



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**DÖRT TEKERLEKLİ MOBİL
TARIM ROBOTUNUN TASARIMI
VE GRİ KURT OPTİMİZASYON
ALGORİTMASI TABANLI
AKILLI KONTROLÜ**

Alican KAZMACI

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

EYLÜL 2021



**DÖRT TEKERLEKLİ MOBİL TARIM ROBOTUNUN TASARIMI VE GRİ
KURT OPTİMİZASYON ALGORİTMASI TABANLI AKILLI KONTROLÜ**

Alican KAZMACI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2021

Alican KAZMACI tarafından hazırlanan “Dört Tekerlekli Mobil Tarım Robotunun Tasarımı ve Gri Kurt Optimizasyon Algoritması Tabanlı Akıllı Kontrolü” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Hakan DEMİR

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Başkan:Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÖKÇEN

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Üye:Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin AKTAN

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

TezSavunmaTarihi:/...../...

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Yükseköğretim Kuruluna gönderilen kopya ile tarafından Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne verilen basılı ve/veya elektronik kopyaların birebir aynı olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Alican KAZMACI

...../...../.....

DÖRT TEKERLEKLİ MOBİL TARIM ROBOTUNUN TASARIMI VE GRİ KURT
OPTİMİZASYON ALGORİTMASI TABANLI AKILLI KONTROLÜ
(Yüksek Lisans Tezi)

Alican KAZMACI

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2021

ÖZET

Zirai robotlar son yıllarda, sanayi 4.0 da gelişmesiyle birlikte, tarım uygulamalarında oldukça fazla kullanılmaktadır. Bu doğrultuda bu çalışmada tarım sektöründeki tohumlama işleminin ve bununla ilgili diğer bağlantılı faaliyetlerin tek bir zirai makinede toplanıp otomasyon ve sanayi 4.0 sistemine entegre edilmesini sağlayan bir mobil tarım robotu tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarım ile robotun genellikle engebeli olan arazi şartlarına uyum sağlayabilmesi üzerinde durulmuş olup kazı, tohumlama ve sulama alt sistemlerine sahip olan mobil robotun statik, dinamik ve kinematik analizleri ile çevresel şartlara uyumlu, dayanıklı ve verilen görevleri yerine getirebilecek en uygun tasarım geliştirilmiştir.

Ayrıca dört tekerlekli bir mobil robotun matematiksel modellenmesi yapılarak farklı koşullar altında rota takip performansı test edilmiştir. Matematiksel model çıkarımı aşamasında robotun kinematiği, ters kinematiği ve dinamik modeli elde edilmiştir. Dinamik model elde edilirken Lagrange Enerji metodundan yararlanılmıştır. Verilen referans yörüngeyi takip etmesi istenilen robotun 4 tekerleğinde bulunan DC motorlara beslenecek voltajları belirleyecek denetleyici tasarımı yapılmıştır. Dört ayrı motor için de PID denetleyicisinin kullanıldığı sistemde PID denetleyicilerinin parametreleri optimizasyon tabanlı olarak ayarlanmış olup gri kurt optimizasyon algoritmasından yararlanılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre tasarımı yapılan robot başarılı bir şekilde verilen görevleri yerine getirdiği görülmektedir. Akıllı bir cihazdan girilen değerler doğrultusunda belirli aralıklarla x ve y eksenlerinde kazma, ekim, kapama ve sulama işlemlerini gerçekleştirmektedir. Verilen yörüngeyi başarılı bir şekilde takip etmekte ve belirtilen yerlere ekim işlemi gerçekleştirilmektedir. Simülasyon sonuçlarından da tasarımı yapılan gri kurt optimizasyon tabanlı PID denetleyicinin farklı yörüngeler için başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Mobil robot, otonom tarım, gri kurt, optimizasyon, statik-dinamik analiz
Sayfa Adedi : 77
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Hakan DEMİR

DESIGN AND GREY WOLF OPTIMIZATION ALGORITHM BASED INTELLIGENT
CONTROL OF A FOUR WHEELED MOBILE AGRICULTURE ROBOT
(M. Sc. Thesis)

Alican KAZMACI

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

August 2021

ABSTRACT

Agricultural robots have been widely used in agricultural applications in recent years, with the development of industry 4.0. In this direction, in this study, a mobile agricultural robot design was made that allows the insemination process in the agricultural sector and other related activities to be collected in a single agricultural machine and integrated into the automation and industry 4.0 system. With the design, it was emphasized that the robot can adapt to the generally rough terrain conditions, and the static, dynamic and kinematic analyzes of the mobile robot, which has excavation, seeding and irrigation subsystems, and the most suitable design that is compatible with environmental conditions, durable and able to fulfill the given tasks.

In addition, a four-wheeled mobile robot is mathematically modeled and its trajectory tracking performance is tested under different conditions. In the mathematical model extraction phase, the kinematics, inverse kinematics and dynamic model of the robot were obtained. While obtaining the dynamic model, Lagrange Energy Method was used. A controller design has been made to determine the voltages to be fed to the DC motors on the 4 wheels of the robot that is required to follow the given reference trajectory. In the system where PID controller is used for four different motors, the parameters of the controllers are adjusted based on the gray wolf optimization algorithm.

According to the results obtained, it is seen that the designed robot successfully fulfills the given tasks. In line with the values entered from a smart device, it performs digging, planting, closing and irrigation operations on the x and y axes at certain intervals. It follows the given trajectory successfully and the planting process is carried out in the specified places. From the simulation results, it is seen that the designed gray wolf optimization based PID controller gives successful results for different trajectories.

