



Hassas tarımda kullanılan otonom donanım sistemleri

Ömer Barış ÖZLÜOYMAK^{1,*}

¹ Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ziraat Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:
Geliş: 24.04.2024
Kabul: 23.06.2024
Çevrimiçi mevcut: 30.06.2024

Anahtar Kelimeler:
Hassas tarım
Tarım 4.0
Tarımda otomasyon

ÖZET

Dünya nüfusunun hızla artması sonucunda, beslenme sorunu ile ilgili çözüm arayışı günümüzde güncelliğini korumaktadır. Dünya nüfusunun beslenme ihtiyacının karşılanabilmesi için tarımsal üretimde verimliliğin artırılması ise kaçınılmaz olarak görülmektedir. Günümüzde tarımsal üretimde yaşanan artışlar gelişen teknolojinin etkisiyle büyük bir atılım yapmakta, tarım sektörünün geleceği ise kullanılan teknolojik uygulamalar ile şekillenmektedir. Tarım 4.0 ile birlikte, tarımsal mekanizasyon alanında pek çok yenilik ortaya çıkmış, bilgisayar destekli kontrol sistemleri, sensör teknolojileri entegre edilmiş tarım makineleri ve ekipmanları, sayısal görüntü işleme yazılım ve donanımları söz konusu akıllı sistemlerin gelişmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca GNSS destekli otonom zirai hava ve kara araçlarının kullanımı ve yaygınlaşması hassas tarım alanında büyük atılım sağlamıştır. Bu çalışmada, hassas tarımda en çok kullanılan otonom donanım sistemleri hakkında bilgi verilmiş, söz konusu teknolojiye dayalı ekipmanların hangi amaçla kullanıldıkları ortaya konmuştur. Tarım makinasına eklenecek sensör, kamera, vb. donanımlar ile geliştirilecek ve sisteme eklenecek yazılımlar sayesinde, makinanın dış çevreden bilgi alma ve karar destek sistemleri sayesinde verilen kararın uygulanması sağlanmaktadır.

Autonomous hardware systems used in precision agriculture

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 24.04.2024
Accepted: 23.06.2024
Available online: 30.06.2024

Keywords:
Precision agriculture
Agriculture 4.0
Automation in agriculture

ABSTRACT

As a result of the rapid increase in the world population, the search for a solution to the nutritional problem remains current today. Increasing productivity in agriculture is seen as inevitable to meet the nutritional needs of the world's population. Advances in technology have led to significant improvements in agricultural production today, and the future of the agricultural sector is being shaped by technological applications. With Agriculture 4.0, numerous innovations have emerged in agricultural mechanization. Computer-assisted control systems, sensor technologies integrated into agricultural machinery and equipment, digital image processing software, and hardware have all contributed to the development of these smart systems. Furthermore, the use and proliferation of GNSS-supported autonomous agricultural aerial and ground vehicles have made a significant impact on precision agriculture. In this study, information has been provided about the most commonly used autonomous hardware systems in precision agriculture, and the purposes for which this technology-based equipment are used have been highlighted. By adding sensors, cameras and other equipment to the agricultural machinery, and by developing and integrating software into the system, these machines are capable of acquiring information from the external environment and implementing decisions through decision support systems.

1.Giriş

Artan küresel nüfus ile birlikte, küresel gıda talebi de gün geçtikçe artmaktadır. Dünya nüfusunun 2030 yılı itibari ile 8.5 milyara, 2050 yılında ise 9.7 milyara yükseleceği tahmin edilmektedir. Söz konusu bu nüfus artışının gıda ihtiyacının karşılanması için tarımsal üretimin 2050 yılına kadar %70 artış göstermesi gerekmektedir (Saygılı ve ark., 2019).

*Sorumlu Yazar. e-mail: ozluoymak@cu.edu.tr

Verim artışı, girdi kullanımının azaltılması, maliyetin düşürülmesi ve çevreye duyarlılık; ileri düzeyde bilişim teknolojilerinin kullanıldığı hassas tarım uygulamalarının temel odak noktalarıdır. Mikroişlemciler ve diğer elektronik donanımlarda yaşanan gelişmeler üreticilerin hassas tarım uygulamalarına erişebilmelerini olanaklı kılmaktadır (Tekin ve Değirmencioğlu, 2010). Tarımda teknolojinin kullanılması Tarım 4.0 teriminin ortaya çıkmasında etkili olmuş, Tarım 4.0 sistemleri tarımın dijital hale geçmesine olanak sağlamıştır (Kirmikil ve Ertaş, 2020).

