelere hız ve uzaklığını hesaplamakta ve bu sayede çarpışmanın önlenmesi sağlanmaktadır.

• **Lazer Tarayıcı:** Nesneye lazer dalga boylu ışık göndererek ölçüm yapmaktadır. Çeşitli konfigürasyon yapılarında olmakla beraber en çok kullanılanı ışın yayan ve alan elemanların tek bir cihaz içinde olanıdır. Otonom araçlarda en çok tercih edilen lazer tarayıcı tipi SICK firması tarafından üretilen LMS 200 tip lazerdir. Bu lazer tarayıcı nesnenin lazere olan mesafesi ile nesnenin lazere göre yönünü açı cinsinden ölçmektedir (Kavak, 2008). Bu lazer tarayıcılar 180° boyunca 75 Hz'de darbeleri dönen bir lazer ışını yaymakta ve her nokta için mesafe 1° aralıklarla hesaplanmaktadır. Mesafe, algılanan nesnenin yansıtma özelliğine göre değişmekle birlikte 30 m ve 150 m arasında değişmektedir (Blackmore ve Griepentrog, 2006).

• **Lidar:** Traktörün hareketi sırasında karşılaştığı engellerin belirlenmesi amacıyla lidar sensörü kullanılmaktadır. Lidar lazer ışınlarını kullanarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını belirlemektedir. Radar teknolojisinin çalışmasına benzer olarak çalışmaktadır. Aradaki fark radyo dalgaları yerine lazer darbelerinin çevredeki objelere çarpması ve yansıma süresini kullanarak aradaki mesafe değerinin hesaplanmasıdır. Lidar ile ölçülen alanın 3 boyutlu nokta bilgileri çok kısa sürede, istenilen sıklıkta ve yüksek doğrulukta elde edilebilmektedir.

• **GPS / Ataletsel Navigasyon Sistemi (INS):** Otonom traktörün dünya üzerindeki konumuna ait koordinatların tespit edilmesi için GPS kullanılmaktadır. Ancak, GPS bu bilgileri sadece açık alanlarda kullanıcıya sağlayabilmekte ve sinyal kesilmesi ve zayıflaması durumlarında sürekli navigasyon verisi sağlanması amacıyla GPS ile INS'nin entegre edilmesi gerekmektedir. GPS ile kullanılan INS içerisinde

yer alan jiroskop ve ivmeölçerlerin kullanılmasıyla traktörün pozisyonu, lineer hareketleri ve hızı sürekli olarak ölçülebilmektedir.

•**Ultrasonik Sensör:** Otonom araçlarda destek uyarı sistemi ve park yardımı için kullanılmaktadır. Ultrasonik ses dalgasının bir nesneye temas etmeksizin gönderilip geri gelme süresine bağlı olarak mesafeyi algılayan sensörlerdir. İçerisinde bulunan piezoelektrik dönüştürücüler elektrik enerjisini ses dalgasına dönüştürerek nesneye gönderilmesini sağlamaktadır. Piezoelektrik dönüştürücülere AC elektrik verildiğinde 20 kHz ile 500 kHz arasında frekansta ses dalgaları üretmektedir. Bu frekanslarda dalgaların düzgün doğrusal şekilde ilerlemeleri ve enerjilerinin yüksek olması temas ettiği nesnelere kolayca yansımaları sağlamaktadır.

•**Kamera:** Olumsuz hava koşullarına ve aydınlatma değişikliklerine karşı hassas olmasına rağmen sahip olduğu teknoloji ve yüksek çözünürlük ile alınan karmaşık görüntülerin işlenmesiyle, otonom traktörlerin çevresinde bulunan nesnelere sınıflandırılması; doku, renk ve kontrast bilgilerinin belirlenmesi; gerçek zamanlı 3 boyutlu görüntülerinin çıkarılması yaparak çevre hakkında ayrıntılı bilgi elde edilmesini sağlamaktadır. Elde edilen görüntülerin işlenmesi sırasında büyük miktarlarda verinin kullanılması hesaplamanın yoğun olmasını ve algoritmayı karmaşık hale getirmektedir.

2.2. Otonom Traktör

Otonom bir traktör çalışması çeşitli görev ve davranışları yerine getirmesi ile olmaktadır. Görev, traktörün ilerlemesi, toprak işleme ve tohum ekimi gibi işlerin öğretilmesidir. Görevin yerine getirilme şekline ise davranış denilmektedir. İş başarısını arttırabilmek için aynı alanda çalışan çoklu araçların birbirlerinden ve diğerlerinin ne yaptığından haberdar olması ve çoklu araçların aynı anda aynı görevi paylaşabilmesi görevi nispeten kolaylaştırıcaktır. Gerçek otonom araçların geliştirilmesi için hissedilebilir ve uzun süreli davranışların birçok özelliği bulunmaktadır (Blackmore ve Griepentrog, 2006):

- ✓ Uzman sistem tarafından önceden tanımlanmış bir dizi uyarıcıya, hissedilebilir bir şekilde tepki verilmesini içeren bir dizi davranış modunun tanımlanması,
- ✓ Yakıt ikmali ve merkezi binaya dönülmesi gibi tüm görevlerin müdahalesiz yerine getirilebilmesi,
- ✓ Makinanın kendi başına çalışması yanında, etrafı içinde yıkıcı kazalar oluşturmaması için güvenli olması,
- ✓ Araç karmaşık yarı doğal bir çevre ile etkileşimde olmasından dolayı istenen görevleri yerine getirebilmesi için gelişmiş algılama ve kontrol sistemleri kullanması.