Key Words : Mobile robot, autonomous agriculture, greywolf, optimization, static-dynamic analysis
Page Number : 77
Supervisor : Assist. Prof. Dr. Mehmet Hakan DEMİR

TEŞEKKÜR

Öncelikle lisans ve lisansüstü eğitim hayatım boyunca desteğini hiç eksiltmeyen, maddi ve manevi her zaman yanımda olan saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Hakan DEMİR'e, lisans eğitim dönemim başta olmak üzere değerli bilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Tarık SERİNDAĞ ve Ar. Gör. Dr. Mehmet DEMİR ve Ar.Gör.Dr. Serkan GÜLER hocalarıma, tez dönemim boyunca bilgi alışverişinde bulunduğumuz değerli arkadaşlarım Eray Kaya, Eyüpcan BİNGÖL ve Mehmet DEMİROK'a ayrıca her daim maddi ve manevi destekleri ile yanımda olan KAZMACI ailesinin her bir bireyine teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1.GİRİŞ.....	1
2.TARIM ROBOTUNUN TASARIMI	9
2.1. Mekanik Tasarım	9
2.1.1. İlk tasarım “Model-1”	10
2.1.2. Üretilen ilk tasarım “Model-2”	12
2.1.3. Düşük maliyetli ve nihai minimal tasarım : “Model-3”	14
2.2. Yapısal Analizi.....	17
2.3. Hedefler.....	28
2.4. Yazılım Tasarımı.....	28
2.4.1. Kullanılan elektronik bileşenler	28
2.4.2. Arduino ile haberleşme ve kontrol sistemi	30
2.4.3. Android yazılımı	33
3.UYGULAMA.....	35
4.ROBOTUN MODELLENMESİ	40
4.1. Kinematik Model	40
4.2. Dinamik Model	42
4.3. DC Motor Modeli.....	50
4.4. Gri Kurt Optimizasyon Yöntemi.....	53
4.5. PID Kontrol Sisteminin Tasarımı.....	55

	Sayfa
4.6. Simülasyon Çalışmaları	58
4.6.1. Dikdörtgen senaryo	58
4.6.2. Spiral Senaryo	64
4.6.3. Robot gerçek arazi çalışma senaryosu	68
5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR.....	74
DİZİN	77



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Mekanum tekerleklerin manevra kabiliyetleri mavi: tekerlek sürüş yönü; kırmızı: aracın hareket yönü a) Düz ilerleme, b) Yanlamasına hareket etme, c) Çapraz hareket etme, d) Bir virajda hareket etme, e) Dönme, f) Bir dingilin orta noktası etrafında dönme	10
Şekil 2.2. Model-1 genel görünüş	11
Şekil 2.3. Model-1 üzerinde yapılan statik analiz sonuçlarının görünümü.....	11
Şekil 2.4. İlk yapılan tasarım: Model-2	12
Şekil 2.5. Model-2 izometrik görünüş	12
Şekil 2.6. Model-2 üretilmiş hali	13
Şekil 2.7. Model-3 yan görünüş	14
Şekil 2.8. Sulama(solda) ve tohum(sağda) haznesinin izometrik görünüşleri.....	14
Şekil 2.9. Model-3 izometrik görünüşü	15
Şekil 2.10. Model-3 parça numaraları.....	15
Şekil 2.11. Motor bağlantı parçası üzerine gelen yük dağılımı	17
Şekil 2.12. Motor bağlantı parçası üzerinde oluşturulmuş mesh yapıları.....	18
Şekil 2.13. Motor bağlantı parçası üzerinde oluşan maksimum stres.....	18
Şekil 2.14. Motor bağlantı parçası üzerinde oluşan maksimum yer değiştirme	19
Şekil 2.15. Motor tutucu parçanın ikinci versiyonu.....	19
Şekil 2.16. İkinci tasarım motor bağlantı parçası üzerinde oluşturulmuş mesh yapıları	20
Şekil 2.17. İkinci tasarım motor bağlantı parçası üzerinde oluşan maksimum stres	20
Şekil 2.18. İkinci tasarım motor bağlantı parçası üzerinde oluşan maksimum yer değiştirme.....	21
Şekil 2.19. Kazıcı lineer hareket parçasının analize hazırlanması	22
Şekil 2.20. Kazıcı lineer hareket parçası üzerine uygulanan mesh yapısı	23

Şekil	Sayfa
Şekil 2.21. Kazıcı linear hareket parçası üzerinde ağırlıktan dolayı oluşan maksimum yer değıştirme	23
Şekil 2.22. Kazıcı linear hareket parçası üzerinde oluşan maksimum stres	24
Şekil 2.23. Kazıcı spiral parçası ve üzerine gelen yüklerin gösterimi	25
Şekil 2.24. Kazıcı spiral parçası mesh yapısı.....	26
Şekil 2.25. Kazıcı spiral parçası deformasyon analizi	26
Şekil 2.26. Kazıcı spiral parçası stres analizi.....	27
Şekil 2.27. Kazıcı spiral parçasını montajında kullanılan mekanik bileşenler a)5mm gijon, b)Lm8uu linear rulman	28
Şekil 2.28. 11.1V 1350 mAh Li-Po pil	28
Şekil 2.29. Robot üzerinde kullanılacak temel sensörler sırası ile a) MQ-135 gaz sensörü, b) GY-NEO6MV2 GPS modülü, c) DTH11 sıcaklık ve nem sensörü, d) MPU6050 ivme sensörü.....	29
Şekil 2.30. Robot için hazırlanmış örnek güzergah şablonu.....	30
Şekil 2.31. Model-3 iletişim ve mekanik hareketler için devre bağlantısı.....	31
Şekil 2.32. Model-3 üzerinde sensörlerin devre bağlantısı.....	31
Şekil 2.33. Model-3 program akış şeması.....	32
Şekil 2.34. Bluetooth modülü ile arduino kartına veri alımı yapılan kod bölümü.....	33
Şekil 2.35. Robotun kontrolü için kullanılan android uygulama	33
Şekil 2.36. Uygulama arayüz gösterimi a) uygulamanın arayüz seçenekleri, b) uygulama bluetooth cihazı ile eşleşmek için onay beklediği ekran, c) eşleştirme yaptıktan sonra sağ üst köşedeki terminal ekranı	34
Şekil 2.37. Uygulama üzerinden robota iletilen değerler a) işlenecek uzunluk, b) işlenecek genişlik, c) adım sayısı	34
Şekil 3.1. Gps sensöründen alınan koordinat noktalarının harita uygulaması üzerinde gösterimi.....	35
Şekil 3.2. Robot için planlanan ikinci çalışma alanı.....	36