Hassas tarımın gelişimi, mekânsal ve zamansal değişkenliği daha iyi kontrol etme arzusuyla ortaya çıkmıştır (Blackmore, 2009). Hassas tarım uygulamaları ile; gübre yönetimi, hava koşulları, bitkinin ihtiyacı olan mineral, ilaç ve su miktarı, toprağın durumu, tahmini hasat zamanı, vb. konularda üreticiye destek olarak verimin en üst düzeye çıkartılması hedeflenmektedir. Bu sayede üreticiler, ekim alanını yönetme ve gözlem yapma imkânına sahip olmakta, emek gücünü ve üretim girdi maliyetlerini minimize edip, kaliteli ve yüksek miktarda ürün elde etme imkânına sahip olmaktadır (Kılavuz ve Erdem, 2019).

Otonom sistemlerin ortaya çıkışı, daha az enerji tüketen, ekonomik, küçük, akıllı makinelere dayalı yeni bir esnek tarımsal donanım yelpazesi geliştirme fırsatı da vermektedir (Şahin, 2022). Söz konusu sistemlerin en büyük avantajı sürekliliğe imkân vermesidir. Bu sayede, aralıksız çalışma özelliği otonom sistemlerin en önemli özelliği olmaktadır. Otonom özelliğe sahip tarım makinaları, herhangi bir dış müdahaleye gerek kalmadan çalışmakta ve güvenli çalışma için söz konusu sistemlere algılama, koşul değerlendirme ve karar verme gibi yetenekler kazandırmaktadır.

Otonom araçlarda hareketin kontrolü için algoritma, modelleme ve metotların belirlenmesinin yanı sıra; engellerden kaçınma, lokalizasyon ve harita oluşturma işlemleri için de gerekli donanım ve yazılımlar geliştirilmektedir. Bu amaca yönelik yol planlama ve navigasyon uygulaması için aracın konumunun doğru bir şekilde kestirilmesi ve aracın hareketi sırasında çevrenin hassas olarak algılanması büyük önem taşımaktadır (Özgüven, 2018). Akıllı tarım makinaları özgün olarak tasarlanmış olabileceği gibi, mevcut tarım makinaları üzerinde yapılacak modifikasyonlar sayesinde (otomatik dümenleme sistemi, sensörler, kameralar, vb.) de otonom hâle getirilebilmektedir (Özgüven, 2022).

Geleneksel tarım yönteminde belirli bir bölge için benzer tarımsal prosedürler takip edilirken; gelişmiş konum, kontrol, veri işleme teknolojileri ile geliştirilen sistematik bir yaklaşımın ürünü olan hassas tarım yönteminde ise tüm detaylar incelenerek karar mekanizmaları oluşturulmaktadır. Bu çalışmada; daha verimli ve sürdürülebilir bir tarımsal üretim sağlama potansiyeli taşıyan hassas tarım teknolojilerinde kullanılan otonom donanım sistemleri incelenmiş, mevcut sistemlere eklenebilecek otonom sistem donanımları açıklanmıştır.