Otonom tarım makinaları özgün olarak tasarımı yapılabileceği gibi mevcut olan bir tarım makinası üzerine sonradan eklenen otomatik dümenleme sistemi, sensörler ve kameralar sayesinde otonom hale getirilebilmektedir (Özgüven, 2022). Günümüzde uluslararası firmalar tarafından değişken oranlı gübreleme, ilaçlama ve sulama yapan makina ve sistemler çiftçilere ulaştırılmaktadır. Ayrıca bitki hastalık ve zararlılarının görüntü işleme ve makine öğrenmesi yöntemleri ile otomatik tespiti çalışmaları belirgin şekilde artmaktadır. Drone'lar kullanım kolaylığı ve üzerine monte edilebilen kamera ve sensörler nedeniyle tarımda farklı amaçlar için özellikle tarımsal ilaçlama uygulamalarında kullanılmaktadır. Son yıllarda gelişmiş sensörler, bilgisayar görüşü ve makine öğrenimi

algoritmalarıyla donatılmış akıllı ve otonom tarım makineleri ve robot çalışmalarına olan ilgi artmış ve özellikle yabancı ot, meyve ve sebze hasat robotları ile süt sağım robotu ve otonom yemleme robotlarına ilgi ön plandadır (Özgüven, 2024). Dünya çapında çok sayıda ticarileşmiş otonom traktör, akıllı tarım makineleri, değişken oranlı uygulama yapan tarım makineleri, tarım robotları, drone'lar, çeşitli sensörler, kameralar, uzaktan algılama uyduları bulunmaktadır. Ayrıca dünya ve ülkemizde yapay zeka, makine öğrenmesi, görüntü işleme, makine görüşü, otonom, akıllı tarım makinesi ve robot gibi gelişmiş teknolojilerin kullanıldığı çok sayıda akademik çalışma bulunmaktadır. Dünya'da ticari olarak satılan otonom traktör marka ve modellerine örnekler aşağıda verilmiştir:

- ✓ John Deere 8R 410 Otonom Traktör,
- ✓ John Deere Paletli Elektrikli Otonom Traktör,
- ✓ John Deere Sesam 2 Elektrikli Otonom Traktör,
- ✓ Horsch Otonom Traktör,
- ✓ Lemken & Krone Otonom Traktör,
- ✓ Belarus A3523i Otonom Traktör,
- ✓ Case IH Magnum Otonom Traktör,
- ✓ New Holland T8 Raven Otonom Traktör,
- ✓ Monarch MK-V Elektrikli Otonom Traktör,
- ✓ Agxeed Otonom Traktör.

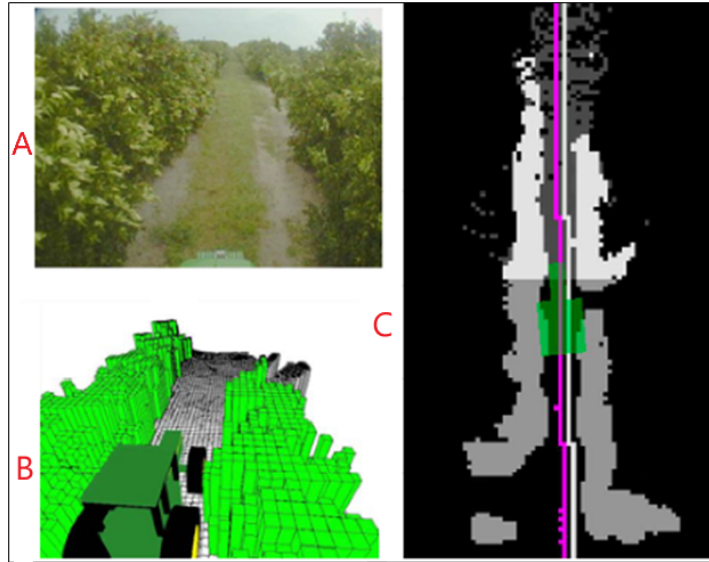
Noguchi vd., (2002) tarafından geliştirilen tekerlekli tip otonom traktör, geleneksel bir 56 kW traktör (MD77; Kubota Ltd.) modifiye edilerek geliştirilmiştir. Otonom traktör operatörsüz olarak makine hangarından kendiliğinden dışarı çıkabilmekte, tarlaya çiftlik yolu boyunca gidebilmekte, görevlerini tamamlayabilmekte ve daha sonra tek başına hangara dönebilmektedir. Otonom traktörün sürüş doğruluğu ± 5 cm olup, bu değer bir insan operatöründen daha iyidir. Çizelge 1'de geliştirilen otonom traktörün kontrol edilebilir manevralarının listesini göstermektedir (Noguchi vd., 2002; Noguchi, 2013).

Çizelge 1. Otonom traktörde kontrol edilebilir manevralar (Noguchi, 2013)

- Direksiyon
- Fren
- Motor devri ayarı (iki set: manuel ve maksimum)
- Motor durdurma
- Vites değişikliği (her iki alt vites için sekiz)
- İleri ve geri hareketleri arasında geçiş yapma
- Üç nokta askı işlevleri
- PTO anahtarı