Şekil	Sayfa
Şekil 3.3. Gps sensöründen alınan ikinci koordinat noktalarının harita uygulaması üzerinde gösterimi.....	38
Şekil 3.4. Mekanik sistemlerin toprak arazide testi	38
Şekil 4.1 Dört çok yönlü tekere sahip aracın iki boyutlu koordinat sistemi görünümü.....	40
Şekil 4.2. 1. ve 3. tekerleklere gelen kuvvetler	45
Şekil 4.3. 2. ve 4. tekerleklere gelen kuvvetler	45
Şekil 4.4. Armatürün elektrik eşdeğer devresi ve DC motorun serbest gövde diyagramı	51
Şekil 4.5. Gri kurt optimizasyon algoritmasının pid üzerinde uygulanması.....	56
Şekil 4.6. Dikdörtgen yörünge takip performansı.....	60
Şekil 4.7. Dikdörtgen güzergah için oluşan hata değerleri a) xs'deki hata, b)ys'deki hata, c) β 'daki hata.	60
Şekil 4.8. Dikdörtgen güzergah için 0-50 saniye arasında zamana bağlı voltaj değerleri, a) birinci motor (v_1), b) ikinci motor (v_2), c) üçüncü motor (v_3), d) dördüncü motor (v_4),	61
Şekil 4.9. 0-10 saniye arasında zamana bağlı voltaj değerleri, a) ikinci motor (v_2), b) dördüncü motor (v_4).....	62
Şekil 4.10 Dikdörtgen güzergah için 0-50 saniye arasında zamana bağlı açısal hız değerleri, a) birinci motor (w_1), b) ikinci motor (w_2), c) üçüncü motor (w_3), d) dördüncü motor (w_4),	63
Şekil 4.11 Dikdörtgen güzergah için sırası ile x ve y eksenlerinde zamana bağlı hız değişim grafiği	63
Şekil 4.12 Spiral yörünge takip performansı	64
Şekil 4.13 Spiral güzergah için oluşan hata değerleri a) xs'deki hata, b) ys'deki hata, c) β 'daki hata.....	65
Şekil 4.14 Spiral güzergah için 0-50 saniye arasında zamana bağlı voltaj değerleri, a) birinci motor (v_1), b) ikinci motor (v_2), c) üçüncü motor (v_3), d) dördüncü motor (v_4),	66

Şekil	Sayfa
Şekil 4.15. Spiral güzergah için 0-50 saniye arasında zamana bağlı açısal hız değerleri, a) birinci motor (w_1), b) ikinci motor (w_2), c) üçüncü motor (w_3), d) dördüncü motor (w_4),	67
Şekil 4.16. Spiral güzergah için sırası ile x ve y eksenlerinde zamana bağlı hız değişim grafiği.....	68
Şekil 4.17. Çalışma rotasının modellenmesi.....	68
Şekil 4.18. Çalışma güzergah için oluşan hata değerleri a) xs'deki hata, b) ys'deki hata, c) β 'daki hata	69
Şekil 4.19. Çalışma güzergah için 0-50 saniye arasında zamana bağlı voltaj değerleri, a) birinci motor (v_1), b) üçüncü motor (v_3).....	69
Şekil 4.20. Çalışma güzergah için 0-50 saniye arasında zamana bağlı açısal hız değerleri, a) birinci motor (w_1), b) ikinci motor (w_2), c) üçüncü motor (w_3), d) dördüncü motor (w_4),	70
Şekil 4.21. Çalışma güzergah için sırası ile x ve y eksenlerinde zamana bağlı hız değişim grafiği.....	71

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Model-3 kullanılan parça listesi.....	16
Çizelge 2.2. Motor tutucu versiyonlarının kıyaslanması	21
Çizelge 2.3. Kazıcı lineer hareket parçasının malzeme özellikleri	22
Çizelge 2.4. 28BYJ48 adım motoru değerleri	25
Çizelge 3.1. Robot üzerinde bulunan gps, ivme ve gaz sensöründen alınan verilerin sadeleştirilmiş tablosu.....	35
Çizelge 3.2. İkinci Test için Alınan Verilerin Sadeleştirilmiş Tablosu	37
Çizelge 4.1. Gri kurt optimizasyonunun uygulanması sonucu oluşan değerler.....	57
Çizelge 4.2. Simülasyon sırasında kullanılan değerler	58
Çizelge 4.3. Dikdörtgen senaryo için pıd değerleri	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

e	Üstel
mm	Milimetre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
N	Newton
V	Volt

Kısaltmalar

Açıklamalar

DC	Doğru Akım
GPS	Küresel Konumlama Sistemi(Global PositioningSystem)
GKO	Gri Kurt Optimizasyon
Li-Po	Lityum Polimer
M	Metrik
mAh	Miliamper
PID	Oransal-Integral-Türevsel

1. GİRİŞ

Robotların Tarihi

Türk Dil Kurumunun “Belirli bir işi yerine getirmek için manyetizma ile kendisine çeşitli işler yaptırılabilen otomatik araç”[1] olarak tanımladığı robot kelimesi ilk olarak Prag Ulusal Tiyatrosunda 1920 yılında sergilenen R.U.R. -Rossum’s Universal Robots- adlı tiyatro oyununda geçmiştir KarelCapek tarafından kullanılmıştır. “Robota” kelimesi Çek dilinde hizmet eden anlamına gelirken Almanca Arbeit ("Çalışmak") anlamına da gelmektedir [2].