2. Otonom Tarım Aracı Donanımları

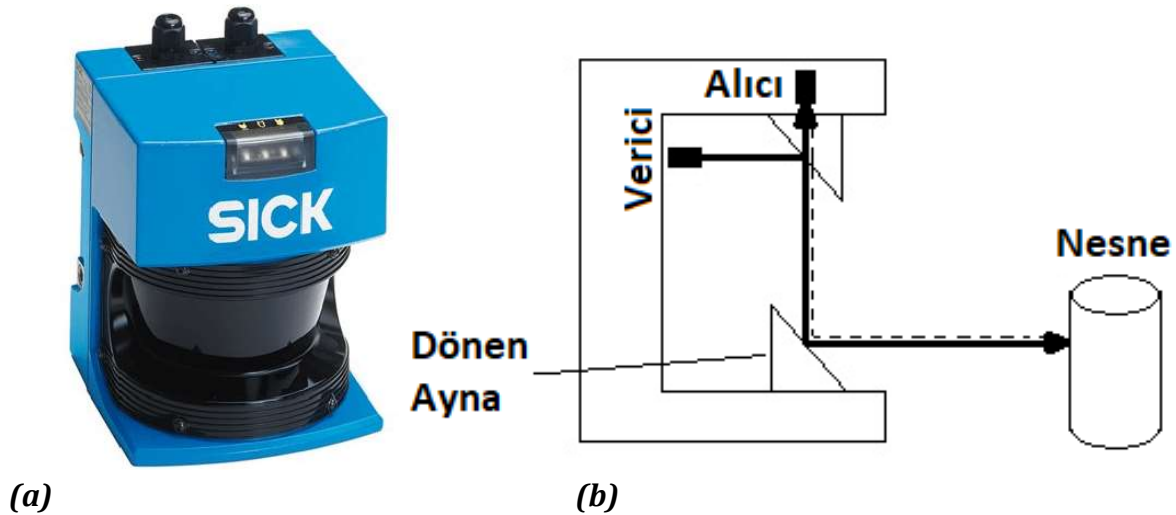
İnsan desteği olmadan çevresini algılayan, navigasyon ve yönlendirme yeteneğine sahip araçlara “Otonom Araçlar” adı verilmektedir. Günümüzde akıllı tarım uygulamalarına uyum sağlayabilecek ve sürücüyü ihtiyaç duymadan kurallı bir şekilde

sürüş sağlama kabiliyetine sahip otonom araçlar üretilmektedir. Otonom sistemlerin üretimi sırasında ise radar, LIDAR, GPS, odometri, sensör, bilgisayar görüşü gibi teknolojiler ve teknikler kullanılarak, algılama sistemine sahip otonom tarım araçları üretilmiştir (Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu [BTK], t.y.). Ayrıca otonom donanım sistemleri; sürüş destek sistemleri, aktuatörler, servo ve step motorlar, güvenlik algılayıcıları, vb. ekipmanları da kapsamaktadır. Otonom sistemler, bir işletim sistemine yüklenmiş algoritmalar ve yazılımlar sayesinde yönlendirilebilmekte ve sürücüsüz bir şekilde çalışabilmektedir. Söz konusu sistemler sayesinde tarımsal faaliyetlerin sürdürülmesi sırasında, hem operatör hatalarının önüne geçilmekte hem de çok hassas bir şekilde tarımsal işlemler yapılabilmektedir. Minimum hata ile çalışan otonom tarımsal sistemler sayesinde yakıt, ilaç, tohum, gübre ve işçilikten tasarruf etme imkânı da mümkün olmakta, böylece çalışmaların verimi artmaktadır.

Hassas tarım uygulamalarında kullanılan otonom sistemlerin verimli bir şekilde görevlerini yerine getirebilmeleri için kararlı bir navigasyon sistemine sahip olmaları gerekmektedir. Saha koşullarında, çevresel verilerin toplanma görevi sensörler aracılığıyla sağlanmaktadır. Bir işlemcide işlenen veriler, geliştirilen yazılımla uyumlu olarak karşılaştırılmakta ve sonuç mikrokontrolöre aktarılmaktadır. Mikrokontrolcü ise sistem tarafından verilen karara göre işlevini yerine getirmektedir. Otonom tarımsal sistemlerde kullanılan başlıca donanımlar aşağıda yer almaktadır.

A. Lazer Tarayıcılar

Lazer tarayıcılar, nesneye lazer dalga boylu ışık göndererek ölçüm yapmaktadır. Cihaz içerisinde ışını yayan ve alan elemanların olduğu lazer tarayıcılar, ağırlıklı olarak otonom sistemlerde kullanılmaktadır. Lazer tarayıcı ile çalışma prensibine ilişkin görsel Şekil 1 (a) ve (b)'de yer almaktadır (Kavak, 2008).



Şekil 1. (a) Lazer tarayıcı (b) Lazer tarayıcı çalışma prensibi (Kavak, 2008)

Otonom araçlarda en çok kullanılan lazer tipi, 2D lazer range finder olarak bilinen, hem nesnenin lazere olan mesafesini hem de nesnenin lazere göre yönünü açı cinsinden ölçen lazer tarayıcılarıdır. Mesafe bilgisi, algılanan nesnenin yansıtıcılığına bağlı olarak değişmektedir (Kavak, 2008).

Lazer darbeleri kullanılarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını belirleme amacıyla kullanılan lazer teknolojiler sayesinde, hassas tarım uygulamalarına uyum sağlayabilecek otonom sürüş sağlayabilen sistemler geliştirilmiştir.

B. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite Systems-GNSS)

Otonom insansız kara araçlarının konumlarının belirlenebilmesi ve haritalanabilmesi için küresel navigasyon uydu sistemlerinden (Global Navigation Satellite Systems-GNSS) faydalanılmaktadır. GNSS sistemleri belirli bir referans eksenine göre aracın konumunu belirleme işleminde kullanılmaktadır.

Küresel navigasyon uydu sistemi, bir kullanıcının Dünya'daki coğrafi konumunun belirlenmesinde küçük uyduların kullanıldığı bir uydu yol bulma sistemi olarak tanımlanabilmektedir. Kullanıcının konumu söz konusu yöntemde uydu-alıcı uzaklığına bağlı olarak sinyalin uydudan alıcıya ulaşana kadar geçen zamanın ışık hızı ile çarpılması sonucu dünyanın hangi noktasında bulunursa bulunsun tespit edilebilmektedir. GNSS sistemleri GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU/COMPASS, QZSS gibi birçok uydu bazlı sistemden oluşmaktadır. Bu sistemlerden ABD asıllı GPS (Global Positioning System) ve Rusya asıllı GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) sistemleri dünya üzerinde en sık kullanılan iki konum servisidir (Endüstriyel Test Cihazları, 2020).

Otonom sistemlerde yaygın olarak kullanılan GPS uyduları bir tür radyo sinyali yaymakta, yeryüzündeki GPS alıcıları da bu sinyalleri alıp yorumlayarak konum belirlemesini gerçekleştirmektedir (Wikipedia, 2024). Otonom insansız kara araçlarında kullanılan GNSS konum belirleme donanımlarına ilişkin görseller Şekil 2'de yer almaktadır.



Şekil 2. GNSS alıcı donanımları (Trimble, t.y.; Graftek, t.y.; Xsens, 2020)

Gerek otonom gerekse de konvansiyonel sistemlerde olsun, tüm tarım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi aşamasında konum bilgisinin en doğru ve hassas bilgisi GNSS verileri yardımıyla belirlenebilmektedir (Kahveci, 2014).

C. LIDAR Sistemi

Lazer darbeleri kullanılarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını anlamaya yarayan teknolojiye LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) adı verilmektedir. Lazer ışınlarını kullanarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığı belirlenmektedir. Radar teknolojisinin çalışmasına benzeyen bir prensiple çalışmaktadır. Aradaki fark radyo dalgaları yerine lazer darbelerinin çevredeki objelere çarpması ve yansıma süresini

kullanarak aradaki mesafe değerinin hesaplanarak kullanılmasıdır. LIDAR ile ölçülen alanın 3 boyutlu (3D) nokta bilgileri; çok kısa sürede, istenen sıklıkta ve yüksek doğrulukta elde edilebilmektedir (Özguven, 2022). LIDAR sensör örneği Şekil 3'te yer almaktadır.



Şekil 3. LIDAR sensörü (Sick, t.y.)

Hassas tarımda ve ileri düzey tarımsal mekanizasyon sistemlerinde önemli bir yere sahip olan ve aracın otonomluğuna büyük katkı sağlayan LIDAR, lazer ışığını kullanarak, bulunduğu çevrenin yüksek çözünürlüklü 3 boyutlu haritasını çıkarabilen, hızlı ve yüksek doğruluk oranına sahip bir uzaktan algılama teknolojisidir. Bu nedenle yüksek hassasiyete sahip bir LIDAR sensörü, otonom araçlar için oldukça önemli bir yere sahiptir (Kağızman ve Altuğ, 2019). LIDAR sistemlerinin, tarımsal hareket sistemlerine entegre edilmesi sayesinde mevcut araç, otonom sürüş kabiliyeti kazanmakta, sistem navigasyonu sayesinde de aracı otonom olarak hareket ettirebilmek ve dümenleyebilmek mümkün olmaktadır. Ayrıca LIDAR sensörü, hareket esnasında otonom tarım aracının çevresinde bulunabilecek olası tüm engellerden kaçınmak için de kullanılmaktadır.