Moorehead vd., (2012) tarafından 1300 hektarlık bir portakal bahçesinde çim biçme ve ilaçlama işlemlerini yapmak üzere çoklu otonom traktör geliştirilmiştir. Portakal bahçesinde 6,70 m genişliğinde yataklar ile 8,5 m genişliğinde drenaj için kazılan hendek çukurlarından dolayı biçme sırasında farklı büyüklükte ot biçme makinaları kullanılmaktadır. Otonom traktörün görevlerini yerine getirebilmesi için bahçede bulunan gölet, kanallar, telefon direkleri, sulama pompa istasyonları ve yollar gibi sabit engeller tanımlanarak öğretilmiştir. Çalışma sırasında araçlar, portakal toplama

kutuları ve merdivenler gibi hareketli ekipmanlar ise lazer tarayıcı, GPS ve kameraların kullanıldığı bir algılama sistemi ile belirlenmektedir. Traktörün rota takibi ve konum belirleme RTK GPS kullanılmakta, hız, direksiyon ve PTO gibi fonksiyonlar ise traktör üzerinde bulunan bilgisayar ve CAN veri yolu ile kontrol edilebilmektedir. Otonom çalışma sırasında bir sorun olması durumunda radyo frekansı ile merkezle iletişim kurulabilmektedir. Bu iletişim farklı iletişim bağlantısı üzerinden yapılmaktadır. Birincisi, kritik veriler ve sinyal mesajları için düşük bant genişliği iletişimini sağlayan 900 MHz bağlantıdır. Bu iletişim bağlantısı herhangi bir sebepten dolayı düşerse, otonom traktör durmaktadır. İkinci bağlantı ise görüntülerin ve videonun iletimi için gerekli bant genişliğini sağlayan 2.4 GHz'lik bir bağlantıdır. Geliştirilen yazılım, bu bağlantı üzerinden gelen verilere göre traktörün ilerlemesi, yavaşlaması veya durdurulması kararını vermektedir. Traktörün ilerlemesi sırasında ağaç ve uzun boylu yabancı otlara doğru gitmesini önlemek ve orijinal planlanan rotasını belirlemek için gerekli yan sapmayı hesaplayan bir sıra yönlendirme algoritması kullanılmaktadır. Bu yan sapma sürekli olarak hesaplanmakta ve Şekil 2'de gösterildiği gibi takip edilmesi gereken yeni rotanın oluşturulması için ilk planlanan yola uygulanmaktadır.



Şekil 2. Rota belirleme örnekleri. A. ağaç sırası, B. hesaplanmış ağaç haritası, C. beyaz çizgi ilk planlanan yolu ve pembe çizgi ise yeni rota (Moorehead vd., 2012)

2.3. Otonom Robot

Robotlar en gelişmiş otomasyon sistemleridir. Otomasyon ile robotlar arasında temel farklılıklar vardır. Otomasyonda sensörlerden gelen veriler değerlendirilip, istenen set değere göre uygun çıkışın sağlandığı tekrarlı görevler bulunmaktadır. Robot ise mutlaka belirlenmiş bir görevi olmalı, bu görev için hareket edebilmeli, hareketi sırasında çevresini algılamalı, hareketlerini tanımlayabilmeli ve seçim yapma kabiliyetine sahip olmalıdır. Bu nedenle robot, belirli fiziksel faaliyetleri gerçekleştiren ya da görevlerin yürütülmesinde karar verme özelliği bulunan programlanabilen mekanik bir cihazdır. Kumanda edilen robotlar yanında otonom (kendi kendine, insan müdahalesi olmadan) olarak çalışan robotlar da bulunmaktadır (Özgüven, 2019a). Robot, görevinin özelliğine göre robota özel olarak tasarlanmış manipülatör, robot ve manipülatörün hareketi için gerekli gücü sağlayan eyleyiciler, robotun hareketi yanında çevrenin algılanmasını sağlayan sensörler ve robotun çalışması için tüm

hareketlerinin yönetildiği kontrol birimlerinden oluşmaktadır (Özgüven, 2019b). Otonom robotlar da bulunmakla birlikte, her robot otonom olarak çalışmamaktadır. Kumanda ile de çalışabilen robotlar, denizaltı gibi çalışması zor yerlerde veya bomba imhası gibi tehlikeli işlerde beklenmeyen veya olumsuz durumlar karşısında güvenlik amacıyla müdahale edilmesi gerektiğinde kullanılmaktadır (Ozguven, 2023).

Robotik bir araç için sürüş kontrol algoritması dört bölümden oluşmaktadır. İstenen hızı takip etmek için bir hız kontrolörü, kontrol moduna göre istenen bir yalpalama oranını veya istenen bir yörüngeyi izlemek için bir sapma momenti girişi hesaplayan bir yanal hareket kontrolörü, optimum istenen uzunlamasına lastik kuvvetini belirleyen uzunlamasına lastik kuvveti dağıtım algoritması ve her tekerlekte kayma oranını bir sınır değerinin altında tutmak ve istenen lastik kuvvetini izlemek için bir tekerlek torku komutu belirleyen bir tekerlek torku kontrolörüdür. Ayrıca optimum lastik kuvveti dağılımı ve tekerlek kayma kontrolü için uzunlamasına ve dikey lastik kuvveti tahmin edicileri gereklidir (Kang vd., 2010). Odometri (mesafe ölçümü), robotların navigasyon için kullandığı temel bir yöntemdir. Gömülü bilgisayarın dahili saatini kullanarak zamanı ölçmek kolaydır. Ancak hızı ölçmek daha zordur. Tekerleklerin dönüşlerini saymak için tekerlek kodlayıcıları kullanılmakta veya hız motorlarının özelliklerinden tahmin edilmekte ve hareket edilen mesafeden robotun yeni konumu hesaplanabilmektedir. Bir boyutta hesaplama önemsizdir. Ancak hareket dönüşleri içerdiğinde biraz daha karmaşık hale gelmektedir. Odometrinin (tekerlek kodlayıcılı veya kodlayıcısız) bir dezavantajı, ölçümlerin dolaylı olması, motorların gücünü veya tekerleklerin hareketini robotun pozisyonundaki değişikliklere bağlamasıdır. Bu, motor hızı ile tekerlek dönüşü arasındaki ilişki çok doğrusal olmayabileceği ve zamanla değişebileceği için hataya açık olabilmektedir. Ayrıca, tekerlekler kayabilmekte ve patinaj yapabilmektedir. Bu nedenle tekerleklerin hareketinin robotun hareketiyle ilişkilendirilmesi konusunda hatalar olabilmektedir. Robotun pozisyonunu belirlemek için kullanılabilen ivmeyi ve açısal hızı doğrudan ölçen bir eylemsiz navigasyon sistemi kullanılarak pozisyonun daha iyi tahminleri elde edilebilmektedir. Bir eylemsiz navigasyon sisteminde, aracın pozunun üç boyutta hesaplanabilmesi için üç ivmeölçer ve üç jiroskop bulunmaktadır. Yukarı-aşağı yönündeki bir ivmeölçer, arabanın çukura düşüp düşmediğini algılayabilmektedir. Dikey eksen etrafındaki dönüşü ölçen bir jiroskop kaymayı algılayabilirken, ön-arka eksenini etrafındaki dönüşü ölçen jiroskop arabanın yuvarlanıp yuvarlanmadığını algılayabilmektedir (Ben-Ari ve Mondada, 2018).