Aristo'nun bütün araçlara emir verip kendi kendilerine çalışmalarını yönetebilmeleri düşüncesi milattan önce 3000 yıllarından robotlar hakkında günümüze gelen ilk düşüncelerdendir.

13. Yüzyılda yaşamış olan El Cezeri yaşadığı dönemin ötesinde sistem tasarımları yapmıştır. Siberetik denince de akla ilk gelen kişi El Cezeri'dir. Siberetik haberleşme, denge kurma ve ayarlama bilimidir. İnsanlarda ve makinelerde bilgi alışverişi, kontrolü ve denge durumunu inceler. Bu bilim, zamanla gelişerek bugün hayatımızın vazgeçilmezleri arasına giren bilgisayarların ortaya çıkmasına imkân tanımıştır[3].

Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT) 1940 yılında geliştirilen radar teknoloji ile ortamdaki cisimlerin makineler tarafından algılanması mümkün kılınmıştır. Aynı yıl içerisinde GreyWalter tarafından ışığa duyarlı ilk gezer robot (machinaspeculatrix) üretilmiştir [4].

Ve bu gelişmeleri manyetik olarak kayıt yapabilen cihazların üretilmesi, ilk elektronik bilgisayarların geliştirilmesi ve robot kolların üretilmesi olayları tarih boyunca takip etmiştir.

İnsanların işlerini başka kişi ya da araçlara yaptırma içgüdüleri sonucunda çeşitli robot kavramları ortaya çıkmıştır.

Gürgüze ve Türkoğlu robotları şu şekilde sınıflandırmışlardır [5].

- Endüstriyel robotlar
- Mobil robotlar
- İnsansı robotlar
- Çoklu robotlar
- Sürü robotları
- Mikro-Nano robotlar
- Biyo-ilhamlı robotlar
- İşbirlikçi ve etkileşimli robotlar
- Haptik sistemler.

Tarım Teknolojisinin Gelişimive Yapılan Çalışmalar

İnsanoğlunun yerleşik hayata geçtiği günden itibaren yaşamının merkezini tarım oluşturmaktadır. Günlük hayat şartları tarım odaklı gelişmektedir. Tekerleğin icadı, sanayi devrimleri ve teknolojinin gelişmesinden direk olarak etkilenen tarım sektörü, günümüzde insan nüfusunun hızla artması karşısında yetersiz kalmaya başlamıştır. 18. Yüzyıla kadar tarım arazileri toprakta yetersiz besin olmasından dolayı nadasa bırakılıyor, sürekli ekim yapılamıyordu. Şalgam ekiminin ön plana çıkması ve sonrasında dörtlü ekim yöntemi ile tarımda bir sıçrama yakalanmıştır. 1980'lerden itibaren geleneksel tarım yöntemleri yerine hassas tarım yöntemleri üzerine çalışmalar hız kazanmıştır.

Tarımda hayvan gücünden yararlanılmaya saban kullanımı ile M.Ö. 4000'lerde başladığı bilinmektedir. Sabanı daha sonra ağır saban, pulluk, tohum ekme, harman makineleri ve oraklar gelişim sürecini takip etti. 1892'de benzin ile çalışan ilk traktörün üretilmesi ile tarım makineleri hızlı bir şekilde motorla çalışan araçlara dönüştüler.

Makineleşme ve tarım konusunda yapılan araştırmalar sonucunda verimdeki artışlar tarım insanların makine kullanımına yönlendirmiştir. Endüstri devrimleri ile her seferinde daha fazla modernleşen tarım makineleri endüstri 3.0 ile bir traktör ile birkaç işlem yapabilen makinelere dönüşmüşlerdir. Endüstri 4.0 ile ise bu makineler artık tamamen otonom olarak hareket edebilen ve işlevlerini yerine getirebilen makinelere dönüşmüşlerdir. Bu konuyu temel alarak literatürde dijital tarım kavramı ortaya çıkmıştır.

Dijital tarım, meşakkatli işlemlerden sürekli otomatik işlemlere geçiş için sensörler, robotik ve veri analizi gibi modern teknolojilerin uygulamasıdır. Modern çiftliklerin, işgücüne daha az bağımlı olan sürdürülebilir bir şekilde düşük maliyetlerle daha yüksek kalitede daha fazla ürün üretmesi beklenmektedir. Dijital tarım ve sahaya özgü hassas yönetimin uygulanması, yalnızca sensör teknolojisine değil, tarımsal robotların uygun şekilde kullanılmasıyla mümkün olan saha verilerinin sürekli toplanmasına bağlı olan bu beklentiye verilen yanıtların bazılarıdır. Tarım bilim adamları, çiftçiler ve yetiştiriciler de 2050'de tahmin edilen 9,8 milyar nüfusun taleplerini karşılamak için daha az topraktan daha fazla gıda üretme zorluğuyla karşı karşıya kalınacağını vurgulamaktadırlar [6].

