

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**MODERN SERALAR İÇİN SIRA ARALARINDA BAĞIMSIZ HAREKET
EDEBİLEN ROBOT PLATFORMUNUN GELİŞTİRİLMESİ: ULV TİPİ BİR
PÜLVERİZATÖR İLE ENTEGRASYONU**

Erdem YILDIZ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

AĞUSTOS 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**MODERN SERALAR İÇİN SIRA ARALARINDA BAĞIMSIZ HAREKET
EDEBİLEN ROBOT PLATFORMUNUN GELİŞTİRİLMESİ: ULV TİPİ BİR
PÜLVERİZATÖR İLE ENTEGRASYONU**

Erdem YILDIZ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

AĞUSTOS 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MODERN SERALAR İÇİN SIRA ARALARINDA BAĞIMSIZ HAREKET
EDEBİLEN ROBOT PLATFORMUNUN GELİŞTİRİLMESİ: ULV TİPİ BİR
PÜLVERİZATÖR İLE ENTEGRASYONU**

**Erdem YILDIZ
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

Bu tez TÜBİTAK tarafından 121E718 nolu proje ile desteklenmiştir.

AĞUSTOS 2023

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MODERN SERALAR İÇİN SIRA ARALARINDA BAĞIMSIZ HAREKET
EDEBİLEN ROBOT PLATFORMUNUN GELİŞTİRİLMESİ: ULV TİPİ BİR
PÜLVERİZATÖR İLE ENTEGRASYONU**

Erdem YILDIZ

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez/...../2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Murad ÇANAKCI (Danışman)	
Prof. Dr. Mehmet TOPAKCI	
Prof. Dr. Arif Behiç TEKİN	
Doç. Dr. İlker ÜNAL	
Doç. Dr. Sait Muharrem SAY	

ÖZET

MODERN SERALAR İÇİN SIRA ARALARINDA BAĞIMSIZ HAREKET EDEBİLEN ROBOT PLATFORMUNUN GELİŞTİRİLMESİ: ULV TİPİ BİR PÜLVERİZATÖR İLE ENTEGRASYONU

Erdem YILDIZ

**Doktora Tezi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği
Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Murad ÇANAKCI

Ağustos 2023; 85 sayfa

Bu çalışmada, modern seralarda sıra aralarında bağımsız hareket edebilecek şekilde çalışan bir mobil robot prototipinin geliştirilmesi ve ULV tipi bir pülverizatör ile entegrasyonunun sağlanması amaçlanmıştır. Mobil robot platformu hem beton zeminde hem de ısıtma boruları üzerinde hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Robot platformu üzerinde 4 adet mekanum tekerlek ve 4 adet polyamid ray tekeri olmak üzere toplam 8 adet tekerlek bulunmaktadır. Mobil robotun beton zemin üzerinde hareketini mekanum (çok yönlü) tekerlekler, ısıtma boruları üzerinde hareketini ise polyamid malzemeden yapılmış ray tekerleri sağlamaktadırlar.

Mobil robot platformu hem otomatik hem de manuel olarak kontrol edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Mekanum tekerlekler ile oluşturulmuş bu platform kendi ekseninde dönmeden her yöne hareket edebilme kabiliyetine sahiptir. Bu amaçla 10 adet hareket kontrolü oluşturulmuştur. Bu hareketler; sol, sol-ilere, ileri, sağ-ilere, sağ, sağ-geri, geri, sol-geri, saat yönünde kendi etrafında dönme ve saat yönünün tersinde kendi etrafında dönme şeklindedir. DC motorlar gücünü 2 adet seri bağlanmış 12 V 72 AH aküden almaktadırlar. Mobil robot, bilgisayar ve Arduino UNO olmak üzere 2 adet kontrolcüye sahiptir. Arduino UNO sensörlerden aldığı verileri bilgisayara iletmektedir. Robota entegre edilen ULV tipi pülverizatörün açılıp kapanması Arduino UNO tarafından bilgisayardan gelen veriye göre yapılmaktadır. Bilgisayar da Arduino UNO'dan aldığı sensör verilerini işleyerek bu veriler doğrultusunda motor sürücülerine komut göndermektedir.

Mobil robot platformuna entegre edilen ULV tipi pülverizatör 1200 W AC motora sahiptir. Pülverizatörün enerjisi 2000 W inverter kullanılarak sağlanmıştır. Çalışmada ULV tipi pülverizatörün mobil robot üzerinden otomatik çalıştırılması sağlanmış ve suya duyarlı kağıtlar ile denemeler yapılmıştır. Denemelerde, geliştirilen program dahilinde ULV tipi pülverizatörün mobil robot tarafından kontrol edilebildiği belirlenmiştir. Çok amaçlı kullanım için geliştirilmesi nedeniyle mobil robotun sera içinde taşıma işlemleri için kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, meyve sebze kasalarının taşınabilmesi için mobil robot üzerine 52 cm x 74 cm boyutlarında portatif metal bir aparat monte edilmiştir. Yapılan denemelerde robotun üzerine yerleştirilen kasaların (toplam 40 kg) istenilen noktalara taşınması sağlanmıştır.

Çalışma sonunda, üzerinde yapılacak düzenlemelerle ULV tipi ilaçlama ve taşıma işlemlerinin yanında modern seralarda uygulanan farklı işlemlerin gerçekleştirilmesinde de kullanılabilecek bir mobil robot platformu prototipi geliştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Çok Yönlü Tekerlek, Mobil Robot, Sera Robotu, Sera Mobil Robotu, ULV Cihazı

JÜRİ: Prof. Dr. Murad ÇANAKCI

Prof. Dr. Mehmet TOPAKCI

Prof. Dr. Arif Behiç TEKİN

Doç. Dr. İlker ÜNAL

Doç. Dr. Sait Muharrem SAY

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A MOBILE ROBOT PLATFORM FOR MODERN GREENHOUSES THAT CAN MOVE INDEPENDENTLY BETWEEN ROWS: INTEGRATION WITH AN ULV TYPE SPRAYER

Erdem YILDIZ

PhD Thesis in Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering

Supervisor: Prof. Murad ÇANAKCI

August 2023; 85 pages

In this study, it is aimed to develop a mobile robot prototype that can move independently between rows in modern greenhouses and to integrate it with a ULV type sprayer. The mobile robot platform is designed to be able to move both on the concrete floor and on the heating pipes. The prototype consists of a total of 8 wheels: four mecanum wheels for movement on concrete floors and four pipe wheels for movement on heating pipes.

The mobile robot platform can be controlled autonomously or manually. Equipped with mecanum wheels, the robot can move in all directions without requiring complex maneuvers. A total of 10 motion controls were implemented for the mobile robot: left, left-forward, forward, right-forward, right, right-backward, backward, left-backward, clockwise rotation, and counterclockwise rotation.

The mobile robot is powered by four brushed DC motors and two DC motor drivers. These motors are connected in series to two 12 V 72 AH batteries. The robot's control system consists of two components: a computer and an Arduino UNO. The Arduino UNO interfaces with sensors and an ULV (Ultra Low Volume) Spraying Machine. It transmits sensor data to the computer and controls the ULV device based on received commands. The computer processes the sensor data and sends instructions to the motor drivers.

The ULV device that is integrated to the mobile robot, powered by a 1200 W AC motor, is connected to a 2000 W inverter for power supply. Automatic operation of the ULV device on the mobile robot was achieved, and experiments were conducted using water sensitive papers. In the trials, it was determined that the ULV type sprayer could be controlled by the mobile robot within the developed program. Additionally, a metal apparatus measuring 52 cm x 74 cm (width x length) was built and attached to the mobile robot, allowing for the transportation of fruit crates. A trial was conducted with four fruit crates, weighing total of 40 kg, placed on the mobile robot, and it was successfully determined that the mobile robot system can handle this weight. Although, this mobile robot platform can be used for different agricultural processes applied in greenhouses with the appropriate arrangements.

KEYWORDS: Greenhouse Mobile Robot, Greenhouse Robot, Mecanum Wheel, Mobile Robot, ULV Sprayer

COMMITTEE: Prof. Dr. Murad ÇANAKCI

Prof. Dr. Mehmet TOPAKCI

Prof. Dr. Arif Behiç TEKİN

Assoc. Prof. Dr. İlker ÜNAL

Assoc. Prof. Dr. Sait Muharrem SAY



ÖNSÖZ

Dünya’da nüfus artışı ve tüketici alışkanlıklarına bağlı olarak gıda ihtiyacının artışıyla birlikte iklim değişikliği ve kuraklık vb. konularda yaşanan gelişmeler tarımsal üretimin önemini artırmaktadır. Aynı zamanda, ülkemiz de dahil olmak üzere tarımsal alanda istihdam edilen nüfusun önemli bir bölümünün sanayi ve hizmet gibi farklı sektörlerle geçişi söz konusudur. Bu süreçte, nitelik ve nicelik olarak daha verimli bir üretim için tarımsal üretimde teknolojik uygulamalara daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüz tarımsal alanlarında teknolojinin, basit uygulamalarla başlayıp karar verme mekanizmaları da dahil olmak üzere tüm işlemlerin otomasyon sistemleri ile gerçekleştirildiği akıllı tarım uygulamalarına kadar geniş bir yelpazede uygulanabilmesi mümkündür. Bölge ve işletme özellikleri ile ekonomiklik ve verimlilik gibi faktörler dikkate alınarak uygun teknolojilerin tarım alanında kullanılması yaygınlaştırılmalıdır. Modern Tarım Uygulamaları ve Akıllı Tarım Teknolojileri konularındaki gelişmeler teknolojinin tarımsal alanlarda kullanımını kolaylaştırmaktadır.

Tarımsal alanlardaki teknolojik uygulamalardan birisi de işlemlerin robotlarla gerçekleştirilmesidir. Robot uygulamaları, iş verimindeki artışın yanında çalışanların sağlığı ve güvenliği konularına olumlu katkılar sağlamaktadır. Tarımsal alanda teknolojik uygulamaların görüldüğü alanlardan birisi de modern seralardır. Modern seralarda genellikle topraksız yetiştiricilik yapılmaktadır ve iklimlendirme işlemleri otomasyon sistemleri ile kontrol edilmektedir. Seralarda bakım işlemleri başta olmak üzere farklı işlemlerde robotların kullanımı söz konusudur. Bu araştırmada, modern seralarda çalışabilecek bir mobil robot platformu prototipinin tasarımı, imalatı ve yazılımı üzerine çalışılmıştır. Oluşturulan platformun hem otomatik kontrolü hem de manuel kontrolü amaçlanmıştır.

Bu çalışma, aynı zamanda TÜBİTAK tarafından 121E718 numaralı proje ile desteklenmiştir. Bu nedenle TÜBİTAK’a teşekkür ederim. Doktora eğitimim sürecinde her zaman yardımı esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Murad ÇANAKCI’ya, malzeme önerisi ve malzeme tedariki ile projenin tamamlanabilmesini sağlayan hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet TOPAKCI’ya, verdiği kritik bilgiler ile projedeki bilgi eksikliğinin tamamlanmasını sağlayan hocam Sayın Doç. Dr. İlker ÜNAL’a, damla çaplarının ölçülmesinde yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DURAN’a, TÜBİTAK projesinin bursiyerliğini yapan ve projenin her aşamasında çalışan Tulgacan GÜDÜ’ye, makinanın imalatı ve montajında çalışan Sayın Mahmut KOCAKAYA’ya, elektrik-elektronik montajında yardımlarından dolayı Ali ERDOĞMUŞ’a ve Mustafa KAPLAN’a, ULV tipi pülverizatörler konusunda desteğini esirgemeyen Coşkun AKSU’ya, makinanın 3 boyutlu çizimlerinde ve suya duyarlı kağıtların analizinde yardımcı olan Sayın Mete YİĞİT’e, makinanın tasarımında yardımcı olan Emre ÖZDEMİR’e, suya duyarlı kağıtları temin eden Timagri firmasına, katkı sağlayan tüm kişi ve kuruluşlara ve son olarak manevi desteklerinden dolayı anneme ve babama teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	5
3. MATERYAL VE METOT	24
3.1. Materyal	25
3.1.1. Ön prototip mobil robotun parçaları	25
3.1.1.1. Mekanum tekerlek, redüktörlü DC motor ve akü	25
3.1.1.2. Arduino Mega, Bluetooth modülü ve DC motor sürücüsü	26
3.1.1.3. Limit switch ve MZ80 kızılötesi sensör	27
3.1.2. Ana mobil robotun parçaları	28
3.1.2.1. Gergi mandalı, monitör, acil stop butonu, siren, tutamaç ve pako şalter	28
3.1.2.2. Mekanum tekerlek, ray tekeri ve redüktör	29
3.1.2.3. Ön limit switch, alt limit switch, IR mesafe sensörü ve IMU sensörü	30
3.1.2.4. Akü ve invertör	31
3.1.2.5. Arduino UNO, voltaj regülatörü ve SSR röle	32
3.1.2.6. Bilgisayar, DC motor ve DC motor kontrolörü	33
3.1.2.7. ULV tipi pülverizatör	34
3.1.3. Kullanılan bilgisayar programları	35
3.1.4. Ön denemelerde kullanılan diğer malzemeler	35
3.1.4.1. ULV tipi sırt pülverizatörü	35
3.1.4.2. BTS7960 motor sürücü kartı	36
3.1.4.3. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü	37
3.2. Metot	38
3.2.1. Ön prototip mobil robotun gerçekleştirilmesi	38

3.2.1.1. Bağlantı şemasının oluşturulması	39
3.2.1.2. Akış diyagramlarının oluşturulması.....	39
3.2.1.3. Arduino yazılımlarının oluşturulması	40
3.2.1.4. Android tabanlı cihazlar için yazılımlarının oluşturulması	41
3.2.1.5. Simülasyon programında denemelerin yapılması	43
3.2.1.6. Ön prototip mobil robotun montajı	43
3.2.2. Ana mobil robotun geliştirilmesi	45
3.2.2.1. Simülasyon ortamında denemeler	45
3.2.2.2. Arduino yazılımının oluşturulması	47
3.2.2.3. Akış diyagramlarının oluşturulması.....	48
3.2.2.4. MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörlerinin ayarlarının yapılması....	50
3.2.2.5. MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörlerinin denemeleri.....	52
3.2.2.6. Ana programın (yazılım) oluşturulması.....	53
3.2.2.7. Baskı devre kartının oluşturulması	60
3.2.2.8. Şase oluşturulması ve malzemelerin montajı.....	61
3.2.2.9. Isıtma borularının montajı.....	64
3.2.2.10. Suyu duyarlı kağıtlar ile yapılan deneme.....	64
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	66
4.1. Mobil Robot Platformunun Genel Özellikleri.....	66
4.2. Mobil Robot Platformunun Teknik Özellikleri	69
4.3. Mobil Robot Platformuna ULV tipi Pülverizatör ve Taşıma Aparatının Entegre Edilmesi.....	71
4.4. Suyu Duyarlı Kağıtlar ile ULV Denemesi	72
4.5. Mobil Robot Platformunun Üretim Maliyeti.....	75
5. SONUÇLAR	77
6. KAYNAKLAR	80
7. EKLER.....	84
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Modern Seralar İçin Sıra Aralarında Bağımsız Hareket Edebilen Robot Platformunun Geliştirilmesi: ULV Tipi Bir Pülverizatör İle Entegrasyonu” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

01/08/2023

Erdem YILDIZ



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Amper
AH	: Ampere-Hour (Amper-Saat)
cm	: santimetre
cm/s	: santimetre/saniye
d/d	: devir/dakika
da	: dekar
ha	: hektar
kg	: kilogram
L	: Litre
m	: metre
mm	: milimetre
ms	: milisaniye
m/s	: metre/saniye
RPM	: Revolute Per Minute (devir/dakika)
s	: saniye
V	: Volt
W	: Watt
°C	: Santigrat

Ondalık ayırıcı olarak nokta (.) kullanılmıştır.

Kısaltmalar

2D : 2 Depth (2 Boyutlu)

3D : 3 Depth (3 Boyutlu)

ABD : Amerika Birleşik Devletleri

AMCL: Augmented Monte Carlo Localization (Arttırılmış Monte Carlo Lokalizasyonu)

CCW : Counter Clockwise (Saat Yönünün Tersi)

CW : Clockwise (Saat yönü)

COM : Communication Port (Haberleşme Portu)

DC : Direct Current (Doğru Akım)

DOF : Degree of Freedom (Serbestlik Derecesi)

GND : Ground (Toprak)

GNSS : Global Navigation Satellite System (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi)

GPS : Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)

I2C : Inter-Integrated Circuit (Haberleşme Protokolü)

IDE : Integrated Development Environment (Entegre Geliştirme Ortamı)

IMU : Inertial Measurement Unit (Ataletsel Ölçüm Ünitesi)

IR : Infrared (Enfraruj)

İTA : İnsansız Tarım Aracı

LIDAR: Light Detection and Ranging (Işık Algılama ve Uzaklık Algılama)

LRF : Laser Range Finder (Lazer Mesafe Bulucu)

NC : Normally Close (Normalde Kapalı)

NO : Normally Open (Normalde Açık)

NPN : Negative-Positive-Negative (Negatif-Pozitif-Negatif)

PC : Personel Computer (Bilgisayar)

PPP : Precision Point Positioning (Hassas Nokta Pozisyonlama)

PWM : Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)

RGB-D: Red Green Blue-Depth (Kırmızı Yeşil Mavi-Derinlik)

ROS : Robotic Operating System (Robot İşletim Sistemi)

ROTAM: Robot Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi

RTAB-Map: Real-Time Appearance-Based Mapping (Gerçek zamanlı görünüm tabanlı haritalama)

RUR : Rossum's Universal Robots

RX : Receiver (Alıcı)

SCL : Serial Clock Line

SDA : Serial Data Line

SLAM: Simultaneous Localization and Mapping (Eşzamanlı Konum Belirleme ve Haritalama)

SSR : Solid State Relay (Katı Hal Rölesi)

TDK : Türk Dil Kurumu

TÜBİTAK: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

TX : Transmitter (Verici)

ULV : Ultra Low Volume (Çok Düşük Hacimli)

UV : Ultraviyole

VCC : Voltage Common Collector

VMD : Volume Mean Diameter (Hacimsel Ortalama Çap)

WSP : Water Sensitive Paper (Suya Duyarlı Kağıt)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye’de sera alanlarının yıllara göre değişimi (Anonim 1, 2023)	1
Şekil 2.1. Sera robotu AURORA (Madow vd. 1996)	5
Şekil 2.2. Isıtma boruları üzerinde çalışan sera robotu (Sammons vd. 2005)	6
Şekil 2.3. İlaçlama yapabilen sera robotu (Masoudi vd. 2010)	7
Şekil 2.4. Mobil robotun parçaları (Kashiwazaki vd. 2010)	8
Şekil 2.5. Sera içerisinde Fitorobot isimli mobil robotun görüntüsü (Sanchez-Hermosilla vd. 2010)	9
Şekil 2.6. Toprak zeminde çalışan sera robotu (Sanchez-Hermosilla vd. 2012)	10
Şekil 2.7. Sera içinde çalıştırılacak olan çoklu robot sistemi (Roldan vd. 2016)	11
Şekil 2.8. Mobil robotun dönüş yapacağı yolun gösterilmesi (Gao vd. 2017)	11
Şekil 2.9. İlaçlama robotu (Nakao vd. 2017)	12
Şekil 2.10. Sera içerisinde çalışması öngörülen mobil robot (Masuzawa vd. 2017)	12
Şekil 2.11. Sera mobil robotu (Harik ve Korsaeht 2018)	13
Şekil 2.12. Mobil robot ve robot kolunun sera içerisindeki görüntüsü (Ohi vd. 2018) ..	14
Şekil 2.13. Modern seralar için geliştirilmiş mobil robot (Grimstad vd. 2018)	14
Şekil 2.14. Sera mobil robotun görüntüsü (Mosalanejad vd. 2021)	16
Şekil 2.15. Sera robotu (Choudhary vd. 2021)	17
Şekil 2.16. Wanjet Tam Otomatik S55 İlaçlama Robotu (Anonymous 1, 2023)	17
Şekil 2.17. FPHU Maryniaczek firmasının ilaçlama robotu - HSE 300 modeli (Anonymous 2, 2023)	18
Şekil 2.18. Berg Hortimotive firmasının ilaçlama robotu (Anonymous 3, 2023)	18
Şekil 2.19. Micothon firmasının ilaçlama robotu-Narva modeli (Anonymous 4, 2023) ..	19
Şekil 2.20. AIS firmasının sera robotu - Phoenix modeli (Anonymous 5, 2023)	19
Şekil 2.21. Otomatik İlaçlama Robotu - Seraymak (Anonim 4, 2023)	20
Şekil 2.22. Otomatik İlaçlama Robotu - Blm Mekatronik (Anonim 5, 2023)	21
Şekil 2.23. İlaçlama robotu – TAGEM (Anonim 6, 2023)	21
Şekil 3.1. Materyal ve metot sürecindeki iş akış diyagramı	24
Şekil 3.2. a) 100 mm mekanum tekerlek b) Redüktörlü DC motor c) Kuru akü	25
Şekil 3.3. a) Arduino Mega b) HC05 Bluetooth modülü c) L298N motor sürücü kartı ..	26
Şekil 3.4. a) Limit switch b) MZ80 kızılötesi sensör	27
Şekil 3.5. a) Gergi mandalları b) Monitör, acil stop butonu, siren ve tutamaç c) pako şalterler	29
Şekil 3.6. a) Mekanum tekerlek b) Ray tekeri c) Redüktör	29
Şekil 3.7. a) Ön limit switch b) Alt limit switch	30
Şekil 3.8. a) IMU sensörü b) IR mesafe sensörü	30
Şekil 3.9. a) 12 V 72 AH akü b) 12 V 2000 W invertör	31
Şekil 3.10. a) Arduino UNO b) Ayarlanabilir 3 A voltaj regülatörü c) SSR röle	32
Şekil 3.11. a) DC Motor b) MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörü	33
Şekil 3.12. Aksu Naz Ahtapot ULV cihazı	34
Şekil 3.13. Aksu Ece-10 sırt tipi ULV cihazı	36

Şekil 3.14. BTS7960 motor sürücü kartı	37
Şekil 3.15. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü	38
Şekil 3.16. Ön prototip mobil robotun bağlantı şeması	39
Şekil 3.17. Ön prototip mobil robot 1 sıra hareket denemesi akış diyagramı.....	39
Şekil 3.18. 2 adet kızılötesi sensör ile 2 sıra hareket denemesi akış diyagramı	40
Şekil 3.19. Android tabanlı cihazlar için 10 hareket kontrol programı	41
Şekil 3.20. Arduino içerisinde bulunan programı başlatabilecek Android programı	42
Şekil 3.21. MIT App Inventor programında oluşturulmuş olan kod bloğu	42
Şekil 3.22. SimulIDE programında oluşturulmuş devre.....	43
Şekil 3.23. Ön prototip mobil robotun alt görünüşü	44
Şekil 3.24. Kızılötesi sensörlerinin montajlı hali	44
Şekil 3.25. Ön prototip mobil robotun son hali	45
Şekil 3.26. Simülasyon programı (manuel kontrol-dur komutu).....	46
Şekil 3.27. Simülasyon programı (manuel kontrol-ileri komutu).....	46
Şekil 3.28. Simülasyon programı (otomatik kontrol)	47
Şekil 3.29. Arduino yazılımının testi için IR mesafe sensörleri ile kurulan devre	47
Şekil 3.30. IR mesafe sensörlerinden alınan uzaklık bilgilerinin gösterilmesi.....	48
Şekil 3.31. Manuel kontrol için oluşturulan akış diyagramı	49
Şekil 3.32. Otomatik kontrol için oluşturulan akış diyagramı	50
Şekil 3.33. Roborun+ programı a) Work Offline, Controller Model b) Load from Controller, Save to Controller.....	51
Şekil 3.34. Roborun+ programı a) Configuration b) Power Output.....	51
Şekil 3.35. Roborun+ programı	52
Şekil 3.36. a) 1 adet DC motor kontrolör 2 adet DC motor test düzeneği b) 2 adet DC motor kontrolör 4 adet DC motor test düzeneği	53
Şekil 3.37. a) Haberleşme bağlantılarının yapılmamış hali b) Haberleşme bağlantılarının yapılmış hali	54
Şekil 3.38. Hız ve sensör algılama mesafe ayarı a) Tek Hız b) Ayrı Hızlar	54
Şekil 3.39. a) Süre sekmesi b) Diğer sekmesi	55
Şekil 3.40. a) Bağlantı menüsü b) Kaydet menüsü	56
Şekil 3.41. Test menüsü a) ULV testi b) Yan hareket testi	56
Şekil 3.42. a) Manuel kontrol sekmesi b) Otomatik kontrol sekmesi	57
Şekil 3.43. a) İleri yön hareketi b) Hareket etmeme durumu	57
Şekil 3.44. Hareket yönleri çizimleri	58
Şekil 3.45. IMU değerleri a) Hareket öncesi b) Hareket sonrası c) Kaydedilen X değerine göre otomatik hareket sonrası	59
Şekil 3.46. Ana programın arayüzü	59
Şekil 3.47. Baskı devre kartı şematik çizimi	60
Şekil 3.48. a) Baskı devre kartı çizimi b) Baskı devre kartı (alt görünüş)	60
Şekil 3.49. a) Baskı devre kartı (üst görünüş) b) Mesafe sensörleri ve IMU sensörünün montajlı hali	61

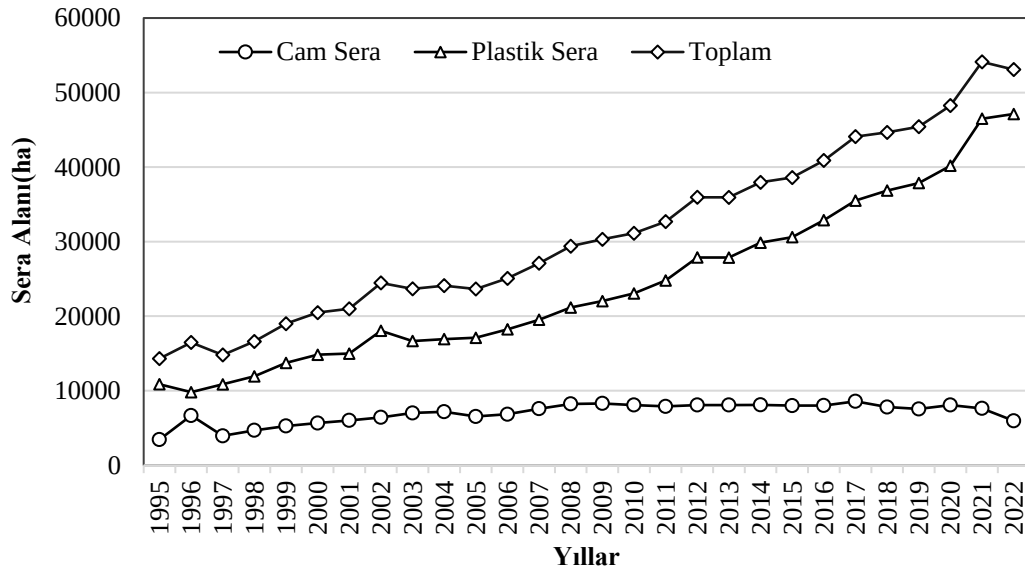
Şekil 3.50. a) DC motor ve redüktör montajı b) DC motor, redüktör, ray tekeri ve mekanum teker montajı.....	62
Şekil 3.51. a) Alt sac tabakaya ters konumdan montaj b) Tekerlerin çalışma kontrolü.....	62
Şekil 3.52. Mobil robot platformunun montaj aşamasında iç görünümü	63
Şekil 3.53. Elektrik-Elektronik parçalarının bağlantı şeması	63
Şekil 3.54. Isıtma borularının montajlı hali	64
Şekil 3.55. Suyu duyarlı kağıt paketi (50'lik).....	65
Şekil 3.56. Tele asılmış 2 adet suya duyarlı kağıdın görüntüsü	65
Şekil 4.1. Mobil robot platformunun dış görünüm-perspektif çizimi.....	67
Şekil 4.2. Mobil robot platformunun iç görünüm-perspektif çizimi.....	67
Şekil 4.3. Mobil robot platformunun alt perspektif çizimi	68
Şekil 4.4. a) Mobil robot platformunun son hali b) Katı model çizimi	68
Şekil 4.5. Mobil robot platformu görünüşleri a) Yan görünüş b) Ön görünüş c) Üst görünüş d) Perspektif görünüş	69
Şekil 4.6. ULV tipi pülverizatörün montajlı hali a) Perspektif görünüş b) Ön görünüş	72
Şekil 4.7. a) Taşıma aparatı b) Kasaların ısıtma boruları üzerinde taşınması	72
Şekil 4.8. Mobil robotun denemeler sırasında ULV tipi pülverizatör ile çalışması	73
Şekil 4.9. Tele asılmış suya duyarlı kağıdın ilaçlama sonrası görüntüsü	73
Şekil 4.10. Suyu duyarlı kağıtların taratılması sonucu elde edilen veriler.....	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Önceki çalışmalarda geliştirilen robotlara ait genel bilgiler.....	22
Çizelge 3.1. Redüktörlü DC motor özellikleri.....	25
Çizelge 3.2. HC05 Bluetooth modülü bağlantı uçları.....	26
Çizelge 3.3. L298N motor sürücü kartı bağlantı uçları	26
Çizelge 3.4. Limit switch bağlantı uçları	27
Çizelge 3.5. MZ80 kızılötesi bağlantı uçları.....	27
Çizelge 3.6. IMU sensörü bacak bağlantıları.....	31
Çizelge 3.7. Sharp GP2Y0A710K0F IR mesafe sensörü kablo bağlantıları	31
Çizelge 3.8. Akü özellikleri	31
Çizelge 3.9. SSR röle bağlantı uçları.....	32
Çizelge 3.10. Voltaj regülatörünün bağlantı uçları.....	32
Çizelge 3.11. DC motorun özellikleri.....	33
Çizelge 3.12. MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörü özellikleri	33
Çizelge 3.13. Aksu Naz Ahtapot ULV Cihazı Özellikleri.....	34
Çizelge 3.14. Kullanılan Bilgisayar Programları.....	35
Çizelge 3.15. Aksu Ece-10 Sırt Tipi ULV Cihazı Özellikleri	36
Çizelge 3.16. BTS7960 motor sürücü kartı bağlantı uçları	37
Çizelge 3.17. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü bağlantı uçları.....	38
Çizelge 3.18. MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörünün bağlantı uçları.....	52
Çizelge 3.19. Klavye tuşlarının hareket yönü açıklamaları	56
Çizelge 3.20. Mobil robot hareket yönlerine göre motorların dönüş yönleri	58
Çizelge 4.1. Mobil robot platformunun teknik özellikleri	70
Çizelge 4.2. Suyarlı Duyarlı Kağıtların analiz değerleri.....	74
Çizelge 4.3. Mobil robot platformunun üretim maliyeti.....	75

1. GİRİŞ

Günümüz tarımsal üretiminde nüfus artışı ve tüketici taleplerine bağlı olarak, verim artışı ve ürün kalitesi gibi konulara öncelik verilmektedir. Yapılan çalışmalarda, sağlıklı ürün yetiştiriciliği hedefi ile birlikte çevre korunumu ve iş sağlığı ve güvenliği konularının önemi artmaktadır. Bu kapsamda yürütülen faaliyetlerin, bitkisel üretimde bir yapı altında gerçekleştirilmesi nedeni ile diğer üretim kollarından ayrılan ve emek-sermaye yoğun bir üretim şekli olan sera yetiştiriciliğinde de belirgin bir şekilde yürütüldüğü görülmektedir. Seralar, iklim koşullarının elverişli olmadığı dönemlerde bitkilerin yetişmesine uygun ortamın sağlandığı, ısı, ışık, nem ve hava hareketleri gibi etmenlerin kontrol altına alınabildiği yapılardır. Günümüzde seracılık sebze, meyve, fide, süs ve tıbbi bitkilerin yetiştiriciliğinde uygulanmaktadır (Tiwari 2003). Türkiye’de seracılık 1940’larda Antalya’da başlayan seralar ile başlamıştır. Ancak üretici düzeyinde yaygınlaşması ise 1960’lı yılların sonlarına rastlamaktadır (Çanakcı 2005). Günümüzde seracılık birçok bölgede yapılmaktadır ve sera alanları sürekli artış eğilimindedir. Türkiye’deki sera alanları değişimi Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Türkiye’de sera alanlarının yıllara göre değişimi (Anonim 1, 2023)

Ülkemizde özellikle plastik örtülü seralardaki artış ile birlikte toplam sera alanları 2022 yılı verilerine göre 53091 ha düzeyine ulaşmıştır (Anonim 1, 2023). Ürün isteklerine bağlı olarak sera ikliminin uygun değerlerde tutulmaya çalışılması ve yetiştiricilik ile ilgili işlemlerin uygun yöntemlerle zamanında gerçekleştirilmesi sera yetiştiriciliğinde dikkate alınması gereken temel konular arasında yer almaktadır. Seralarda iç ortam koşullarının kontrol edilmesi ve işlemlerin zamanında ve daha güvenli yapılması amacıyla farklı mekanizasyon sistemlerinden yararlanılmaktadır. Sera mekanizasyon araçlarının kullanımı, iklimlendirme ve üretim olmak üzere iki bölümde incelenebilir. Sera içi iklimin (sıcaklık, havalanma, nem, aydınlık vb.) düzenlenmesi için çeşitli çalışmalar ve uygulamalar yapılmaktadır.

Bu uygulamalar sera iklimlendirme mekanizasyonu şeklinde tanımlanmaktadır. Sera üretim mekanizasyonu ise bitki yetiştiriciliğinde toprak işleme, ekim, dikim, sulama,

gübreleme, tarımsal savaş, hasat ve taşıma gibi işlemleri kapsamaktadır (Yağcıoğlu 1999). Bu kapsamda yetiştiricilik ile ilgili faaliyetler kısmen ya da tamamen mekanize edilmeye çalışılmaktadır. Sera işletmelerinin özelliklerine göre teknoloji kullanım düzeyi değişmektedir. Bu açıdan değerlendirildiklerinde seralar geleneksel ve modern seralar olarak iki farklı başlık altında değerlendirilebilir.

Geleneksel seralarda birçok işlemin daha çok insan işgücü ile yapılmaya çalışılmasına karşın modern sera işletmelerinde teknoloji kullanım düzeyi daha yüksektir. Modern seralar; sera yapı ve örtü malzemeleri ile iklimlendirme sistemlerinde teknolojik ürünlerin kullanıldığı, yetiştirme tekniklerinde modern uygulamaların yer aldığı ve iç ortam koşullarının otomasyon sistemleri ile kontrol edildiği seralar olarak tanımlanabilir. Belirtilen seralarda topraksız kültürde yetiştiricilik uygulaması yaygındır (Çanakcı vd. 2011). Geleneksel işletmelere göre modern sera işletmelerinin sahip oldukları sera alanları daha fazladır (Çanakcı ve Akıncı 2007). Ülkemizdeki geleneksel işletmelerde ortalama alanların %75'ten fazlasının 0.3 ha'dan daha düşük değere sahip olduğu belirtilmiştir. Modern seraların ise ortalama büyüklüğü 3 ha olarak bildirilmiştir (Silleli vd. 2020).