D. Radar (RADio Detection And Ranging) Sensörleri

Çevreye radyo dalgaları göndererek yansıyan dalgaları bir alıcı yardımıyla ölçümleyen, nesnelerin uzaklıklarını, açıları ve hızlarını ise Doppler etkisi kullanarak algılayan donanımlara radar sensörleri adı verilmektedir. Gönderilen radyo sinyalleri yansıma yaptığıında, otonom aracın hızına göre dalga boyu ve frekansı değişmekte, bu sayede aracın hızı tespit edilebilmektedir. Zorlu hava koşullarında bile verimli çalışmaya imkân tanıyan radar sensörleri, otonom araçlarda tercih edilmektedir. Otonom tarım araçlarında kullanılan radar sensörüne ilişkin görsel Şekil 4'te yer almaktadır.



Şekil 4. Radar sensörü (Smartmicro, t.y.)

Hassas tarım uygulamalarında ve ileri düzey tarımsal mekanizasyon çalışmalarında LIDAR sensörleri ile beraber de kullanılabilen radar sensörlerinden, rotası üzerindeki sabit veya hareketli engelleri algılayarak durabilen veya yeni yol atayarak işine devam

edebilen otonom traktörler ve robotların geliştirilmesinde yararlanılmaktadır (Baran ve ark., 2023).

E. Ultrasonik Sensörler

Ultrasonik sensörler ses dalgalarını kullanarak temassız mesafe ölçmeye ve varlık tespiti yapmaya yarayan bir sensör türüdür. Otonom sistemlerde yaygın olarak kullanılan ultrasonik sensörler, hedef nesneye ultrasonik ses dalgaları yollamakta, geri yansımaya elektrik sinyaline dönüştürmektedir. Ultrasonik ses dalgasının nesneye gönderilme ve geri gelme süresine bağlı olarak mesafe algılama işlemi gerçekleştirilmektedir. Otonom sistemlerde ultrasonik sensörler, daha çok destek uyarı sistemi ve güvenlik amacıyla kullanılmaktadır. Otonom tarım araçlarında kullanılan ultrasonik sensörlere ilişkin görseller Şekil 5'te yer almaktadır. Yüksek frekanslı ses dalgaları kullanan ultrasonik sensörler, hassas tarım sistemlerinde özellikle mesafe ölçme ve engel algılama proseslerinde kullanılmaktadır.



Şekil 5. Ultrasonik sensör çeşitleri (Maxbotix, t.y.; Soldered, t.y.; Pepperl-Fuchs, t.y.)

F. Kamera Sistemleri

Otonom sistemlerde en çok kullanılan bir diğer sistem ise kamera sistemleridir. Olumsuz hava koşullarına ve aydınlatma değişikliklerine karşı hassas olmasına rağmen, sahip olduğu teknoloji ve yüksek çözünürlük ile karmaşık görüntülerin işlenmesi sayesinde, çevrede bulunan nesnelere sınıflandırılması, doku, renk ve kontrast bilgilerinin belirlenmesi, gerçek zamanlı 3 boyutlu görüntülerinin çıkarılması gibi işlemleri mümkün kılarak çevre hakkında ayrıntılı bilgi elde edilmesini sağlamaktadır. Elde edilen görüntülerin işlenmesi sırasında büyük miktarlarda verinin kullanılması, hesaplamaların yoğun olmasına ve geliştirilen algoritmanın karmaşık hale gelmesine neden olmaktadır (Özguven, 2022). Otonom tarım araçlarında kullanılan kameralara ilişkin görseller Şekil 6'da verilmiştir. Hassas tarım sistemlerinde kullanılan kameralar sayesinde belirli bir sırayı takip edebilmek ve bu şekilde rotayı izlemek mümkün olmaktadır.



Şekil 6. Kamera sistemleri (Otostil, 2017)

3. Otonom Donanım Sistemlerinin Kullanıldığı Tarım Araçları

Son yıllarda bilgi teknolojilerinde görülen hızlı gelişimin bir sonucu olarak tarımsal alanda kullanılmaya başlanan hassas tarım sistemleri ve otonom sürüş teknolojileri, artık günümüzde geleneksel üretim yöntemlerinin yerini almaya başlamıştır.

Cantelli ve ark., (2019) yaptıkları çalışmada seralarda kullanılmak üzere, otonom bir ilaçlama robotu geliştirmişlerdir. Otonom navigasyon için robot üzerinde stereo kamera, RTK-DGPS GNSS alıcı, lazer tarayıcı, ultrasonik sensörler, vb. donanımlardan faydalanılmıştır. Geliştirilen sistem Şekil 7’de yer almaktadır.