Dijital araçların, sensörlerin ve kontrol teknolojilerinin entegrasyonu, tarımsal robotik tasarım ve gelişmelerini hızlandırarak modern tarımda önemli potansiyel ve faydaları ortaya koymaktadır. Bu gelişmeler, doğru ve ayrıntılı zamansal ve uzaysal bilgileri zamanında toplayarak bitkileri ve tarlaları dijitalleştirmekten, robot navigasyonu için karmaşık doğrusal olmayan kontrol görevlerini yerine getirmeye kadar uzanmaktadır. Örnek olarak, sıra bitkilerinde ve meyve bahçelerinde çalışmak için yerel ve küresel sensörlerle donatılmış otonom traktörler ve tarım makineleri kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Wolfert ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada akıllı tarım uygulamalarında ki büyük veri olgusunun sadece üreticiyi değil aynı zamanda üretici ile birlikte tüm gıda zincirini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Yapılan bu çalışma sonucunda akıllı çiftçiliğin sorunlarını; çiftçilerin büyük veri içerisinde tamamen etkin rol oynayabilecek yapıda entegre olması ile ve ya gıda zincirindeki bütün paydaşların verilerinin tamamen şeffaf olarak paylaşıldığı bir ağ yapısının olması gerektiği ile çözülebileceği önerisinde bulunmuşlardır [7].

Chlingaryan ve diğerlerinin yapmış oldukları çalışmada hassas tarımda makine öğrenmesi ile hasat tahmini ve azot durumu tahmini üzerine incelemelerde bulunmuşlardır. Bu çalışmayı son 15 yılda yapılmış olan hassas tarım üzerine makine öğrenmesi çalışmalarını inceleyerek yapmışlardır. Bunun sonucunda hassas tarım için kullanılacak robotların makine öğrenmesi metotlarındaki hızlı gelişmeler ve hedefe uygun yeni öğrenme metotları ve kullanılacak sensörlerin gelişmesi ile mahsuldeki verimin artışında önemli etki sağlayacağını ön görmekte idirler[8].

Bechar ve Vigneaulttarım robotlarının farklı ortam koşullarında da çalışması için gerekli olan teknik yapılar hakkında derleme hazırlamışlardır. Verimliliği arttırmayı hedefleyen tarım robotlarının her koşulda çalışabilmesinin yanı sıra uygun maliyetli ve ulaşılabilir olmasının da önemi vurgulanmıştır. Yaptıkları incelemeler sonucunda sistem tasarımının optimum seviyede tutulması gerektiği, gelişen sensör teknolojisi ile robotların dış dünyayı daha iyi kavrayabilmesi ve kullanıcı robot arasındaki iletişimin optimum hale getirilmesi ve her tarımsal işlev için manipulatörlerin geliştirilmesi gerektiğini önermektedirler [9].

Oberti ve diğerleri asma bitkisi üzerinde oluşabilen hastalıkların tespiti ve bölgesel olarak ilaçlanması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Optik sensör kullanılarak görüntü işleme teknolojisi sayesinde hastalığın oluşmaya başladığı bölgeleri tespit edebilen ve bu bölgelere noktasal olarak ilaç uygulaması yapabilen altı eksenli özel manipulatörlü bir robot geliştirmişlerdir. Bu robot sayesinde hastalığın erken tespiti ve kullanılacak olan ilaç miktarının en aza indirilmesi ile verimin artırılmasını hedeflemişlerdir [10].

Longo ve Muscato enginar hasatı için özelleşmiş bir robot çalışması yapmışlardır. Bu çalışmayı farklı manipulatör tasarımı ve görsel işleme ile olgunlaşmış enginarları robota tanıtarak oluşturulan sanal harita üzerinde mahsullerin yerleri belirlenmiştir. Ürüne özel olarak yapılan bu çalışma doğrultusunda enginar yetiştiricileri için referans olabilecek bir robottun mekanik ve yazılımsal tasarımı ortaya çıkartılmıştır [11].

Gonzalez-de-Soto ve diğerleri akıllı tarım uygulamalarında küresel navigasyon uydu sistemleri, coğrafi bilgi sistemleri ve yüksek çözünürlüklü görüntü işleme sistemleri üzerine yapılmış çalışmaları incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda ise hali hazırda bulunan traktörlere eklenebilecek olan noktasal olarak zararlı otları ilaçlama sistemi üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Yapmış oldukları bu çalışma sonucunda arazi üzerinde görüntü işleme teknolojisi ile zararlı otlar tespit edilerek herbisit kullanımında tasarruf edilmesini sağlamışlardır [12].

Ishigureve arkadaşları kendi ağırlığı ile enerji tasarrufu sağlayan bir budama robotu üzerinde çalışmışlardır. Ağaç üzerinde aşağı yukarı hareketi sağlayan mekanizma, motorlu testere mekanizması ve kontrolörden olmak üzere üç mekanizmadan oluşan bu robot, ağaç üzerinde çalışacağı konuma geldiği zaman kendi ağırlığı ile ağaç gövdesi üzerinde gerilme kuvveti yaratarak dengede durmaktadır. Motorlu testere üzerinde bulunan iki aşamalı güç

çıkışı ile ilaveten enerji tasarrufu sağlamaktadır. Yapmış oldukları bu çalışma ile çiftlik robotları konusunda enerji tasarrufunun önemine dikkat çekmiş ve uygulanabilirliğini göstermişlerdir [13].

Drach ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma sağım robotları üzerinedir. Deneysel olarak yapılan çalışmada iki gruba ayrılan ineklerde deney grubundaki ineklerin süt veriminin arttığı ve işçilik masraflarının düştüğü gözlemlenirken, geleneksel yöntemle sağıma devam edilen referans grubunda ise gözle görülür bir artış olmamıştır. Yapılan bu çalışmada ineklerin stresten uzak olması ve sistematik olarak sağıma alınmasının verimi arttırdığı görülmektedir [14].