Modern tarım uygulamalarında teknoloji kullanımı; sera içi iklimin kontrolü, sağlıklı gıda, yetiştiricilik işlemlerinde insan işgücü gereksiniminin azaltılması vb. hedeflere yönelik olarak gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde teknolojik sera olarak da adlandırılan modern seralar özellikle 2000'li yıllardan sonra artmaya başlamıştır. Modern seralar başlangıçta kıyı bölgelerinde (Antalya) kurulmaya başlamıştır. Sonraki yıllarda ise jeotermal enerji kaynaklarına sahip iç bölgelerde modern sera alanlarındaki artış dikkat çekmektedir. Ülkemizdeki toplam modern sera alanlarının mevcut durumda 1400 ha'dan fazla olduğu bildirilmektedir (Silleli vd. 2020).

Ülkemizde coğrafi ve iklim koşullarının uygunluğu, pazar ülkelere yakınlık vb. nedenlerle gelecek yıllarda da sera alanlarındaki artışın devam etmesi beklenmektedir. Ancak üretimin sürdürülebilir bir şekilde artması gereklidir. Bu aşamada sera yetiştiriciliğinde ekonomik ve çevre dostu arayışlara gerek vardır (Tüzel vd. 2020). Geleneksel seralarda yetiştiricilik döneminde bitki isteklerine uygun elverişli ortamların sağlanmasında yetersizlikler görülmektedir. Bu nedenle modern seralarda, geleneksel seralara göre daha az kimyasal ilacın kullanıldığı ve kaliteli ürün ve yüksek verim elde edildiği belirtilmiştir (Çanakcı ve Akıncı 2007). Modern seracılık konusundaki gelişmeler yetiştiricilik ile birlikte ülkemizde sera teknolojilerinin gelişmesine katkı sağlamaktadır. Farklı ülkelere bu teknolojinin ihraç edilmesi olanaklarını sunmaktadır. Bu nedenle seralarda kullanılan teknolojilere yönelik çalışmaların katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Sera teknolojilerine yönelik yapılan çalışmalar sera yapı malzemeleri, örtü malzemeleri, yetiştirme ortamları, iklimlendirme sistemleri, yetiştiricilikte kullanılan sistemler vb. konuları içine alan geniş bir perspektifte değerlendirilebilir. Dünya'da yapılan farklı çalışmalar bulunmakla birlikte ülkemizde yetiştiricilikte uygulanan işlemlerin mekanize edilmesine yönelik yapılan çalışmaların sınırlı kaldığı bilinmektedir. Çalışmaların, robotların geliştirilmesinde izlenecek yöntemler, tek bir işlem ya da birden fazla kültürel işlemin gerçekleştirilmesine yönelik (üniversal) robot geliştirilmesi ve robotlarda kullanılacak görüntü işleme yöntemleri gibi konularda yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca incelenen birçok çalışmanın çoğunlukla prototip aşamasında

olduğu ve çalışmaların devam edeceği belirtilmektedir. İleriki çalışmalarda, daha fonksiyonel robotların daha düşük maliyetler ile gerçekleştirilmesinin hedeflendiği açıklanmaktadır (Çanakcı ve Yıldız 2013). Özellikle insan işgücü temininin sınırlı ve iş sağlığı ve güvenliği konularının öne çıktığı işlemler için insan işgücü yerine otonom veya robotik sistemler tarafından gerçekleştirilmesine yönelik çalışmalar yürütülmektedir.

Sera yetiştiriciliğinde yoğun insan işgücü kullanımı söz konusudur. Modern seralarda iklimlendirme (ısıtma, havalandırma vb.) ve fertigasyon (sulama ve gübreleme) uygulamalarına yönelik otomasyon sistemleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte dikim, hasat, ilaçlama, taşıma ve bakım (budama, ipe alma, ipe sarma) vb. işlemlerde insan işgücü kullanılmaktadır. Bu işlemlerde işgücü kullanımında verimliliğin artması için çok amaçlı arabalar kullanılmaktadır. Ancak bu araçların kontrolü çoğunlukla insan işgücü ile yapılmaktadır. Bu nedenle işgücü ihtiyacının kas gücü olarak değil kontrol olarak da azaltacak robotik uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu şekilde zihinsel yorgunluğun da azaltılması amaçlanmaktadır.

Modern seralarda diğer işlemlerin yanında kimyasal ilaç (pestisit) uygulamalarının özel bir yeri bulunmaktadır. İlaçlama işlemleri tekniğine uygun şekilde yapılmadığında ilaç kalıntısı nedeniyle gıda güvenliği ve kişisel koruyucu donanımların kullanılmadığı durumlarda ise iş sağlığı ve güvenliği açısından risk oluşturmaktadır. Bu nedenle modern seralarda ilaçlama sırasında insan işgücü kullanımını azaltacak otomasyon sistemlerine sahip ilaçlama uygulamalarına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen bazı robotlar seralarda kullanılmaktadır.

Modern seralarda gerek ilaçlama işleminin kolaylaştırılması gerekse diğer kültürel işlemler için robotik konusunda çalışmalar yürütülmektedir. Modern seralarda sıra aralarında ısıtma boruları bulunmaktadır ve bu borular belirtilen araçlar için ray görevi görmektedir. Geliştirilen robotik çalışmalarda çoğunlukla, tek tip zeminin ya da sıra aralarında raylar üzerinde gidip gelme hareketinin dikkate alındığı görülmektedir. Özellikle ısıtma borulu seralarda sıralar arası geçişlerin tek bir robotla sağlandığı çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu konuyu dikkate alan çalışmaların çoğunda sıralar arası geçişin, insan işgücü ile ya da ikinci bir yardımcı mekanizma ile sağlanmaya çalışıldığı görülmektedir.

Bu aşamada öncelikle sıralar arası geçişi kendisi sağlayacak bir robot platformuna ihtiyaç bulunmaktadır. Seralardaki işlem çeşitliliği dikkate alındığında bu robotun farklı işlemler için uygun olması kullanılabilirliğini artıracaktır. Bu nedenle robot platformunun kültürel işlem uygulamaları ile entegrasyonu önemlidir.

Robotik kelimesi “birtakım işlevlerde insanın yerini alabilecek düzeneklerin hazırlanmasıyla ilgili çalışma ve tekniklerin bütünü”, robot ise “belirli bir işi yerine getirmek için manyetizma ile kendisine çeşitli işler yaptırılabilen otomatik araç” olarak tanımlanmaktadır (TDK 2021). Bu kelime ilk kez Karel Capek’in 1920 yılında yazdığı Rossum’s Universal Robots (RUR) adlı oyunda kullanılmıştır (Anonim 2, 2021). Robotlar doğrudan bir operatörün kontrolünde çalışabildikleri gibi bağımsız olarak bir bilgisayar programının kontrolünde de çalışabilmektedirler. Teknolojik gelişmelerle birlikte robotların kullanım alanlarında sürekli artış gözlenmektedir. Artık günümüzde, endüstriyel işletmelerde, hastanelerde, askeri ve güvenlik amaçlı uygulamalarda, denizaltı araştırmalarında, uzay araştırmalarında, ev temizliğinde ve tarımsal uygulamalar

gibi birçok alanda robot teknolojileri kullanılabilir (Yıldız 2009). Diğer alanlarla birlikte son yıllarda genel olarak tarımda özel olarak da kapalı alan olan seralar için robot geliştirilmesi çalışmalarında artışlar görülmektedir. Bu kapsamda seralarda kullanılmak üzere robotik sistemlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar “TÜBİTAK 2022-2023 Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik” Konu Başlıkları ana başlığı altında “Yeşil ve Sürdürülebilir Tarım” başlığı altında yer alan “Öncelikli Ürün ve Teknolojiler” kapsamında “İnsansız Tarım Araçları (İTA), Otonom ve/veya İnsansız Tarım Robotları ve İleri Teknoloji Çevre Dostu Tarım Makinaları” başlıkları altında TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir. Ayrıca “Projelerin Odaklanması Beklenen Yenilikçi Özellikler/Metrikler/Çalışmalar” özelinde tarımsal üretim süreçlerinde kullanılmak üzere “toprak işleme, ekim, ilaçlama, gübreleme” işlemlerini gerçekleştirebilecek hassas konumlanma sistemine sahip farklı sensör ve ekipmanlarla çalışabilecek tam otonom kendi yürür robot platformu geliştirilmesi konusuna değinilmektedir (Anonim 3, 2022).

Bu çalışmada modern seralarda çalışabilecek çok amaçlı bir mobil robot prototipinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada sıra aralarında bağımsız hareket edebilecek şekilde geliştirilen robotun, ilaçlama işlemleri için ULV tipi bir pülverizatör ile entegrasyonu sağlanmıştır. Ayrıca uygun bir aparat eklenerek robotun sera içindeki taşıma işlemleri için de kullanılabileceği belirlenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

Türkiye’deki sera yetiştiriciliği uygulamaları dikkate alındığında özellikle robotik uygulamalara öncelik verilmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir. Bu konuda uygulamaya dönük araştırmaların da başlamış olması sevindiricidir (Çanakcı ve Yıldız 2013). Seralar için geliştirilen robotik uygulamalara yönelik yapılmış bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Sera içerisinde çalışabilecek bir mobil robot geliştirilmesine yönelik yapılan ilk çalışmalardan birisi Mandow vd. (1996) tarafından yürütülmüştür. Şekil 2.1’de görülen mobil robota AURORA ismi verilmiştir. Mobil robotun hareket kararını ultrasonik sensörlerden gelen bilgilere göre verdiği belirtilmiştir. Robotun hareket davranışı; güvenlik, dönme, duvar takibi ve koridor takibi olarak açıklanmıştır. Koridor takibi hareketindeki sensörlerden gelen bilgilerin uzak, yakın ve çok yakın olarak ayırt edildiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, koridor takibinde mobil robotun konumu için sola yakın, ortada veya sağa yakın olarak sınıflandırılma yapılmıştır. Duvar takibi hareketinin yan sensörlerden gelen bilgilere göre yapıldığı belirtilmiştir. Duvar takibi hareketi; çok uzak, çok yakın ve orta olarak sınıflandırılmıştır. Dönme hareketi için yan sensörlerden gelen verilerden ve odometri bilgisinden faydalanılmıştır. Odometri, tekerleklerin döndükleri tur sayısı ve tekerlek çevresi bilgisi ile mobil robotun katettiği yol uzunluğu bulma konusudur. Mobil robot için belirtilmiş olan güvenlik hareketinde ise ön sensörlerden gelen veriye göre durdurma yapıldığı bildirilmiştir.



Şekil 2.1. Sera robotu AURORA (Mandow vd. 1996)

Yetiştiricilikte; ürün verimi ve kalitesi, gıda güvenliği ve çalışanların iş sağlığı ve güvenliği açısından kritik işlemlerden birisi de kimyasal ilaç uygulamalarıdır. Bu nedenle robotik çalışmaların bir bölümü kimyasal ilaç uygulamalarına yöneliktir. Sammons vd. (2005), seralarda ilaçlama uygulamaları için otonom bir robot geliştirmişlerdir (Şekil 2.2). Çalışmada, seralarda ısıtma boruları üzerinde ilaçlama işlemlerinde kullanılabilecek robotun tasarımı, imalatı, yazılımı gerçekleştirilmiş ve robot iki farklı modern serada test edilmiştir. Seralarda ısıtma suyu sıcaklığının 80-90°C düzeylerine çıkması nedeniyle borular üzerinde hareket eden tekerlekler sert plastik malzemelerden yapılmıştır. Robotun ısıtma borularını algılayabilmesi için endüktif sensör kullanılmıştır

ve robot sıra sonundaki geri hareketini otomatik olarak yapabildiği belirtilmiştir. Bir sıradan diğer sıraya geçiş işleminin işçi yardımıyla el ile yapıldığı açıklanmıştır. Aynı zamanda robot üzerine, güvenlik amacıyla acil durma butonu ve çarpışma engelleyici sensör de eklenmiştir. Mobil robotun 0.26 m/s ilerleme hızına çıkabilecek motor donanımına sahip olduğu belirtilmiştir. PWM kontrolü ile motor kontrolü yapılmıştır. Hıyar yetiştirilen bir serada yapılan denemelerde robotun hareketini ve geri dönüşlerini başarılı bir şekilde gerçekleştirdiği gözlenmiştir. Birinci denemede yaprakların üst ve alt yüzeylerindeki kaplama oranı %95 olarak belirlenmiştir. Yaprak alanı indeksinin daha fazla olduğu ikinci denemede ise yaprakların üst kısmındaki kaplama oranı %90, alt kısımlarındaki kaplama oranı %80 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2.2. Isıtma boruları üzerinde çalışan sera robotu (Sammons vd. 2005)

Palamas vd. (2006), sera içerisinde çalışabilecek bir mobil robotun rölatif pozisyon tahmini konusunda çalışma yapmışlardır. Sera içerisinde mobil robotun hareketinin görüntü işleme ile sağlandığı belirtilmiştir. Lokalizasyon (konum belirleme) işleminin doğal yer işaretleri (Natural landmark) ile yapıldığı açıklanmıştır. Sera içerisine ekstra donanımların eklenmesi istenmediğinden yapay yer işaretlerinin (Artificial landmark) kullanılmadığından bahsedilmiştir. Sera içerisinde çekilen bir videodan 512x512 piksel'lik ekran alıntılarının alındığı belirtilmiştir. Bu ekran alıntılarının görüntü işleme için kullanıldığı açıklanmıştır. Görüntü işleme; ön işleme, sınıflandırma ve son işleme olarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan mobil robotun fotoğrafına ve fiziksel özelliklerine yer verilmemiştir.

Liu vd. (2006), genetik algoritma ile seralarda çalışacak bir mobil robot için yol planlaması üzerine çalıştıklarını bildirmişlerdir. Çalışma, gerçek bir sera alanında veya fiziksel olarak gerçekleştirilmiş bir mobil robot ile yapılmamıştır. Simülasyon çalışması olarak yapılan araştırmada iki boyutlu bir alan oluşturulmuştur. Bu simülasyon alanı kutucuklara ayrılmıştır. Kutucuklar engel veya engel değil şeklinde belirtilmiştir. Genetik algoritma için gerekli olan başlangıç popülasyonunun 100 olarak ayarlandığı açıklanmıştır. Genetik algoritma yardımıyla başlangıç noktasından bitiş noktasına ulaştırabilecek bir yol bulunabildiği belirtilmiştir.

Yuan vd. (2007), yapmış oldukları çalışmada Liu vd. (2006) çalışmasında olduğu gibi gerçek bir sera alanında veya fiziksel olarak gerçekleştirilmiş bir mobil robot ile deneme yapmamışlardır. Simülasyon ortamında gerçekleştirilen çalışmada başlangıç ile

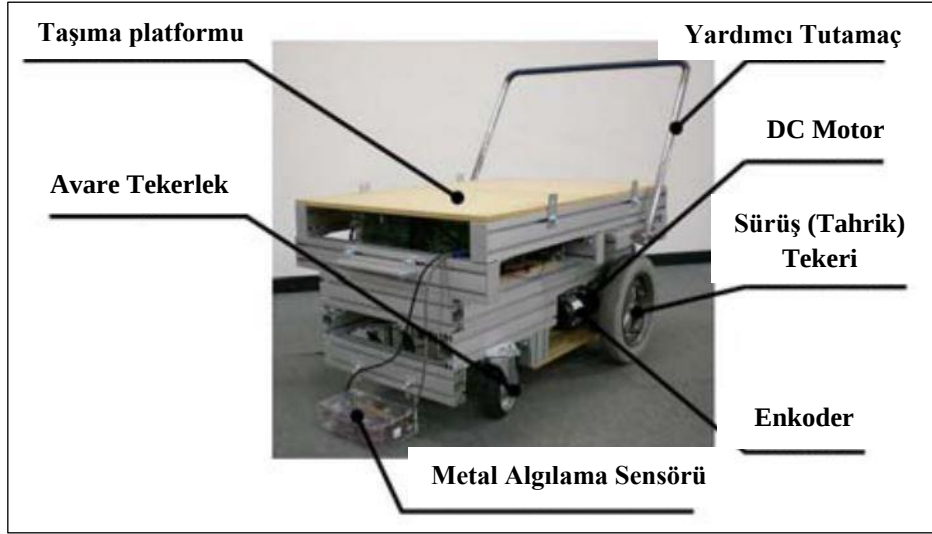
bitiş konumu arasında bir yol bulunabildiğinden bahsedilmiştir. Engellerin farklı konum ve boyutlarda olduğu durumlarda da yol bulunabildiğinden dolayı sera gibi kompleks alanlar için algoritmalarının uygun olabileceği belirtilmiştir.

Masoudi vd. (2010), tarafından seralarda ilaçlama yapmak amacıyla bir mobil robot üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.3). Diferansiyel sürme metoduyla tasarlanan robotta üç adet tekerlek kullanılmıştır. Sürüş iki adet DC motor ile kontrol edilmiştir. Engellere çarpmaması ve yönünü belirleyebilmesi amacıyla altı adet ultrasonik sensör kullanılmıştır. Mobil robotun hareketi ultrasonik sensörlerden gelen verilere göre oransal kontrol ile sağlanmıştır. Mobil robot 98 cm genişliğe ve 13.94 m uzunluğa sahip koridorlu (sıra aralığı) ve beton zeminli bir modern serada üç farklı hızda çalıştırılarak test edilmiştir. Buna göre 15, 25 ve 35 cm/s hızlarında çalıştırılan mobil robotun konumundaki ortalama karesel hatası sırasıyla 4.93, 5.34 ve 6.51 cm olarak bulunmuştur. Hızın artması ile robotun konumsal ortalama karesel hatasının arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte sıra sonlarındaki dönüş yarıçapının da hız ile birlikte arttığı belirtilmiştir.



Şekil 2.3. İlaçlama yapabilen sera robotu (Masoudi vd. 2010)

Kashiwazaki vd. (2010), Japonya’da tarımsal alanlardaki işgücünün azaldığını, bu nedenle mekanizasyon ve otomasyona yönelik çalışmaların arttığını, tarımsal işlemlerin tümüyle otomasyon sistemleriyle yapılmasında bazı teknik problemlerin bulunduğunu belirtmişlerdir. İşçilerin esnek ve hassas çalışabildiği, robotların ise çok tekrarlı işlemlerde başarılı olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle her ikisinin de avantajlı yönlerinin esas alınarak insan ve robotun ortak çalışmasının verimlilik açısından önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu kapsamda çalışmalarında hasat ve ilaçlama işlemlerinde kullanılabilecek Şekil 2.4’te görülen robot platformunu geliştirmişlerdir. Mobil robot çizgi izleme ve engellerden kaçınma özelliğine sahiptir. Boyutları 600x920x537 mm olan robotun kütlesi 70 kg, taşıma kapasitesi 150 kg, arka tekerlek çapı 330 mm ve ön tekerlek çapı 150 mm’dir. Mobil robot hareketini iki adet DC motordan almaktadır. Robotun üst kısmı sadece hasat sonrası ürünleri taşımak için değil ayrıca başka aparatlar eklenebilecek şekilde tasarlanmıştır. Mobil robota çizgi takibi yapabilmesi için metal algılama sensörü eklenmiştir ve robot noktadan noktaya modu, kesintisiz yörünge modu ve güç yardımcı modu olmak üzere 3 modda çalıştırılabilmektedir. Noktadan noktaya modunda belirtilen konuma engellere çarpmadan en kısa yoldan gitmektedir. Robot, kesintisiz yörünge modunda yere çizilmiş yörüngeyi takip etmektedir ve son olarak güç yardımcı modda bir işçi tarafından yardımcı bar ile hareket ettirilmektedir.



Şekil 2.4. Mobil robotun parçaları (Kashiwazaki vd. 2010)

Janos ve Matijevics (2010), serada çalışacak bir mobil robot için yol planlaması üzerine çalışmışlardır. Yol planlaması olarak Potansiyel Alan Metodu kullandıklarını belirtmişlerdir. Parallax firmasının Boe-Bot isimli mobil robot ürününü kullandıklarını açıklamışlardır. Mobil robotun mobil ölçümleme istasyonu olarak çalıştığı belirtilmiştir. Potansiyel Alan Metodu sayesinde engellerin İtici Potansiyel Alan ve hedefin de Çekici Potansiyel Alan oluşturduğu belirtilmiştir. İtici Potansiyel Alan sayesinde mobil robotun engellerden kaçındığından ve Çekici Potansiyel Alan sayesinde de mobil robotun hedefe doğru hareket ettiğinden bahsedilmiştir.

Sanchez-Hermosilla vd. (2010), seralarda çalışabilecek bir mobil robotun tasarımı ve imalatını gerçekleştirdiklerini bildirmişlerdir (Şekil 2.5). Fitorobot ismini verdikleri mobil robotlarında PC-104 gömülü bilgisayar sistemini kullanmışlardır. PC-104 sistemini seçmelerinin sebebi olarak küçük boyutlara sahip olması, düşük enerji tüketimi ve girdi/çıkı (input/output) kartlarına kolay entegresinin olması şeklinde belirtmişlerdir. Bu sisteme, PCM-3718H analog girdi (input) kartı, PCM-3712 analog çıktı (output) kartı ve PC104-3126 sayıcı (counter) kartı gömülü bilgisayara entegre edilmiştir. Bu çalışmada yol planlama algoritması için modifiye Voronoi Diyagramı kullanıldığı belirtilmiştir. Gelecek çalışması olarak ileri yol planlama yöntemlerinin kullanılması planlandığını açıklamışlardır.



Şekil 2.5. Sera içerisinde Fitorobot isimli mobil robotun görüntüsü (Sanchez-Hermosilla vd. 2010)

Mester (2012), sera içerisinde çalışacak bir mobil robot için sensör tabanlı bulanık mantık yol planlaması üzerine çalışmıştır. Çalışmada ticari bir ürün olan Khepera mobil robotu kullanılmıştır. Mobil robotun uzaktan kontrolü için yine ticari bir ürün olan Sun SPOT kullanıldığı bildirilmiştir. Bulanık kontrol için 9 adet kural belirlendiği ve bu kurallara uygun olarak mobil robotun hareket ettiği belirtilmiştir. Bulanık kontrolörün giriş bilgisi olarak engelin uzaklığı, engelin yönelim açısı, hedefin uzaklığı ve hedefin yönelim açısının verildiği açıklanmıştır. Doğrusal hız ve tekerlekler arasındaki açısal hız farkı değerleri bulanık kontrolörün çıkış verileri olarak dikkate alınmıştır. Açısal hız farkının belirlenmesi ile mobil robot dönüş yönü de belirlenmiştir.

Seralarda farklı kültürel işlemlerin yapılması nedeniyle bazı çalışmalar birden fazla işlemde kullanılabilmesine uygun robot platformlarının geliştirilmesine yönelik olarak yürütülmüştür. Örneğin Sanchez-Hermosilla vd. (2012), seralarda kullanılabilecek universal bir robot geliştirmişlerdir. Şekil 2.6'da verilen robotun üst kısmının kızıllı bir yapıda olması farklı amaçlarla kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Üzerinde gerekli düzenlemeler yapılarak robotun; ilaçlama işlemleri için pülverizatör, kültürel işlemlere yönelik bir kaldırma platformu ya da sera içi taşımacılık işlemlerinde kullanılmak üzere bir taşıyıcı olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Toprak zemin üzerinde hareket edecek şekilde tasarlanmış mobil robotun genişliği 710 mm, uzunluğu 1750 mm ve yüksekliği ise 530 mm'dir. Mobil robotun hızının yavaş olması nedeniyle süspansiyon sistemi kullanılmamıştır. Robotun yönlendirilmesi amacıyla kamera, lazer sensörler ve enkoderler kullanılmıştır. Kullanılan elektronik ekipmanların ayrıntısına yer verilmemiştir. Mobil robotun üzerine 400 L kapasiteli bir ilaç deposu yerleştirilebilmektedir. İlaçlama modunda sağına ve soluna yerleştirilmiş dikey püskürtme çubuğunun her birinde dört adet meme bulunmaktadır. Hidrolik kaldırma platformu mobil robotun üzerine yerleştirildiğinde mobil robot 2.5 m yükseklikteki işler için kullanılabilir duruma gelmektedir.



Şekil 2.6. Toprak zeminde çalışan sera robotu (Sanchez-Hermosilla vd. 2012)

Ruiz-Larrea vd. (2015), seralarda toprak özelliklerinin ölçümünü yapabilecek bir mobil robot üzerine çalışmışlardır. Mobil robot olarak ticari bir ürün olan Robotnik firmasının Summit-XL modelini kullandıklarını belirtmişlerdir. Mobil robotun 722 x 610 x 392 mm (uzunluk x genişlik x yükseklik) ölçülere sahip olduğu açıklanmıştır. Robot platformuna topraktan örnek alabilme özelliği kazandıracak bir mekanizma geliştirilmiştir. Mobil robotun yol planlaması için 4 adet bilginin girilmesi gereklidir. Bu bilgiler; seranın uzunluğu, seranın genişliği, sıra uzunluğu ve 2 sıra arası uzaklık değerleridir. Yol planlamasında Ataletsel Ölçüm Ünitesi (Inertial Measurement Unit – IMU), odometri ve GPS verilerinden faydalanıldığından bahsedilmiştir.

Roldan vd. (2016), çalışmalarında çoklu robot sistemi ile serada ölçümler yapmışlardır. Seradaki sıcaklık, nem, aydınlık ve karbondioksit konsantrasyon değerlerini oluşturdukları robot sistemi ile izlemişlerdir. Çoklu robot sistemleri, bir adet mobil robot-İnsansız Kara Aracı (Unmanned Ground Vehicle-UGV) ve bir adet İnsansız Hava Aracından (Unmanned Aerial Vehicle-UAV) oluşmuştur. Çalışmada, mobil robot olarak Robotnik firmasının Summit-XL modeli kullanılmıştır. İnsansız hava aracı olarak ise Parrot firmasının AR Drone 2.0 modeli kullanılmıştır. Araştırmacılar oluşturdukları robot sisteminde öncelikle haritalama, daha sonra yol planlaması yaptıklarını belirtmişlerdir. Haritalama olarak Eş Zamanlı Lokalizasyon ve Haritalama (Simultaneous Localization and Mapping-SLAM) yöntemi kullanılmıştır. Yol planlaması olarak da Arttırılmış Monte Carlo Lokalizasyonu (Augmented Monte Carlo Localization-AMCL) yöntemi kullanılmıştır. İnsansız hava aracı manuel olarak kullanılmaktadır. Mobil robotun engelle karşılaşma durumunda İnsansız Hava Aracının yolu tamamladığı vurgulanmıştır. Şekil 2.7’de kullanılan çoklu robot sistemi gösterilmiştir.



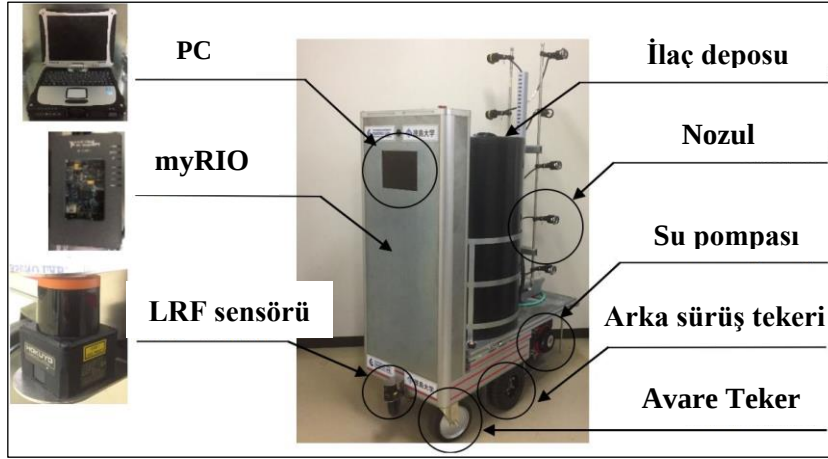
Şekil 2.7. Sera içinde çalıştırılacak olan çoklu robot sistemi (Roldan vd. 2016)

Gao vd. (2017) seralarda ilaçlama yapacak bir mobil robotun dönüş hareketi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada, dönüş kontrolünün dinamik kayan kipli kontrol (dynamic sliding mode control) ile gerçekleştirildiği belirtilmiştir. Matlab Simulink programında dinamik kayan kipli kontrol ile ileri-geri beslemeli kontrol karşılaştırması yapılmış ve bu uygulamanın daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Şekil 2.8’de mobil robotun dönüş yapacağı yol kırmızı çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Mobil robotun dönüş yapacağı yolun gösterilmesi (Gao vd. 2017)

Nakao vd. (2017), serada çalışacak bir ilaçlama robotu için rota planlaması üzerine çalışmışlardır. Robot için yol planlamasında Graf Teorisi (Graph Theory) kullanılmıştır. Sera haritası üzerine yol planlaması için düğüm ve dallar oluşturmuşlardır. Mobil robotun konumunu tespit edebilmesi için odometri ve geçilen düğüm sayısı bilgisinden yararlanıldığından bahsedilmiştir. Odometri bilgisinin yanında başka verilerinde alınmasının hareket doğruluk payını artırdığı belirtilmiştir. Bu çalışmada mobil robotun pozisyonunu Lazer Mesafe Bulucu (Laser Range Finder – LRF) ile algılayabildiği açıklanmıştır. Ayrıca ilaç deposu bittiğinde robot başlangıç noktasına geri dönebilmektedir. NI myRIO gömülü sistemi ile elemanlar kontrol edilmektedir. LabVIEW yazılımı ile de mobil robotun kontrol sisteminin oluşturulduğu açıklanmıştır. Geliştirilen ilaçlama robotu Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



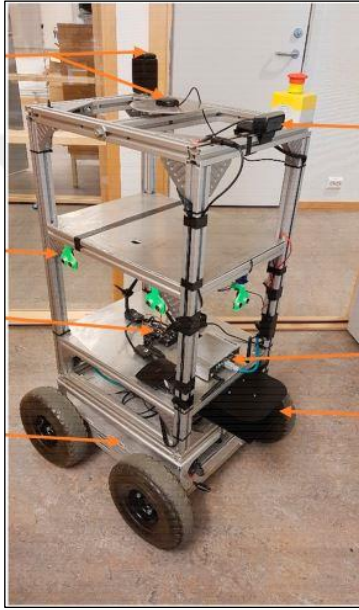
Şekil 2.9. İlaçlama robotu (Nakao vd. 2017)

Masuzawa vd. (2017), araştırmalarında seralarda çalışacak bir mobil üzerine çalışmışlardır (Şekil 2.10). Bu mobil robot ile insan takibi ve 3 boyutlu haritalama yapıldığı bildirilmiştir. Mobil robotun insan takibi ile hasata yardımcı olacağı belirtilmiştir. Objelere olan uzaklıkların belirlenmesi için RGB-D kamerası kullanılmıştır. Mobil robotun sadece hesaplama amacıyla ayrıca 3D Lidar ve 2D Lidar'a sahip olduğu belirtilmiştir. İnsanın geçtiği yolun güvenilir ve engelsiz bir yol planlaması için uygun olduğuna vurgu yapılmıştır. Robotun insan takibi yaparken insanın son konumundan 0.5 m'lik mesafeden daha fazla uzaklaşması durumunda insanın son konumunu hedef konum olarak eklediği belirtilmiştir. Çalışmada Haritalama için RTAB-Map yöntemi kullanılmıştır. Kinect v2 elemanının manuel olarak serada dolaştırıldığı ve bir harita elde edildiği belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca insan takibi sırasında toplamda 1800 görüntü (frame) ile RTAB-Map yöntemi yardımıyla harita elde edilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla ayrıca 3D Lidar ile de bir harita oluşturulmuştur.



Şekil 2.10. Sera içerisinde çalışması öngörülen mobil robot (Masuzawa vd. 2017)

Harik ve Korsaeht (2018) serada çalışacak bir mobil robot için haritalama, lokalizasyon ve rota planlaması üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmadaki mobil robot, düz zeminde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Mobil robotun hareket yüzeyine eklenen malzemeler ile çizgi izleme sistemi veya metal izleme sistemi oluşturulabilmektedir. Mobil robotun yönlendirilmesi için seranın tabanına fiziksel ek bir malzeme montajının yapılmadığı belirtilmiştir. Konum belirleme ve haritalama için Hektor Eş Zamanlı Lokalizasyon ve Haritalama (Simultaneous Localization and Mapping – Hector SLAM) yönteminin kullanıldığı belirtilmiştir. Rota planlaması için de Potansiyel Alan Metodu (Potential Field Method) kullanılmıştır. Haritalama yardımıyla LIDAR sensörü kullanıldığı belirtilmiştir. Ayrıca mobil robotta 6 adet ultrasonik sensör kullanılmıştır. Şekil 2.11’de geliştirilen mobil robot prototip resmi verilmiştir.



Şekil 2.11. Sera mobil robotu (Harik ve Korsaeht 2018)

Matsuzaki vd. (2018) seralarda çalışacak mobil robotlar için 3D (3 Boyutlu) semantik haritalama üzerine çalışmışlardır. Seralarda çalışacak mobil robotlar için haritalama konusunun yeterli düzeyde olmadığı belirtilmiştir. Araştırmada, RGB-D tabanlı Görsel Eş Zamanlı Lokalizasyon ve Haritalama (Visual Simultaneous Localization and Mapping-Visual SLAM) üzerine çalışılmıştır. RGB-D sensörü olarak Kinect v2 ürünü kullanılmıştır. Kinect v2 ürününün 0.5 m-8 m değerleri arasında bir derinliği algılayabildiği belirtilmiştir. Sera içerisindeki dalların ve yaprakların engel olarak algılanması sebebiyle semantik harita çıkarma yöntemi kullanılmıştır. Semantik Segmentasyon ile 3 Boyutlu semantik etiketlere sahip bir harita oluşturulmuştur.