Şekil 7. Otonom ilaçlama robotu (Cantelli ve ark., 2019).

Baltazar ve ark., (2021) geliştirdikleri robotik ilaçlama sistemi sayesinde hassas ilaçlama yapabilmişlerdir. Söz konusu sistem otonom olarak çalışmakta ve otonom sürüş amacıyla üzerine LIDAR sensörleri ile GNSS alıcısı yerleştirilmiştir. Ayrıca sistem üzerinde stereo kamera da bulunmaktadır. Geliştirilmiş akıllı tarım aracına ilişkin görsel Şekil 8’de yer almaktadır.



Şekil 8. Otonom robotik ilaçlama sistemi (Baltazar ve ark., 2021).

Grimstad ve ark., (2018) çalışmalarında otonom bir tarım robotu geliştirmişler, robot üzerinde 3D kamera, ultrasonik sensör, 2D LIDAR, odometre, enkoder, vb. gibi çok sayıda sensör kullanmışlardır. Sistemde kullanılan sensörlerin, otonom tarım robotu üzerindeki yerleşimi Şekil 9'da gösterilmiştir.



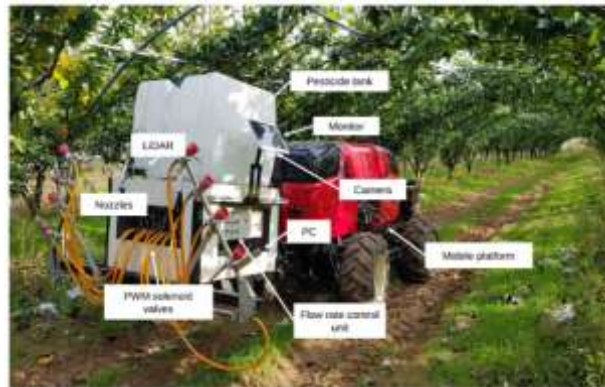
Şekil 9. Sensörlerin otonom tarım robotu üzerinde konumlandırılması (Grimstad ve ark., 2018)

Li ve ark., (2020) biçerdöver tabanlı bir otonom hasat makinası geliştirmişlerdir. Robotik biçerdöver üzerinde yer alan ekipmanlar Şekil 10'da yer almaktadır.



Şekil 10. Otonom biçerdöver üzerindeki sensörlerin yerleşimi (Li ve ark., 2020)

Seol ve ark., (2022) tarafından geliştirilen hassas tarım makinası üzerinde otonom sürüşe ve çevreden bilgi toplamaya yönelik kamera ve sensör sistemleri kullanılmıştır. Akıllı ilaçlama sistemine ilişkin görsel Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Otonom ilaçlama makinası üzerindeki kamera ve sensörlerin yerleşimi (Seol ve ark., 2022)

Geleneksel olarak arazi şartlarında kullanılan fosil yakıtlar dışında elektrik enerjisine yönelik kaynakların kullanımına geçilmesi ve bunun sürdürülebilir olması söz konusu hassas tarım sistemlerinin en önemli avantajlarından birisidir. Özellikle; çevre dostu olması, yenilenebilir enerji kaynağı kullanıyor olması, vb. üstünlükleri, düşük maliyetli üretim yapılmasına imkân sağlamaktadır.

Tüm bu olumlu yönlerinin yanı sıra hassas tarım sistemlerinin tarım işletmelerine entegrasyonu aşamasında bazı zorluklar bulunmaktadır. Bu zorlukların başında da akıllı tarım uygulamalarının maliyetleri ve bu maliyetlerin sektörde faaliyet gösteren çiftçiler tarafından karşılanabilme imkânı gelmektedir (Güldal ve Özçelik, 2022).

4. Sonuç

Tarım sektörü, teknolojik ilerlemelerin hızla benimsenmesiyle büyük bir dönüşüm yaşamaktadır. Bu dönüşümün en önemli unsurlarından biri, otonom tarımsal robotlar tarafından sağlanmaktadır. Bu robotlar, tarımsal üretimde verimliliği artırmak, ürün kalitesini iyileştirmek ve üretim maliyetlerini azaltmak gibi kritik hedefleri gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. Ayrıca, otonom sistemler tarım sektöründe yoğun iş gücü gerektiren birçok görevde insan iş gücünün yerini alarak çiftçi refahını artırmayı amaçlamaktadır.