Zhang ve arkadaşları artan nüfus yoğunluğunun ihtiyaç duyduğu besin miktarını karşılamak için daha verimli ürünler yetiştirmek gerektiğini düşünerek fenotipleme robotları üzerine çalışmışlardır. Geliştirmiş oldukları kartezyen robot sistemi üzerinde bulunan termal kamera ve bir multispektral kamera ile alınan görüntüler işlenerek uygun fenotipleme işlemleri için otonom olarak veri toplanmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda test sırasında kullanılan ürünler arasında yüksek fenotipleme oranı almışlardır [15].

Comba ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışma akıllı tarım konusunda bitkilerin aşılınması üzerine çalışmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada birçok farklı ufak robotik sistemlerin birleşmesi ile bitki üzerinde aşılama işlemi gerçekleştirmektedirler. Mevzuatlardaki düzenlemeler ile zirai ilaç kullanımının azaltılmasından dolayı sağlıklı bitkilerden tapılan aşılama ile ürünlerdeki verimin artışı sağlanmıştır [16].

Eaton ve arkadaşları farklı arazi şartlarında çalışabilen araçların konum ve yörünge kontrolü üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Direksiyon mekanizmasındaki değişimleri inceleyerek ters yanal kayma kuvvetini oluşturarak aracı yörüngede tutabilmişlerdir [17].

Matveev ve arkadaşları arazi üzerindeki otonom araçların arazi şartlarından dolayı oluşan teker kayması sorununu incelemişlerdir. Direksiyon üzerindeki değişimlerden faydalanarak teker kaymalarını tespit etmişlerdir. Oluşturulan matematiksel modellerin simülasyonları sonucunda aracın yörüngede kaldığı gözlemlenmiştir [18].

Özgüven ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada görüntü işleme metodu ile tarla içerisindeki satırların arasında otonom olarak ilerlemesini sağlayan robot tasarımı yapmışlardır [19].

Güzey ve arkadaşların elma hasat optimizasyonu üzerine yaptıkları çalışmada insansız hava araçları ile elma toplama sürelerinin en kısa zamana indirilmesi üzerinde k-ortalama kümeleme metodunu kullanmışlardır [20].

Gelişmeye devam etmekte olan bu süreç içerisinde ticari olarak da kullanılmaya başlanan tarım robotları mevcuttur. ECHORD++ (Açık Robotik Geliştirme için Avrupa Koordinasyon Merkezi) desteklediği Fendt firmasının geliştirmiş olduğu “Mars” projesi sürü robot prensibine dayalı olarak araziye birçok farklı robot modülle kontrol, ekim ve iletişim üzerine çalışmaktadır[21].

Matlı ve Bayır yaptıkları çalışmada mekanum tekerlekli bir robotun güvenlik görevlileri yerine kontrol devriyesi gerçekleştirmesini hedeflemişlerdir. Bu doğrultuda robot üzerinde çevreyi tanıma işlevi için çevresel algı sensörü kullanmışlardır. Robotun matematiksel modeli ile uygulama arasında senkronize başarı elde etmişlerdir [22].

Demirbaş ve arkadaşının yaptıkları çalışmada holonomik olmayan bir aracın matematiksel modelini elde etmişlerdir. Aracın kontrolü için PID ve kinematik tabanlı geri adımlamalı kontrolcü tasarımı yapmışlardır. Elde etmiş oldukları PID değerlerini robotun yörünge kontrolü sırasında yörüngede kalmasını sağlamak için kullanmışlardır [23].

Can'ın hazırlamış olduğu çalışmada gelişmekte olan mobil robot teknolojisinde kullanılan yörünge ve hareket metotları incelenmiştir. Ele aldığı mobil robot için kinematik ve dinamik modelleri belirlemiş ve geri besleme ile PID kontrol sistemini incelemiştir. Bu matematiksel modelleri deney çalışmaları ile doğrulamıştır [24].

Awaludin ve arkadaşları 3 çok yönlü tekere sahip bir mobil robotun çalışma sahası içerisinde daha hızlı ve daha kararlı hareket edebilmesi için kinematik incelemesini yapmışlardır [25].

Kazancı ve Kocamaz'ın yapmış oldukları çalışma bir mobil robotun ortamdaki değişebilir engellerden kaçarak hareketin tamamlanması üzerinedir. Engellerden sakınmak adına

robotlarının kontrolünde kullandıkları PID kontrol sisteminin başarılı şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir [26].

Alshorman ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada 4 çok yönlü tekere sahip mobil robot üzerinde bulanık mantık tabanlı hataya dayalı denetleyici sistemi kullanmışlardır. Kullandıkları algoritma ile farklı senaryolardan öğrenilen bilgiler ile robotun engelden kaçarak bitiş noktasına gitmesini sağlamışlardır [27].

Normey-Rico ve arkadaşları bir mobil robotun, PID kontrol sistemi kullanarak, yol izleme sorununa etkili çözüm geliştirmek üzere çalışmalarda bulunmuşlardır. Yapmış oldukları çalışmayı deneysel çalışmalarla birleştirdikleri zaman etkili olarak çalıştığı gözlemlenmiştir [28].

Carlucho ve arkadaşları yaptıkları çalışmada mobil robot kontrolörleri için kullanılan düşük seviyeli PID sistemlerinin kendi kendine uyarlamak için pekiştirmeli öğrenme ajanına dayalı uzman ajan tabanlı bir sistem geliştirmeyi önermişlerdir. PID kontrol sistemlerinin çevrimiçi olarak adaptasyonu için çift Q-Learning algoritmasının artımlı, modelsiz bir algoritma geliştirmişlerdir [29].