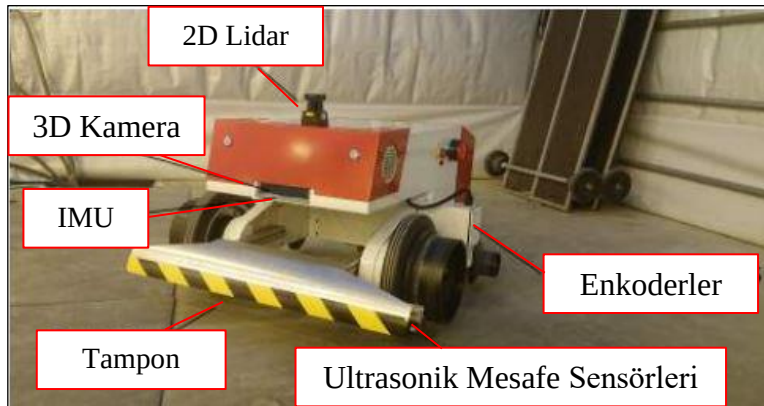
Ohi vd. (2018) “BrambleBee” ismini verdikleri mobil robot ile seralarda böğürtlen bitkisinin tozlaşması üzerine çalışmışlardır (Şekil 2.12). Geliştirilen mobil robot ile lokalizasyon, haritalama, yol planlaması ve görsel servolama yapılmıştır. Tozlaşmayı sağlamak için robot üzerine kol yerleştirilmiştir. Mobil robotun seranın boyutlarını önceden bildiğine vurgu yapılmıştır. Mobil robot sera içerisinde dolaşarak önceden verilmiş olan haritasını güncelleyebilmektedir. Haritalama olarak Eş Zamanlı Lokalizasyon ve Haritalama (Simultaneous Localization and Mapping-SLAM) yöntemi kullanılmıştır. Robot ve robot kol 3D Lidar, kameralar, enkoderler ve Atalet Ölçüm

Ünitesi (Inertial Measurement Unit – IMU) ile donatılmıştır. Robot kolun görsel servolama yapabilmesi için RGB-D kamera kullanılmıştır. Mobil robotun serada gözleme yönelik dolaşması için serayı Voronoi diyagramı ile bölmelere ayırdığı ve daha sonra yolları Görünürlük Grafiği (Visiblity Graph) ile oluşturduğu belirtilmiştir.



Şekil 2.12. Mobil robot ve robot kolunun sera içerisindeki görüntüsü (Ohi vd. 2018)

Grimstad vd. (2018) tarafından yüksek maliyetli otonom bir mobil robot geliştirilmiştir (Şekil 2.13). Çalışmada 2D (2 Boyutlu) LIDAR olarak Hokuyo marka UTM-30LX-EW model ürün kullanılmıştır. Mobil robotun bir sıradan diğer sıraya hareketinde belirtilen sensör haritalama ve lokalizasyon yapılmasını sağlamaktadır. Ayrıca bu sensör ile engel algılamanın da yapıldığı açıklanmıştır. Karanlıkta da algılama yapabilmesi için RGB kamera yerine stereo RGBD kamera kullanılmıştır. Stereo RGBD kamera olarak Intel RealSense ZR300 modelini kullanmışlardır. Bu kameranın 2 adet enfraıruj (IR) kameraya ve dahili IMU'ya sahip olduğu belirtilmiştir. ZR300 kamerasında IMU bulunmasına rağmen kamera titremelerinden dolayı ayrıca UM7 IMU sensörü mobil robota monte edilmiştir. IMU sensörü haritalama ve lokalizasyonda kullanılmıştır. Mobil robotun ön tarafına zemine bakacak şekilde ultrasonik mesafe algılayıcıları yerleştirilmiştir. Bu sensörlerle sıra çıkışındaki düz zemin ile sıra arası zeminin mesafe farkından dolayı mobil robotun sıra arasında olup olmadığını algılayabildiği belirtilmiştir. Mobil robotun ayrıca tekerleklerinde enkoder bulunmaktadır ve robot platformunun ısıtma boruları arasında otomatik olarak geçiş yapabildiği belirtilmiştir.



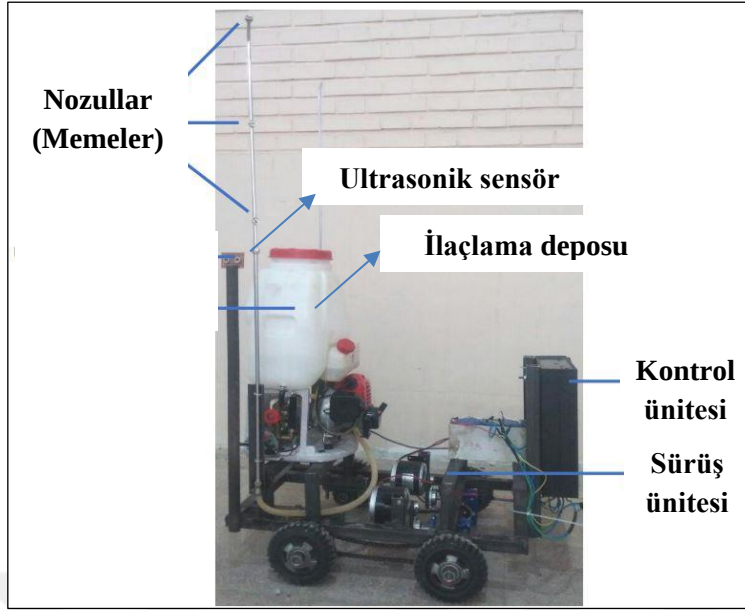
Şekil 2.13. Modern seralar için geliştirilmiş mobil robot (Grimstad vd. 2018)

Yamashita vd. (2019) derinlik kamerası kullanarak seralarda hareket yönünü bulabilecek bir mobil robot çalışması yapmışlardır. Daha önceki çalışmalarında (Nakao vd. 2017) 2D lazer sensör kullandıklarını belirtmişlerdir. Bu sensörde sadece lazerin yüksekliğindeki engellerin algılanabildiği ifade edilmiştir. Bu yüzden bu çalışmalarında derinlik kamerası kullanmışlardır. Çalışmada kamera açısının dışında kalan bitkilerle çarpışma yaşandığı belirtilmiştir. Gelecekte, yazılımsal bir şekilde bu eksikliği giderme üzerine çalışacaklarını bildirmişlerdir.

Tiwari vd. (2020) çalışmalarında, GreenPatrol ismini vermiş oldukları mobil robot ile sera içerisinde haritalama, lokalizasyon ve yol planlaması yaptıklarını belirtmişlerdir. Geliştirilen mobil robot ile seralarda zararlılara karşı ilaçlama yapılabileceği belirtilmiştir. Çalışmada Lokalizasyon, mutlak (absolute) lokalizasyon ve rölatif (relative) lokalizasyon olarak ikiye ayrılmıştır. Mutlak lokalizasyon Hassas Nokta Pozisyonlama (Precision Point Positioning-PPP) sağlayan Global Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System-GNSS) olan Galileo ile sağlanmıştır. Bununla birlikte odometri ve atalet ölçüm sensörlerinin de kullanıldığından bahsedilmiştir. Mutlak lokalizasyonda belirlenmiş olan konum ve yönelim bilgilerinin rölatif lokalizasyonlama için bilgi girişi olarak verildiği belirtilmiştir. Rölatif lokalizasyon için ROS yazılımı kullanılmıştır. ROS yazılımında “Gmapping” algoritmasının kullanıldığı ve bu algoritmada haritalama için FastSLAM, lokalizasyon için AMCL yöntemleri tercih edilmiştir. Yol planlaması kısmında bir yöntem veya algoritmadan bahsedilmemiştir. Bunun yerine sadece mobil robotun insan müdahalesi olmadan belirtilen hedef konuma gitmesinin beklendiği belirtilmiştir.

Shi vd. (2020), seralarda çalışacak bir mobil robot için yol planlaması, lokalizasyon ve haritalama üzerine çalışmışlardır. Mobil robotun odometri ve lidar bilgisi aldığı belirtilmiştir. Çalışmada, Gmapping algoritması ile 2 boyutlu bir harita çıkarılmıştır. Mobil robotun pozisyon tahmini ve yönelim tahmini için Arttırılmış Monte Carlo Lokalizasyonu (Augmented Monte Carlo Localization-AMCL) yöntemi kullanılmıştır. Yol planlaması için A* algoritması, robotun hareketli engellerden kaçınabilmesi için Dinamik Pencere Yaklaşımı (Dynamic Window Approach-DWA) kullanılmıştır. Mobil robot, ROS (Robot Operating System-Robot İşletim Sistemi) sistemi ile kontrol edilmiştir.

Mosalanejad vd. (2021), seralarda ilaçlama yapabilecek bir mobil robotun tasarımını ve gerçekleştirmesini yaptıklarını bildirmişlerdir. Kontrolör olarak AVR mikrodenetleyicisinin Atmega-32 modeli kullanılmıştır. Sıra başlangıcını ve sıra sonunu algılamak için ultrasonik sensör kullandıklarını açıklamışlardır. Şekil 2.14’te gerçekleştirilen mobil robotun görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.14. Sera mobil robotun görüntüsü (Mosalanejad vd. 2021)

Zangina vd. (2021) seralarda ilaçlama yapacak bir mobil robot için yol planlaması üzerine çalışmışlardır. Çalışmada, mobil robotun gideceği yol Geliştirilmiş Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritması (Improved Non-dominated Sorting Genetic Algorithm INSGA-III) ile seçilmiştir. Araştırmacılar, INSGA-III Algoritmasını NSGA-III Algoritması ile karşılaştırılıp daha iyi sonuçlar elde edildiğine vurgu yapmışlardır. Denemeler 8, 32 ve 56 bitki ile yapılmış, her bitki arasındaki en kısa yol ise A* metodu ile bulunmuştur. Çalışmada üç farklı test denemesi yapılmıştır. Birinci denemede, 8 adet bitki ile çalışılmış ve 500 adet başlangıç popülasyonlu NSGA-III, 500 adet başlangıç popülasyonlu INSGA-III, 100 adet başlangıç popülasyonlu NSGA-III ve 100 adet başlangıç popülasyonlu INSGA-III yöntemler karşılaştırılmıştır. Diğer 2 testte ise bitki sayısı ve başlangıç popülasyon sayısı artırılmıştır. Toplam süre, toplam alınan mesafe ve toplam açılar ile hangi yöntemin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Çalışmada INSGA-III yönteminin daha iyi bir performans gösterdiği belirtilmiştir.

Choudhary vd. (2021) araştırmalarında, seralarda çalışacak holonomik olmayan (non-holonomic) mobil robot ile haritalama ve yol planlaması yaptıklarını belirtmişlerdir. Holonomik yapıdaki mobil robot ile herhangi bir yönelim açısında manevra yapmadan hareket yapılabilir. Holonomik olmayan mobil robotlarda ise bazı durumlarda manevra hareketi gerekebilir. Bu çalışmada yapılacak yol planlaması ile bitkilerin bir yerden başka bir yere taşınması işlemi yapılabilir. Haritalama yöntemleri olarak 2 boyutlu bir yöntem olan “GMapping” ve 3 boyutlu bir yöntem olan “RTAB-Map” yönteminin kullanıldığı belirtilmiştir. Global Yol planlaması olarak da Hızlı Tarayan Rastgele Ağaçlar (Rapidly-exploring Random Tree-RRT*) ve A* yönteminin kullanıldığına vurgu yapılmıştır. Lokal yol planlaması olarak da E-band ve Reeds-Shepp yöntemlerinin kullanıldığı belirtilmiştir. Global yol planlaması bütün alanda yapılan yol planlaması, lokal yol planlaması ise daraltılmış bir alanda yapılan yol planlaması anlamına gelmektedir. Şekil 2.15’te geliştirilmiş olan mobil robot görülmektedir.



Şekil 2.15. Sera robotu (Choudhary vd. 2021)

Ticari ürün şeklinde de çalışmaların olduğu literatür taraması sırasında fark edilmiştir. Örneğin geliştirilen bir sistemde sıra arasında bağımsız ilerleyen robotun bir sıradan diğerine geçişi için ayrı bir taşıyıcı robot bulunmaktadır (Anonymous 1, 2023). Wanjet üretici firmasının yarı otomatik S55 ilaçlama robotu ve tam otomatik S55 ilaçlama robotu olarak isimlendirdikleri ürünleri bulunmaktadır. Tam otomatik S55 ürünü Şekil 2.16’da görülmektedir. Tam otomatik üründe sıra geçişleri başka bir makine yardımı ile sağlanmaktadır. Yarı otomatik üründe ise işçi yardımıyla sıra geçişinin sağlanabileceği belirtilmiştir. Sıra içerisinde hareket eden robot kısmının tekerlekler hariç 30 cm genişliğinde ve 170 cm yüksekliğe sahip olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2.16. Wanjet Tam Otomatik S55 İlaçlama Robotu (Anonymous 1, 2023)

FPHU Maryniaczyk firmasının da seralarda ısıtma boruları üzerinde hareket edebilecek ve ilaçlama yapabilecek ürünlerinin olduğu tespit edilmiştir (Anonymous 2, 2023). Firmanın “HSE 300 Electric Tank Sprayer”, “Automatic Greenhouse Sprayer with a Hose Reel”, “Strawberry Sprayer HSE300S”, “OPRS 202 Hybryde Greenhouse Sprayer” ve “OPRS 224E Greenhouse Sprayer” isimli ürünleri bulunmaktadır. “HSE 300 Electric Tank Sprayer” ürünü Şekil 2.17’de verilmiştir. Bu modelin 300 L kapasiteli ilaç deposuna ve 570 kg ağırlığa sahip olduğu belirtilmiştir. İlaçlama robotunun hareketi 4 adet 0.5 kW güce sahip elektrik motoru ile sağlanmaktadır. Akü şarj durumunun kullanıcıya bildirilebildiği belirtilmiştir.



Şekil 2.17. FPHU Maryniaczyk firmasının ilaçlama robotu - HSE 300 modeli (Anonymous 2, 2023)

Berg Hortimotive firması modern seralar için ısıtma boruları üzerinde hareket edebilecek ve ilaçlama yapabilecek bir ürünleri olduklarını belirtmişlerdir. (Anonymous 3, 2023). BeMatic Meto SWT isimli ürünlerinin hem ileri hem de geri yönde harekette hızının ayarlanabildiği belirtilmiştir (Şekil 2.18). Kullanıcı dostu bir dokunmatik ekran ile kontrol yapılabildiği açıklanmıştır. İlaçlama robotu, 275 L ilaçlama deposu kapasitesine ve 595 kg boş ağırlığa sahiptir. Motor gücünün 0.45 kW olduğu ve akülerin 24 V 360 AH değere sahip olduğu açıklanmıştır. Uygun bir çalışma için ısıtma borularının 50-60 cm aralığında ve 51 mm boru kalınlığına sahip olması gerektiği belirtilmiştir.



Şekil 2.18. Berg Hortimotive firmasının ilaçlama robotu (Anonymous 3, 2023)

Micothon firmasının modern seralar için ürettiği ilaçlama robotları bulunmaktadır (Anonymous 4, 2023). Narva ismini verdikleri model Şekil 2.19'daki gibi görülmektedir. İlaçlama deposunun robotun üzerinde bulunmadığı ve ilacın depodan hortum vasıtasıyla alındığı belirtilmiştir. Hortum makarası sayesinde hortumun otomatik olarak toplanabildiği açıklanmıştır. Makine ile tek bir işçi ilaçlama yapabilmektedir.



Şekil 2.19. Micorhon firmasının ilaçlama robotu-Narva modeli (Anonymous 4, 2023)

AIS (Advanced Intelligent Systems) firması modern seralarda çalışabilecek bir ürün geliştirmişlerdir (Anonymous 5, 2023). Phoenix ismini verdikleri ürünün ısıtma boruları üzerinde hareket edebilen mobil robot olduğu belirtilmiştir (Şekil 2.20). Mobil robot üzerinde UV ışığı yayan bir mekanizma bulunmaktadır. UV ışığı ile bitkilerin külleme ve mantar hastalıklarına karşı koruma sağlandığı belirtilmiştir. Grafikselsel arayüz ve uzaktan kontrol ile mobil robotun kullanılabilirdiği bildirilmiştir. Mobil robot üzerinde engel tanıma ve çarpışma önleme özellikleri bulunmaktadır.



Şekil 2.20. AIS firmasının sera robotu - Phoenix modeli (Anonymous 5, 2023)

Türkiye’de de sera mobil robotları ile ilgili çalışmalar yürütölmektedir. Ancak çalışma sayısının sınırlı düzeyde kaldığı söylenebilir. Durmuş vd. (2016) seralarda veri toplama yapabilecek bir mobil robot üzerine çalışmışlardır. Geliştirilen mobil robot ile haritalama yapıldığı nem, sıcaklık ve aydınlık değerslerinin alındığı belirtilmiştir. Mobil robot manuel veya otomatik olarak hareket edebilmektedir. Haritalama için ROS (Robot Operating System) sisteminde bulunan RGB-D haritalama ve SLAM paketlerinin kullanıldığı ve mobil robotun üzerinde IMU, GPS ve ultrasonik sensörlerin de bulunduğu

belirtilmiştir. Mobil robotun serayı öğrenebilmesi için ilk önce operatör ile çalıştırılması gerektiği açıklanmıştır. Çalışmada RGB-D haritalama ile seranın haritası çıkarılmıştır. Operatör ile mobil robotun çalıştırılması bittikten sonra mobil robotun gideceği noktalar tanımlanmış daha sonra bu noktalara otomatik olarak gitmesi sağlanmıştır.

Seraymak firması otomatik ilaçlama makinasını ticari bir ürün olarak sunmuştur (Şekil 2.21). Akü beslemeli olan ilaçlama arabası seralarda üzerinde mevcut bulunan hortumu ile ilaç tankından aldığı ilacı bitkilere eşit bir şekilde attığı, bitkilere dengeli ve düzenli bir ilaçlama yapıldığı belirtilmiştir. OİM-01, OİM-02 ve OİM-03 modelleri olan ilaçlama makinalarının modern seralarda ray boruları üzerinde işçiye yardımcı olabilecek pratik ürünler olduğu açıklanmıştır. 2 adet 12 V 135 AH aküden sistemin besleme aldığı belirtilmiştir (Anonim 4, 2023).



Şekil 2.21. Otomatik İlaçlama Robotu - Seraymak (Anonim 4, 2023)

BLM mekatronik firması seralarda ısıtma boruları üzerinde operatörsüz ilaçlama yapabilen bir robot imal ettiklerini belirtmişlerdir (Şekil 2.22). İlaçlama robotunda ileri ve geri hız değerlerinin ilaçla robot üzerinde bulunan ekrandan ayarlanabildiği açıklanmıştır. İlaçlama robotunun hareket gücünü 1 adet 24 V 750 W DC motordan aldığı belirtilmiştir. Pompa motorunun ise 24 V 250 W değerlerine sahip olduğu açıklanmıştır. İlaçlama robotunun ilaçlamayı geri hareket esnasında otomatik olarak başlattığı belirtilmiştir (Anonim 5, 2023).



Şekil 2.22. Otomatik İlaçlama Robotu - Blm Mekatronik (Anonim 5, 2023)

TAGEM tarafından yürütülen bir çalışmada sera ortamında operatörün bitki koruma ürünlerine maruz kalmasının önlenmesi amacıyla ısıtma boruları üzerinde hareket edebilecek kendi yürür bir pülverizatör (ilaçlama robotu) geliştirilmesi üzerine çalışma yapıldığı bildirilmiştir (Şekil 2.23) (Anonim 6, 2023).



Şekil 2.23. İlaçlama robotu – TAGEM (Anonim 6, 2023)

Literatürde bilimsel çalışmalarda araştırma konusu olan sera robotlarının karşılaştırılmasına yönelik özet olarak hazırlanan bilgiler Çizelge 2.1.'de yer almaktadır.

Literatür taraması sonucunda, seralarda çalışabilecek mobil robot konusunun araştırma ve geliştirmeye açık bir konu olduğu fark edilmiştir. Dünya’da yapılan çalışmalar incelendiğinde modern seralarda sıra arası geçişleri bağımsız olarak gerçekleştirebilen robotik uygulamalar ile ilgili çalışmaların çok sınırlı düzeyde kaldığı görülmektedir. Belirtilen nedenlerle, bu çalışmada, literatürde eksik olduğu görülen bu konu kapsamında seralarda çalışabilecek çok amaçlı bir mobil robot platformunun tasarımı, imalatı ve yazılımı üzerine çalışılmıştır.

Çizelge 2.1. Önceki çalışmalarda geliştirilen robotlara ait genel bilgiler

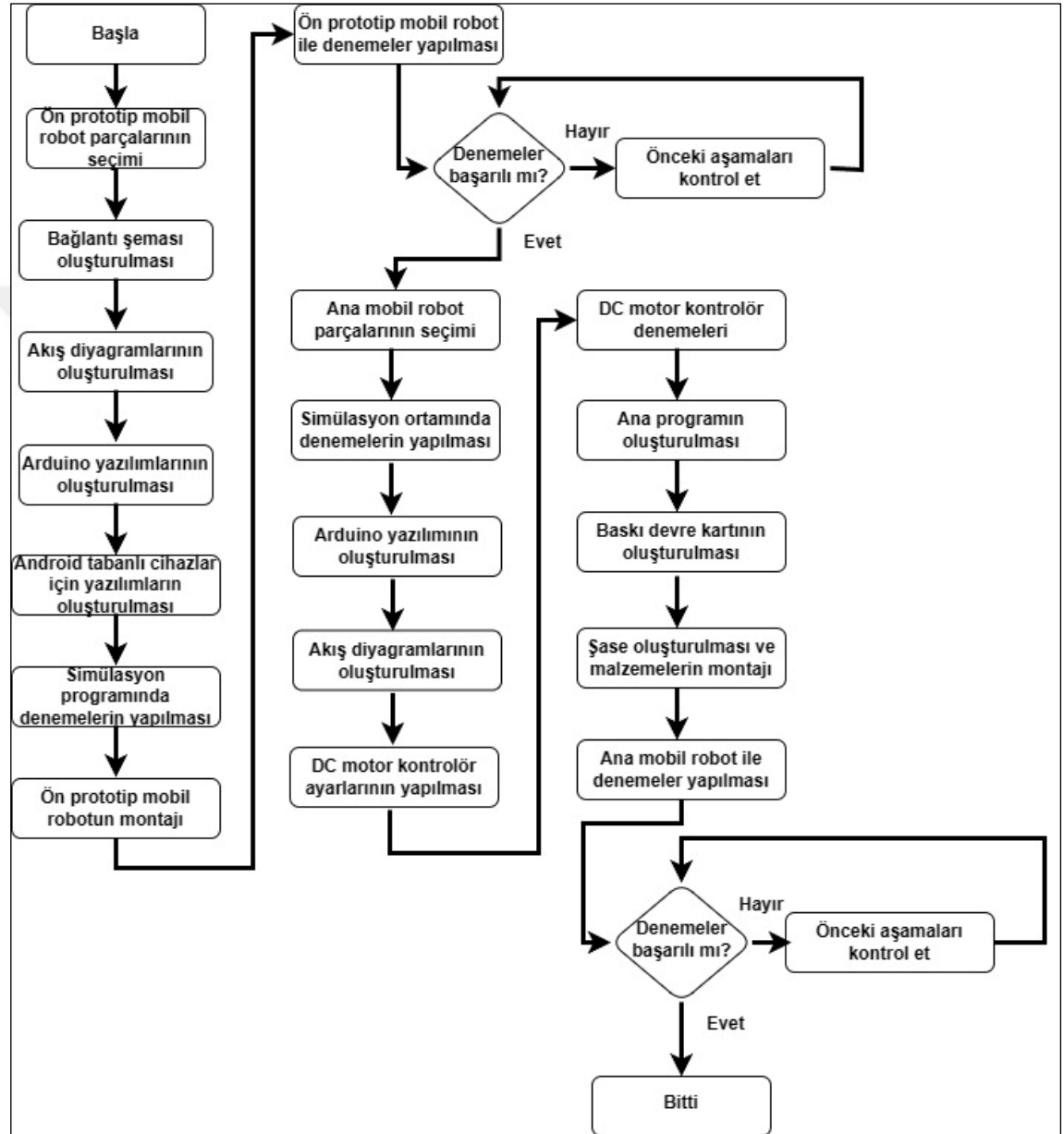
Literatür	Çalışma zemini	İlaçlama deposu	Kontrolör	İlaçlama analizi	Deneme Alanı	Ticari ürün mü?	Motor Tipi	Ülke
Mandow vd. (1996)	Beton	Var	PC	Hayır	Sera	Hayır	AC	İspanya
Sammons vd. (2005)	Isıtma borusu	Var	Mikroişlemci	Evet	Sera	Hayır	DC	Avustralya
Palamas vd. (2006)	Beton	Yok	Belirtilmemiş	Hayır	Sera	Hayır	Belirtilmemiş	Yunanistan
Liu vd. (2006)	-	-	-	-	Simülasyon	-	-	Çin
Yuan vd. (2007)	-	-	-	-	Simülasyon	-	-	Çin
Masoudi vd. (2010)	Beton	Var	PC ve mikroişlemci	Hayır	Sera	Hayır	DC	İran
Kashiwazaki vd. (2010)	Beton	Yok	Belirtilmemiş	Hayır	Laboratuvar	Hayır	DC	Japonya
Janos ve Matijevis (2010)	Beton	Yok	Mikroişlemci	Hayır	Simülasyon ve Sera	Evet	Belirtilmemiş	Macaristan
Sanchez-Hermosilla vd. (2010)	Toprak	Var	PC	Hayır	Sera	Hayır	Hidrolik	İspanya
Mester (2012)	Beton	Yok	Mikroişlemci	Hayır	Simülasyon ve Sera	Evet	Belirtilmemiş	Macaristan
Sanchez-Hermosilla vd. (2012)	Toprak	Var	Belirtilmemiş	Hayır	Sera	Hayır	DC	İspanya
Ruiz-Larrea vd. (2015)	Toprak	Yok	PC ve mikroişlemci	Hayır	Sera	Evet	Belirtilmemiş	İspanya
Durmuş vd. (2016)	Toprak	Yok	PC	Hayır	Sera	Hayır	Belirtilmemiş	Türkiye
Roldan vd. (2016)	Toprak	Yok	PC ve mikroişlemci	Hayır	Sera	Evet	Belirtilmemiş	İspanya
Gao vd. (2017)	Karo taşı	Var	PC ve mikroişlemci	Hayır	Simülasyon ve Sera	Hayır	DC	Çin
Nakao vd. (2017)	Beton	Var	Mikrodenetleyici	Hayır	Simülasyon ve Laboratuvar	Hayır	DC	Japonya

Çizelge 2.1.'in Devamı.

Literatür	Çalışma zemini	İlaçlama deposu	Kontrolör	İlaçlama analizi	Deneme Alanı	Ticari ürün mü?	Motor Tipi	Ülke
Masuzawa vd. (2017)	Beton	Yok	PC	Hayır	Sera	Hayır	Belirtilmemiş	Japonya
Harik ve Korsæth (2018)	Beton	Yok	PC ve mikroişlemci	Hayır	Simülasyon ve Laboratuvar	Evet	Belirtilmemiş	Norveç
Matsuzaki vd. (2018)	Beton	Yok	PC	Hayır	Sera	Hayır	Belirtilmemiş	Japonya
Ohi vd. (2018)	Beton	Yok	PC	Hayır	Sera	Evet	Belirtilmemiş	A.B.D.
Grimstad vd. (2018)	Isıtma boruları ve beton	Yok	Belirtilmemiş	Hayır	Sera	Evet	DC	Norveç
Yamashita vd. (2019)	Beton	Yok	PC	Hayır	Laboratuvar	Hayır	DC	Japonya
Tiwari vd. (2020)	Beton	Yok	PC	Hayır	Laboratuvar	Hayır	Belirtilmemiş	İspanya, İngiltere, Çek Cumhuriyeti, Hollanda
Shi vd. (2020)	Beton	Yok	PC	Hayır	Laboratuvar	Hayır	DC	Çin
Mosalanejad vd. (2021)	Toprak	Var	Mikroişlemci	Evet	Sera	Hayır	DC	İran
Zangina vd. (2021)	Beton	Var	Mikroişlemci	Hayır	Simülasyon ve Sera	Hayır	DC	Malezya
Choudhary vd. (2021)	Beton	Yok	PC	Hayır	Sera	Hayır	Hub	Japonya

3. MATERYAL VE METOT

Araştırmada, prototip robot geliştirilmeden önce ön prototip geliştirilmiştir. Geliştirilen prototip robot ULV tipi bir pülverizatöre entegre edilerek ilaçlama işleminde ve üzerine bir aparat eklenerek taşıma işleminde kullanılmıştır. Materyal ve metot kapsamında yapılan çalışmaları özetleyen iş akış diyagramı Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Materyal ve metot sürecindeki iş akış diyagramı

3.1. Materyal

3.1.1. Ön prototip mobil robotun parçaları

Çalışma kapsamında üretilen ön prototip imalatında, 4 adet mekanum tekerlek, 4 adet redüktörlü DC motor, 1 adet Arduino Mega, 1 adet HC05 Bluetooth modül kartı, 2 adet L298N çift motor sürücü kartı, 2 adet limit switch, 4 adet MZ80 kızılötesi sensör, 1 adet akü kullanılmıştır. Kullanılan parçaların özelliklerine yönelik açıklamalar aşağıda yer almaktadır.

3.1.1.1. Mekanum tekerlek, redüktörlü DC motor ve akü

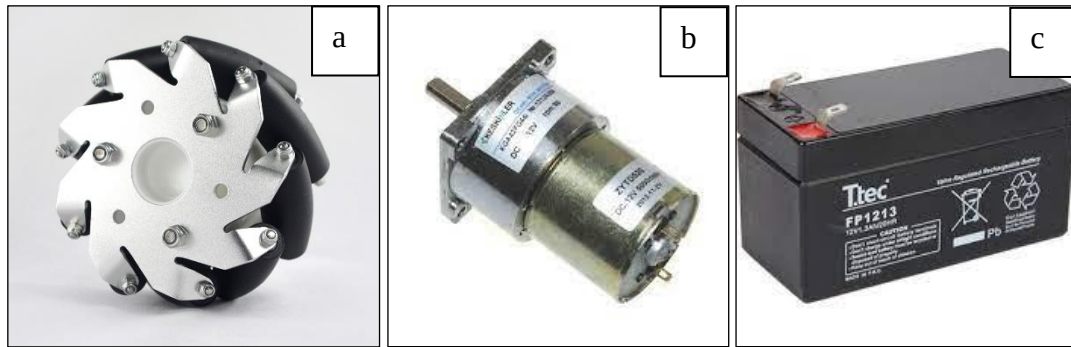
Ön prototipin hareketi için Nexus marka 100 mm (4 inç) çapında mekanum tekerlekler kullanılmıştır. Mekanum tekerlekler özel yapıları nedeniyle üzerinde bulundukları araçların her yönde hareket etmesini sağlayabilmektedirler. Tekerleklerin üzerinde teker eksenine 45° açı ile yerleştirilmiş ve kendi ekseninde serbest dönebilen rulolar bulunmaktadır. Aracın üzerinde 4 teker bulunmaktadır ve tekerlekler dönme hareketleri sırasında tekerlek eksenine dik, 45° ve kendi ekseninde olmak üzere hareket vektörü oluşturmaktadır. Karşılıklı tekerleklerin dönüş yönlerinde yapılan değişiklikler ile isteğe bağlı olarak farklı yönlerde hareket sağlanabilmektedir (Çin, 2015).

Mekanum tekerleklerin hareketi 12 V ile çalışan redüktörlü motorlar ile sağlanmaktadır. Ön prototip mobil robotta kullanılan redüktörlü motor özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Robotun gücü 12 V 1.3 AH bakım gerektirmeyen kuru akü ile sağlanmıştır.

Çizelge 3.1. Redüktörlü DC motor özellikleri

Voltaj (V)	Devir (rpm)	Redüktör çapı (mm)	Motor çapı (mm)	Ağırlık (g)
12	90	42	36	245

Şekil 3.2’de 100 mm mekanum tekerlek, redüktörlü DC motor ve 12 V 1.3 AH kuru akü gösterilmiştir.



Şekil 3.2. a) 100 mm mekanum tekerlek b) Redüktörlü DC motor c) Kuru akü

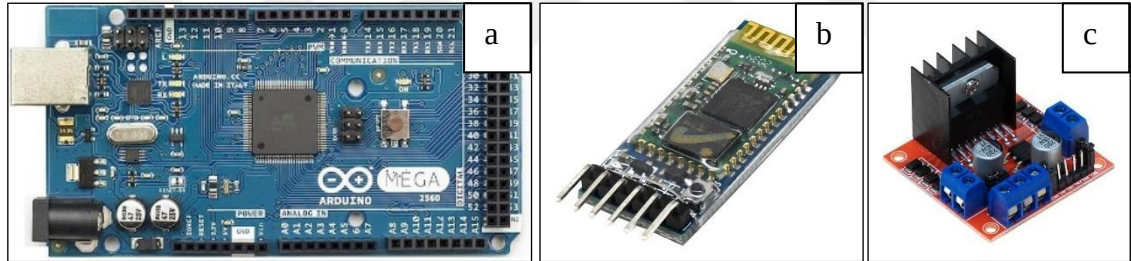
3.1.1.2. Arduino Mega, Bluetooth modülü ve DC motor sürücüsü

Ön prototip mobil robot platformunda, Arduino kartlarından Arduino Mega modeli kullanılmıştır. Arduino Mega, ATmega2560 tabanlı bir mikrodeneleyici kartıdır ve 54 dijital giriş/çıkış pinine ve 16 analog giriş pinine sahiptir (Anonymous 6, 2023). Çalışmada, Arduino kartları ile uyumlu çalışabilen Bluetooth modülü olarak HC05 Bluetooth-Serial modül kartı kullanılmıştır. Bluetooth modülünün bağlantı uçları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. HC05 Bluetooth modülü bağlantı uçları

HC05 Bluetooth modülü	Arduino Mega
GND	GND
VCC	3.3 V
TX	RX
RX	TX

DC motor sürücüsü olarak 2 adet L298N voltaj regülatörlü çift motor sürücü kartı kullanılmıştır. Her bir motor sürücü kartı birbirinden bağımsız olarak 2 ayrı motoru kontrol edebilmektedir. Şekil 3.3’te Arduino Mega, HC05 Bluetooth modülü ve L298N motor sürücü kartı gösterilmiştir. Kanal başına 2 A akım verebilen L298N motor sürücü kartının bacak bağlantıları Çizelge 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.3. a) Arduino Mega b) HC05 Bluetooth modülü c) L298N motor sürücü kartı

Çizelge 3.3. L298N motor sürücü kartı bağlantı uçları

L298N motor sürücü kartı	Açıklama
IN1	1. motor 1. kontrol ucu
IN2	1. motor 2. kontrol ucu
IN3	2. motor 1. kontrol ucu
IN4	2. motor 2. kontrol ucu
OUT1	1. motor 1. çıkış ucu
OUT2	1. motor 2. çıkış ucu
OUT3	2. motor 1. çıkış ucu
OUT4	2. motor 2. çıkış ucu
12 V	Güç kaynağı bağlanır
GND	Toprak ucu

3.1.1.3. Limit switch ve MZ80 kızılötesi sensör

Limit switchler temaslı mekanik sensörler olarak adlandırılabilir. Ön prototipte el-max marka XCK—SEM 122 model iki adet limit switch kullanılmıştır. Limit switchin ürün tanımı “Açısal Hareketli Ayarlanabilir 18 mm Metal Makaralı Döner Kol (1NO + 1NC)” olarak ifade edilmiştir. Bu nedenle switch üzerinde 1 adet normalde açık çift ucu (normally open) ve 1 adet normalde kapalı çift ucu (normally close) bulunmaktadır. Limit switchin bağlantı uçları Çizelge 3.4’te verilmiştir.