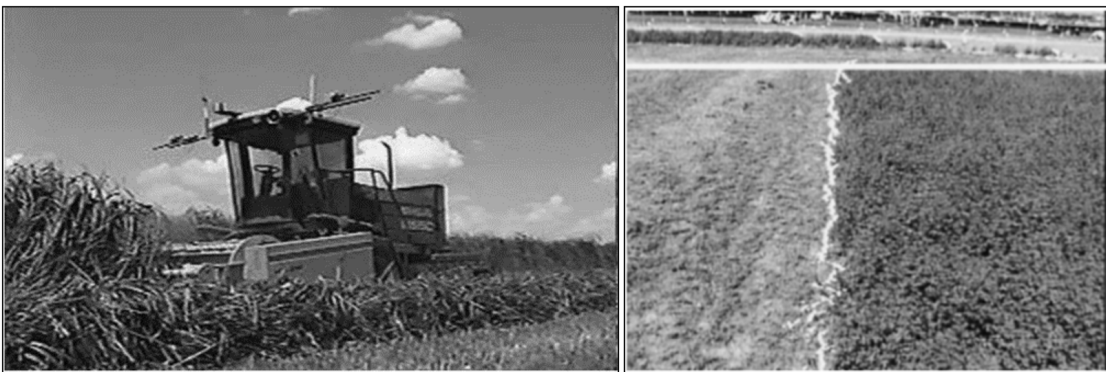
Otonom kara araçlarının navigasyonunda çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bunların ilki insansız araçların uzaktan kumanda ile bir operatör tarafından kablosuz kontrolüdür. İkincisi ise aracın insan kontrolünden bağımsız kendi kendisini kontrol ettiği insansız otonom kara araçları (İKA, Unmanned Ground Vehicles-UGV)'dir (Kavak, 2008). Son yıllarda, insansız hava araçları (İHA, Unmanned Aerial Vehicles-UAV) olarak adlandırılan otonom kontrol cihazlarıyla donatılmış otonom insansız hava araçlarında hızlı bir gelişme yaşanmıştır. Bunlar "Otonom uçan robotlar" olarak bilinmeye başladı ve kullanımları yaygınlaştı. Askeri veya sivil kullanımlarına göre sınıflandırılabilirler. Askeri kullanımların yanında, sivil olarak tarımsal-kimyasal ilaçlama için kullanılan çok sayıda İHA'nın olağanüstü özelliklerinden yararlanılmaktadır (Nonami, 2010). İnsansız deniz araçları (İDA, Unmanned Marine Vehicles-UMV) hem sualtı hem de suüstü araçlarını kapsamaktadır. İnsansız deniz araçları genellikle Otonom Sualtı Aracı, Uzaktan Kumandalı Araç ve İnsansız Suüstü Aracı olmak üzere üç alt türde ele alınmaktadır (Tanakitkorn, 2019).

2.4. Otonom Tarım Makinalarına Örnekler

Otonom tarım makinaları, otomasyon alanındaki ilerlemeler, elektronik ve iletişim teknolojileriyle iç içe olmalarıyla fiziksel çevreyi algılayan makinalara dönüşmüşlerdir. Sürücüsüz traktörler, ayıklama robotları ve kontrollü ortam tarımı ile tarım endüstrisini modern bir ortama taşımaktadır. Otonom tarım makinaları, işgücü yoğunluğuyla ilgili endişeleri hafifletmeye, girdi maliyetlerini düşürmeye ve karlılığı artırmaya yardımcı olmaktadır (Roshanianfard ve Faizollahzadeh-Ardabili, 2024) Tarımda, operatörün tipik olarak iki ana görevi vardır. Aracı sürmek ve kabul edilebilir bir performans seviyesini garanti etmek için araçları yönetmektir. Bu seviye on yıllar boyunca büyük ölçüde değişmeden kalmıştır. Günümüzde, otonom sürüş sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması iki ana unsura odaklanmaktadır (Rondelli vd., 2022):

- ✓ Otonom araçların fiziksel birimleri, sürücünün hareketlerini ve fiziksel çabasını kullanarak direksiyonu çevirmesi ve beklenen yol boyunca seyahat etmek için kolları ve pedalları çalıştırmasını içeren mekanik hareketlerin otonom hale getirilmesini içermektedir.
- ✓ Operatörün bilişsel faaliyetlerini gerçekleştiren bileşenler ise, makina ve ekipmanları harekete geçirdiği ve görevin gerektirdiği tüm manevraların kararının verildiği, dış çevrenin algılandığı, alınan karara göre makine ve dış çevreden gelen geri bildirimlerin işlenmesidir.