Otonom tarımsal robotlar, bitkisel ve hayvansal üretimde bir dizi kritik görevi yerine getirmek için geliştirilmiştir. Bu görevler arasında ekim, dikim, ilaçlama, gübreleme, hasat, süt sağımı, yemleme, yem itme ve ahır temizleme gibi işlemler bulunmaktadır. Bu robotlar, tarım süreçlerinin otomatikleştirilmesi ve verimliliğin artırılması için temel bir araç olarak kabul edilmektedir. Otonom tarımsal robotların etkili çalışması, gelişmiş sensör teknolojilerinin kullanımına dayanmaktadır. Bu robotlar, çevrelerini algılamak ve çeşitli görevleri yerine getirmek için bir dizi sensör kullanmaktadırlar.

Son yıllarda; sensörler, aktüatörler ve gelişmiş elektronik donanımların otonom tarım robotlarına başarılı bir şekilde entegrasyonu sayesinde, tarım robotlarının hassas görevleri güvenilir bir şekilde yerine getirmesi sağlanmıştır. Ayrıca, bu gelişmeler sayesinde tarım sektöründe daha verimli ve sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesi mümkün hale gelmiştir. Örneğin; gübre dağıtımında arazi ihtiyaçlarının tespit edilerek, uygun miktarda verilmesi ile toprak, su gibi kaynakların sağlığı ve korunması sağlanmaktadır. Sensör teknolojisi ve teknolojik ilerlemeler, bu robotların etkili bir şekilde çalışmasını sağlamak için temel öneme sahiptir. Gelecekte, tarım robotlarının daha geniş bir şekilde benimsenmesiyle tarım sektörü daha sürdürülebilir ve verimli bir hale gelecektir.

Çıkar Çatışma Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazarlık Katkısı

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Etik Onay Beyanı

Bu makalede insan veya hayvan deneklerle herhangi bir çalışma bulunmaması nedeniyle etik onaya gerek duyulmamaktadır.

Kaynaklar

- Baltazar, A.R., Santos, F.N.d., Moreira, A.P., Valente, A., & Cunha, B.J. (2021). Smarter robotic sprayer system for precision agriculture. *Electronics*, 10, 2061, 1-15. <https://doi.org/10.3390/electronics10172061>
- Baran, F.O., Kara, E., & Sürmen, M. (2023). Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Yenilikçi Çalışmalar, Türkiye’de Tarımda Dijitalleşme Sürecinde Yaşanan Gelişmeler (Bölüm 8), 151-177. Duvar Yayınları, ISBN: 978-625-6507-40-1.
- Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. (T.Y.). *Akıllı Tarım*. <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/a-rastirma-raporlari/akilli-tarim.pdf>
- Blackmore, S. (2009). New concepts in agricultural automation. *Precision in Arable Farming: Current Practice and Future Potential*, October.
- Cantelli, L., Bonaccorso, F., Longo, D., Melita, C.D., Schillaci, G., & Muscato, G. (2019). A small versatile electrical robot for autonomous spraying in agriculture. *AgriEngineering*, 1, 391-402. <https://doi.org/10.3390/agriengineering1030029>
- Endüstriyel Test Cihazları. (2020, Ekim). *GNSS Nedir? GNSS Sistemleri Nedir?*. <https://www.endustriyeltestcihazlari.com/gnss-nedir-gnss-sistemleri-nedir/>
- Graftek. (t.y.). *Trimble R12 GNSS Alıcı*. <https://graftek.com.tr/urunler/trimble-r12-gnss-alici/480/1/>
- Grimstad, L., Zakaria, R., Le, T.D., & From, P.J. (2018). A Novel Autonomous Robot for Greenhouse Applications. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 8270-8277. <https://doi.org/10.1109/IROS.2018.8594233>
- Güldal, H.T., & Özçelik, A. (2022). Tarım işletmelerinin sermaye yapılarının akıllı tarıma uygunluğunun değerlendirilmesi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 28(1): 1-11. <https://doi.org/10.24181/tarekoder.1009535>
- Kağızman, A., & Altuğ, E. (2019). Otonom araçlarda navigasyon için düşük maliyetli, taşınabilir ve 360° görüş alanına sahip yeni bir 3B LIDAR sisteminin geliştirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(3), 759-769. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.527888>
- Kahveci, M. (2014). Uydularla Konum Belirleme Sistemleri (GNSS)’nin hassas tarımda kullanımı ve sağladığı katkılar. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 35-48.
- Kavak, D. (2008, Ocak). *İnsansız Kara Araçları Navigasyonunda Genişletilmiş Kalman (GKF) ve Sıkıştırılmış Genişletilmiş Kalman Filtre (SGKF) Tabanlı Slam Yöntemlerinin Geliştirilmesi ve Karşılaştırılması* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=-Z0vbSUgrhM9fXoGkRe6Q2zmJGqtIeNnxag-UOQaqhHG5tKg5tXtCzCte8T1MJ>
- Kılavuz, E., & Erdem, İ. (2019). Dünyada Tarım 4.0 Uygulamaları ve Türk tarımının dönüşümü. *Social Sciences (NWSASOS)*, 14(4),133-157. <https://doi.org/10.12739/NWSA.2019.14.4.3C0189>
- Kirmikil, M., & Ertas, B. (2020). Tarım 4.0 ile sürdürülebilir bir gelecek. *ICONTECH International Journal of Surveys, Engineering, Technology*, 1-12, ISSN 2717-7270. <https://doi.org/10.46291/ICONTECHvol4iss1pp1-12>
- Li, Y., Iida, M., Suyama, T., Suguri, M., & Masuda, R. (2020). Implementation of deep-learning algorithm for obstacle detection and collision avoidance for robotic harvester. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, 105499. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105499>
- Maxbotix. (t.y.). *MB1000 LV-MaxSonar-EZ0*. https://maxbotix.com/products/ultrasonic_sensors_mb1000
- Otostil. (2017, Ekim). *Bosch objeleri takip eden akıllı kameraları geliştirdi*. <https://www.otostil.com/bosch-akilli-kameralar/>