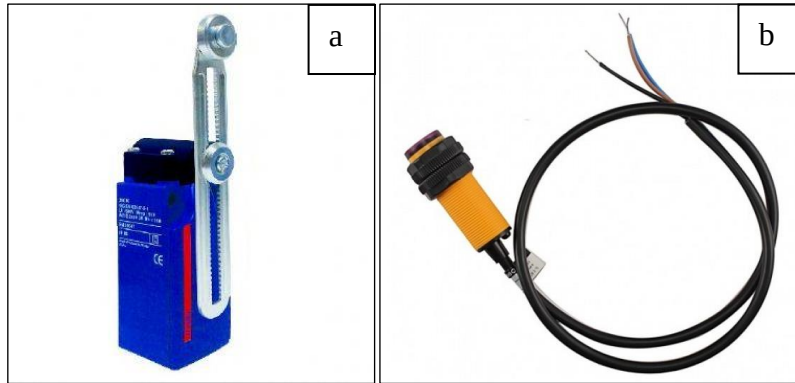
Çizelge 3.4. Limit switch bağlantı uçları

Limit switch bağlantı ucu	Açıklama
13	Normalde açık 1. uç
14	Normalde açık 2. uç
21	Normalde kapalı 1. uç
22	Normalde kapalı 2. uç

Çalışma sırasında aracın önüne çıkan engellerin fark edilebilmesi için sensörlerin kullanımı gerekli olmaktadır. Bu amaçla ön prototipte 4 adet MZ80 kızılötesi sensör kullanılmıştır. MZ80 kızılötesi sensörü ölçüm aralığı katalog verisine göre 3-80 cm’dir. Besleme voltajı 5 V olan MZ80 kızılötesi sensörü NPN çıkışa sahiptir. Bu nedenle sensör normalde 1 verisini, önüne engel çıktığında 0 verisini göndermektedir. MZ80 kızılötesi sensörünün bağlantı uçları Çizelge 3.5’te açıklanmıştır. Şekil 3.4’te limit switch ve MZ80 kızılötesi sensörü görülmektedir.

Çizelge 3.5. MZ80 kızılötesi bağlantı uçları

MZ80 bağlantı ucu	Açıklama
Kahverengi	5 V
Mavi	GND
Siyah	Veri (Data)



Şekil 3.4. a) Limit switch b) MZ80 kızılötesi sensör

3.1.2. Ana mobil robotun parçaları

Çalışmada ön prototip geliştirildikten sonra yapılan denemeler dikkate alınarak ana mobil robot oluşturulmuştur.

Ana mobil robotun oluşturulmasında kullanılan parçalar aşağıdaki gibidir.

- Mekanum tekerlek
- Ray tekeri
- Redüktör
- Ön limit switch
- Alt limit switch
- IR mesafe sensörü
- Pako şalter
- Siren
- Monitör
- Acil stop butonu
- Gergi mandalı
- Tutamaç
- Bilgisayar
- Akü
- SSR röle
- İnvertör
- DC motor kontrolörü
- IMU sensörü
- Voltaj regülatörü
- Arduino UNO
- DC motor

3.1.2.1. Gergi mandalı, monitör, acil stop butonu, siren, tutamaç ve pako şalter

Bağımsız hareket edebilmesi amaçlanan mobil robotun, seralarda çalışan bir makine veya sistemle entegre edilerek çalıştırılması esastır. Bu nedenle bu çalışmada robotun üzerine ULV tipi pülverizatör ve taşıma aparatlarının yerleştirilebilmesi için 4 adet gergi mandalı kullanılmıştır. Gergi mandalları belirtilen pülverizatör ve meyve sebze kasalarının yerleştirildiği aparatının mobil robot platformunun üst kısmına kolay bir şekilde montaj ve demontaj yapılabilmesini sağlamaktadırlar.

Robot üzerinde acil durumlarda, enerjisini keserek tüm sistemi durduran anahtarsız bir acil stop butonu kullanılmıştır.

Mobil robot üzerinde çalışma sırasında çevrede bulunan insanları uyarmak için isteğe bağlı olarak kullanımı programla ayarlanabilen bir siren kullanılmıştır. Siren 220 V ile çalışmaktadır.

Çalışma sırasında kontrolün sağlanması ve çalışma ile ilgili temel verilerin/bilgilerin personel tarafından izlenebilmesi için robot üzerinde bir monitör yer almaktadır. Monitörün ekran boyutu 19 inç'tir.

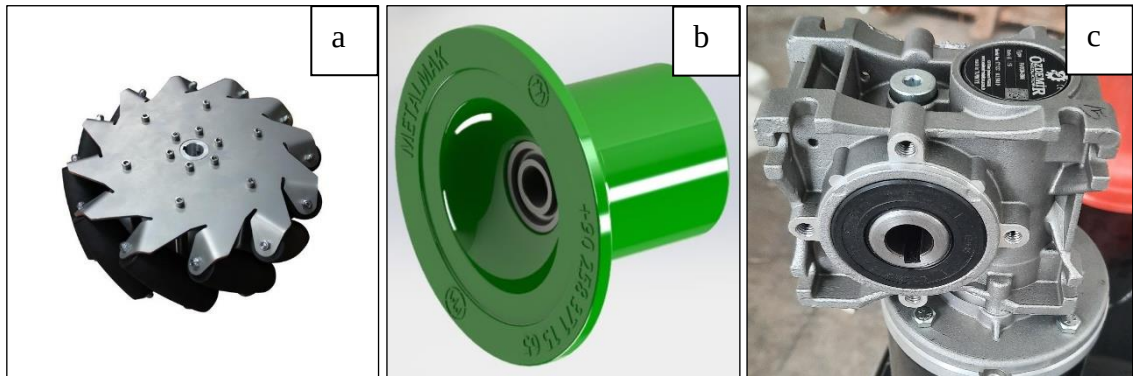
Sisteme enerji pako şalter tarafından verilmektedir. Pako şalter olarak 2 adet 20 A'lık 2 konumlu (0 ve 1) olan model kullanılmıştır. Şekil 3.5'te gergi mandalları, monitör, acil stop butonu, siren, tutamaç ve pako şalterlerin mobil robot platformu üzerindeki montajlı hali görülmektedir.



Şekil 3.5. a) Gergi mandalları b) Monitör, acil stop butonu, siren ve tutamaç c) pako şalterler

3.1.2.2. Mekanum tekerlek, ray tekeri ve redüktör

Modern seralarda sıra aralarında çalışan robotların Şekil 2.2, Şekil 2.22 ve Şekil 2.23'te görüldüğü gibi ısıtma boruları (raylar) üzerinde hareket etmesi gereklidir. Bu amaçla ray tekeri adı verilen tekerlekler kullanılmaktadır. Bu tip çalışmalarda tek doğrultuda çalışan aynı tekerlekler ile sıralar arasında geçiş yapılamamaktadır. Bu nedenle ayrı tekerleklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada sıra aralarındaki geçiş için mekanum tekerlekler kullanılmıştır. Bu amaçla Nexus marka 254 mm (10 inç) çapında tekerlekler kullanılmıştır. Bir araç üzerine yerleştirilmeleri sırasında sol ve sağ mekanum tekerleklerin rulo yönleri birbirinden farklı olmalıdır. Çalışmada geliştirilen ana mobil robot üzerinde mekanum tekerlekler ile ray tekerlekleri aynı eksende bulunmaktadır ve her iki tekere de hareket bir DC motor tarafından verilmektedir. DC motor devrinin çalışmaya uygun devirlere düşürülebilmesi için her bir motora redüktör bağlanmıştır. Çalışmada, Seraymak marka 90 mm çaplı polyamid ray tekerleri kullanılmıştır. Redüktör olarak Özdemir marka FN030-B06 model 15 transmisyon oranına sahip flanşlı redüktör kullanılmıştır. Şekil 3.6'da mekanum tekerlek, ray tekeri ve redüktöre ait resimler görülmektedir.



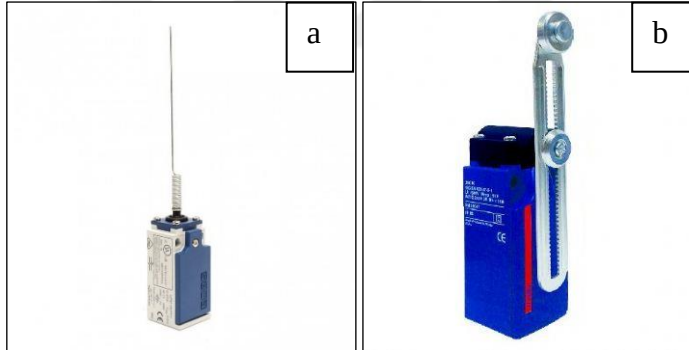
Şekil 3.6. a) Mekanum tekerlek b) Ray tekeri c) Redüktör

3.1.2.3. Ön limit switch, alt limit switch, IR mesafe sensörü ve IMU sensörü

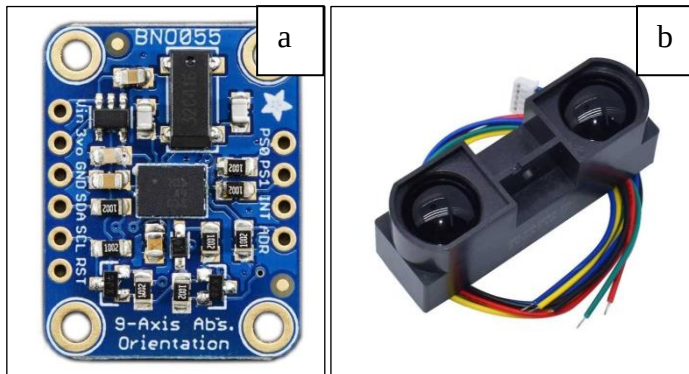
Ana mobil robotta ön limit switch olarak 1 adet “Açısal Hareketli Spiral Telli Çok Yönlü Kol” model limit switch kullanılmıştır (Şekil 3.7a). Alt limit switch olarak 1 adet “Açısal Hareketli Ayarlanabilir 18 mm Metal Makaralı Döner Uzun Kol” kullanılmıştır (Şekil 3.7b). Limit switch’lerde 1 adet normalde açık çift ucu (normally open) ve 1 adet normalde kapalı çift ucu (normally close) bulunmaktadır. Normalde açık kullanım için 13-14 numaralı uçlar, normalde kapalı kullanım için 21-22 numaralı uçlar kullanılmaktadır.

IMU (Inertial Measurement Unit) sensörü, yönelim açısı bilgisini sağlamaktadır. Robotun kendi ekseninde dönüşü ile oluşacak yönelim açısı değişikliği IMU sensörü ile tespit edilebilmektedir. IMU sensörü olarak “9-DOF Mutlak Oryantasyon IMU Füzyon Tümeleşik Kartı - BNO055” ticari isimli sensör kullanılmıştır (Şekil 3.8a). IMU sensörü ile Arduino arasında I2C protokolü ile haberleşme sağlanmaktadır. Arduino ile bağlantıda, IMU sensörünün 4 adet bacağı kullanılmıştır. IMU sensörü bacak bağlantıları Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Robot üzerinde ön prototipten farklı olarak canlı veya cansız engel ile sıra sonlarını algılamak için her yöne bakan 4 adet mesafe sensörü kullanılmıştır. Mesafe sensörü Sharp marka GP2Y0A710K0F model ve 100-550 cm ölçüm aralığına sahip analog çıkışlı bir sensördür (Çizelge 3.7, Şekil 3.8b).



Şekil 3.7. a) Ön limit switch b) Alt limit switch



Şekil 3.8. a) IMU sensörü b) IR mesafe sensörü

Çizelge 3.6. IMU sensörü bacak bağlantıları

IMU sensör pini	Açıklama
VIN	Arduino 5 V'a bağlanır
GND	Arduino GND ucuna bağlanır
SDA	Arduino A4 ucuna bağlanır
SCL	Arduino A5 ucuna bağlanır

Çizelge 3.7. Sharp GP2Y0A710K0F IR mesafe sensörü kablo bağlantıları

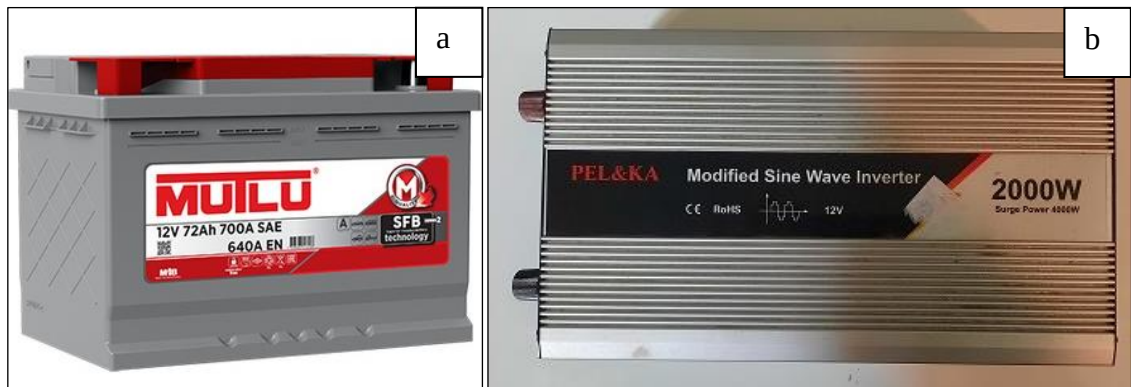
IR mesafe sensörü Pin No	Açıklama	Renk
1	GND	Kırmızı
2	VCC	Siyah
3	VCC	Sarı
4	Analog voltaj çıkış ucu	Yeşil
5	GND	Mavi

3.1.2.4. Akü ve invertör

Mobil robotun yürüyüşü sırasındaki hareketin sağlanması ile üzerinde bulunan donanım parçalarının ve sistemin (ULV tipi pülverizatörü) çalıştırılması için gerekli olan enerji aküler tarafından karşılanmaktadır. Robotta Mutlu marka “SFB Avrupa Tip” 2 adet bakım gerektirmeyen akü kullanılmıştır. Kullanılan akü özellikleri Çizelge 3.8’de verilmiştir. Aküden sağlanan ve ULV tipi pülverizatör için gerekli olan AC voltajın DC’den dönüştürülebilmesi için PEL&KA marka 12 V 2000 W özelliklere sahip bir invertör kullanılmıştır (Şekil 3.9).

Çizelge 3.8. Akü özellikleri

Voltaj (V)	Kapasite (AH)	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)	Ağırlık (kg)
12	72	278	175	190	17.7

**Şekil 3.9. a)** 12 V 72 AH akü **b)** 12 V 2000 W invertör

3.1.2.5. Arduino UNO, voltaj regülatörü ve SSR röle

Ana mobil robotta sensörlerden gelen verilerin algılanabilmesi ve bu verilerin bilgisayara yollanabilmesi için Arduino UNO Atmega328P tabanlı bir mikrodenetleyici kartı kullanılmıştır. Belirtilen kart, ayrıca bilgisayardan gelen veriye göre dijital çıkışı açıp kapatabilmektedir (1 veya 0 yapabilmektedir). Arduino UNO, 14 dijital giriş/çıkış pinine ve 6 analog giriş pinine sahiptir (Anonymous 7, 2023). Arduino kartlarına yazılımlar Arduino IDE programında geliştirilmektedir. Voltaj regülatörü olarak 7 segmentli ayarlanabilir 3 A voltaj regülatör kartı kullanılmıştır. Kullanılan voltaj regülatörünün giriş gerilimi 4-35 V olabilmektedir. Çıkış gerilimi ise üzerinde bulunan trimpot yardımıyla 1.25-30 V arası ayarlanabilmektedir. SSR (Solid State Relay) röle olarak 40 A'lık bir model ana mobil robot platformunda kullanılmıştır. SSR röle 3-32 V DC ile tetiklenip 24-380 V AC bir hattın iletme geçmesini (kapanmasını) sağlamaktadır. Çizelge 3.9'da SSR rölenin, Çizelge 3.10'da voltaj regülatörünün bağlantı uçları açıklanmıştır. Şekil 3.10'de Arduino UNO, ayarlanabilir 3 A voltaj regülatörü ve SSR röle görülmektedir.

Çizelge 3.9. SSR röle bağlantı uçları

Bağlantı Ucu	Açıklama
1	24-380 VAC
2	24-380 VAC
3	3-32 VDC (+)
4	3-32 VDC (-)

Çizelge 3.10. Voltaj regülatörünün bağlantı uçları

Bağlantı Ucu	Açıklama
IN+	Pozitif Besleme Girişi
IN-	Negatif Besleme Girişi
OUT+	Pozitif Çıkış Gerilimi
OUT-	Negatif Çıkış Gerilimi



Şekil 3.10. a) Arduino UNO b) Ayarlanabilir 3 A voltaj regülatörü c) SSR röle

3.1.2.6. Bilgisayar, DC motor ve DC motor kontrolörü

Mobil robotta tüm sistemin ana kontrolü bir bilgisayar tarafından sağlanmıştır. Sistemde asıl kararı veren bilgisayar olarak Windows işletim sistemli Intel i5 işlemcili 16 GB RAM özelliklerine sahip bir dizüstü bilgisayar (laptop) kullanılmıştır.

Mobil robotun yürüyüş sistemine hareket DC motorlar tarafından sağlanmaktadır. Her bir teker grubunda bir adet olmak üzere toplam 4 adet Kormas marka fırçalı DC motor kullanılmıştır. DC motorun özellikleri Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. DC motorun özellikleri

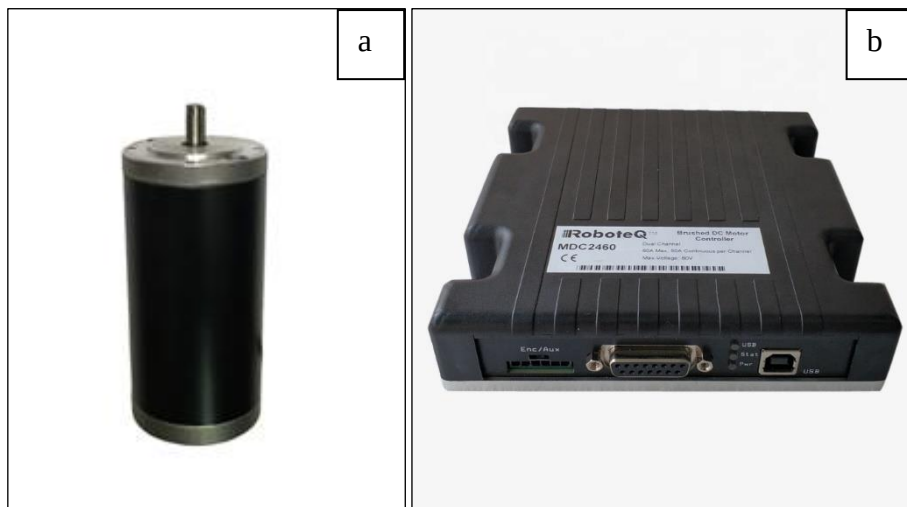
Voltaj (V)	Anma Gücü (W)	Devir (rpm)	Koruma sınıfı	Yükte nominal çalışma akımı (A)	Ağırlık (kg)
24	250	1400	IP20	4.2	3.75

DC motor sürücüsü olarak Roboteq firmasının 2 adet MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörü kullanılmıştır. MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörünün özellikleri Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.12. MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörü özellikleri

Maksimum Gerilim (V)	Kanal Sayısı	Kanal Başına Maksimum Akım (A)	Kanal Başına Sürekli Akım (A)	Boyutlar (mm)	Ağırlık (g)
60	2	60	50	140 x 140 x 25	452

Şekil 3.11’de ana mobil robot platformunda kullanılmış olan DC motor ve DC motor kontrolörü görülmektedir.



Şekil 3.11. a) DC Motor b) MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörü

3.1.2.7. ULV tipi pülverizatör

Ultra Low Volume (Çok Düşük Hacimli Uygulama), sıvı ilaçların püskürtülmesinde kullanılan bir terimdir. İlaçlama işlemlerinin birim alana atılan sıvı miktarına göre yapılan sınıflandırmada yer alan bir gruptur. İlaçlama alanına çok düşük miktarda sıvı uygulanmasını tanımlamaktadır. ULV tipi pülverizatörlerle hacimsel ilaç uygulamaları yapılmakta ve daha çok küçük damla çapları elde edilmektedir. Tarımsal amaçlı kullanılan pülverizatörlerin Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan bitki koruma ürünü olarak ruhsatlandırılmış olması gereklidir. Çalışmada ana mobil robot platformu üzerine Aksu marka, Naz Ahtapot ULV tipi pülverizatör kullanılmıştır. EK-1'de pülverizatöre ait ruhsat görülmektedir. Pülverizatör özellikleri Çizelge 3.13'te verilmiştir.

Çizelge 3.13. Aksu Naz Ahtapot ULV Cihazı Özellikleri

Özellik	ULV tipi pülverizatör Aksu Naz Ahtapot
Boş ağırlık	11 kg
Elektrik motoru gücü	1200 W
Elektrik motoru çalışma gerilimi	220 V
Depo kapasitesi	Belirtilmemiştir (İsteğe bağlı)
Başlık sayısı	4 adet
Boyutları (yükseklik x genişlik x uzunluk) (cm)	40 x 40 x 115
İlaç çıkış debisi	5-100 L/h

Şekil 3.12'de Aksu Naz Ahtapot ULV tipi pülverizatörün görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.12. Aksu Naz Ahtapot ULV cihazı

3.1.3. Kullanılan bilgisayar programları

Ön prototip mobil robotun ve ana mobil robotun gerçekleştirilme aşamalarında çeşitli bilgisayar programları kullanılmıştır. Tasarım, simülasyon, yazılım ve analiz için kullanılan bilgisayar programları Çizelge 3.14’te açıklanmıştır.

Çizelge 3.14. Kullanılan Bilgisayar Programları

Program	Açıklama
Visual Studio .NET (Visual C# .NET)	Ana programın yazıldığı program
Arduino IDE	Arduino UNO ve Arduino Mega kartlarına yazılım oluşturulan program
SimulIDE	Arduino programının simülasyon denemelerinin yapıldığı program
Roborun+	MDC2460 DC motor kontrolörlerinin ayarlarının yapıldığı program
MIT App Inventor	Android yazılımının yapıldığı program
EasyEDA	Baskı devre kartının çizimlerinin yapıldığı program
CoppeliaSim Edu	Mekanum tekerli mobil robot simülasyonunun oluşturulduğu program
Rhinoceros	Katı model çiziminin yapıldığı program
draw.io	Akış diyagramlarının çiziminin yapıldığı program
UTHSCA Image Tool 3.0	Suya duyarlı kağıtların analizi için kullanılan program
Microsoft Excel	Suya duyarlı kağıtların Hacimsel Ortalama Çap değerlerinin hesaplanmasının yapıldığı program
Photoshop	Malzemeler arasındaki bağlantıların çizimi ve ana programdaki mobil robot çiziminin yapıldığı program
Microsoft Paint	Malzemeler arasındaki bağlantıların çiziminin yapıldığı program

3.1.4. Ön denemelerde kullanılan diğer malzemeler

Ön prototip mobil robot veya ana mobil robot platformunun üretiminde kullanılmayan, fakat ön denemeler sırasında kullanılan bazı materyaller bulunmaktadır. Belirtilen materyaller ile yapılan çalışmalar robot platformlarının geliştirilmesine katkı sağlamışlardır. Bu malzemeler ile yazılım denemeleri ve ana mobil robotta kullanılan malzemelerin testleri yapılmıştır.

3.1.4.1. ULV tipi sırt pülverizatörü

Ana mobil robot üzerinde yer alan ULV tipi pülverizatör kullanılmadan önce tek meme başlığına sahip ULV tipi bir sırt pülverizatörü kullanılmıştır. Kullanılan Aksu Ece-10 sırt tipi ULV pülverizatörünün özellikleri Çizelge 3.15’te, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından verilmiş ruhsatı EK-2’de verilmiştir.

Çizelge 3.15. Aksu Ece-10 Sırt Tipi ULV Cihazı Özellikleri

Özellik	ULV tipi sırt pülverizatörü
Boş ağırlık	7.5 kg
Elektrik motoru gücü	1400 W
Elektrik motoru çalışma gerilimi	220 V
Depo kapasitesi	8 L
Başlık sayısı	1 adet
Boyutları (yükseklik x genişlik x uzunluk) (cm)	50 x 30 x 35
İlaç çıkış debisi	1-15 L/h

Ön denemelerde kullanılan pülverizatörün görüntüsü Şekil 3.13'te verilmiştir. Asıl denemelerde modern seralar için daha uygun olması nedeniyle tek meme başlıklı pülverizatör yerine çok başlıklı pülverizatör tercih edilmiştir.

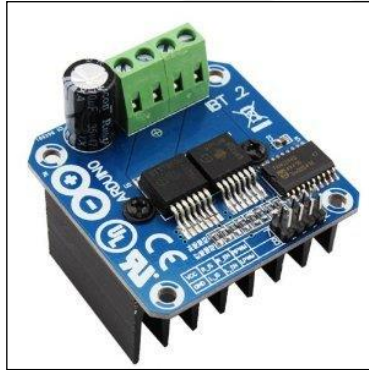
**Şekil 3.13. Aksu Ece-10 sırt tipi ULV cihazı**

3.1.4.2. BTS7960 motor sürücü kartı

Ön çalışmalarda DC motor sürücüsü olarak BTS7960 model 1 adet motor sürücü kartı kullanılmıştır. Sürücü kartının bağlantı uçları ile ilgili açıklamalar Çizelge 3.16'da, kartın görünümü Şekil 3.14'te verilmiştir.

Çizelge 3.16. BTS7960 motor sürücü kartı bağlantı uçları

BTS7960 Bağlantı Ucu	Açıklama
VCC	Arduino +5 V'a bağlanır.
GND	Arduino GND'ye bağlanır.
RPWM	Sağ dönüş için PWM ucu
LPWM	Sol dönüş için PWM ucu
R_EN	Sağ dönüş için Enable ucu
L_EN	Sol dönüş için Enable ucu
R_IS	Sağ dönüş sırasında akım alarm ucu (Bu uç bağlanmasa da sürücü çalışacaktır.)
L_IS	Sol dönüş sırasında akım alarm ucu (Bu uç bağlanmasa da sürücü çalışacaktır.)
B+	Güç kaynağı (+) ucu bağlanır. (5.5 V-27 V)
B-	Güç kaynağı (-) ucu bağlanır. (5.5 V-27 V)
M+	Motor (+) ucu
M-	Motor (-) ucu

**Şekil 3.14.** BTS7960 motor sürücü kartı

BTS7960 motor sürücüsü ile yapılan denemelerin sonucunda ürünün stabil bir ürün olmadığına karar verilmiştir. Aynı marka aynı model ürün piyasada 20 A, 40 A ve 43 A olarak bulunmaktadır. Aynı marka ve aynı model olarak satılan ürünlerin bir kısmının üzerinde HW-039 yazdığı bir kısmının üzerinde HW-039 yazmadığı fark edilmiştir. HW-039 yazan ürünler ile motorlar çalıştırılabilmektedir. Sonuç olarak asıl denemelerde BTS7960 ürünü yerine Roboteq marka MDC2460 model sürücü kullanılmıştır.

3.1.4.3. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü

Ön denemeler kapsamında, sensör denemeleri HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü ile de yapılmıştır. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü sesin havada ilerleme hızından mesafeyi ölçmektedir. Trig pini ile ses dalgası tetiklenmektedir ve Echo pinine

geri gelen ses dalgasının ulaşma süresi yardımıyla mesafe hesaplanmaktadır. Bu sensörün katalog değerine göre ölçüm aralığı 2-400 cm şeklindedir. Sensörün 4 adet ucu bulunmaktadır. HC-SR04 bağlantı uçları Çizelge 3.17’de, görüntüsü Şekil 3.15’te verilmiştir.

Çizelge 3.17. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü bağlantı uçları

HC-SR04 bağlantı ucu	Açıklama
VCC	5 V
GND	Toprak ucu
TRIG	Arduino dijital pine bağlanır.
ECHO	Arduino dijital pine bağlanır.



Şekil 3.15. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü

Denemeler sonucunda IR mesafe sensörünün ultrasonik mesafe sensörüne nazaran daha stabil değerler verdiği gözlenmiştir. Bu nedenle ana mobil robot üzerinde IR mesafe sensörünün kullanılmasına karar verilmiştir.

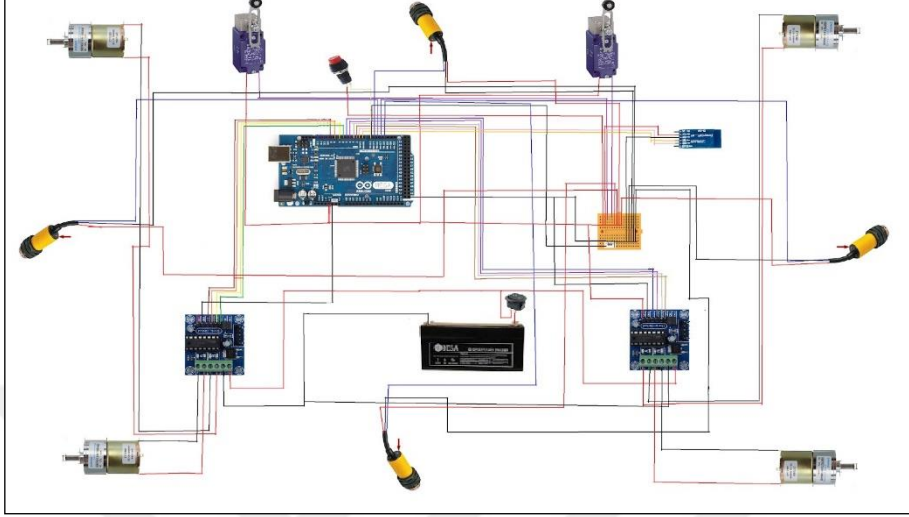
3.2. Metot

3.2.1. Ön prototip mobil robotun gerçekleştirilmesi

Ön prototip mobil robotun imalatı sırasında öncelikle bağlantı şemaları çizilmiş, akış diyagramları oluşturulmuştur. Akış diyagramlarına uygun olarak programlar yazılmıştır. Sonraki aşamada yazılımların bir kısmı simülasyon programında denenmiş ve mekanik montaj için gerekli olan şase yapılmıştır. Parçaların montajı ve kablolama işlemi tamamlanarak ön prototip mobil robotun imalatı gerçekleştirilmiş ve yazılımların denemeleri yapılmıştır. Belirtilen aşamalar aşağıda özetlenmiştir.

3.2.1.1. Bağlantı şemasının oluşturulması

Ön prototip mobil robot için hazırlanan bağlantı şeması Şekil 3.16'da görülmektedir.



Şekil 3.16. Ön prototip mobil robotun bağlantı şeması

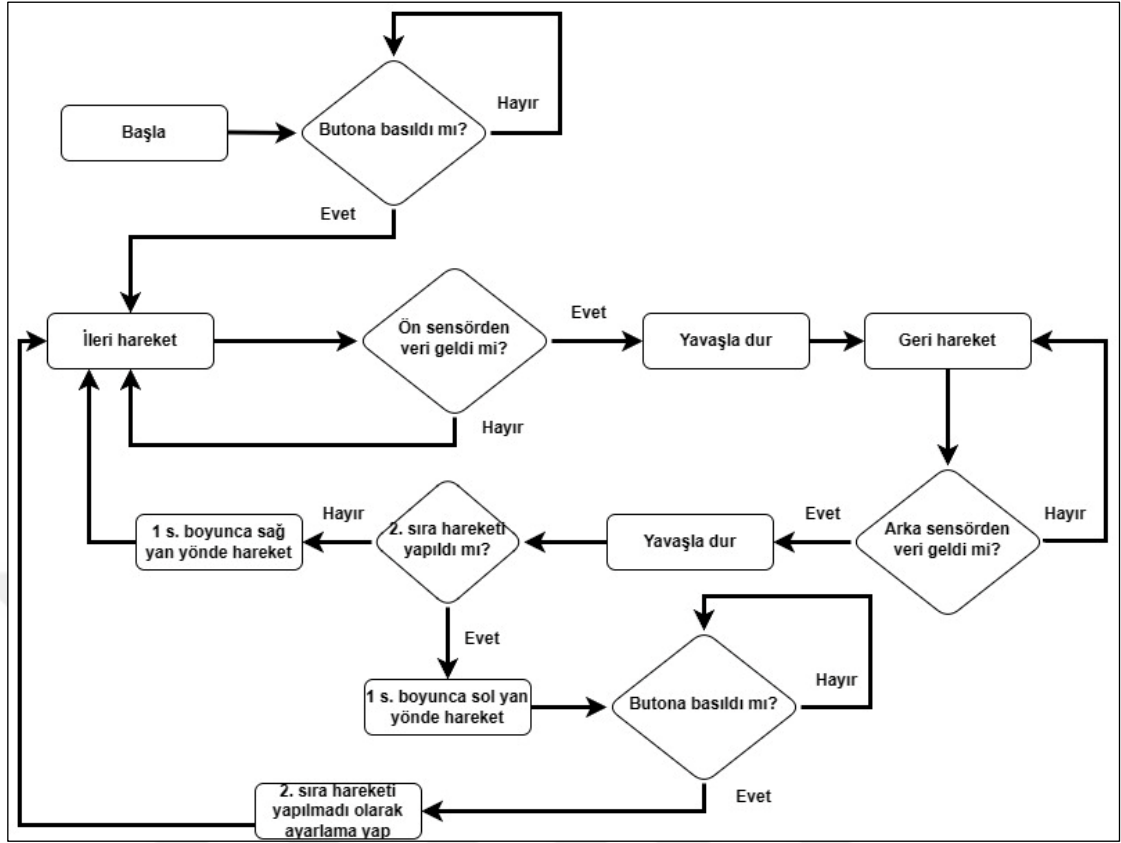
Bağlantı şemasında 2 adet limit switch, 4 adet kızılötesi sensör, 4 adet motor, 2 adet DC motor sürücüsü, 1 adet akü, 1 adet Bluetooth modülü ve 1 adet Arduino Mega yer almaktadır. Bağlantı şemasında belirtilen Arduino Mega'nın pin numaralarına göre yazılımın hazırlanması gerekmektedir.