Pilarski vd. (2002) tarafından geliştirilen Demeter hasat makinesi robotu ile otonom olarak 40 hektardan fazla alanda yem bitkisi hasatı yapılmıştır. Demeter hasat makinesi robotu, New Holland 2250 hasat makinesi üzerine yerleştirilmiş DGPS, ataletsel navigasyon sistemi, odometri ve iki kamera eklenerek geliştirilmiştir (Şekil 3). Hasat işlemi için kamera tabanlı ve GPS tabanlı iki navigasyon sistemi birlikte kullanılarak navigasyon sistemlerinde tek başına kullanımlarında karşılaşılan hatalar ortadan kaldırılmaktadır. Şekil 3'teki beyaz çizgi, ürün biçme hattını ve ürün sırası sonuna karşılık gelen hesaplanmış görüntüyü göstermektedir. Kamera tabanlı navigasyon sistemi ürün biçme hattını izlemek, ürün sırasının sonunu algılamak ve makinenin önündeki engelleri tespit etmek için sürücü kabininin sol ve sağ taraflarına monte edilen iki renkli kameradan alınan sensör bilgilerini kullanmaktadır. Görüntü işleme bilgisayarını olarak Linux işletim sistemi çalıştıran bir Intel Pentium-II tabanlı bilgisayar kullanılmaktadır. Demeter sistemi tarafından kullanılan DGPS ünitesi bir Novatel AG20'dir. Bu sistem, konumu bitki sırasının sonundan itibaren olan mesafesinin tahmin edilmesinde kullanarak hasat makinesine göreceli bir doğrultma sağlamaktadır.



Şekil 3. Demeter otonom hasat makinesi ve ürün biçme hattı ve ürün sırası sonunun yerini belirleme (Pilarski vd., 2002).

Bangert vd., (2013) tarafından geliştirilen BoniRob (Versiyon 2) tarım robotu (Şekil 4), tarlada çalışırken, bitki fenotipinin belirlenmesi, toprak sıkışıklığının belirlenmesi ve sıralı mahsuller arasında bulunan mekanik veya kimyasal yabancı ot kontrolü yapabilmektedir. Yabancı otların mekanik olarak işlenmesi için bir aktüatöre sahiptir. Kimyasal yabancı ot kontrolü için bitkilerin yüksek kontrastlı görüntülerini yakalayabilen farklı dalga boylarında senkronize tetiklenen kameralar ve aydınlatma birimleri kullanılmaktadır. Kameralar ve aydınlatma birimleri, robotun altında gölgeli bir alana monte edilmiştir. Kamera yeşil alanları tespit etmek için kullanılmakta ve pülverizasyon memeleri, herbisitlerin yalnızca bitkilerin bulunduğu alanlara uygulanacağı şekilde kontrol edilmektedir. Bu teknoloji, homojen normdaki uygulamalara kıyasla uygulanan pestisitlerde büyük bir azalma potansiyeline sahiptir. Ayrıca robotun yerleşik uygulama modülleri ile mekanik yapısı değiştirilebilir ve farklı saha operasyonları için çeşitli işlevler için özelleştirilebilmektedir. İstenen mekanik, elektriksel ve mantıksal arayüzler robot platformuna entegre edilebilmektedir. İzleme istasyonu veya robot, drone gibi farklı araçlarla iletişim kurmak için kablolu veya kablosuz iletişim arayüzleri bulunmaktadır. İstendiğinde sürücünün robotu kontrol etmesine izin verilebilmektedir.



Şekil 4. BoniRob tarım robotu (Bangert vd., 2013)

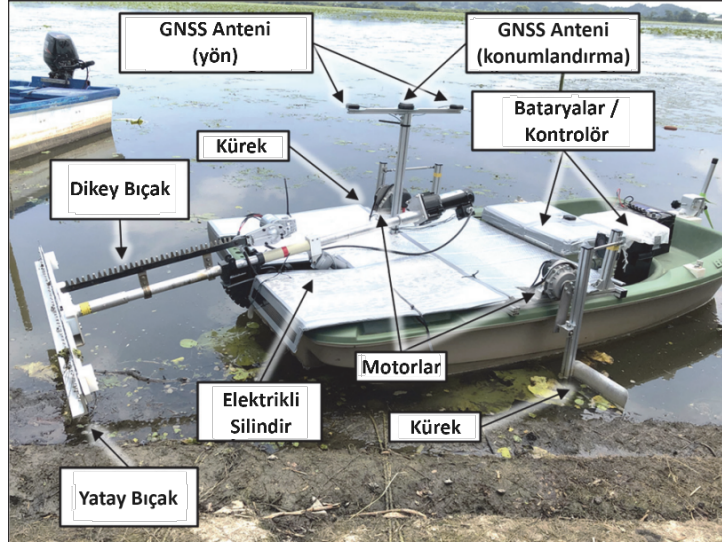
Kutyrev vd., (2022) tarafından elma toplama için bir robotik platformun otonom seviyesinin artırılması ve yerleşik verilerin entegre işlendiği bir kontrol sistemi geliştirilmiştir. Robotizasyonun ve geliştirilen kontrol sisteminin etkinliğinin belirlenmesi için en önemli üç faktörün işin otonom seviyesi, konumlandırma doğruluğu ve tanıma doğruluğu olduğu sonucuna varılmıştır. Robotik platform, dört raflı X şeklinde bir çerçeve, bir enerji kaynağı ünitesi ve bir elektrikli tahrik şanzımanından oluşmaktadır. Çalışmada, tekerlek dönüş eksenlerine sabitlenmiş dört LPD3806-600BM-G5-24C artımlı kodlayıcı ve direksiyon eksenine sabitlenmiş bir Autonics EP50S8-1024-1R-P-24 mutlak kodlayıcı (Şekil 5), tekerleklerin çevresel hızını, dönüş açısını ve kaymasını kontrol etmek için kullanılmıştır. Platformun hareketi, arka aksta monte edilmiş koaksiyel silindirik dişli motorları Transtecno ECMG600-033U vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Robotik platformun güç besleme sistemi, lityum-demir-fosfat pilleri LiFePO₄ 24 V 105 Ah'nin şarjını %20 oranında azaltırken otomatik olarak şarj eden bir sistemle donatılmış, elektrikli marşlı LIFAN S-PRO 5500 tek fazlı bir benzinli güç ünitesi bulunmaktadır. Güç besleme sistemi, 8 saatlik bir çalışma vardiyasında platformun kesintisiz çalışmasını sağladı. Platformun otomatik olarak yönlendirilmesi için, yüksek başlangıç torkuna sahip