Saleh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada tekerlekli bir mobil robot için parçacık sürüsü optimizasyonuna dayalı optimal kesirli sıralı PID (FOPID) kontrolörü geliştirmişlerdir. Bu kontrolör sayesinde referans hız değeri ile yörünge kontrolü için sapma değerlerini minimum değerlerde tutmayı başarmışlardır [30].

Ayten ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada tekerlekli bir mobil robotun hız ve yön açısı kontrolü için kesirli sıralı uyarlanabilir model tabanlı PID tipi kayan mod kontrol tekniğini kullanmışlardır. Mobil robotun kinematik ve dinamik modeli analiz edilmiş olup, kesirli mertebeye hesabı ve model tabanlı PID tipi kayan mod kontrolü robot için uyarlanmış ve sonuçlarını incelemişlerdir [31].

Akçura ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada lazer mesafe sensörlü bir mobil robotun bulanık mantıkla çevresini haritalandırması ve iç mekan koşullarında engelden kaçınması için geliştirilen algoritma bulunmaktadır. Lazer mesafe sensöründen alınan verilerin

bulanık mantık ile işlenmesi sonucu yol bulma gibi adaptif navigasyon uygulamalarında etkin olduğunu incelemişlerdir [32].

Azizi ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada dinamik ortamlar içerisinde mobil robotların insanlarla ve diğer robotlarla etkileşimleri, dört mekanum tekerlekli bir robot için incelemişlerdir. Mobil robotun hareket denklemleri Kane yöntemi kullanılarak çıkartılmış olup ayırık durum uzat formuna çevrilmiştir. Mobil robotun engellerden kaçınması için hareket denklemlerine bağlı olarak doğrusal olmayan bir model öngörücü kontrol sistemi ve bu sisteme tanıtılmak üzere hız engelleri yaklaşımı benimsenmiştir. Yapmış oldukları çalışmanın sonuçları simülasyon ve deneysel çalışmalarla doğrulanmıştır [33].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde tarım ve hayvancılık konusunda robotikleşmenin özel alanlarda hızlandığı tespit edilmiştir. Yapmış olduğumuz çalışma neticesinde, sıraya ekim yöntemine uygun, kolay ve modüler olarak üretilebilecek tasarımlar üzerinde çalışılmıştır. Yapılan tasarımlar için yapısal analizler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir. Karar verilen tasarımın üretimi maliyetleri en aza indirmek için 3 boyutlu yazıcı kullanılarak yapılmış ve üzerine yerleştirilen kontrol kartları ve sensörler ile tasarım tamamlanmıştır. Tasarımı yapılan ve üretilen mobil robot cep telefonu uygulaması üzerinden verilen x,y mesafeleri ve ekim aralığına göre faaliyetlerini gerçekleştirmektedir. Telefon üzerinden gönderilen değerlere göre oluşan her noktada toprağı kazma, tohumu bırakma ve sulama işlemini yapmaktadır. Daha sonra, hem tasarlanan kontrol algoritmasının simülasyonu hem de performansı iyileştirici yapısal parametrik değişimlerin etkisinin analizini kolaylaştırmak için yapılan tasarımın matematiksel modeli Lagrange enerji denklemleri kullanılarak çıkarılmıştır. Sisteme basit, kolay uygulanabilir ve başarılı bir kontrolcü olan PID kontrol uygulanmış ve her bir tekerlekten açısız hız geri beslemesi ile verilen yörüngeyi takip için hesaplanan referans açısız hızlar karşılaştırılarak kontrolcülere giriş olarak verilmiştir. Kontrolcülerin ürettiği komut sinyalleri yükseltilerek motorlara voltaj olarak girişi sağlanmıştır. PID kontrolcü parametreleri gri kurt optimizasyon uygulaması ile referans ve mevcut açısız hızlar arasındaki hataların toplamı minimize edilecek şekilde belirlenmiştir. Gri kurt optimizasyon yöntemi belirlenen PID parametreleriyle robotun verilen farklı rotaları takip performansı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre robotun verilen hedef rotaları hem benzetimsel hem de deneysel olarak başarılı bir şekilde takip ettiği tespit edilmiştir.