3.2.1.2. Akış diyagramlarının oluşturulması

Çalışmada, Arduino kartına yazılacak programların akış diyagramları oluşturulmuştur. Şekil 3.17'de ön prototip mobil robot için 1 sıra hareket denemesi akış diyagramı verilmiştir. Ön prototip mobil robot için 2 adet kızılötesi sensörden gelen verilere göre 2 sıra hareket denemesi akış diyagramı Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Ön prototip mobil robot 1 sıra hareket denemesi akış diyagramı



Şekil 3.18. 2 adet kızılötesi sensör ile 2 sıra hareket denemesi akış diyagramı

3.2.1.3. Arduino yazılımlarının oluşturulması

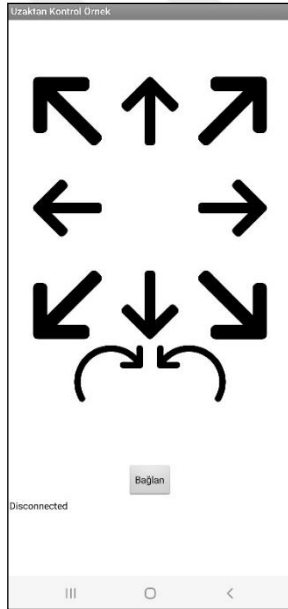
Arduino yazılımları aşamalı olarak geliştirilmiştir. Öncelikle yalnızca bir tekerin dönmesini sağlayan program yazılmıştır. Sonrasında aynı tekerin ters yönde dönmesini sağlayan yazılım geliştirilmiştir. Benzer şekilde her teker için ayrı bir program yazılıp denemeler yapılmıştır. Ön prototip mobil robot, kendisinden beklenen hareketi yapamadığında problemin nedenini daha kolay anlayabilmek için programlar aşamalı olarak yazılmıştır. Mobil robottan beklenen hareketin gerçekleşmeme nedeni yazılımsal olabileceği gibi donanımsal veya kablolama kaynaklı da olabilmektedir. Arduino programları ile her bir tekerin düzgün çalıştığı tespit edildikten sonra 10 hareket yönü için programlar yazılmıştır. Dikkate alınan 10 hareket yönü aşağıdaki gibidir.

1. İleri hareket
2. Geri hareket
3. Tam sağ hareket
4. Tam sol hareket
5. İleri sol çapraz hareket
6. İleri sağ çapraz hareket
7. Geri sol çapraz hareket
8. Geri sağ çapraz hareket
9. Kendi etrafında soldan dönme hareketi (Saat yönü tersi hareket)
10. Kendi etrafında sağdan dönme hareketi (Saat yönü hareket)

Toplam 10 hareket ayrı ayrı test edildikten sonra ardışık şekilde birden fazla hareket için program yazılmıştır. Örneğin modern seralarda sıra aralarındaki hareket dikkate alınarak; ileri-geri-tam sağ-ileri-geri ardışık hareket olarak adlandırılmıştır. Ardışık hareketli programlardan sonra kızılötesinden gelen veriye göre mobil robotun durması için program yazılmıştır. Mobil robotun hareketi kızılötesinden gelen veri ile durdurulabildikten sonra ardışık hareketler ve kızılötesi birlikte kullanılmıştır. Sonrasında limit switch'ten gelen veriye göre mobil robotun durma hareketi için program yazılmıştır. Bu aşamanın ardından limit switch'lerin kızılötesi sensörler ile ardışık hareket denemeleri yapılmıştır. Son olarak Android tabanlı cihazlar için yazılmış program ile kontrol için Arduino programları yazılmıştır.

3.2.1.4. Android tabanlı cihazlar için yazılımlarının oluşturulması

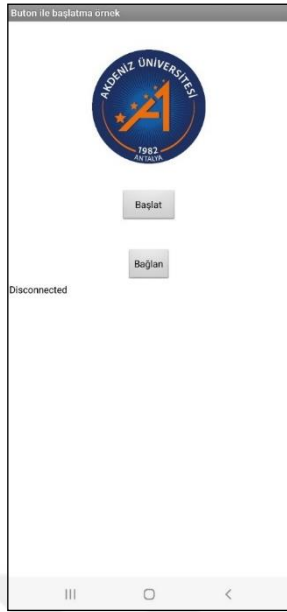
Ön prototip mobil robotun 10 hareketi Android tabanlı cihazlar ile yapılabilecek şekilde bir yazılım geliştirilmiştir. Şekil 3.19'da programın arayüzü görülmektedir.



Şekil 3.19. Android tabanlı cihazlar için 10 hareket kontrol programı

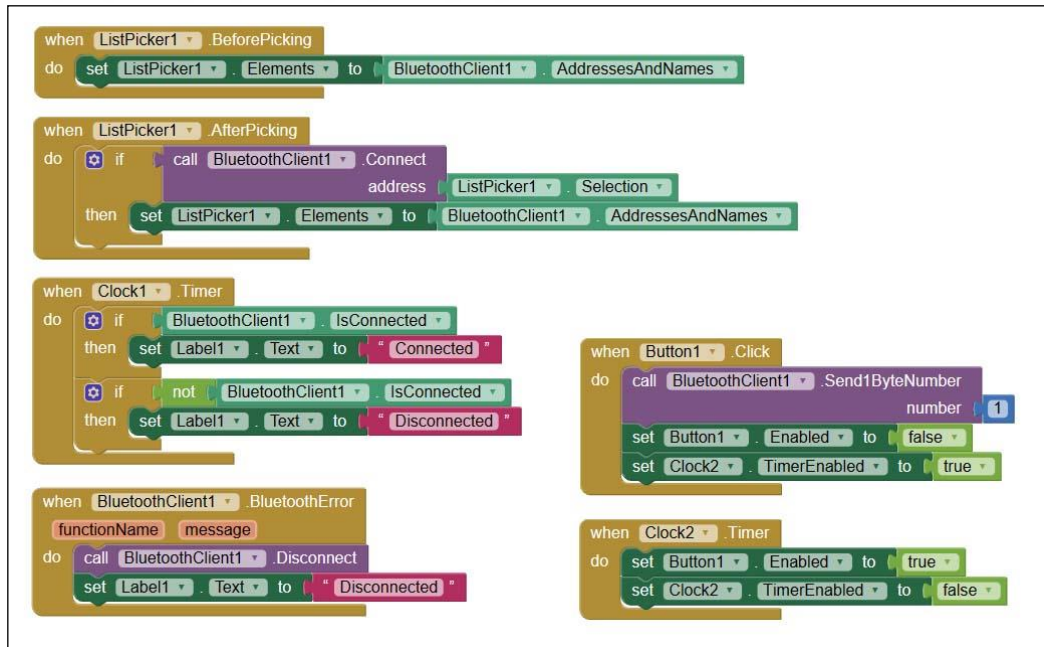
Program ile öncelikle ön prototip mobil robot üzerinde bulunan Bluetooth modülüne bağlanması gerekmektedir. Bağlantının yapılabilmesi için program arayüzüne “Bağlan” butonu yerleştirilmiştir. Bluetooth modülü ile bağlantı sağlandıktan sonra, arayüzde bulunan ve bağlantının yapılmamış olduğunu ifade eden “Disconnected” yazısı da bağlantının sağlandığını ifade eden “Connected” yazısına dönüşmektedir. Bağlantı sağlandıktan sonra basılan hareket yön oku doğrultusunda ön prototip mobil robot hareket etmektedir.

Arduino programında yazılmış olan bir ardışık hareket programını Android programı ile başlatabilecek ayrı bir program yazılmıştır. Şekil 3.20’de oluşturulan program arayüzü verilmiştir.



Şekil 3.20. Arduino içerisinde bulunan programı başlatabilecek Android programı

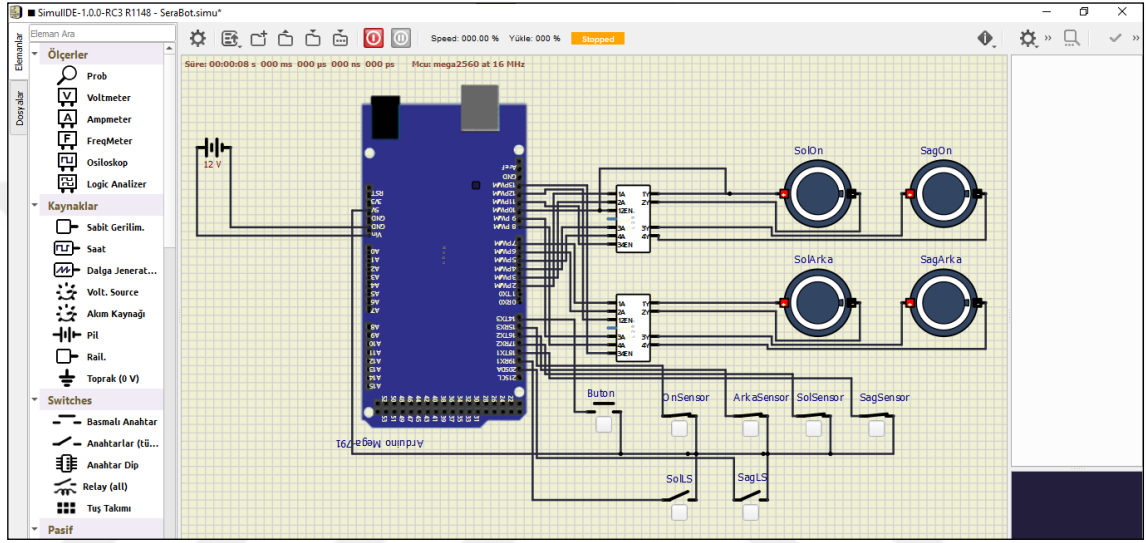
Arduino programı, MIT App Inventor programında yazılan Android programından gelecek olan veriyi kontrol edecek şekilde ayarlanmıştır. Blok tabanlı bir yapısı olan MIT App Inventor programı “Görsel Programlama Dili” olarak da tanımlanabilmektedir. Şekil 3.20’de gösterilmiş olan program arayüzü için oluşturulmuş olan kod bloğu Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.21. MIT App Inventor programında oluşturulmuş olan kod bloğu

3.2.1.5. Simülasyon programında denemelerin yapılması

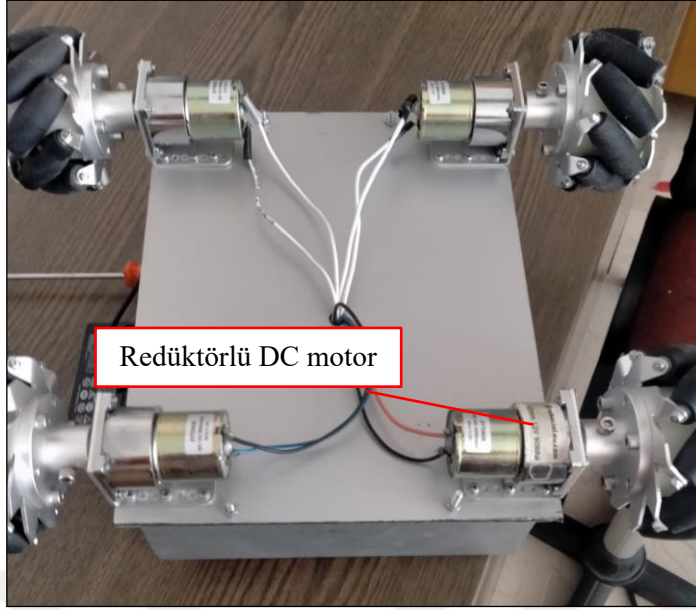
Arduino programında yazılmış olan programların bir kısmı ile simülasyon denemeleri de yapılmıştır. Simülasyon denemeleri ile mobil robot üzerinde denemeler yapılmadan önce test ortamı sağlanmaktadır. Simülasyon denemeleri SimulIDE programında hazırlanmıştır. Simülasyon ile DC motorların dönüş yönleri, hızlı veya yavaş dönme hareketleri incelenebilmektedir. Şekil 3.22’de SimulIDE programında 1 adet Arduino Mega, 4 adet DC motor, 2 adet DC motor sürücüsü, 4 adet kızılötesi sensör ve 2 adet limit switch simülasyonu için oluşturulmuş devre görülmektedir.



Şekil 3.22. SimulIDE programında oluşturulmuş devre

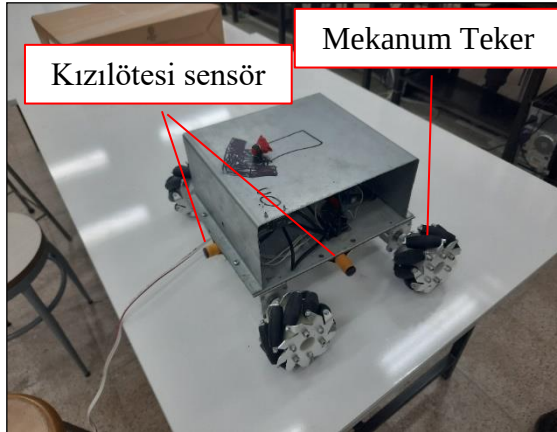
3.2.1.6. Ön prototip mobil robotun montajı

Ön prototip mobil robotun şasesi oluşturulduktan sonra redüktörlü DC motorlar ve mekanum tekerleklerin montajı yapılmıştır. Şekil 3.23’te mobil robotun alt görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.23. Ön prototip mobil robotun alt görünüşü

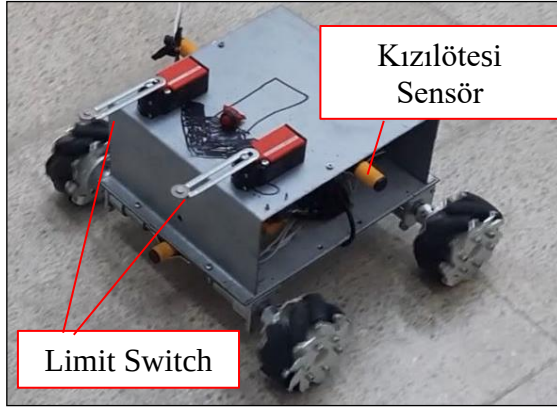
Redüktörlü DC motorlar ve mekanum tekerleklerin montajı yapıldıktan sonra Arduino Mega, DC motor sürücüler ve akü montajı yapılmıştır. Bir sonraki aşamada, malzemeler arası kablolama yapılmıştır. Kızılötesi ve limit switch sensörlerinin montajından önce mobil robotun yazılıma uygun olarak çalışıp çalışmadığına yönelik denemeler yapılmıştır. Sonrasında kızılötesi sensörler monte edilmiş ve yazılım denemeleri yapılmıştır. Kızılötesi sensörler robotun ön, arka, sol ve sağ kısımlarına monte edilmiştir. Şekil 3.24'te ön prototipte kızılötesi sensörlerinin montajlanmış şekli verilmiştir.



Şekil 3.24. Kızılötesi sensörlerinin montajlı hali

Kızılötesi sensörlerinin montaj ve denemelerinden sonra limit switch'lerin montajı yapılmıştır. İki adet limit switch'in konumları biri sol-ön diğeri sağ-ön tarafta olacak şekilde ayarlanmıştır. Ön prototip mobil robotun boyutları 41 cm x 36 cm x 24 cm

(genişlik x uzunluk x yükseklik) şeklindedir. şekil 3.25'te n prototip mobil robotun montajlanmış hali görülmektedir.



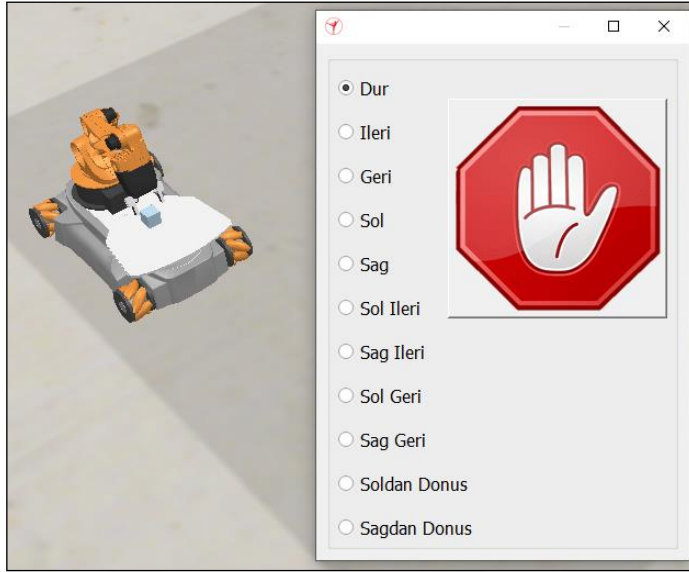
şekil 3.25. n prototip mobil robotun son hali

3.2.2. Ana mobil robotun geliştirilmesi

Ana mobil robotun geliştirilmesi aşamasında öncelikle robotun simülasyon ortamında hareketi test edilmiştir. Daha sonra Arduino yazılımı testi yapılmış ve akış diyagramları oluşturulmuştur. Ardından akış diyagramlarına uygun olarak ana yazılım oluşturulmuş ve baskı devre kartı yapılmıştır. Bir sonraki aşamada ise şase oluşturulmuş, mekanik montaj gerçekleştirilmiş ve elektrik-elektronik malzeme montajı ile kablolama yapılarak süreç tamamlanmıştır.

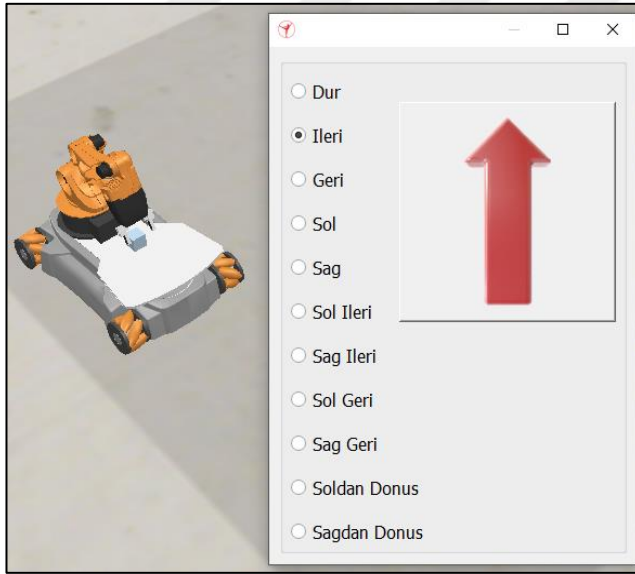
3.2.2.1. Simülasyon ortamında denemeler

Simülasyon denemeleri, içerisinde 3 boyutlu modellemelerin bulunduğu ve bu modellemelerin kodlama ile simülasyonlarının yapılabil-diği bir program olan CoppeliaSim programında yapılmıştır. CoppeliaSim programı içerisinde mekanum tekerlekli KUKA Omnirob ve KUKA YouBot isimli 2 adet model bulunmaktadır. Denemeler her iki modelde de gerçekleştirilmiştir. Denemelerde Lua programlama dili ile kod yazılımı kullanılmıştır. Kullanıcı arayüzü ise xml kod ile oluşturulabilmektedir. Lua programlama dili ve xml kod kullanılarak tasarlanmış kullanıcı arayüzü şekil 3.26'da görülmektedir.



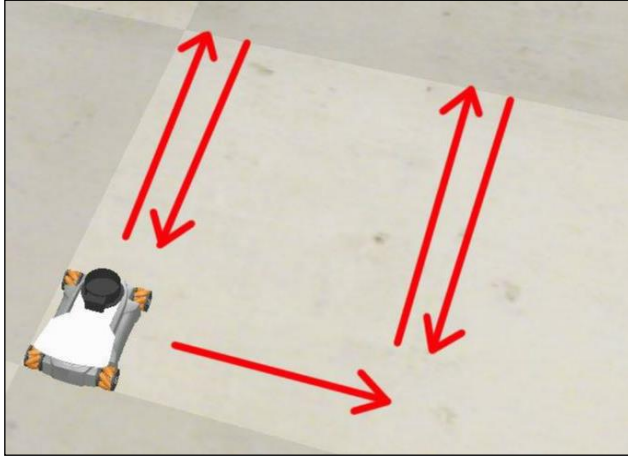
Şekil 3.26. Simülasyon programı (manuel kontrol-dur komutu)

Hareket yönü kullanıcı arayüzünden değiştirildiğinde, hem hareket yönü görsel olarak gösterilmekte hem de robot belirtilen yönde hareket etmektedir. İleri yön seçildiğinde oluşan ekran görüntüsü Şekil 3.27’de verilmiştir.



Şekil 3.27. Simülasyon programı (manuel kontrol-ilere komutu)

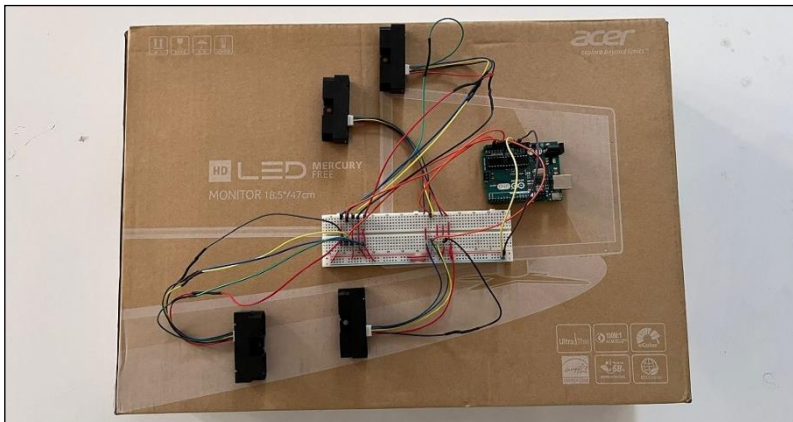
Çalışmada ayrıca otomatik kontrol için de simülasyon programı oluşturulmuştur. Denemelerde 2 sıralı ve 3 sıralı hareket dikkate alınmıştır. Şekil 3.28’de 2 sıralı hareket denemesi örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Simülasyon programı (otomatik kontrol)

3.2.2.2. Arduino yazılımının oluşturulması

Ana mobil robot platformu için Arduino yazılımı oluşturulurken sensörlerden gelen verilerin bilgisayara aktarılması ve bilgisayardan gelen verilere göre dijital çıkış pinlerinin durumunun değiştirilmesi dikkate alınmıştır. Arduino yazılımı ile 4 adet IR mesafe sensörünün verisi, 2 adet limit switch'in durumu ve IMU değerleri alınabilmektedir. Bilgisayardan gelen veriye göre de ULV tipi pülverizatör ve sirenin bağlı olduğu dijital pinin durumu 1 veya 0 yapılmaktadır. Dolayısıyla pülverizatör ve siren çalıştırılıp durdurulabilmektedir. Pülverizatör ve sirenin arasında paralel bağlantı olması nedeniyle Arduino üzerindeki aynı dijital pin ile kontrol edilmektedirler. Arduino ile IR mesafe sensörlerinden uzaklık bilgileri, limit switch'lerden açık-kapalı (1-0) bilgisi ve IMU sensöründen x, y ve z oryantasyon açı bilgileri alınabilmektedir. Arduino'dan alınan verilere göre karar verme işlemi bilgisayar tarafından yapılmaktadır. Arduino yazılımının test edilmesi için breadboard üzerine IR mesafe sensörleri ile devre kurulmuştur (Şekil 3.29). Şekil 3.30'da IR mesafe bilgileri Arduino seri port ekranında görülmektedir.



Şekil 3.29. Arduino yazılımının testi için IR mesafe sensörleri ile kurulan devre

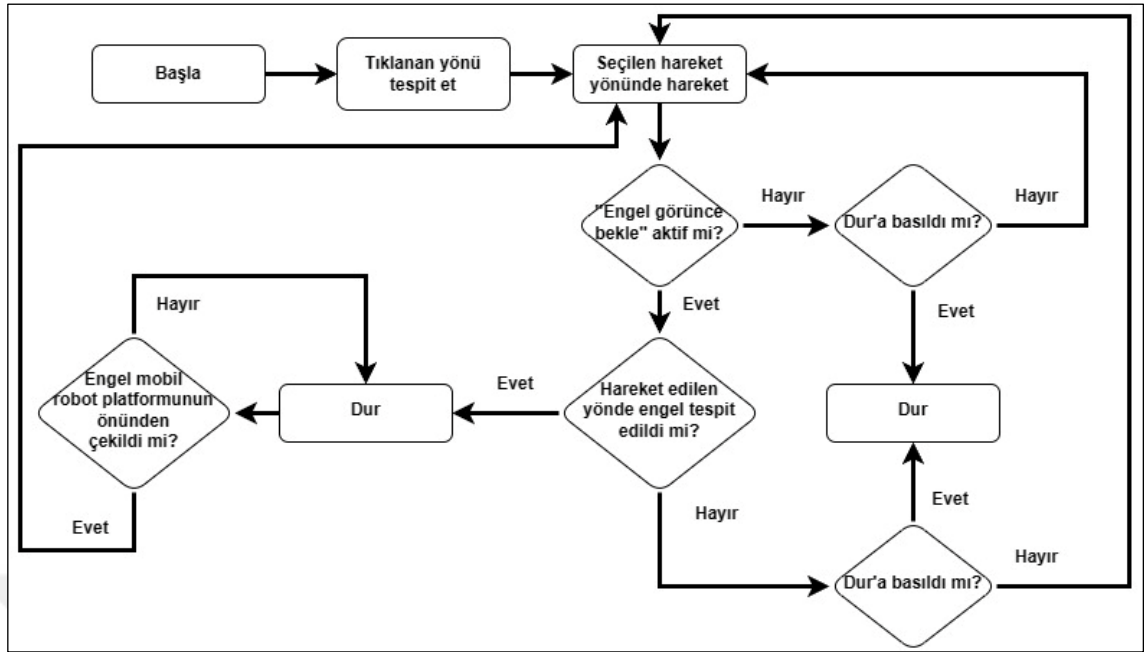
COM12			
Sensor1: 115	Sensor2: 73	Sensor3: 222	Sensor4: 106
Sensor1: 121	Sensor2: 75	Sensor3: 222	Sensor4: 96
Sensor1: 76	Sensor2: 71	Sensor3: 229	Sensor4: 96
Sensor1: 72	Sensor2: 78	Sensor3: 239	Sensor4: 84
Sensor1: 68	Sensor2: 80	Sensor3: 237	Sensor4: 77
Sensor1: 75	Sensor2: 82	Sensor3: 235	Sensor4: 74
Sensor1: 82	Sensor2: 84	Sensor3: 220	Sensor4: 74
Sensor1: 105	Sensor2: 86	Sensor3: 223	Sensor4: 71
Sensor1: 73	Sensor2: 87	Sensor3: 218	Sensor4: 69
Sensor1: 71	Sensor2: 89	Sensor3: 211	Sensor4: 67
Sensor1: 69	Sensor2: 85	Sensor3: 216	Sensor4: 67
Sensor1: 68	Sensor2: 85	Sensor3: 225	Sensor4: 70
Sensor1: 68	Sensor2: 84	Sensor3: 211	Sensor4: 71
Sensor1: 65	Sensor2: 8		

☒ Otomatik Kaydırma ☐ Zaman damgasını göster

Şekil 3.30. IR mesafe sensörlerinden alınan uzaklık bilgilerinin gösterilmesi

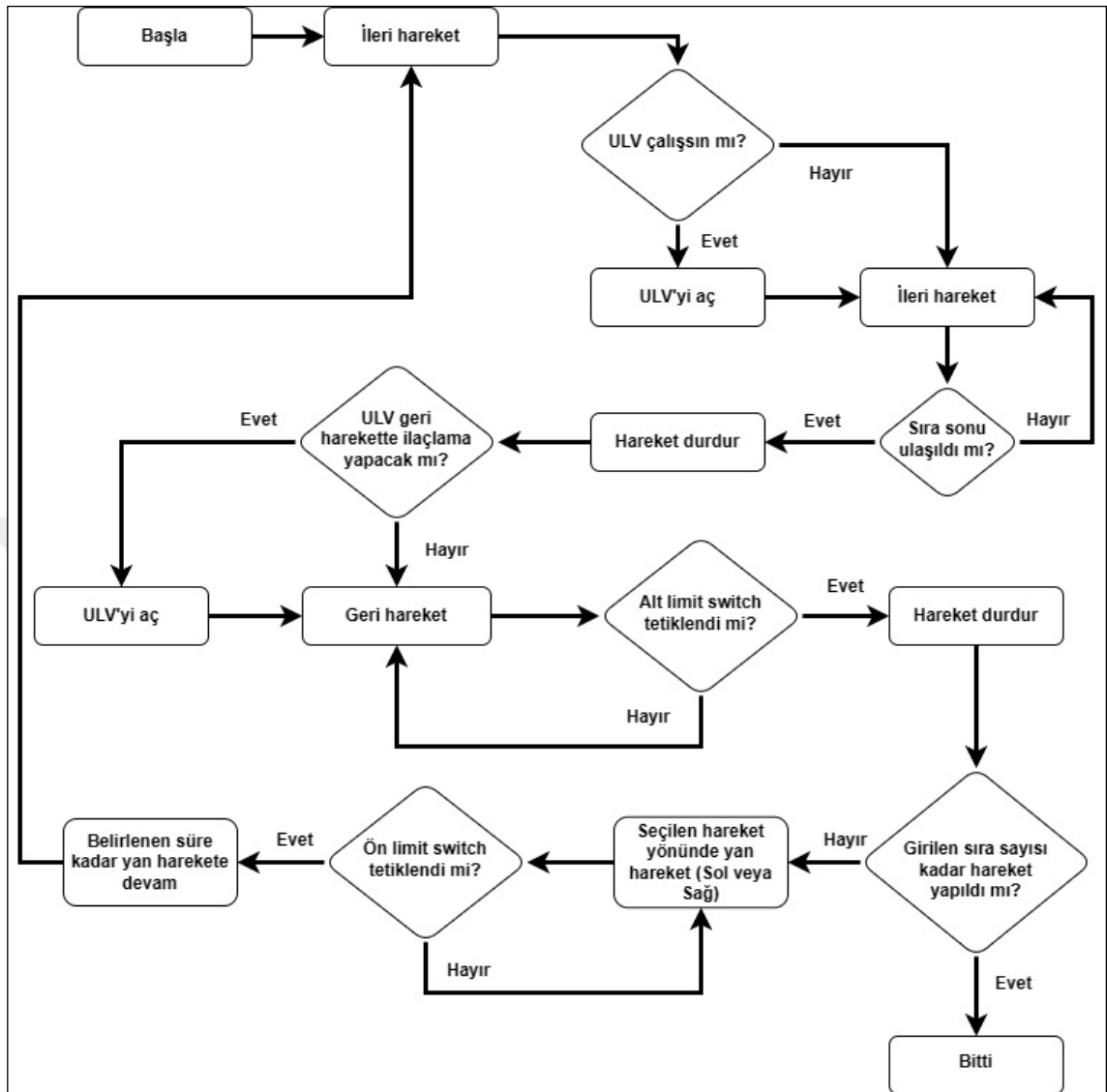
3.2.2.3. Akış diyagramlarının oluşturulması

Ana mobil robot platformunun programı yazılmadan önce mobil robotun manuel ve otomatik kontrolünün yapılabileceği şekilde akış diyagramları oluşturulmuştur. Manuel kontrolde kullanıcı mobil robot platformunu 10 hareket yönünde kontrol edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Manuel kontrolde IR mesafe sensörlerinin dikkate alınıp alınmayacağı, kullanıcı tarafından seçilebilecek şekilde akış diyagramı oluşturulmalıdır. Kullanıcının manuel kontrolde IR mesafe sensörlerinden gelecek bilgiyi kullanacak olması durumunda, hareket yönünde engel olduğu sürece mobil robot hareket etmemelidir. Mobil robotun hareket yönünden engel çekildiği durumda mobil robot hareketine devam edebilmelidir. Kullanıcı manuel kontrolde eğer IR mesafe sensörlerinin dikkate alınmamasını seçmişse IR mesafe sensörü engel görse bile mobil robotun hareketini etkilememelidir. Bu kurallar doğrultusunda manuel kontrol için akış diyagramı Şekil 3.31'deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 3.31. Manuel kontrol için oluşturulan akış diyagramı

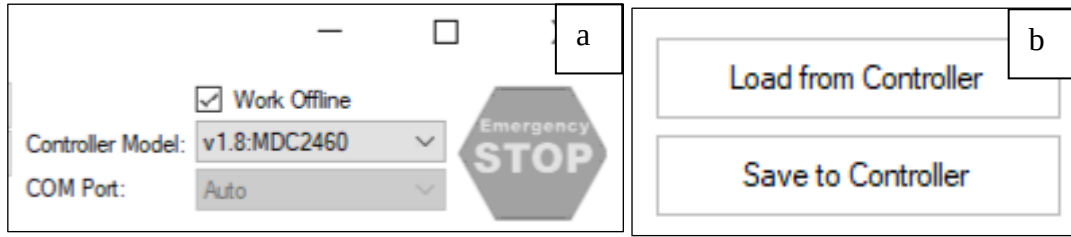
Mobil robotun otomatik kontrolünde ULV tipi pülverizatörün ilaçlama yapıp yapılmayacağı kullanıcı tarafından seçilebilmelidir. Kullanıcının ilaçlama yapılacağını seçmesi durumunda, mobil robotun ileri hareketinde mi yoksa geri hareketinde mi yapılacağı kullanıcı tarafından belirlenebilmelidir. Mobil robotun ileri hareketinde sıra sonuna ulaşmış ve ulaşmadığının kontrolü ön IR mesafe sensörü ile yapılabilir. Mobil robot sıra sonuna ulaşmışsa durdurulmalı ve geri yönde hareketi başlatılmalıdır. Mobil robotun geri yön hareketinde sıranın sonuna ulaşmış ve sıradan çıkıp çıkmadığının kontrolü alt limit switch ile yapılmalıdır. Sıradan çıkma kontrolü alt limit switch bilgisi kontrol edilmelidir. Ayrıca kullanıcı tarafından belirlenen sıra sayısı kadar hareket sağlanmalıdır. Bu kurallara dikkat edilerek otomatik kontrol için hazırlanan akış diyagramı Şekil 3.32’de verilmiştir.



Şekil 3.32. Otomatik kontrol için oluşturulan akış diyagramı

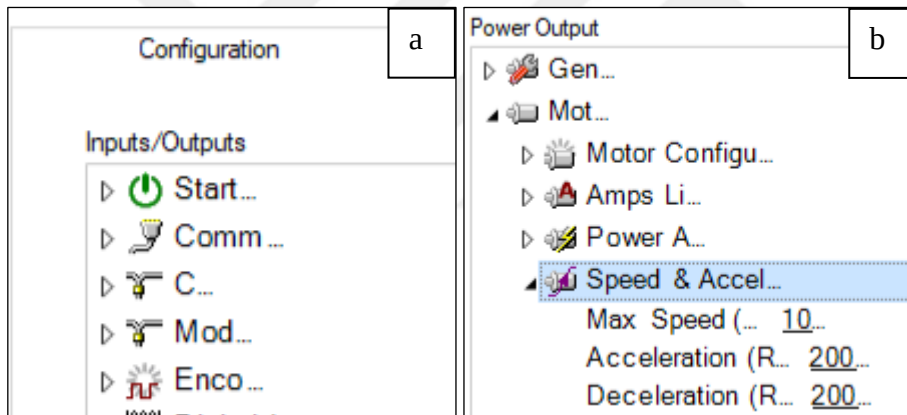
3.2.2.4. MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörlerinin ayarlarının yapılması

MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörlerinin ana yazılım ile birlikte kullanılmadan önce ayarlarının yapılması gereklidir. MDC2460 ürünlerinin ayarları Roboteq firmasının sağladığı Roborun+ programı ile yapılabilmektedir. Programda bulunan “Work Offline” seçeneği ile MDC2460 kontrolörleri bağlanmadan da ayarlar incelenebilmektedir. “Controller Model” ile kullanılacak olan DC motor kontrolörün modeli seçilebilmektedir. “Load from Controller” butonu ile MDC2460 içerisindeki ayarlar programa alınabilmektedir. “Save to Controller” butonu ile de yapılan ayarlamalar MDC2460’a gönderilebilmektedir (Şekil 3.33).