Transtecno EC100.120.66 DC elektrik motorlu bir solucan tipi direksiyon dişlisi kullanılmıştır. Robotik cihaz üç serbestlik derecesine sahip olup, bir taban, alt ve üst kol, dişli ve kavramalı döner kremayerden oluşmaktadır. Kullanılan tahrikler, açılı sensörlü bir adım motoru, üst ve alt kol yer değiştirme aktüatörleri CAHB-22E, bum uzatma aktüatörü CALA 36A, sıkıştırma ve gevşetme aktüatörleri Wallstech 30'dur. Bağlantıların yatay ve dikey düzlemlerde hareket ederken pozisyonlarını, bacağın uzamasını ve kremayerin kendi eksenine etrafında dönmesini kontrol etmek için Holzer P3022 manyetik açılı sensörleri ve KTR 25 doğrusal hareket sensörleri tercih edilmiştir. Meyveleri kavramadan kutuya taşımak için 24 V 16 A santrifüjlü bir ekstraktörle tahrik edilen PVC spiralli bir poliüretan kılıf kullanılmıştır. STM32F207ZGT6 mikrodenetleyicisi robotik cihazın bağlantılarının konumlarını kontrol etmek ve izlemek için kullanılmaktadır. Robotik cihazın maksimum yakalama erişimi 1,5 m, bacağın sonunda maksimum yük kapasitesi 0,5 kg, rafın eksenine etrafındaki maksimum dönüş açısı 270 derecedir. Çalışmada atalet ve uydu navigasyonuna dayalı otonom bir robotik tekerlekli platformun hareketini kontrol etmek ve aşılması gereken yolun hesaplanması için bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım, elma bahçesindeki robotik platformun gübreleme, büyüme ve hastalık kontrolü ve meyve hasadı gibi çeşitli teknolojik işlemleri otomatik olarak gerçekleştirmesi için bir rota tasarlamaya olanak tanımaktadır. Yazılım modülünün yardımıyla, hareketin X, Y koordinatları, hızı ve azimutu verilmiş ve platformun yoğun bir bahçecilik ortamında verilen tipik dönüş yörüngeleri boyunca hareketi görselleştirilmiştir.



Şekil 5. Meyve toplama robotu (Kutyrev vd., 2022)

Kaizu vd., (2021) yaptıkları çalışmada, su bitkilerini biçmek için otonom bir tekne geliştirmişlerdir (Şekil 6). Bu otonom tekne, gerçek zamanlı RTK-GNSS tarafından otomatik olarak kontrol edilmektedir. Su bitkilerinin dolanmasını önlemek ve uzun süreli otomatik navigasyonu sağlamak için geleneksel bir pervanenin yerini alan bir kürek mekanizması bir tahrik mekanizması bulunmaktadır. Çalışmada, Japonya'nın Miyagi vilayetindeki Izunuma Gölü'nde nilüfer (*Nelumbo nucifera*) biçme işlemi, nilüfer en yoğun büyüme döneminde bile 9,4 cm'lik bir yanal sapma, 0,41 m s⁻¹ ortalama hız ve 518 W'lık ortalama güç tüketimiyle biçmenin düzgün bir şekilde yapılabileceğinin doğrulandığı bildirilmiştir. Ayrıca otonom teknenin kesme genişliğinin 1,2 m teorik alan verimi 0,133 ha h⁻¹ olarak hesaplandığı ve otonom tekneyle yapılan kesimin nilüferin büyümesini bastırmada etkili olduğu rapor edilmiştir.



Şekil 6. Su bitkilerini biçmek için geliştirilen otonom tekne (Kaizu vd., 2021)

3. TARTIŞMA

Artan gıda talebinin karşılanması amacıyla dünya genelinde dijital tarım uygulamaları kullanılarak tarımsal uygulamaların iyileştirilmesi ve işletme verimliliğinin en üst düzeye çıkarılmasına çalışılmaktadır. Gelişmiş teknolojilerin kullanılmasıyla tarımsal faaliyetlerden elde edilen bilgiler ve veriler çiftçiler tarafından anlık takip edilebilmekte ve gerekli uygulama kararları anında alınabilmektedir. Günümüz koşullarında dijital tarım uygulamalarının çiftçi ve işletmeler tarafından kullanılabilmesi teknik ve ekonomik şartlar ile nitelikli insan gücü ile doğrudan ilişkilidir. İmkanlar dahilinde tarımsal verimliliği, çiftçi gelirlerini artıracak ve tarımsal işlemleri kolaylaştıracak dijital tarım uygulamalarının geliştirilmesi ve çiftçiler tarafından yaygın kullanılabilmesi için gerekli çalışmalar ve destekler verilmelidir. Destek kapsamının belirlenmesinde ön şart dijital tarım teknolojilerinin uygulanması sonucunda mutlaka ekonomik, teknik ve çevresel faydalar sağlanmasına odaklanılmalıdır.