- Özgülven, M.M. (2018). *Hassas tarım*. Akfon Yayınları, Ankara. ISBN: 978-605-68762-4-0.
- Özgülven, M.M. (2022). Bir tarım makinesi nasıl akıllı tarım makinesine dönüşür?. *AKİTEK 4.0 Dergisi*, 1, 46-53.
- Pepperl-Fuchs. (t.y.). *Ultrasonic sensor UB4000-30GM-E5-V15*. https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid_186.htm?view=productdetails&prodid=1482
- Saygılı, F., Kaya, A.A., Çalışkan, E.T., & Kozal, Ö.E. (2019). *Türk tarımının global entegrasyonu ve Tarım 4.0*. Tükelmat Basımevi, İzmir, Türkiye, 100s. ISBN: 978-605-137-710-0.
- Seol, J., Kim, J., & Son, H.I. (2022). Field evaluations of a deep learning-based intelligent spraying robot with flow control for pear orchards. *Precision Agriculture*, 23,712-732. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09856-1>
- Sick. (t.y.). *MRS1000*. <https://www.sick.com/tw/en/lidar-sensors/3d-lidar-sensors/mrs1000/c/g387152>
- Smartmicro. (t.y.). *Radars for autonomous and industrial vehicles*. <https://www.smartmicro.com/automotive-radar/drvegrd-169>
- Soldered, (t.y.). *Ultrasonic module HC-SR04*. <https://soldered.com/product/ultrasonic-module-hc-sr04/>
- Şahin, H. (2022). Dijital tarım, Tarım 4.0, Akıllı tarım, Robotik uygulamalar ve Otonom sistemler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(2), 68-83.
- Tekin, A.B., & Değirmencioğlu, A. (2010). Tarımsal Bilişim: İleri Tarım Teknolojileri. *Akademik Bilişim'10 - XII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, 10 - 12 Şubat 2010, Muğla Üniversitesi, Muğla, 351-359.
- Trimble. (t.y.). *AgGPS 542 GNSS receiver*. <https://uk.ptxtrimble.com/product/aggps-542-gnss-receiver/>
- Wikipedia. (2024, Haziran). *GPS*. <https://tr.wikipedia.org/wiki/GPS>
- Xsens. (2020, Şubat). *MTi User Manual*. https://www.xsens.com/hubfs/Downloads/usermanual/MTi_usermanual.pdf

To cite: Ozluoymak, O., B. 2024. Autonomous Hardware Systems Used in Precision Agriculture. *Journal of Agriculture Faculty of Duzce University*, 2(1):21-31

Alıntı için: Özlüoymak, Ö., B. 2024. *Hassas Tarımda Kullanılan Otonom Donanım Sistemleri*. *Düzce Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(1):21-31