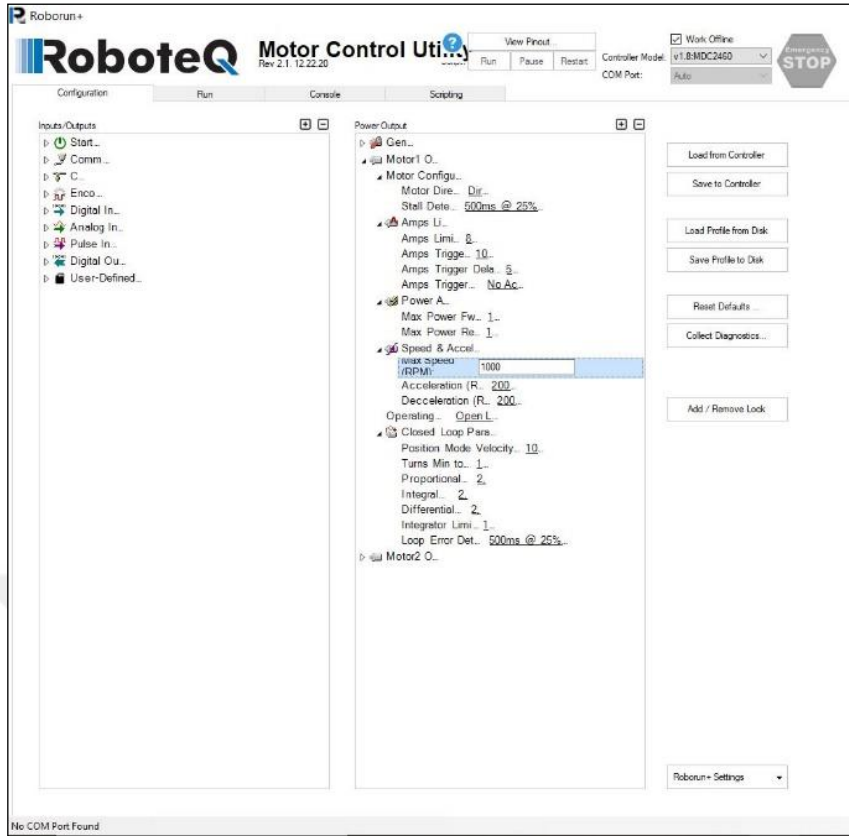


Şekil 3.33. Roborun+ programı **a)** Work Offline, Controller Model **b)** Load from Controller, Save to Controller

“Configuration” sekmesi altında “Power Output” kısmı yer almaktadır. “Power Output” kısmının içerisindeki “Speed & Accel...” seçeneği altında “Max Speed”, “Acceleration” ve “Deceleration” ayarları bulunmaktadır (Şekil 3.34). Motorun maksimum hız değerine karşılık gelecek sayı “Max Speed” ile ayarlanmaktadır. Örneğin “Max Speed” özelliği 1000 yapılırsa, DC motor kontrolörüne 1000 değeri gönderildiğinde motor maksimum hızda dönmektedir. “Acceleration” ve “Deceleration” özellikleri ile hızlanma ve yavaşlama ayarlanabilmektedir. Şekil 3.35’te Roborun+ programının genel görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3.34. Roborun+ programı **a)** Configuration **b)** Power Output



Şekil 3.35. Roborun+ programı

3.2.2.5. MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörlerinin denemeleri

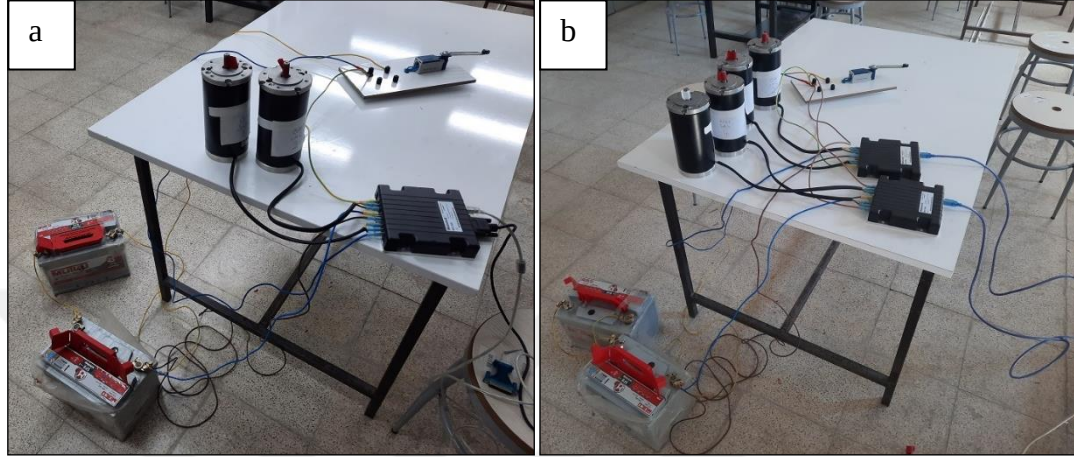
MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörlerinin ayarları Roborun+ programı ile yapıldıktan sonra test düzeneği kurulmuştur. DC motorlar 24 V ile çalıştıklarından dolayı 2 adet 12 V akü seri bağlanıp enerji verilmiştir. MDC2460 kontrolörünün bağlantı uçları Çizelge 3.18’de verilmiştir.

Çizelge 3.18. MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörünün bağlantı uçları

Bağlantı Ucu	Açıklama
VMOT	Akü + ucu bağlanır
M1+	1. DC motorun bir ucu bağlanır
M1-	1. DC motorun diğer ucu bağlanır
GND	Akü – ucu bağlanır
M2+	2. DC motorun bir ucu bağlanır
M2-	2. DC motorun diğer ucu bağlanır

MDC2460 kontrolörü üzerinde 2 adet VMOT ve 3 adet GND bağlantısı bulunmaktadır. VMOT uçlarına ayrı ayrı akünün + ucu bağlanmıştır. 3 adet GND ucundan 2 adedine akü – ucu bağlanmıştır. MDC2460 kontrolörünün güç bağlantı

tarafında 8 adet ucu kullanılmıştır. Test amaçlı denemeler yapıldığından dolayı MDC2460 kontrolörünün VMOT ucuna giden akünün + ucu limit switch üzerinden verilmiştir. Limit switch ile enerjinin açılıp kapatılabilmesi sağlanmıştır. Şekil 3.36a'da 1 adet MDC2460 ve 2 DC motor denemesi, Şekil 3.36b'de de 2 adet MDC2460 ve 4 adet DC motor denemesi görülmektedir. Denemeler sonucunda DC motor kontrolörleri uygun bir şekilde DC motorları çalıştırmıştır.



Şekil 3.36. a) 1 adet DC motor kontrolör 2 adet DC motor test düzeneği b) 2 adet DC motor kontrolör 4 adet DC motor test düzeneği

3.2.2.6. Ana programın (yazılım) oluşturulması

Mobil robot için hazırlanan ana program hem kullanıcıya bilgi verecek hem de kullanıcıdan alacağı komutlara göre işlem yapabilecek şekilde geliştirilmiştir. Programın arayüzü için kullanıcı dostu (user friendly) bir tasarım yapılmıştır. Programın öncelikle Arduino ve MDC2460 fırçalı DC motor kontrolörlerine bağlanabilmesi gerekmektedir. Arduino ve MDC2460'lar ile bilgisayarın haberleşmesi USB portu üzerinden sağlanmaktadır. Bu nedenle program, 3 adet USB portundan veri alıp gönderebilecek şekilde ayarlanmıştır. Yazılım ile Arduino ve MDC2460'lara ayrı ayrı bağlanılabilmekte veya bağlantı koparılabilmektedir. Bağlantıların yapılmamış ve yapılmış halleri Şekil 3.37'de görülmektedir.

Bağlantı	a	Bağlantı	b
Arduino: COM12 Durum		Arduino: COM12 Durum	
Ön MDC: COM17 Durum		Ön MDC: COM17 Durum	
Arka MDC: COM16 Durum		Arka MDC: COM16 Durum	
Bağlan		Bağlan	
Kontrol Sistem: DEAKTIF		Kontrol Sistem: AKTIF	

Şekil 3.37. a) Haberleşme bağlantılarının yapılmamış hali **b)** Haberleşme bağlantılarının yapılmış hali

Programda ileri hareket hızı, geri hareket hızı ve yan hareket hızı hem ayrı ayrı hem de tek hız olarak ayarlanabilmektedir (Şekil 3.38). Program arayüzünde maksimum hız 1000 değeri olarak ayarlanmıştır. Kullanıcı 500 değerini girdiğinde yarı hızda hareket sağlanmış olacaktır. Uygulamada, teker devir sayıları ve çap değerleri dikkate alındığında mobil robot platformunun ray üzerindeki maksimum hızı 0.44 m/s ve beton üzerindeki maksimum hızı 1.24 m/s değerlerine ulaşabilmektedir.

Programda, sensörün kaç cm'ye kadar engel algılama yapabileceği de ayarlanabilmektedir. Örneğin, kullanıcı tarafından 150 cm olarak ayarlandığında ve 200 cm uzaklıkta bir engel bulunduğunda mobil robot bu engeli algılamamaktadır.

Ayarlar	a	Ayarlar	b
Hız Süre Diğer		Hız Süre Diğer	
İleri hareket hızı: 450		İleri hareket hızı: 400	
Geri hareket hızı: 450		Geri hareket hızı: 300	
Yan hareket hızı: 450		Yan hareket hızı: 200	
Sensör mesafesi: 110 cm		Sensör mesafesi: 110 cm	
1000 değeri maksimum hız'dır.		1000 değeri maksimum hız'dır.	

Şekil 3.38. Hız ve sensör algılama mesafe ayarı a) Tek Hız b) Ayrı Hızlar

Programda yer alan süre sekmesindeki ayarlar ile 4 adet süre ayarlanabilmektedir (Şekil 3.39a).

“ULV Bekleme süresi” ile ULV tipi pülverizatörün, mobil robot platformu durduktan ne kadar süre sonra başlayacağı, “Sıra sonu durma süresi” ayarı ile mobil robot platformunun sıra sonunda ne kadar süre bekleyeceği, “Sıradan çıkma süresi” ayarı ile

mobil robot platformunun alt limit switch'i tetiklendikten ne kadar süre sonra duracağı ve “Yan hareket süresi” ayarı ile mobil robot platformunun sıradan çıktıktan sonra ne kadar süre yan hareketi yapacağı ayarlanabilmektedir. Süre değerleri milisaniye (ms) birimi ile ifade edilmektedir.

Diğer sekmesinde bulunan “Tek hız” ayarı ile ileri, geri ve yan hareket hızlarının aynı olması sağlanmaktadır.

“Engel görünce bekle” ayarı ile mobil robot platformunun hareket ettiği yöndeki mesafe sensörü engel algırsa mobil robot durmaktadır. Engel mobil robotun önünden çekilirse harekete devam edebilmektedir.

“Ortalama değer kullan” ayarı ile mesafe sensörlerinden gelen son 4 değer ortalamasının alınması sağlanabilmektedir.

“Numpad tuşları ile kontrol et” kısmı ile program arayüzündeki butonlar yerine klavyede bulunan rakamlar ile manuel kontrolün yapılabilmesi sağlanmaktadır (Şekil 3.39b).

Şekil 3.39. a) Süre sekmesi b) Diğer sekmesi

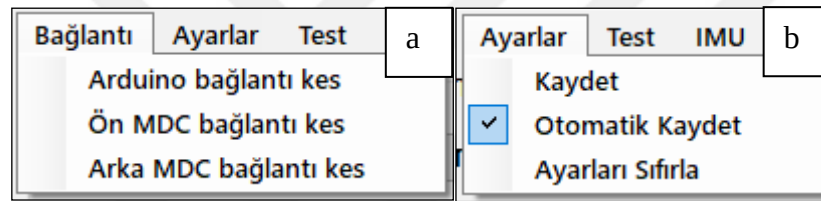
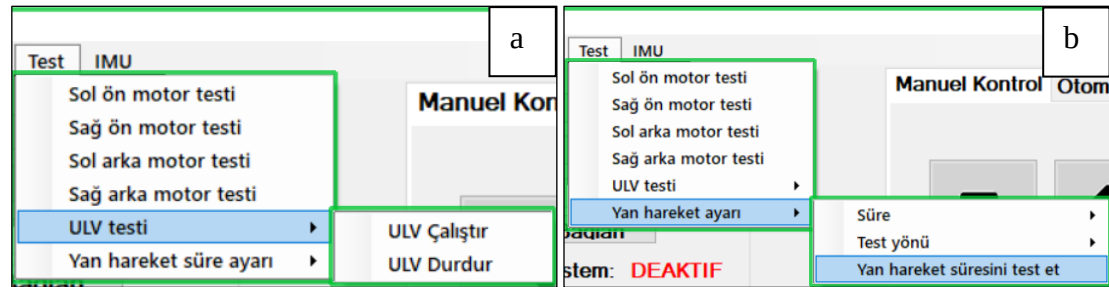
“Numpad tuşları ile kontrol et” özelliği sayesinde Bluetooth özellikli bir klavye ile mobil robot platformu uzaktan kontrol edilebilmektedir. Klavye ile kontrol tuşları Çizelge 3.19’da açıklanmıştır.

Program ile Arduino ve MDC2460 kontrolörler arasındaki haberleşme bağlantısı “Bağlantı” menüsünden ayrı ayrı olarak kesilebilmektedir. Süre, mesafe ve hız ayarları “Ayarlar” menüsünden manuel veya otomatik olarak kaydedilebilmektedir. Ayrıca ilk belirlenen değerlere de geri döndürülebilmektedir (Şekil 3.40).

“Test” menüsü ile tekerleklerin dönmesi tek tek test edilebilmektedir. Ayrıca ULV tipi pülverizatörün testi ve yan hareket testi de yapılabilir (Şekil 3.41).

Çizelge 3.19. Klavye tuşlarının hareket yönü açıklamaları

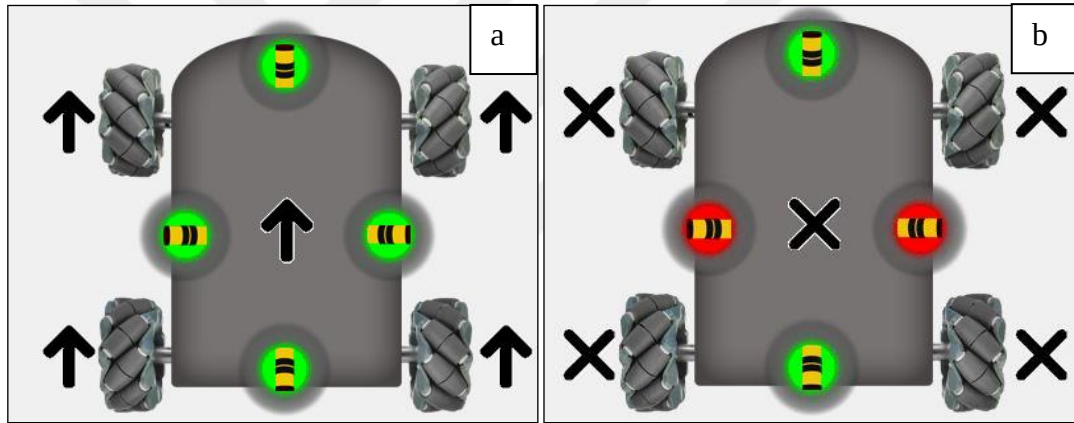
Klavye tuşu	Açıklama
0	Saat yönü tersi dönüş
1	Sol geri çapraz hareket
2	Geri hareket
3	Sağ geri çapraz hareket
4	Tam sol yan hareket
5	Dur komutu
6	Tam sağ yan hareket
7	Sol ileri çapraz hareket
8	İleri hareket
9	Sağ ileri çapraz hareket
,	Saat yönü dönüş

**Şekil 3.40.** a) Bağlantı menüsü b) Kaydet menüsü**Şekil 3.41.** Test menüsü a) ULV testi b) Yan hareket testi

Mobil robot platformunun manuel ve otomatik kontrolü için iki ayrı sekme bulunmaktadır (Şekil 3.42). Manuel kontrolde 10 hareket yönü sağlanabilmektedir. Otomatik kontrolde ise yan hareket yönü (sol veya sağ), hareketin yapılacağı sıra sayısı, ilaçlamanın yapılıp yapılmayacağı ve ilaçlamanın hangi yön hareketinde (ileri veya geri) çalıştırılması ayarlanabilmektedir. Ayrıca otomatik kontrol sekmesinde mobil robotun hareket halindeyken kaçınıcı sırada bulunduğu bilgisi ve işlem tamamlandığı bilgisi kullanıcıya program arayüzünde gösterilmektedir. Program arayüzünde kullanıcıyı bilgilendirmek amacıyla mobil robot platformunun hareket yönü ve tekerleklerin hareket yönleri oklar ile gösterilmektedir (Şekil 3.43).



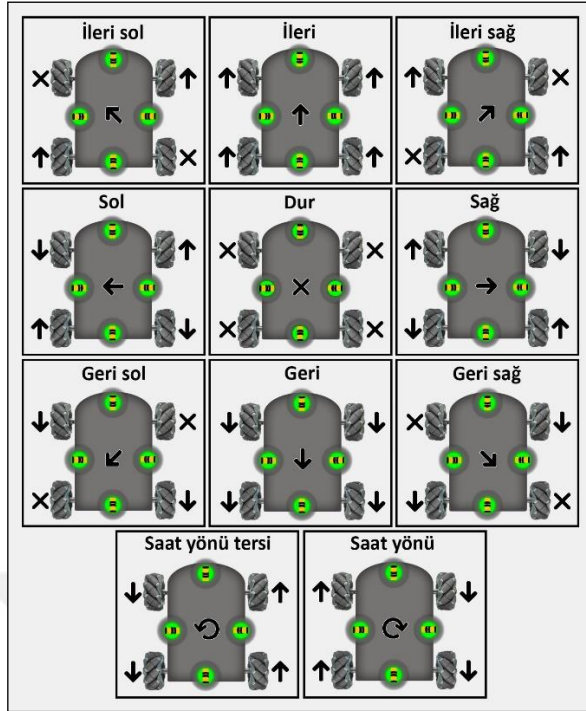
Şekil 3.42. a) Manuel kontrol sekmesi b) Otomatik kontrol sekmesi



Şekil 3.43. a) İleri yön hareketi b) Hareket etmeme durumu

Mobil robot platformunun hareket yönü değiştiğinde okların yönleri de otomatik olarak değişmektedir. Ayrıca IR mesafe sensörlerinin engel algılayıp algılamadığı renklerle kullanıcıya gösterilmektedir. Yeşil renk engel algılanmadığını, kırmızı renk ise engel algılandığını belirtmektedir. Örneğin Şekil 3.43b’de solda ve sağda bulunan IR mesafe sensörleri engel algılamaktadır, ileri ve geri mesafe sensörleri engel algılamamaktadır.

Mobil robot platformunun 10 hareket yönü ve hareket etmeme durumunu gösteren çizimler Şekil 3.44’te verilmiştir. Mobil robot platformunun 10 hareket yönünün sağlanabilmesi motorların dönüş yönlerinin bilinmesini gerektirmektedir. Örneğin sol ön tekerin ileri ve sağ ön tekerin ileri hareketinde tekerler aynı yönde dönmelerine rağmen motorlar farklı yönde dönmektedir. Sol ön teker saat yönünde dönerken sağ ön teker saat yönünün tersine dönmektedir. Mobil robotun hareket yönüne göre motorların dönüş yönleri Çizelge 3.20’de verilmiştir. CW (Clockwise) saat yönü, CCW (Counter Clockwise) saat yönünün tersi dönüş anlamına gelmektedir.



Şekil 3.44. Hareket yönleri çizimleri

Çizelge 3.20. Mobil robot hareket yönlerine göre motorların dönüş yönleri

Mobil robot hareket yönü	Sol Ön Motor	Sağ Ön Motor	Sol Arka Motor	Sağ Arka Motor
Sol ön çapraz hareket	0	CCW	CW	0
İleri hareket	CW	CCW	CW	CCW
Sağ ön çapraz hareket	CW	0	0	CCW
Tam sol hareket	CCW	CCW	CW	CW
Tam sağ hareket	CW	CW	CCW	CCW
Sol geri çapraz hareket	CCW	0	0	CW
Geri hareket	CCW	CW	CCW	CW
Sağ geri çapraz hareket	0	CW	CCW	0
Kendi etrafında saat yönünün tersi dönüş	CCW	CCW	CCW	CCW
Kendi etrafında saat yönünde dönüş	CW	CW	CW	CW

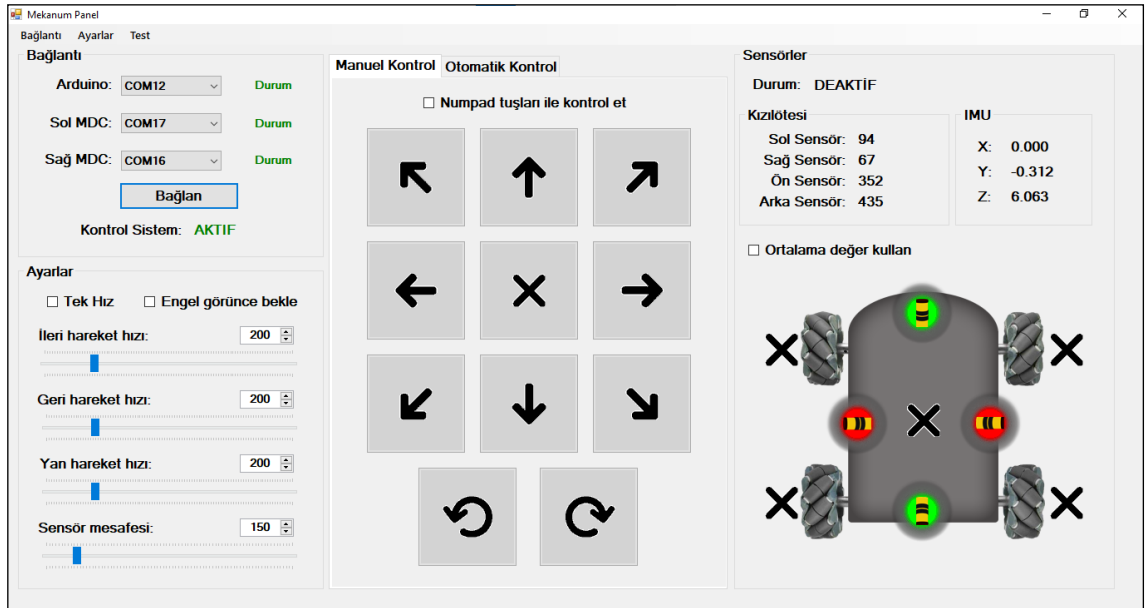
Programda IMU sensöründen X, Y ve Z eksenlerindeki dönme açıları tespit edilebilmektedir. Mobil robot platformunun kendi etrafında dönme hareketi IMU'dan alınan X değerini değiştirmektedir. Dolayısıyla mobil robotun herhangi bir konumdaki yönelim açısı kaydedilip daha sonra tekrar bu yönelim açısına gelmesi

sağlanabilmektedir. IMU açı farkı 30° 'den büyük ise 400 değer hızında (0.5 m/s), 30° ile 5.5° arasında bir açı farkı varsa 200 değer hızında (0.25 m/s) mobil robot kendi ekseninde dönmektedir. Eğer kaydedilen IMU X değeri ile anlık olarak alınan X değeri arasında 5.5° 'den az bir fark varsa mobil robot platformu durmaktadır. Şekil 3.45'te hareket öncesi kaydedilen IMU X değeri, hareket sonrası X değeri ve otomatik olarak kaydedilen X değerine hareket etme sonrası ekran görüntüleri görülmektedir. POS değeri kaydedilen X değerini göstermektedir. X değeri ise mobil robot platformunun anlık konumuna göre değişmektedir. Mobil robot platformunun hareket öncesi yönelim açısı 23.25° 'dir. Kendi ekseninde dönüş sonrası yönelim açısı 336.625° 'dir. Mobil robotun otomatik olarak eski yönelim açısına gitmesi istendiğinde 23.5° yönelim açısında mobil robot hareketi durmaktadır. Yönelim açısı olarak 5.5° 'den küçük bir yakınsama beklenmesi nedeniyle 0.25° yakınsama istenilen sonucu karşılamaktadır.

Ana programın ekran görüntüsü Şekil 3.46'da verilmiştir.

IMU	a	IMU	b	IMU	c
X: 23.250		X: 336.625		X: 23.500	
Y: 0.187		Y: -1.125		Y: 0.312	
Z: 3.875		Z: 3.437		Z: 3.812	
POS: 23,25		POS: 23,25		POS: 23,25	

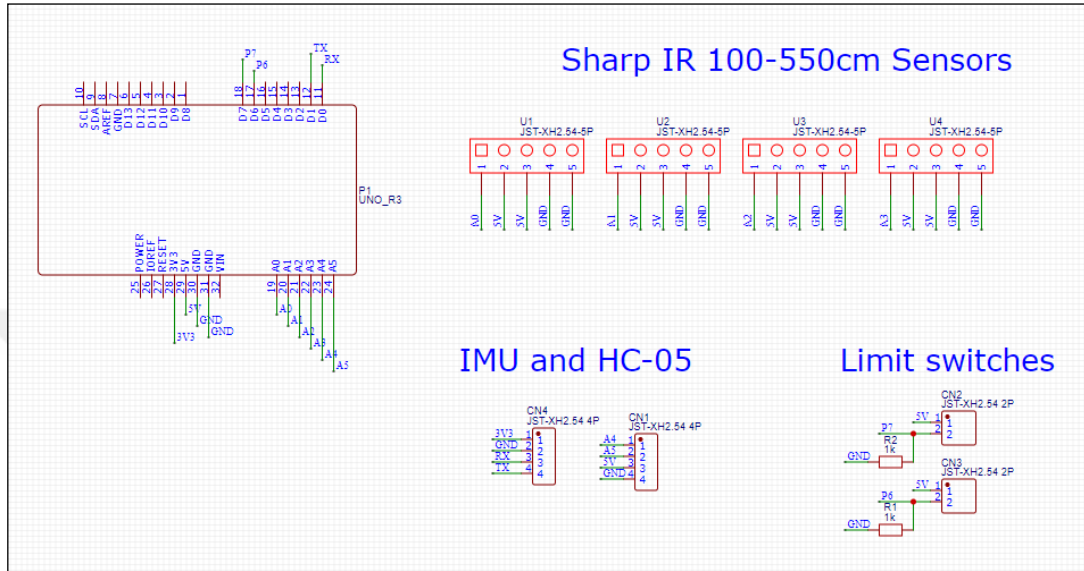
Şekil 3.45. IMU değerleri a) Hareket öncesi b) Hareket sonrası c) Kaydedilen X değerine göre otomatik hareket sonrası



Şekil 3.46. Ana programın arayüzü

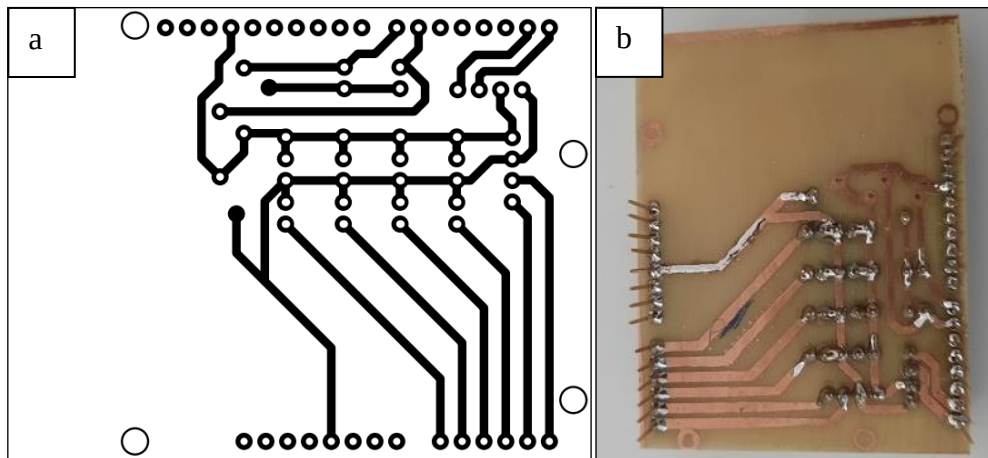
3.2.2.7. Baskı devre kartının oluşturulması

Baskı devre kartı tasarımı 1 adet Arduino UNO, 4 adet IR mesafe sensörü, 2 adet limit switch, 1 adet IMU sensörü ve 1 adet Bluetooth montajı yapılabilecek şekilde oluşturulmuştur. Kartın şematik çizimi için EasyEDA programı kullanılmıştır. Şekil 3.47’de baskı devre kartının şematik çizimi görülmektedir.



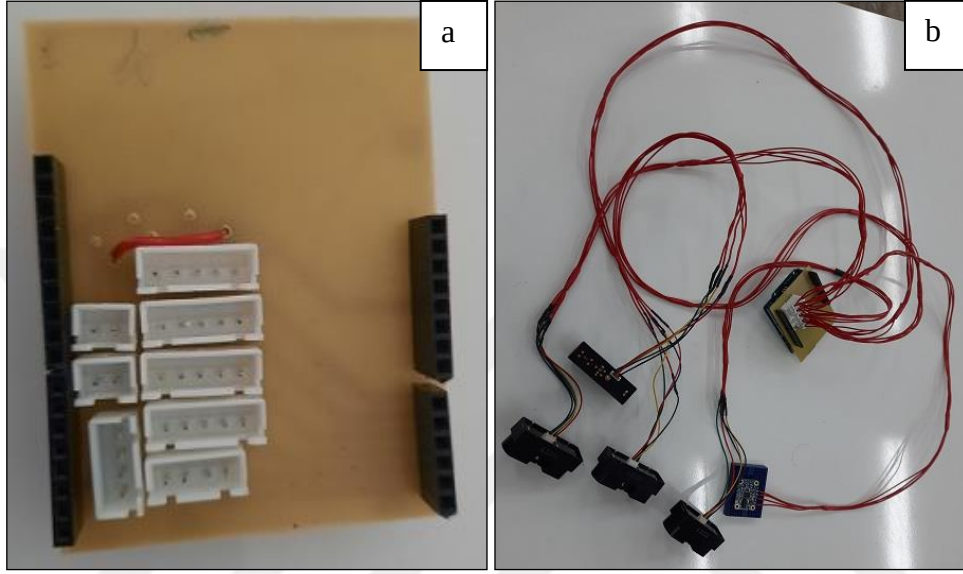
Şekil 3.47. Baskı devre kartı şematik çizimi

Baskı devre kartında JST-XH2.54 tipi erkek-dişi konnektörler kullanılmıştır. Limit switch’ler için 2 pinli, IMU ve Bluetooth modülü için 4 pinli, mesafe sensörleri için 5 pinli konnektörler kullanılmıştır. Kartın Arduino UNO’ya takılıp çıkarılabilir olması için headerlar bulunmaktadır. Baskı devre kartının çizimi ve çizime uyumlu görüntüsü Şekil 3.48’de verilmiştir.



Şekil 3.48. a) Baskı devre kartı çizimi b) Baskı devre kartı (alt görünüş)

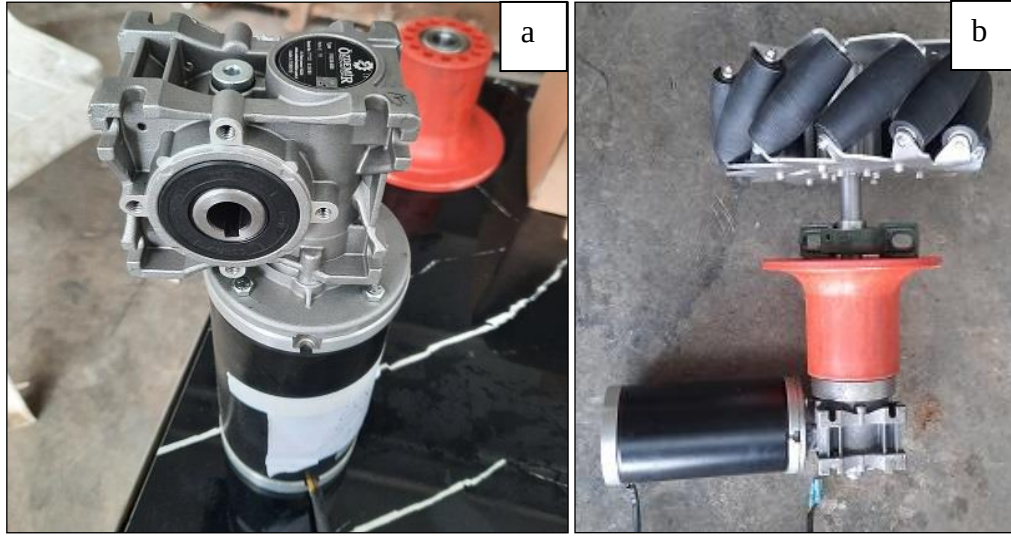
Baskı devre kartına mesafe sensörleri, limit switch'ler ve IMU sensörünün bağlanabilmesi için kabloların uzatılması gerekmiştir. Bu amaçla ek kablolar lehimlenerek kabloların uzatılması sağlanmıştır. Kablo dağınıklığı oluşmaması için ısıyla daralan makaron kablolar kullanılmıştır. Ayrıca sensörlerin kablo uçlarına dupont konnektörler monte edilmiştir. Dolayısıyla sensörler baskı devre kartına kolay monte edilebilecek şekilde ayarlanmıştır. Şekil 3.49'da baskı devre kartı (üst görünüş), 4 adet mesafe sensörü ve 1 adet IMU sensörünün montajlı hali görülmektedir.