4. SONUÇ

Tarımsal üretimde dijital teknolojilerin kullanılmasıyla verim ve ürün kalitesinin artırılması, girdi kullanımının azaltılması ile üretici gelirlerinin artırılması, tarımsal işlerin kolaylaştırılması, doğal kaynaklar ve çevrenin korunması mümkün olabilmektedir. Bu teknolojilerin geliştirilmesi amacıyla son yıllarda akademik ve ticari çalışmalarda önemli artış görülmektedir. Uluslararası raporlara göre bazı ülkeler büyük bütçeli firmaları ile önemli ürünler geliştirerek bu alanda ön plana çıkmışlardır. Global Market Insight (2024) tarafından yapılan pazar araştırması raporunda, küresel tarımsal otonom araç pazarı büyüklüğünün 2023 yılında yaklaşık 5.9 milyar ABD doları değerinde olduğunu ve 2024 ile 2032 yılları arasında yaklaşık %17'lik bir bileşik yıllık büyüme oranıyla 2032 yılına kadar yaklaşık 23,7 milyar ABD dolarına çıkacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizde bu teknolojilerin geliştirilmesi amacıyla çeşitli ticari ve akademik çalışmalar bulunmakla birlikte dünyadaki gelişmeler incelendiğinde, dışa bağımlılığın ortadan kaldırılması ve rakip ürünlerle rekabet edebilecek seviyede olunması amacıyla bu konudaki destek kapsamının genişletilmesi ve ASELSAN gibi yeni yapılanmaların kurulması gerekmektedir. Teknolojik makinaların çiftçilerimiz tarafından kullanılabilmesi için satın alma destekleri verilmeli veya müteahhitlik hizmetleri veren yeni organizasyonlar kurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Albiero, D. (2019). Agricultural Robotics: A Promising Challenge. *Current Agriculture Research Journal*, v. 7, n. 1, p. 01-03. DOI: 10.12944/carj.7.1.01
- Bangert, W., Kielhorn, A., Rahe, F., Albert, A., Biber, P., Grzonka, S., Haug, S., Michaels, A., Mentrup, D., Hänsel, M., Kinski, D., Möller, K., Ruckelshausen, A., Scholz, C., Sellmann, F., Strothmann, W., ve Trautz, D. (2013). Field-robot-based agriculture: RemoteFarming. 1 and BoniRob-Apps. VDI. *Agricultural Engineering 2013*, 439-446.
- Ben-Ari, M., Mondada, F. (2018). Robotic Motion and Odometry. In: *Elements of Robotics*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62533-1_5
- Blackmore, B.S., ve Griepentrog, H.W. (2006). Section 4.3 Autonomous Vehicles and Robotics, pp. 204-215 of Chapter 4 Mechatronics and Applications, in *CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology*. Edited by CIGR-The International Commission of Agricultural Engineering; Volume Editor, Axel Munack. St. Joseph, Michigan, USA: ASABE. Copyright American Society of Agricultural Engineers. (Çevirmenler: Demirciođlu, P. ve Böğrekci, İ.; Çeviri Editörleri: Tarhan, S. ve Özgülven, M.M.)
- C&T Solution INC. (2024, Ocak 23). The 6 levels of autonomous driving explained. https://www.candtsolution.com/news_events-detail/the-six-level-of-autonomous-driving-explained/
- Fountas, S., Carli, G., Sørensen, C. G., Tsiropoulos, Z., Cavalaris, C., Vatsanidou, A., Liakos, B., Canavari, M., Wiebensohn, J., ve Tisserye, B. (2015). Farm Management Information Systems: Current Situation and Future Perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.115, p.40-50. DOI: 10.1016/j.compag.2015.05.011
- Global Market Insight. (2024). Autonomous Agricultural Vehicle Market. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/autonomous-agricultural-vehicle-market>
- Kang, J., Kim, W., Lee, J., ve Yi, K. (2010). Skid Steering-Based Control of a Robotic Vehicle with Six in-Wheel Drives. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng.*, 224, 1369–1391
- Kavak, D. (2008). İnsansız Kara Araçları Navigasyonunda Genişletilmiş Kalman (GKF) ve Sıkıştırılmış Genişletilmiş Kalman Filtre (SGKF) Tabanlı Slam Yöntemlerinin Geliştirilmesi ve Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Kontrol ve Otomasyon Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. İstanbul
- Kutyrev, A., Kiktev, N., Jewiarz, M., Khort, D., Smirnov, I., Zubina, V., Hutsol, T., Tomasik, M., ve Biliuk, M. (2022). Robotic Platform for Horticulture: Assessment Methodology and Increasing the Level of Autonomy. *Sensors*. 22(22):8901. <https://doi.org/10.3390/s22228901>
- Moorehead, S. J., Wellington, C. K., Gilmore, B. J., ve Vallespi, C., (2012). Automating Orchards: A System of Autonomous Tractors for Orchard Maintenance. <http://www.cs.cmu.edu/~mbergerm/agrobotics2012/04Moorehead.pdf>
- Noguchi, N., (2013). Agricultural Vehicle Robot. (Editors Zhang, Q. and Pierce, F.J.) *Agricultural Automation Fundamentals And Practices*. CRC Press Taylor & Francis Group
- Noguchi, N., Kise, M., Ishii, K., ve Terao, H., (2002) Field automation using robot tractor. *Proceedings of Automation Technology for Off-Road Equipment*, pp. 239-245