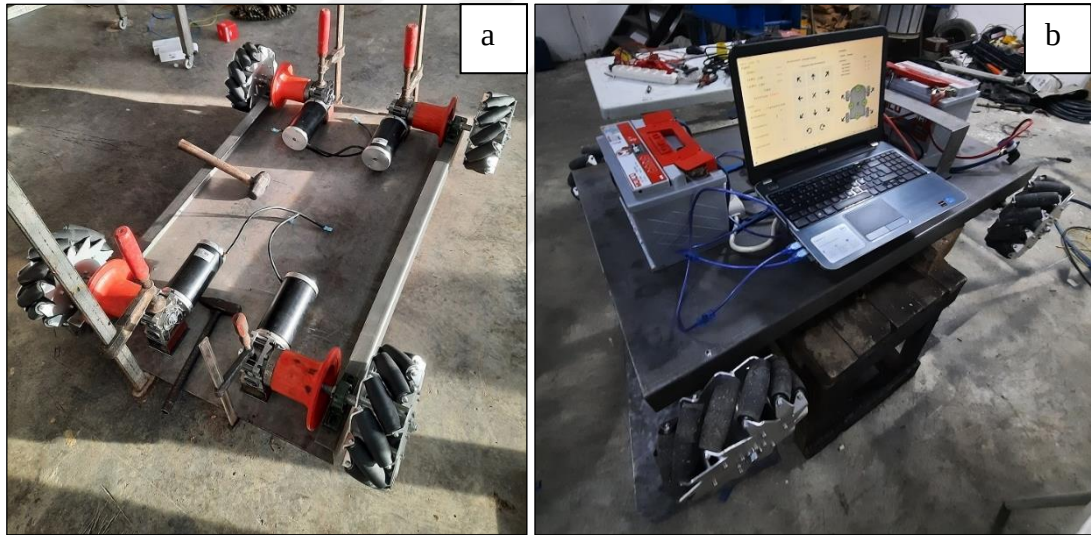
Şekil 3.49. a) Baskı devre kartı (üst görünüş) b) Mesafe sensörleri ve IMU sensörünün montajlı hali

3.2.2.8. Şase oluşturulması ve malzemelerin montajı

Mobil robotun imalatı ve denemeleri Antalya ili, Elmalı ilçesinde bulunan özel bir atölyede gerçekleştirilmiştir. Mobil robot platformunun malzemelerinin montajından önce şasenın oluşturulmasında sac malzemeler kullanılmıştır. Alt sac tabaka, üst sac tabaka, ön ve arka sac tabakalar şase için hazırlanmıştır. Üst sac tabaka mobil robot platformunun sol, üst ve sağ yanını kapsayacak şekilde bükülmüştür. Dört takım DC motor, redüktör, ray tekeri ve mekanum teker montajı yapılarak birleştirilmiştir. Redüktör ile ray tekeri montajının yapılabilmesi için aralarına 90 mm çaplı flanşlar kullanılmıştır (Şekil 3.50). Montaj işlemi mobil robot platformu ters çevrilerek başlamıştır. Alt sac tabakaya montajı yapılan 4 takım DC motor, redüktör, ray tekeri ve mekanum tekerler ve robot platformunun alt görünüşü Şekil 3.51a'da görülmektedir. Bu aşamadan sonra aküler ve DC motor kontrolörlerinin montajı yapılarak ana programa göre tekerlerin doğru hareket edip etmediği test edilmiştir. Şekil 3.51b'de bu amaçla oluşturulan test düzeneği görülmektedir.

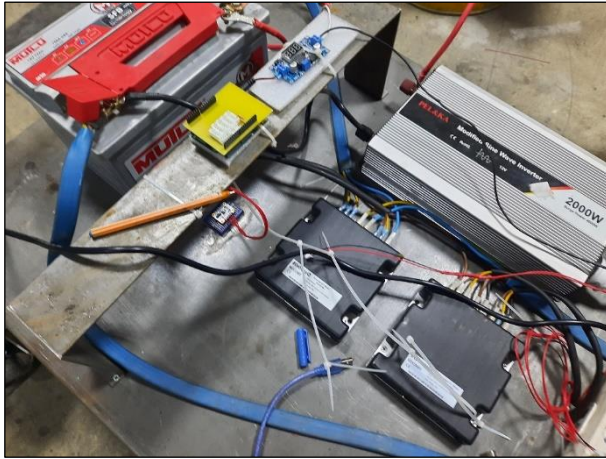


Şekil 3.50. a) DC motor ve redüktör montajı b) DC motor, redüktör, ray tekeri ve mekanum teker montajı



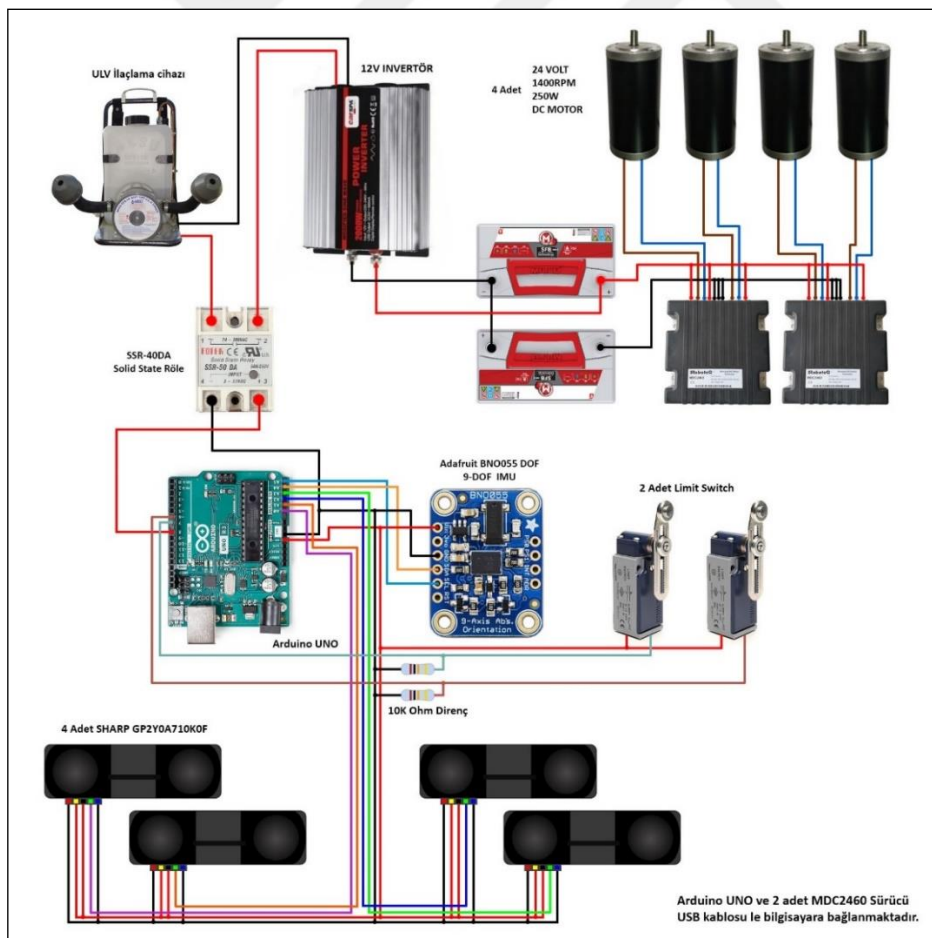
Şekil 3.51. a) Alt sac tabakaya ters konumdan montaj b) Tekerlerin çalışma kontrolü

Mobil robot platformunun montaj aşamasında iç görüntüsü Şekil 3.52'deki gibi verilmiştir.



Şekil 3.52. Mobil robot platformunun montaj aşamasında iç görünümü

Mobil robot platformunda 1 adet PC, 1 adet Arduino UNO, 1 adet ULN tipi pülverizatör, 1 adet inverter, 2 adet DC motor kontrolörü, 4 adet DC motor, 2 adet akü, 1 adet SSR röle, 1 adet IMU sensörü, 2 adet limit switch ve 4 adet IR mesafe sensörü bulunmaktadır. Bu malzemelerin bağlantı şeması Şekil 3.53'te verilmiştir. Arduino UNO ve 2 adet DC motor sürücüsü PC'ye USB portundan bağlanmaktadır.



Şekil 3.53. Elektrik-Elektronik parçalarının bağlantı şeması

3.2.2.9. Isıtma borularının montajı

Mobil robot platformu hem beton zemin üzerinde hem de ısıtma boruları üzerinde hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Isıtma boruları üzerinde hareketinin test edilebilmesi için 2 sıra 380 cm uzunluğunda ısıtma boruları montajı yapılmıştır. Aynı sıradaki 2 ısıtma borusu arası uzaklık merkezden merkeze 50 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Isıtma boruları 51 mm dış çapa sahiptir. Dolayısıyla 90 mm çapa sahip ray tekerleri ile üzerinde hareket edilmesine olanak tanımaktadır. Ölçülendirmede modern seralarda yaygın olarak bulunan ölçüler dikkate alınmıştır.

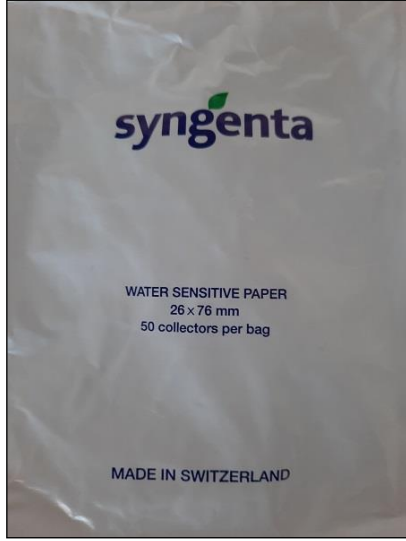
Mobil robot platformunun hareketi, sıra aralarında ray tekerleri, sıra arası geçişlerde ve diğer uygulamalarda mekanum tekerler ile sağlanmaktadır. Denemeler sırasında ray tekerlerinin devreye girmesi için sıra arasında bulunan borular belirli bir eğimden sonra yükseltilmiştir. Böylece mekanum tekerlerin zemin ile teması kesilerek ray tekerleri devreye girmektedir. Şekil 3.54'te ısıtma borularının montajlı hali görülmektedir.



Şekil 3.54. Isıtma borularının montajlı hali

3.2.2.10. Suya duyarlı kağıtlar ile yapılan deneme

Mobil robot platformu üzerine ULV tipi bir pülverizatör monte edilip ilaçlama yapılabilmektedir. İlaçlama etkinliği ile ilgili denemeler yapmak amacıyla suya duyarlı kağıtlar kullanılmıştır. Suya duyarlı kağıtlar, pülverizatörlerde kalibrasyon sürecinde işletme parametrelerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Sayıncı vd. 2019). Denemelerde suya duyarlı kağıtlar için Syngenta marka “Water Sensitive Paper-WSP” ürünü kullanılmıştır (Şekil 3.55). Paket içerisinde 50 adet 26 mm genişlik ve 76 mm uzunluk boyutlarında sarı renkli suya duyarlı kağıtlar bulunmaktadır. Sıvı damlacıklarının kağıt üzerinde temas ettikleri alanlar mavi renge dönüşmektedir. Bu sayede damla sayısı, yüzey kaplama oranı ve damla çap değerleri görüntü işleme programları ile belirlenebilmektedir.



Şekil 3.55. Suya duyarlı kağıt paketi (50'lik)

Suya duyarlı kağıtlar ile denemeler yapılabilmesi için yerden 125 cm yükseklikte duvardan duvara kaynak teli çekilmiştir. 2 farklı yükseklikte deneme yapılabilmesi için 30 cm aşağıya tel sarkıtılarak bu kısımlara da suya duyarlı kağıtlar yerleştirilmiştir. Bir sıranın soluna 4 adet ve sağına 4 adet olmak üzere toplam 8 adet suya duyarlı kağıt asılmıştır. Şekil 3.56'da farklı yükseklikte bulunan 2 adet suya duyarlı kağıt görülmektedir.



Şekil 3.56. Tele asılmış 2 adet suya duyarlı kağıdın görüntüsü

Koç vd. (2023) çalışmalarında, suya duyarlı kağıtların analizi için ImageJ programı kullanmışlardır. Bu çalışmada ise suya duyarlı kağıtların analizleri için ImageJ programına benzer bir program olan UTHSCA Image Tool 3.0 programı kullanılmıştır. Suya duyarlı kağıtların görüntüleri analiz programına aktarılmadan önce taratılıp bilgisayara aktarılması yapılmıştır. Kağıtların taranması sonucu elde edilen görüntü 8 bit derinliğe, 1200 dpi çözünürlüğe ve 10200 piksel x 14039 piksel (genişlik x yükseklik) özelliklere sahiptir. Yüksek çözünürlükte işlem yapılmasının nedeni, analiz programının daha yüksek çözünürlükte doğru sonuca daha yakın değerler verebilmesidir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

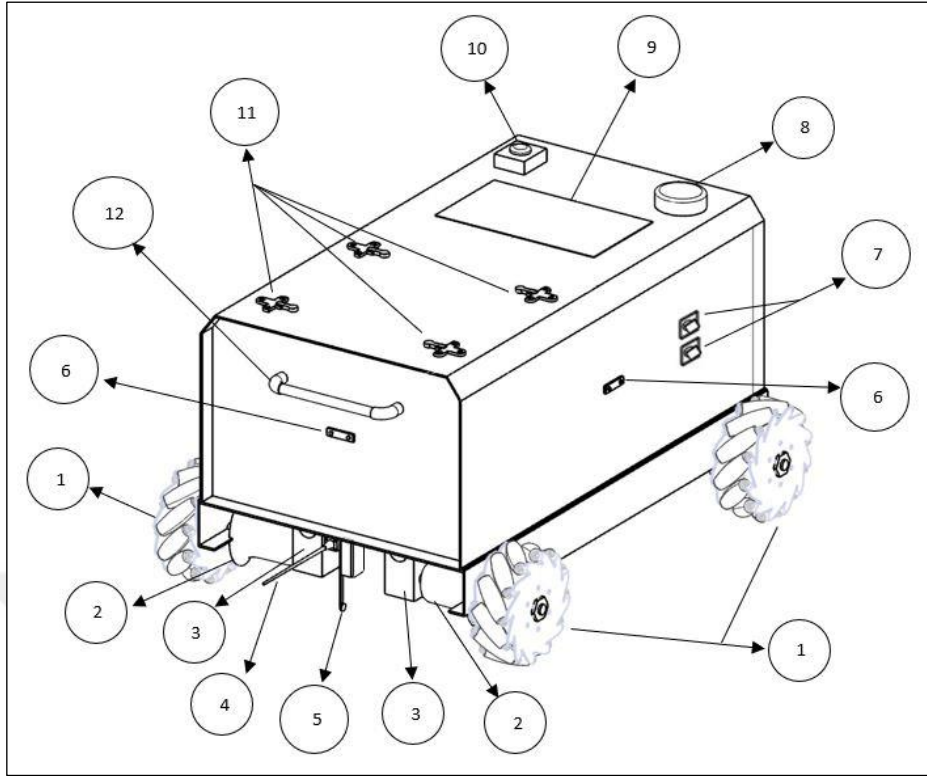
Araştırma kapsamında geliştirilen mobil robot platformu prototipinin, öncelikle hedeflendiği gibi sıra aralarında gidip gelme, sıra arası geçişlerin sağlanması, iki farklı zeminde çalışması, engeli görünce durması, ULV tipi pülverizatörün entegrasyonunun sağlanması işlemlerini gerçekleştirdiği görülmüştür. Araştırmada ayrıca çalışma alanının genişletilmesi amacıyla üzerine bir taşıma aparatı monte edilerek, robotun mevcut haliyle sera içi taşıma işlemlerinde de kullanılabileceği belirlenmiştir. Robot, manuel veya otomatik olarak kontrol edilebilmektedir.

Mobil robot manevra yapmadan istenilen herhangi bir yönde hareket edebilmektedir. Robot, mekanum tekerlekler üzerine inşa edilmiş olması nedeniyle tüm serbestlik derecelerinde hareket sağlayabilmektedir. Bu nedenle herhangi bir yönelim açısında manevra yapmadan hareket edebilen robot, holonomik robot sınıfında yer almaktadır (Choudhary vd. 2021; Özdemir, 2021). Geliştirilen robota ait bulgular ile ilgili konular aşağıda özetlenmiştir.

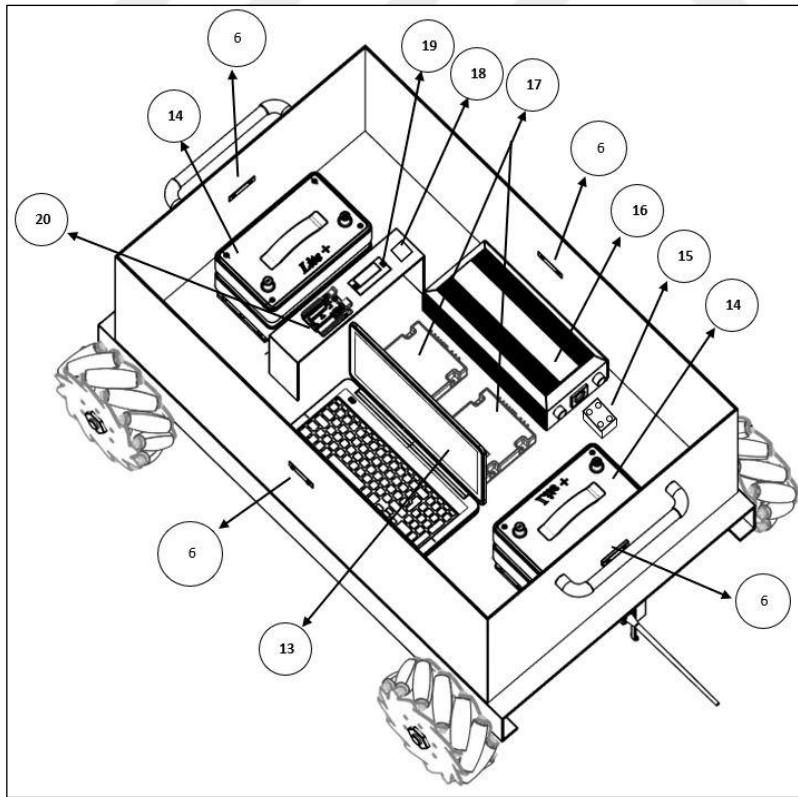
4.1. Mobil Robot Platformunun Genel Özellikleri

Mobil robot platformu prototipinde kullanılan temel parçaların dış, iç ve alt perspektif görünümü dikkate alınarak hazırlanan çizimleri sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekillerde belirtilen parça numaralarının açıklamaları aşağıdaki gibidir.

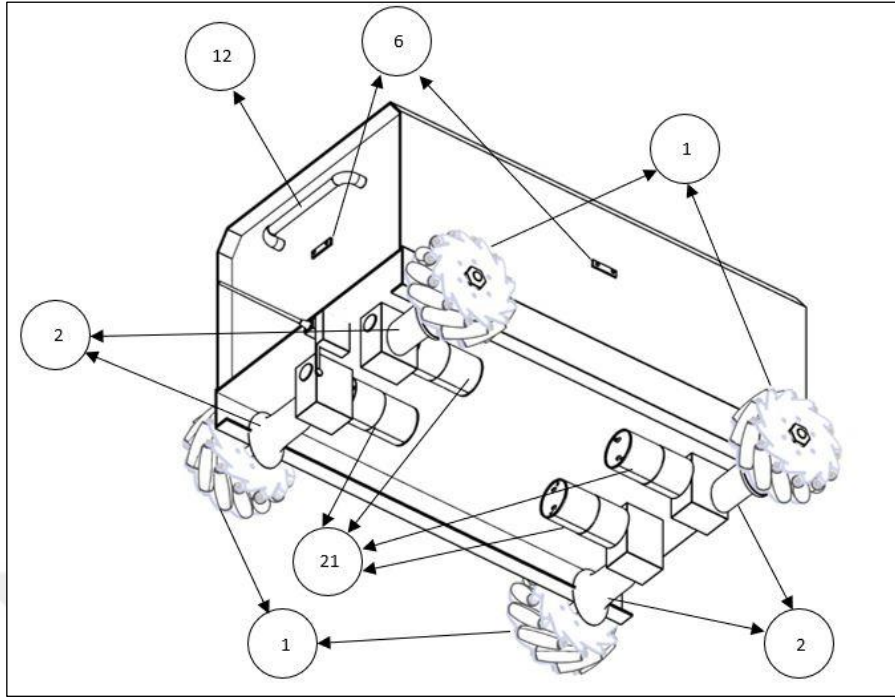
1. Mekanum tekerlek
2. Ray tekeri
3. Redüktör
4. Ön limit switch
5. Alt limit switch
6. IR mesafe sensörü
7. Pako şalter
8. Siren
9. Monitör
10. Acil stop butonu
11. Gergi mandalı
12. Tutamaç
13. Bilgisayar
14. Akü
15. SSR röle
16. İnvertör
17. DC motor kontrolörü
18. IMU sensörü
19. Voltaj regülatörü
20. Arduino UNO
21. DC motor



Şekil 4.1. Mobil robot platformunun dış görünüm-perspektif çizimi

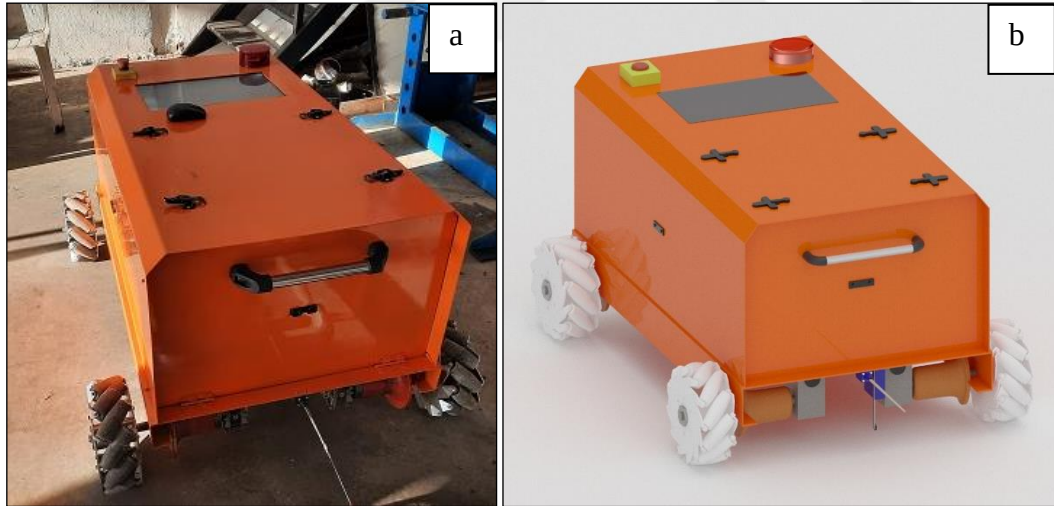


Şekil 4.2. Mobil robot platformunun iç görünüm-perspektif çizimi

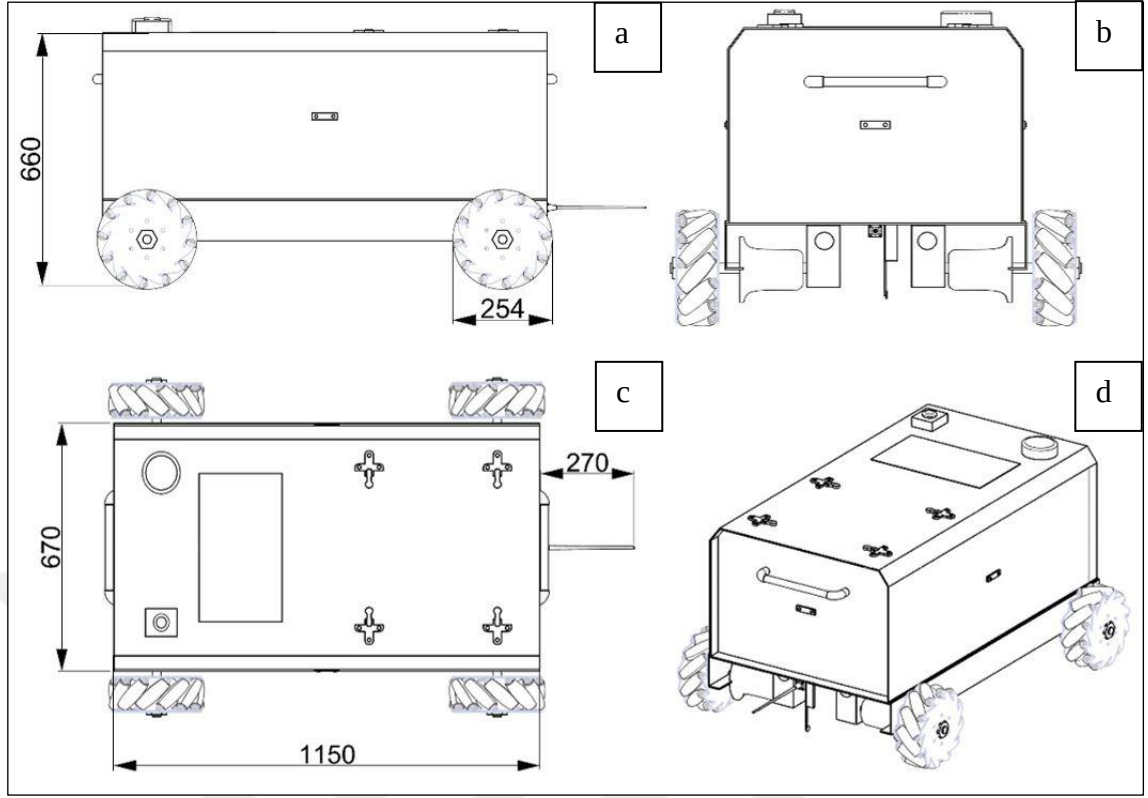


Şekil 4.3. Mobil robot platformunun alt perspektif çizimi

Mobil robot platformunun tüm parçalarının montajlanmış hali Şekil 4.4a, katı model çizimi Şekil 4.4b’de ve genel ölçüleri Şekil 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.4. a) Mobil robot platformunun son hali **b)** Katı model çizimi



Şekil 4.5. Mobil robot platformu görüşleri a) Yan görüş b) Ön görüş c) Üst görüş d) Perspektif görüş

4.2. Mobil Robot Platformunun Teknik Özellikleri

Araştırma kapsamında geliştirilen robot prototipinin teknik özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Mobil robot platformunun teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Birim	Miktar / Açıklama
<i>Motor Özellikleri</i>		
Motor tipi	-	DC
Motor Voltajı	V	24
Motor Gücü	W	250W
Motor Sayısı	adet	4
<i>Teker Özellikleri</i>		
Ray tekeri (sıra aralarında hareket için)	adet	4
Ray tekeri çapı	mm	90
Mekanum teker (beton zemin için)	adet	4
Mekanum teker çapı	mm	254
<i>Maksimum Hız</i>		
Isıtma boruları üzeri (Ray Teker)	m/s	0.44
Beton zemin üzeri (Mekanum teker)	m/s	1.24
<i>Genel Özellikler</i>		
Toplam genişlik	mm	670
Toplam uzunluk	mm	1150
Toplam yükseklik	mm	660
Kütle	kg	145
<i>Elektrik/Elektronik Özellikler</i>		
Akü	V, Ah	12, 72
Akü	adet	2
Ana kontrolör tipi	-	Bilgisayar
Alt kontrolör tipi	-	Arduino
Mesafe sensörü	adet	4
Limit switch	adet	2
IMU sensörü	adet	1
Şalter	adet	2
Monitör	adet	1
Siren	adet	1
Kontrol	-	Manuel veya uzaktan
<i>Entegre edilmiş sistem</i>		
ULV tipi pülverizatör	adet	1
Taşıma aparatı	adet	1

Çizelge 4.1’de görülen mobil robot prototipinin genel ve teknik özellikleri, araştırmada tespit edilen mevcut özelliklerdir. Gelecekte yapılacak iyileştirme ve geliştirme çalışmaları ile belirtilen özelliklerin değişme potansiyeli bulunmaktadır.

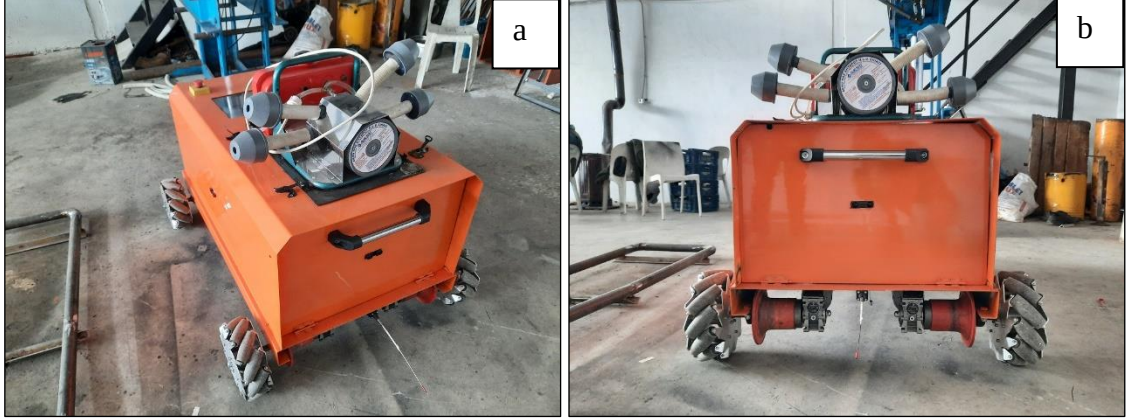
Türkiye’de seralar için geliştirilen robotlar konusunda araştırma ve ticari amaçlı yapılan sınırlı sayıda çalışmaya rastlanılmıştır. Durmuş vd. (2016), seralarda toprak zeminde hareket eden bir robot üzerine çalışmışlardır. Modern seralar için ilaçlama işlemlerine yönelik geliştirilen üç adet robot, sıra aralarında ısıtma boruları üzerinde hareket edecek şekilde tasarlanmıştır (Anonim 4, 2023; Anonim 5, 2023; Anonim 6, 2023). Bu çalışmada geliştirilen holonomik robot platformunu diğer çalışmalardan ayıran başlıca özelliğin ve yenilikçi yönün, sıralar arası geçişlerin otomatik olarak yapılabiliyor olmasıdır.

4.3. Mobil Robot Platformuna ULV tipi Pülverizatör ve Taşıma Aparatının Entegre Edilmesi

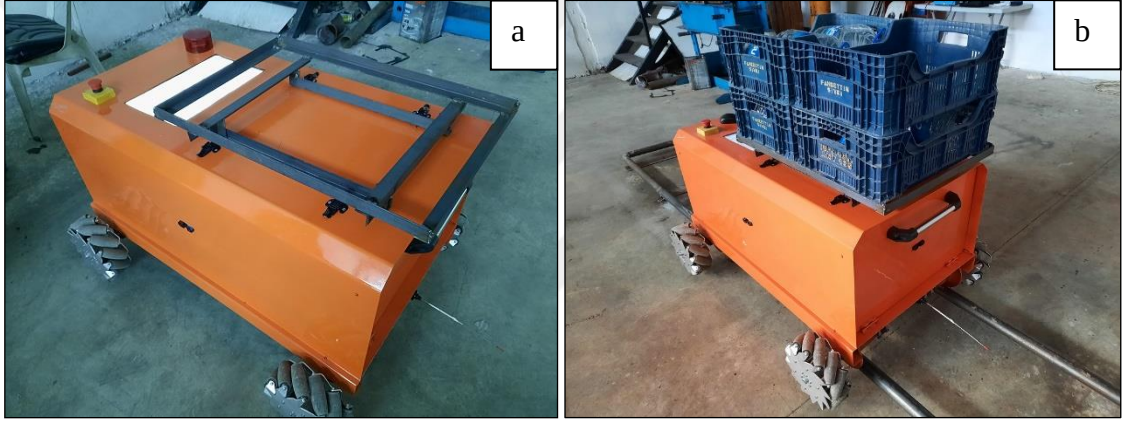
Mobil robot platformu, üzerine montajı yapılmış olan gergi mandalları sayesinde ULV tipi bir pülverizatör ve taşıma aparatı monte edilebilecek şekilde üretilmiştir.

ULV tipi pülverizatör, mobil robot üzerine gergi mandalları ile kolay bir şekilde (herhangi bir el aletine gerek kalmadan) sökülüp takılabilmektedir. Robot üzerinde yer alan pülverizatör, manuel veya otomatik kontrol edilerek ilaçlama işlemi yapılabilmektedir. Şekil 4.6’da mobil robot platformuna ULV tipi pülverizatörün monte edilmiş hali verilmiştir.

Platformun üzerine, pülverizatörün yerleştirildiği yere (pülverizatör sökülerek) taşıma işlemlerinde kullanılmak üzere 52 cm x 74 cm boyutlarında bir aparat monte edilebilmektedir. Aparatın ölçülendirilmesinde sebze ve meyvelerin taşınmasında yaygın olarak kullanılan plastik kasa ölçüleri (37 cm x 52 cm) dikkate alınmıştır. Taşıma aparatının robotun üzerine monte edilmiş şekli Şekil 4.7’de görülmektedir. Denemeler sırasında robotun üzerine 4 kasaya toplam 40 kg yüklenerek sıra aralarında ve beton zeminde başarılı bir şekilde taşıma yaptığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. ULV tipi pülverizatörün montajlı hali **a)** Perspektif görünüş **b)** Ön görünüş



Şekil 4.7. a) Taşıma aparatı **b)** Kasaların ısıtma boruları üzerinde taşınması

4.4. Suyu Duyarlı Kağıtlar ile ULV Denemesi

Araştırma kapsamında mobil robot ile ULV tipi pülverizatörün çalıştırılmasına ve pülverizasyon ile ilgili bazı verilerin elde edilmesine yönelik yapılan ve suya duyarlı kağıtların kullanıldığı deneme ile ilgili görüntü Şekil 4.8'de verilmiştir. Denemelerdeki örnek bir suya duyarlı kağıdın görüntüsü Şekil 4.9'da görülmektedir.

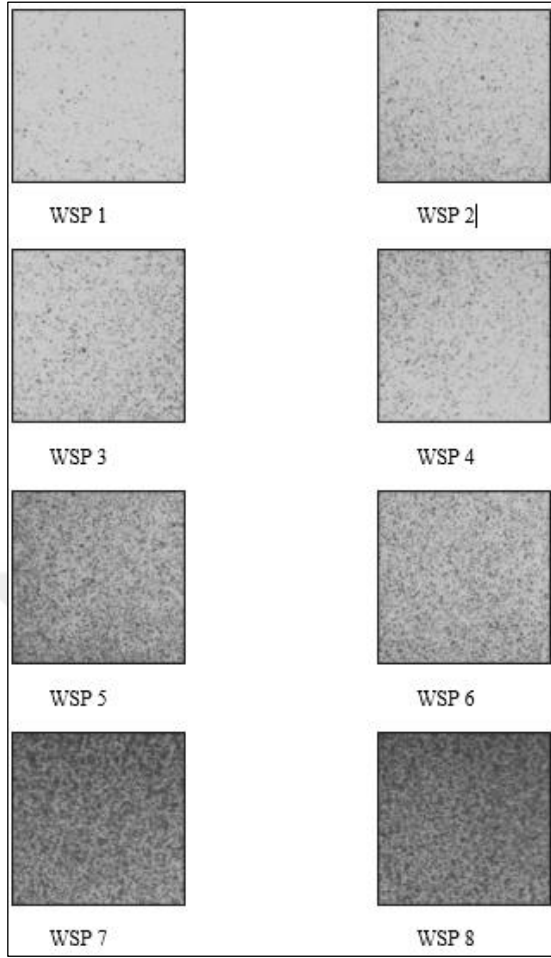


Şekil 4.8. Mobil robotun denemeler sırasında ULV tipi pülverizatör ile çalışması



Şekil 4.9. Tele asılmış suya duyarlı kağıdın ilaçlama sonrası görüntüsü

İlaçlama işlemleri sırasında mobil robot platformu raylar üzerinde 0.22 m/s hızla ilerlemiştir. Denemelerde, ölçümler için suya duyarlı kağıtlar üzerindeki 2 cm x 2 cm'lik bölümler dikkate alınmıştır. Ölçümlerde dikkate alınan suya duyarlı kağıtların görüntüsü Şekil 4.10'da verilmiştir. Suya duyarlı kağıtlarda belirlenen damlacık sayısı, kaplama oranı ve hacimsel ortalama çap (Volume Mean Diameter-VMD) değerleri Çizelge 4.2'de yer almaktadır.



Şekil 4.10. Suya duyarlı kağıtların taratılması sonucu elde edilen veriler

Çizelge 4.2. Suyarlı Duyarlı Kağıtların analiz değerleri

Taraf	Suya Duyarlı Kağıt No	Damlacık Sayısı (adet)	Kaplama Oranı (%)	Hacimsel Ortalama Çap (VMD) (μm)
Sağ	1	960	3.15	169.68
	2	2885	15.82	220.71
	3	2590	20.28	254.58
	4	1376	54.88	447.47
Sol	1	1461	5.25	178.17
	2	2733	10.07	185.28
	3	1788	17.11	287.36
	4	573	55.43	562.23

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi farklı debilerde sağ ve sol tarafta aynı numaralı suya duyarlı kağıtlarda birbirine yakın büyüklükte damla çapları oluşmuştur. Elde edilen damla çaplarının ULV tipi pülverizatörlerde normal çalışma değerlerine göre daha yüksek

olduğu söylenebilir. Belirtilen farklılıkların bu çalışmada dikkate alınan yüksek debi değerlerinden kaynaklandığı söylenebilir.

4.5. Mobil Robot Platformunun Üretim Maliyeti

Mobil robotun üretilmesi sırasında kullanılan malzeme ve işçilik giderlerine ait maliyet değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Mobil robot platformunun üretim maliyeti

S.N.	Gider Kalemi	Birim Fiyat		Adet	Toplam Fiyat		
		TL	\$*		TL	\$*	%
1	DC Motor Kontrolörü	19500	722.7	2	39000	1445.3	17.42
2	ULV Tipi Pülverizatör	38720	1435.0	1	38720	1435.0	17.29
3	Mekanum Tekerler	9500	352.1	4	38000	1408.3	16.97
4	Bilgisayar	20000	741.2	1	20000	741.2	8.93
5	DC Motor	2500	92.7	4	10000	370.6	4.47
6	İnvertör	5000	185.3	1	5000	185.3	2.23
7	Redüktör	1250	46.3	4	5000	185.3	2.23
8	Akü	1900	70.4	2	3800	140.8	1.70
9	IR Mesafe Sensörü	800	29.6	4	3200	118.6	1.43
10	Ray Teker	550	20.4	4	2200	81.5	0.98
11	Akü Şarj Cihazı	2000	74.1	1	2000	74.1	0.89
12	IMU Sensörü	1300	48.2	1	1300	48.2	0.58
13	Arduino UNO	900	33.4	1	900	33.4	0.40
14	Limit Switch	175	6.5	2	350	13.0	0.16
15	Montaj Kablosu (100 m'lik)	300	11.1	1	300	11.1	0.13
16	Pako Şalter	145	5.4	2	290	10.7	0.13
17	Erkek-Dişi Konnektör Seti	250	9.3	1	250	9.3	0.11
18	Röle (40 A)	120	4.4	1	120	4.4	0.05
19	Usb Yazıcı Kablosu	30	1.1	3	90	3.3	0.04
20	Kablo Ucu	6	0.2	15	90	3.3	0.04
21	Voltaj Regülatör Kartı	80	3.0	1	80	3.0	0.04
22	Baskı Devre Kalemi	75	2.8	1	75	2.8	0.03
23	Makaron Kablo (2 m)	50	1.9	1	50	1.9	0.02
24	Bakır Plaket	40	1.5	1	40	1.5	0.02
25	Header	5	0.2	8	40	1.5	0.02
26	Şase Malzemeleri	15000	555.9	1	15000	555.9	6.70
27	İşçilik	38000	1408.3	1	38000	1408.3	16.97
	Toplam	158196	5862.8	-	223895	8297.7	100.00

* 21.07.2023 tarihli Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası ABD Doları Efektif satış değeri 26.9832 TL

Araştırmada geliştirilen mobil robotun imalatı aşamalarında, işçilik dahil toplam 27 gider kalemi oluşmuştur. Günümüz fiyatları ile belirtilen kalemlerin toplam maliyeti 223895 TL'dir. Belirlenen fiyatların güncelliğini koruması için hesaplanan maliyetin ABD para birimi ile karşılığı 8297.7 \$'dır. Toplam miktarın yaklaşık %70'ini DC motor kontrolörleri, ULV tipi pülverizatör, mekanum tekerler ve işçilik kalemleri oluşturmaktadır. Belirtilen gider kalemlerinin toplam giderler içerisindeki payları birbirine yakındır (%16.97-%17.42). Sistemin kontrolünün sağlandığı bilgisayarın payı %8.93, yürüyüş sistemini hareketlendiren DC motorların payı ise %4.47 düzeyindedir. Diğer gider kalemlerinin payları yaklaşık %2 ve daha düşük düzeylerde dir.

Teknolojik uygulamalar nedeniyle modern sera yetiştiriciliği sermaye yoğun bir üretim şeklidir. Aynı zamanda üretim sezonu boyunca bitkilere uygulanan farklı ve tekrarlı işlemler nedeniyle yoğun emek gerektirmektedir. Çanakçı ve Akıncı (2007), çalışmalarında sebze üretilen modern sera işletmelerinde her 1 da için yaklaşık ortalama 1 çalışanın sürekli istihdam edildiğini bildirmişlerdir. Yılda 50 hafta çalışıldığı ve haftalık çalışma saati olarak 45 saat dikkate alınırsa 1 da'lık bir sera alanı için yılda toplam 2250 saatlik çalışma süresi hesaplanmaktadır. Çalışanlar yıl içerisinde dikim, bakım, ilaçlama, hasat, temizlik, taşıma vb. birçok faaliyeti gerçekleştirmektedirler. Bu işlemlerin çoğunun kas gücü gerektirmesinin yanında, işçilerin iş sağlığı ve güvenliği (kas iskelet sistemi rahatsızlıkları, kimyasallara maruz kalma, yüksekte çalışma, biyolojik tozlar vb.) açısından farklı konularda maruziyetleri söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle seralarda robot kullanımının artması ile kas gücüne olan ihtiyacın azalması yanında çalışanlara daha konforlu ve daha güvenli ortamların sunulması beklenmektedir. Kullanılacak yeni teknolojilerde fayda sağlamanın yanında ilk yatırım ve işletme maliyetleri dikkate alınmalıdır.

Çalışma kapsamında hesaplanan üretim maliyetleri robot prototipinin geliştirilmesi sırasında araştırma kapsamında karşılanmış maliyetlerdir. Bu tip çalışmaların ticari ürüne dönüşmesi ve seri olarak üretilmesi ile bazı maliyet kalemlerinin azalması beklenir. Ancak, seri üretilmesi durumunda vergiler, nakliye, tanıtım vb. farklı gider kalemlerinin yanında işletme karı da dikkate alındığında satış fiyatının farklı olacağı tahmin edilmektedir. Bu çalışmada, araştırma konusu olan robotun geliştirilmesi ön plana alındığı için ticari ürün haline gelmesi ve kullanımı sırasındaki maliyet hesaplamaları yapılamamıştır. Ancak Çizelge 4.2'de verilen değerlerin araştırmacılara ve ilgililere bir fikir vermesi beklenmektedir. Sonraki çalışmalarda ticari ürün olarak gerçekleşmesi ve seralarda kullanımı durumunda işletmeciler için karşılanması gereken sabit ve değişken giderler robotların yıllık kullanım süreleri de dikkate alınarak hesaplanabilir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada modern seralarda çalışabilecek bir mobil robot prototipi geliştirilmiştir. Mobil robot sıra aralarında raylar üzerinde ve beton zeminde ilerleyebilmekte, sıra aralarında bağımsız olarak hareket edebilmektedir. Hem düz zeminde hem de ısıtma boruları üzerinde hareket edebilecek şekilde tasarlanan mobil robot platformu 4 adet mekanum tekerlek ve 4 adet ray tekerine sahiptir. Robot, üzerinde mekanum tekerlerin yer alması nedeniyle holonomik bir robottur. Ray tekerleri ve mekanum tekerlerin aynı eksene monte edilmesi nedeniyle 4 adet DC motor ile 8 adet tekerlek kontrolü yapılmıştır. Mekanum tekerlerin çapı 254 mm ve ray tekerlerinin çapı 90 mm'dir. Bu nedenle tekerleri ısıtma boruları üzerinde hareket ederken mekanum tekerler devre dışı kalmaktadır. Benzer şekilde beton zeminde hareket esnasında mekanum tekerler zemine temas ederken ray tekerler boşta kalmaktadır.

Çalışmada öncelikle ön prototip bir robot üretilmiştir. Elde edilen tecrübeler dikkate alınarak ana mobil robot platformunun üretim süreçleri tamamlanmıştır.

Robot toplam 10 farklı hareket yönünde (sol ileri, ileri, sağ ileri, sağ, sağ geri, geri, sol geri, sol, saat yönünde kendi etrafında dönme ve saat yönünün tersi kendi etrafında dönme) dönebilmektedir. Mobil robot platformunda 1 adet PC ve 1 adet Arduino UNO olmak üzere iki adet kontrol ünitesi bulunmaktadır.

Robotun, sıra arası geçişleri limit switchler veya belirlenen süreler dikkate alınarak yapılabilmektedir. Robotun üzerinde çalışma sırasında önüne çıkan engelleri algılayan mesafe sensörleri bulunmaktadır.

Mobil robotun manuel ve otomatik kontrol olmak üzere 2 adet kontrol yöntemi bulunmaktadır. Manuel kontrolde 10 hareket yönü, hızlanma ve yavaşlama yapılabilmektedir. Otomatik kontrolde ise kaç sıra hareket yapılabileceği, sıra çıkışı hareketin sola doğru mu veya sağa doğru mu olacağı, ULV ilaçlamasının sıra içerisinde ileri harekette mi geri harekette mi yapılacağı, bir sonraki sıraya hizalamanın ön limit switch ile mi yoksa süre ile mi olacağı, ULV ilaçlamasının yapılıp yapılmayacağı ayarlanabilmektedir. Otomatik kontrolde kullanıcı ilk ayarlamaları yaptıktan sonra Başlat butonuna basmaktadır ve mobil robot platformu belirtilen sıra kadar otomatik hareketini yapıp durmaktadır.

Mobil robot platformunun yazılım arayüzü Visual C#.NET programında yazılmıştır. Kullanıcı arayüzden ayarlamaları yapabildiği gibi hareket halindeyken sensörlerin bilgisini ve hareket yön bilgisini izleyebilmektedir.

Mobil robot platformunun uzunluğu 115 cm, yerden yüksekliği 66 cm ve tekerlekten tekerleğe genişliği ise 95 cm olacak şekilde imal edilmiştir.

Robot platformu ULV tipi pülverizatör ile entegre edilerek ilaçlama işlemlerinde, bir aparat takılarak meyve sebze kasalarının taşınması işlemlerinde kullanılabilecek şekilde geliştirilmiştir. Üzerinde bulunan gergi mandalları sayesinde, ULV tipi pülverizatör veya meyve sebze kasası aparatı kolayca takılıp çıkarılabilmektedir. Denemelerde mobil robot prototipinin ULV tipi pülverizatörü çalıştırdığı ve hem beton zeminde hem de ısıtma boruları üzerinde taşıma işlemini yaptığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada düz zeminde hareket için mekanum tekerleklerden, ısıtma borularındaki hareket için ray tekerlerinden faydalanılmıştır. Her iki teker türünün aynı anda tahrik alabilmesi için aynı eksen üzerine montajları yapılmıştır. Mekanum tekerler ile her yöne dönüş hareketi manevra yapılmadan sağlanabilmektedir. Bu nedenle robotun hareket kabiliyetinin geliştirilmesi aşamalarında, beklenildiği gibi holonomik olmayan robotlara göre üretim sürecinde zorluklar yaşanmıştır. Mekanik tasarımı aşamalarında, ısıtma borularının genişliği sabit olması kısıtı da çalışmada güçlükler neden olmuştur.

Çalışmada ULV tipi bir pülverizatör kullanılması, mobil robot platformundaki elektronik cihazların ilaçlamadan etkilenmeyecek şekilde korunaklı olmasını gerektirmiştir. Bu gereklilik sınıfının olmadığı ortamlarda çalışacak mobil robotlarda gerekli olmayan bir durumdur. Kapsamı geniş olan çalışmanın her aşamasında, farklı alternatiflerin araştırılması ve denenmesi gerektirmiştir. Yazılım, elektrik, elektronik, donanım, mekanik olarak öngörülenden daha fazla zorlukla karşılaşılmasına rağmen istenilen hedeflere ulaşılmıştır.

Multidisipliner bir çalışma olan bu araştırma, yazılım, donanım, makina imalatı, elektrik, elektronik, tarım makineleri, makina tasarımı konularını kapsamaktadır. Bu çalışmanın literatüre hem yazılım hem tasarım hem de donanım olarak özgün bir değer sağladığı düşünülmektedir. Çalışmanın bu alandaki araştırmacılara katkı sağlaması öngörülmektedir.

Sera yetiştiriciliğinde yüksek teknolojik düzeye sahip araçların kullanımına olan ihtiyaç ve gelişmeler dikkate alındığında bu alanda daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu düşünülmektedir. Robotun mevcut durumda ticarileşme potansiyelinin bulunduğu öngörülmektedir. Bu nedenle ülkemiz tarımında teknolojik uygulamalara yönelik faaliyetlerin arttığı bu dönemde yerli ve milli teknolojilerin geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir. Sonraki çalışmalarda robotun modern seralarda pratik koşullarda performans değerleri ile çalışma sınır değerleri belirlenmeli ve kinematik analizleri yapılmalıdır. Geliştirilen robot platformu prototipi ile ilgili gelecekte yapılabilecek çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Çalışmanın kapsamı, seralarda yapılan diğer tarımsal işlemleri de kapsayacak şekilde genişletilebilir. ROS (Robotic Operating System) konusunun bu sisteme adaptasyonu, kamera sisteminin entegrasyonu ve görüntü işleme teknikleri sayesinde kamera verilerine göre hareketin sağlanması yapılabilir.

Donanım olarak süspansiyon sistemi gibi bir sistem ile daha stabil bir mobil robot platformu oluşturulabilir.

Robotun çalışma sırasında devrilmesi durumunda siren ya da bir uyarı mekanizması (mesaj iletilmesi vb.) ile durumun ilgililere bildirilmesine yönelik çalışmalar yürütülebilir.

ULV tipi pülverizatör deposunda ilaç bittikten sonra uyarı verecek bir sistem eklenebilir.

Robotun joystick ile kullanılması sağlanarak kullanıcıya farklı kontrol seçenekleri sunulabilir.

Modern seralarda yapılan işlemler dikkate alınarak, robotun çalışan takibi yapabilmesine yönelik araştırmalar yapılabilir.

Robota, verilen görevleri tamamladıktan sonra belirlenen istasyona kendiliğinden dönebilmesi özelliği kazandırılabilir.



6. KAYNAKLAR

Anonim 1: Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). “Örtü Altı Tarım Alanları”.

<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo?p=0AHqDOE78GFWCusx6pX0FpCUyYA3xxLn5einpaSQoXAAhBbZDUqWX6c41lkzZEkg> [Son erişim tarihi: 25.05.2023].

Anonim 2: ROTAM. Robot Teknolojileri Uygulama Ve Araştırma Merkezi. Atılım Üniversitesi.

<https://web.archive.org/web/20130124040650/http://library.atilim.edu.tr/kurumsal/pdfs/100430-sunum.pdf> [Son erişim tarihi: 30.06.2021].

Anonim 3: TÜBİTAK. TÜBİTAK 2022-2023 Ar-Ge ve Yenilik Konu Başlıkları. https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/18842/ar-ge_ve_yenilik_konu_basliklari_4.08.22.pdf [Son erişim tarihi: 14.06.2023].

Anonim 4: Seraymak. <https://www.seraymak.com/oim-01-otomatik-ilaclama-makinasi> [Son erişim tarihi: 19.06.2023].

Anonim 5: Blm Mekatronik.

https://www.blmmekatronik.com/images/urunlerimiz/sr_02_brosur.pdf [Son erişim tarihi: 19.06.2023].

Anonim 6: Tarla Sera. <https://www.tarlasera.com/haber-11739-yerli-ilaclama-robotu-sahaya-indi> [Son erişim tarihi: 19.06.2023].

Anonymous 1: Wanjet. S55 Spray Robot Fully Automatic.

<https://www.plantech.ca/site/wanjet-greenhouse-spray-robotics> [Son erişim tarihi: 16.06.2023].

Anonymous 2: FPHU Maryniaczyk. <https://maryniaczyk.com/greenhouse-equipment/automatic-greenhouse-sprayer-and-gutter-cleaner/> [Son erişim tarihi: 19.06.2023].

Anonymous 3: Berg Hortimotive. <https://berghortimotive.com/en/crop-protection/meto-swt> [Son erişim tarihi: 19.06.2023].

Anonymous 4: Micothon. <https://micothon.nl/crop-protection/spraying-robots/> [Son erişim tarihi: 19.06.2023].

Anonymous 5: AIS (Advanced Intelligent Systems). <https://www.ai-systems.ca/phoenix/> [Son erişim tarihi: 19.06.2023].

Anonymous 6: Arduino Online Shop. <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3> [Son erişim tarihi: 19.06.2023].

Anonymous 7: Arduino Online Shop. <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3> [Son erişim tarihi: 19.06.2023].

Choudhary, A., Kobayashi, Y., Arjonilla, F. J., Nagasaka, S., Koike, M. 2021. Evaluation of mapping and path planning for non-holonomic mobile robot navigation in narrow pathway for agricultural application. 2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp. 17-22, 11-14 January 2021, Fukushima, Japan.

Çanakcı, M. 2005. Antalya İli Sera Sebzeçiliğinde Mekanizasyon İşletmeciliği

- Verilerinin Belirlenmesi ve Optimum Seçim Modellerinin Oluşturulması Üzerine Bir Araştırma. Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 168 s.
- Çanakcı, M. ve Akıncı, İ., 2007. Antalya İli Sera Sebze Yetiştiriciliğinde Modern Ve Geleneksel Sera İşletmelerinin Kıyaslanması, Tarımsal Mekanizasyon 24. Ulusal Kongresi, ss.54-61, 5-6 Eylül 2007, Kahramanmaraş, Türkiye.
- Çanakcı, M., Çağlayan N., Emeli N.Y. ve Topakci M., 2011. Modern Sera Teknolojileri ve Türkiye'deki Uygulamaları, ss.1-14, no.144, 27-30 Eylül 2011, 2011 Yılı Bahçe Bitkileri Grubu Bölge Bilgi Alışveriş Toplantısı, Denizli, Türkiye.
- Çanakcı, M. ve Yıldız E., 2013. Sera Üretim Mekanizasyonunda Robotik Uygulamalar: Literatür Çalışması, 28. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, ss.269-281, 4-6 Eylül 2013, Konya, Türkiye.
- Çin, E. 2015. Çok Yönlü Hareket Edebilen Forklift Prototipi İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Çorum, 76 s.
- Durmuş, H., Güneş, E. O. ve Kırıcı, M. (2016). Data acquisition from greenhouses by using autonomous mobile robot. 2016 Fifth International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics), pp. 1-5, 18-20 July 2016, Tianjin, China.
- Gao, G., Qin, Q. and Chen, S. 2017. Turning control of a mobile robot for greenhouse spraying based on dynamic sliding mode control. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 14(6), 1-10.
- Grimstad, L. Zakaria, R. Le, T. D. and From, P. J. 2018. A Novel Autonomous Robot for Greenhouse Applications. 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 1-9, 1-5 October 2018, Madrid, Spain.
- Harik, E. H. C. and Korsath, A. 2018. Combining Hector SLAM and Artificial Potential Field for Autonomous Navigation Inside a Greenhouse. *Robotics*, 7, no. 2:22.
- János, S. and Matijevics, I. 2010. Implementation of potential field method for mobile robot navigation in greenhouse environment with WSN support. IEEE 8th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, pp. 319-323, 10-11 September 2010, Subotica, Serbia.
- Kashiwazaki, K., Suguhara, Y., Iwasaki, J., Kosuge, K., Kumazawa, S. and Yamashita, T., 2010. Greenhouse Partner Robot System. 41st International Symposium on and 6th German Conference on Robotics (ISR/ROBOTIK), pp. 1-8, 7-9 June 2010, Munich, Germany.
- Koç, C., Duran, H., and Gerdan Koc, D., 2023. Orchard Sprayer Design for Precision Pesticide Application. *Erwerbs-Obstbau*.
- Liu, X., Yuan, J. and Wang K. 2006. A Problem-Specific Genetic Algorithm for Path Planning of Mobile Robot in Greenhouse. International Conference on Programming Languages for Manufacturing (PROLAMAT), pp. 211-216, 15-17 June 2006, Shanghai, China.
- Mandow, A., Gomez-de-Gabriel, J. M., Martinez, J. L., Munoz, V. F., Ollero, A. and Garcia-Cerezo, A. (1996). The autonomous mobile robot AURORA for greenhouse operation. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 3(4), 18-28.
- Mosalanejad, H., Minaei, S., Borghei, A., Farzaneh, B. 2021. Navigation, Validation and

- Evaluation of Four-Wheeled Robot for Greenhouse Spraying. *Inmateh Agricultural Engineering*, 63(1), 169-178.
- Masoudi, H., R. Alimardani, M. Omid, S. S. Mohtasebi, N. Noguchi and K. Ishii, 2010. Design, Fabrication and Evaluation of a Mobile Robot for Greenhouse Spraying. 17th World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR), pp. 335-335. 13-17 June 2010, Quebec City, Canada.
- Masuzawa, H., Miura, J. and Oishi, S. 2017. Development of a mobile robot for harvest support in greenhouse horticulture - Person following and mapping. 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp. 541-546, 11-14 December 2017, Taipei, Taiwan.
- Matsuzaki, S., Masuzawa, H., Miura, J. and Oishi, S. 2018. 3D Semantic Mapping in Greenhouses for Agricultural Mobile Robots with Robust Object Recognition Using Robots' Trajectory. 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), pp. 357-362, 7-10 October 2018, Miyazaki, Japan.
- Mester, G. (2012). Fuzzy-Logic Sensor-Based Navigation of Autonomous Wheeled Mobile Robots in the Greenhouse Environments. *Transactions on Internet Research*, 8(2), 26-31.
- Nakao, N., Suzuki, H., Kitajima, T., Kuwahara, A. and Yasuno, T. 2017. Path Planning and Travelling Control for Pesticide-Spraying Robot in Greenhouse. *Journal of Signal Processing*. 21(4), 175-178.
- Ohi, N., Lassak, K., Watson, R., Strader, J., Du, Y., Yang, C., Hedrick, G., Nguyen, J., Harper, S., Reynolds, D., Kilic, C., Hikes, J., Mills, S., Castle, C., Buzzo, B., Waterland, N., Gross, J., Park, Y. L., Li, X. and Gu, Y. 2018. Design of an Autonomous Precision Pollination Robot. 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 7711-7718, 1-5 October 2018, Madrid, Spain.
- Özdemir, G. 2021. Holonomik olmayan diferansiyel sürüşlü bir mobil robotun uyarlamalı kontrolü / Adaptive control of non-holonomic differential driving mobile robot. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 75 s.
- Palamas, G., Houzard, J. ve Kavoussanos, M. 2006. Relative Position Estimation of a Mobile Robot in a Greenhouse Pathway. 2006 IEEE International Conference on Industrial Technology, pp. 2298-2302, 15-17 December 2006, Mumbai, India.
- Roldán, J. J., Garcia-Aunon, P., Garzón, M., León, J. D., Cerro, J. D. and Barrientos, A. 2016. Heterogeneous Multi-Robot System for Mapping Environmental Variables of Greenhouses. *Sensors*, 16(7), 1018.
- Ruiz-Larrea, A., Roldán, J. J., Garzón, M., del Cerro, J. and Barrientos, A. 2015. A UGV Approach to Measure the Ground Properties of Greenhouses. Robot 2015: Second Iberian Robotics Conference, pp. 3-13, 19-21 November 2015, Lisbon, Portugal.
- Sammons, P. J., T. Furukawa and A. Bulgin, 2005. Autonomous Pesticide Spraying Robot for use in a Greenhouse. Australian Conference on Robotics and Automation (ACRA), pp. 1-9, 5-7 December 2005, Sydney, Australia.
- Sanchez-Hermosilla, J., Rodriguez, F., Gonzalez, R., Guzman, J. L. and Berenguel, M.

2010. A mechatronic description of an autonomous mobile robot for agricultural tasks in greenhouses. *Mobile Robot Navigation*, IntechOpen, pp. 583-607.
- Sanchez-Hermosilla J., Paez, F., Rincon, V. and Donaire, J.G., 2012. Mechanical Design and Development of an Electric Mobile Robot for Agricultural Tasks in Greenhouses. *International Conference of Agricultural Engineering*, 8-12 July 2012, Valencia, Spain.
- Sayıncı, B., Demir, B. Ve Açık, N. (2019). Pülverizatör Memelerinde Damla Sıklığı ve Pülverizasyon Karakteristiklerinin Tahminlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*. 29(3), 458-465.
- Shi, Y., Wang, H., Yang, T., Liu, L. and Cui, Y. (2020). Integrated Navigation by a Greenhouse Robot Based on an Odometer/Lidar. *Instrumentation Measure Métrologie*, 19(2), 91-101.
- Silleli, H., Tazegül, Ü. ve Yıldırım, E. 2020. Sera Mekanizasyonunda Mevcut Durum ve Gelecek. *Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi*. ss. 325-341, 13-17 Ocak 2020, Ankara, Türkiye.
- TDK 2021. Türk Dil Kurumu, Güncel Türkçe Sözlük. <http://www.tdk.gov.tr/> (Son Erişim Tarihi: 30 Haziran 2021)
- Tiwari, G. N. 2003. *Greenhouse Technology for Controlled Environment*. (1st edition). United Kingdom, Alpha Science International. 544 p.
- Tiwari, S., Zheng, Y., Pattinson, M., Campo-Cossio, M., Arnau, R., Obregon, D., Ansuategui, A., Tubio, C., Lluvia, I., Rey, O., Verschoore, J., Adam, V. and Reyes, J. 2020. Approach for Autonomous Robot Navigation in Greenhouse Environment for Integrated Pest Management. 2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), pp. 1286-1294, 20-23 April 2020, Portland, USA.
- Tüzel, Y., Gül, A., Öztekin, G. B., Engindeniz, S., Boyacı, F., Duyar, H., Cebeci ve E., Durdu, T. 2020. Türkiye’de Örtüaltı Yetiştiriciliği ve Yeni Gelişmeler. *Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi* , ss. 725-750, 13-17 Ocak 2020, Ankara, Türkiye.
- Yağcıoğlu, A., 1999. Tarım ürünleri kurutma tekniği. İzmir, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:536, 348 s.
- Yamashita, S., Suzuki, H., Kuwahara, A., Kitajima, T. and Yasuno T. (2019). Autonomous Traveling Control of Agricultural Mobile Robot Using Depth Camera in Greenhouse. *Journal of Signal Processing*. 23(4), 201-204.
- Yıldız, E. 2009. Engelli Bir Alan İçinde Otomatik Olarak Hedefini Bulabilen Bir Mobil Robotun Tasarımı, İmalatı Ve Hareket Algoritmalarının Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, 116 s.
- Yuan, J., Wang, K. and Liu X. (2007). Step-spreading map knowledge based multi-objective genetic algorithm for robot-path planning. 2007 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 3402-3407, 7-10 October 2007, Montreal, Canada.
- Zangina, U., Buyamin, S., Abidin, M. S. Z. and Mahmud, M. S. A. 2021. Agricultural rout planning with variable rate pesticide application in a greenhouse environment. *Alexandria Engineering Journal*, 60(3), 3007-3020.

7. EKLER

EK – 1 Aksu Naz Ahtapot Dört Başlıklı Asılır Tip Mist Blower Ruhsatı

 T. C. GIDA TARIM VE HAYVANCILIK BAKANLIĞI Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü ZİRAİ MÜCADELE ALET VE MAKİNELERİ RUHSATI İMAL	
Ruhsat Numarası : 2488	Ruhsat Tarihi : 20.01.2014
Ticari Adı : AKSU NAZ AHTAPOT DÖRT BAŞLIKLİ ASILIR TİP MİST BLOWER	
Marka, Model, Tip : AKSU, NAZ AHTAPOT, DÖRT BAŞLIKLİ ASILIR TİP	
Cinsi ve Tanımı : Mist Blower; Harici bir depodan sıvıyı emen, şasi üzerindeki montaj sistemi ile duvar vb. bir yere sabitlenebilen ve dört dozaj memesi olan püskürtme başlıklarına sahip bir tarımsal mücadele makinesidir.	
İmal İzin Tarihi : 18.01.2005 İmal İzin Numarası : BK/283/04	
İmalatçı Firma : AKSU İLAÇLAMA MAKİNALARI ÜRETİMİ TİCARET COŞKUN AKSU	
(Ad, Unvan, Adres) Barbaros Mahallesi Serik Caddesi No:185 Aksu ANTALYA	
Ruhsatname : AKSU İLAÇLAMA MAKİNALARI ÜRETİMİ TİCARET	
Verilen Firma : COŞKUN AKSU	
(Ad, Unvan, Adres) Barbaros Mahallesi Serik Caddesi No:185 Aksu ANTALYA	
Geçerlilik Tarihi : 20 Ocak 2024 Tarihine Kadar Geçerlidir.	
5996 sayılı Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanununun 18 inci Maddesi ile bu kanuna bağlı olarak yürürlüğe konulan Zırai Mücadele Alet ve Makineleri Hakkında Yönetmelik hükümleri gereğince, yukarıda adı geçen zırai mücadele alet ve makinesinin Türkiye'de, 10 yıl süresince kullanılmasına izin verilmiştir.	
	

*Ruhsattaki imza Kişisel Verilerin Korunması Kanunu gereğince gizlenmiştir.

EK - 2 Aksu ECE-10 Elektrikli ULV Makinesi Ruhsatı

T. C.
GIDA TARIM VE HAYVANCILIK BAKANLIĞI
Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü
ZİRAİ MÜCADELE ALET VE MAKİNELERİ
RUHSATI
İMAL


T.C.
GIDATARIM VE HAYVANCILIK
BAKANLIĞI

Ruhsat Numarası : 1437 **Ruhsat Tarihi : 6.7.2005**

Ticari Adı : AKSU ECE-10 ELEKTRİKLİ ULV MAKİNESİ

Marka, Model, Tip : AKSU, ECE-10, ELEKTRİKLİ

Cinsi ve Tanımı : Elektrikli tip makine, omuza asılarak kullanılan ve bir adet ULV başlığına sahip bir zirai mücadele makinesi.

İmal İzin Tarihi : 18.1.2005 İmal İzin Numarası : BK/283/04

İmalatçı Firma : AKSU İLAÇLAMA MAKİNALARI ÜRETİMİ TİCARET
COŞKUN AKSU
(Ad, Unvan, Adres) Barbaros Mahallesi Serik Caddesi No:185 Aksu ANTALYA

Ruhsatname : AKSU İLAÇLAMA MAKİNALARI ÜRETİMİ TİCARET
Verilen Firma : COŞKUN AKSU
(Ad, Unvan, Adres) Barbaros Mahallesi Serik Caddesi No:185 Aksu ANTALYA

Geçerlilik Tarihi : 06 Temmuz 2025 Tarihine Kadar Geçerlidir.

Düzenleme Tarihi : 21.7.2015 Düzenleme Nedeni : Süre Uzatımı ve Yenileme

5996 sayılı Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanununun 18 inci Maddesi ile bu kanuna bağlı olarak yürürlüğe konulan Zirai Mücadele Alet ve Makineleri Hakkında Yönetmelik hükümleri gereğince, yukarıda adı geçen zirai mücadele alet ve makinesinin Türkiye'de, 10 yıl süresince kullanılmasına izin verilmiştir.




*Ruhsattaki imza Kişisel Verilerin Korunması Kanunu gereğince gizlenmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

ERDEM YILDIZ

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora	Akdeniz Üniversitesi
2011-2023	Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği A.B.D., Antalya
Yüksek Lisans	Pamukkale Üniversitesi
2006-2009	Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği A.B.D., Denizli
Lisans	Pamukkale Üniversitesi
2002-2006	Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Denizli

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Öğretim Görevlisi	Akdeniz Üniversitesi
2009-Devam Ediyor.	Elmalı Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Elektronik Teknolojisi Programı, Antalya

ESERLER

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler

1- Ertaş H., Biçer S., Yıldız E., Çanakcı M., Topakcı M. (2017). Modernization of a ventilation system for a conventional greenhouse and its Controlling by WEB. International Advanced Researches Engineering Congress-2017, 2397-2398. (Özet Bildiri)

Yazılan ulusal/uluslararası kitaplardaki bölümler

1- Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Üzerine Güncel Araştırmalar, Bölüm adı:(Sera Robotlarının Hareket Planlamasında Kullanılan Yöntemler) (2021)., Yıldız E., Çanakcı M., Akademisyen Kitabevi, Editör:Yılmaz D., Gökdoğan O., Uysal Ö., Gökdoğan M. E., Süslü A., Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı 214, ISBN:978-625-8037-52-4, Türkçe(Bilimsel Kitap)

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- Yıldız E., Çanakcı M. (2022). Sera Robotlarında Kullanılan Kontrolör Teknolojileri. 34. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, 28-28. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

2- Yıldız E., Çanakcı M. (2021). Sera Robotlarının Hareket Planlamasında Kullanılan Yöntemler. 33. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

3- Yıldız E. (2016). Meslek Yüksekokullarında Okutulan Sayısal Elektronik Dersi İçin İçerik İyileştirme Çalışması. 3. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sosyal ve Teknik Bilimler Kongresi (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

4- Ertaş H., Biçer S., Yıldız E. (2015). Farklı Tipte Elektrik Motorları ve Sürücüleri Kullanılarak PLC Kontrollü Asansör Eğitim Seti Tasarımı ve Uygulaması. TOK 2015 Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi Ulusal Toplantısı, 1147-1152. (Tam Metin Bildiri/Poster)

5- Yıldız E., Çonkur E. Ş. (2014). Potansiyel Alan Metodu İle Engelli Bir Alanda Hedefine Ulaşabilecek Bir Mobil Robot İçin Yazılan Simülasyon Programı. 2014 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 567-572. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

6- Çanakcı M., Yıldız E. (2013). Sera Üretim Mekanizasyonunda Robotik Uygulamalar: Literatür Çalışması. 28. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, 269-281. (Tam Metin Bildiri/Poster)