- Nonami, K., Kendoul, F., Suzuki, S., Wang, W., ve Nakazawa, D. (2010). *Autonomous Flying Robots Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles*. Springer. ISBN 978-4-431-53855-4.
- Oetomo, D., Billingsley, J., ve Reid, J. F. (2009). Editorial: Agricultural robotics. *Journal of Field Robotics*, v.26, n.6-7, p.501-503. DOI: 10.1002/rob.20302
- 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. (2023). *The digital age in agriculture*. CRC Press Taylor & Francis Group LLC. ISBN 978-103-23-8577-8
- Özgüven, 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. (2018). *Hassas Tarım*. Akfon Yayınları. Ankara. ISBN: 978-605-68762-4-0
- Özgüven, M.M. (2019a). *Teknoloji Kavramları ve Farkları. International Erciyes Agriculture, Animal & Food Sciences Conference 24-27 April 2019-Erciyes University - Kayseri, Türkiye*
- Özgüven, M.M. (2019b). *Tarım Robotlarının Sürdürülebilir Tarıma Katkıları. 3. Uluslararası UNİDOKAP Karadeniz Sempozyumu*. 21-23 Haziran 2019, Tokat. *Sempozyum Kitabı*. S.354-367. ISBN: 978-605-80568-1-7
- Özgüven, M.M. (2022). Bir Tarım Makinesi Nasıl Akıllı Tarım Makinesine Dönüşür?. *AKİTEK 4.0*, 1 (1), 46-53
- Özgüven, M.M. (2024). *Tarımdaki Dijital Uygulamalar Sektöre Can Suyu Olacak Mı? Strategy*, 30. Sayı (Temmuz Ağustos Eylül 2024), 66-69, Akfen Holding
- Pilarski, T., Happold, M., Pangels, H., Ollis, M., Fitzpatrick, K. and Stentz, A. (2002), *The Demeter system for automated harvesting. Autonomous Robots* 13: 19- 20
- Qiu, Q., Fan, Z., Meng, Z., Zhang, Q., Cong, Y., Li, B., Wang, N., ve Zhao, C. (2018). Extended Ackerman Steering Principle for the coordinated movement control of a four wheel drive agricultural mobile robot. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.152, p.40-50. DOI: 10.1016/j.compag.2018.06.036
- Rondelli, V., Franceschetti, B., ve Mengoli, D. A. (2022). Review of Current and Historical Research Contributions to the Development of Ground Autonomous Vehicles for Agriculture. *Sustainability*, 14, 9221. <https://doi.org/10.3390/su14159221>
- Roshanianfard, A., ve Faizollahzadeh-Ardabili, S. (2024). *Autonomous Agricultural Vehicles Concepts, Principles, Components, and Development Guidelines*. CRC Press, ISBN: 978-1-032-27655-7
- Tanakitkorn, K. (2019). A review of unmanned surface vehicle development. *Maritime Technology and Research*, 1(1), 2-8

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

Following the stages of mechanization, automation, control, and informatics, real-time and automatic expert systems, autonomous tractors or agricultural machinery, and agricultural robotic applications have been developed during the agricultural production development period due to the rapid development of information technologies.

The current level of technology has been reached due to the widespread use of technologies such as artificial intelligence, robotics, IoT, autonomous vehicles, drones, advanced computers, cloud computing and big data. Today, thanks to these technologies, autonomous tractors, robots and agricultural machines have started to be developed. Currently, there are intensive efforts to make agricultural machinery smart and to develop expert systems that work in real-time and automatically.

In this study, autonomous vehicles are discussed and the features of autonomous vehicles are explained by giving examples of autonomous vehicles used in agriculture.

Methodology

Two important features that have emerged with the development of new hardware and software are the development of “intelligent” behavior and the ability to work “autonomously”. Intelligent behavior is the ability of the machine or robot to be aware of its surroundings during operation, decide on changes such as changing the way of movement or speed according to predetermined situations, and implement the decision itself. The ability of machines and robots to function without human assistance and to provide them with functions including sensing, assessment, decision-making, control, and problem detection for safe operation is known as an autonomous feature.

Various hardware and technologies are used in autonomous vehicles to map obstacles and objects in the surroundings, establish positions, and generate the required route properly. These sensors and systems include radar sensor, laser scanners, lidar, GPS / Inertial Navigation System, ultrasonic sensors and cameras with different features.

With advances in automation and the intertwining of electronics and communication technologies, autonomous agricultural machinery have become to perceive the physical environment. Examples of these autonomous agricultural vehicles are generally used in land, air and aquaculture applications.

Results and Conclusions

By using digital technologies in agricultural production, it is possible to increase yield and product quality, increase producer incomes by reducing input use, facilitate agricultural work, and protect natural resources and the environment. In recent years, there has been a significant increase in academic and commercial studies to develop these technologies. Although there are various commercial and academic studies for the development of these technologies in our country, when the developments in the world are examined, it is necessary to expand the scope of support and establish new structures in this field to eliminate foreign dependency. For technological machinery to be used by farmers, purchasing supports should be provided or new organizations providing contracting services should be established.

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 Makinaları 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>

Maksut Barış EMİNOĞLU



2007 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2009 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2010 yılında yüksek lisans eğitimini, 2016 yılında ise doktora eğitimini tamamladı. 2023 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak çalışmaya başladı. Halen Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Bölümünde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Tarım makinaları tasarımı, Tarım makinalarının saha testleri, Tarımda ergonomi konularında çalışmaktadır. Adres: Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 06135, Ankara, Türkiye. Tel: +90 312 596 1174.

İletişim eminoğlu@agri.ankara.edu.tr

ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0003-3264-3636>

Ahmet ÇOLAK



1984 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Mekanizasyon Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda 1986 yılında yüksek lisans eğitimini, 1990 yılında ise doktora eğitimini tamamladı. 2002 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümüne Profesör olarak atandı. Halen aynı bölümde görev yapmaktadır. Hasat ve Hasat Sonrası Mekanizasyonu, Ergonomi, Biyolojik Materyallerin Teknik Özellikleri, Yenilenebilir Enerjiler ve Tarımda Kullanımları konularında çalışmaktadır. Adres: Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 06135, Ankara, Türkiye. Tel: +90 312 596 1230.

İletişim akucolak@gmail.com

ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0001-5214-0644>