2. TARIM ROBOTUNUN TASARIMI

2.1. Mekanik Tasarım

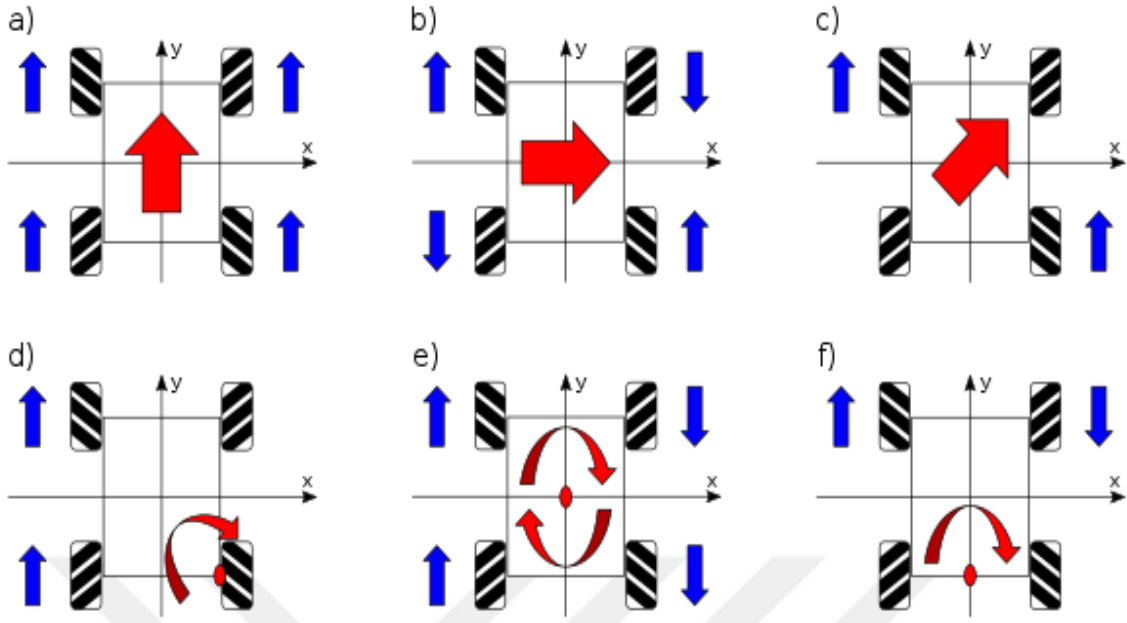
Tasarımı gerçekleştirilen tarım robotunun hayata geçirilmesi için öncelikle, çalışacağı koşulların iyi belirlenmesi ve yapılacak olan faaliyetlerin iyi tayin edilmesi gerekmektedir. Eğimli ve kaygan yüzeyde çalışma, dar alanlarda çalışma ve hassas çalışma vb. koşulları sağlaması beklenen robotun mekanik tasarımı bu kriterler bütünü göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Bu çalışmada, tarım robotunun temel mekanik işlevleri olan tohum için kazma işlemini yapması, kazılan alana tohum bırakılması ve tohumun üzerine sulama işleminin gerçekleştirilmesi beklenmektedir. Bu mekanik işlevlere ilaveten üzerinde bulunan sensörlerden alınan verileri sistem üzerinde yerleşik bulunan hafıza kartına kaydetmesi beklenmektedir.

Tasarımın yapılırken dikkat edilen diğer bir unsur, kullanılacak materyallere kolay ulaşılabilir olması ve üretimin eklemeli imalat yöntemi ile yapılacak olmasıdır.

Robotun gövdesi üretim metodu ve faaliyet göstereceği çevre şartlarından dolayı, kararlı ve hareket sırasında gelen yükler karşısında yapısını koruyabilmesi gerektiğinden şase kısmı yekpare olacak şekilde tasarlanması planlanmıştır. Bu doğrultuda robota hareket sağlayacak hareket sistemleri şase üzerine doğrudan bağlantı sağlayacaktır.

Tek parça oluşan gövdelerin hareket kabiliyetini arttırmak için günümüzde 13 Kasım 1972 tarihinde Amerika Birleşik Devletlerinde patenti alınan, çok yönlü teker olarak da bilinen “mekanum” tekerlekler kullanılmaktadır. Özel olarak tasarlanan bu tekerlekler sayesinde araçlar ileri-geri hareketleri ile birlikte tekerlerin dönme yönlerinin ayrı ayrı kontrol edilmesi ile ağırlık merkezi etrafında dönebilme, tekerlek düzlemine ve aks hattına 45 derecelik açı ile dönebilme yeteneğine sahip olmuş olurlar.

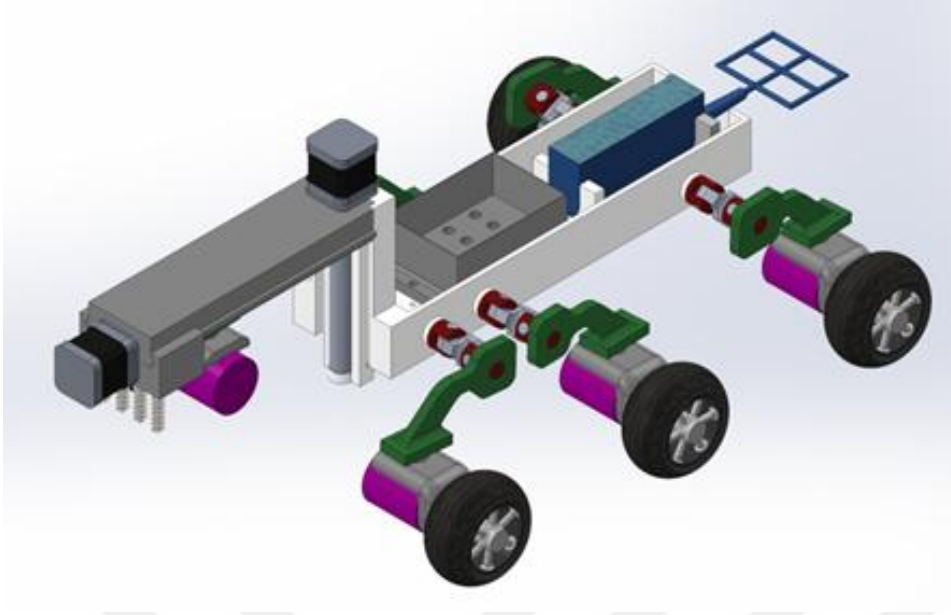


Şekil 2.1. Mecanum tekerleklerin manevra kabiliyetleri mavi: tekerlek sürüş yönü; kırmızı: aracın hareket yönü a) Düz ilerleme, b) Yanlamasına hareket etme, c) Çapraz hareket etme, d) Bir virajda hareket etme, e) Dönme, f) Bir dingilin orta noktası etrafında dönme [34]

Yapılan tasarımlarda hareket kinematiği olarak çok yönlü tekerleklerin kinematiği kullanılmıştır. Bu sayede aracımızın olduğu yerde 90 derece dönme hareketini yapabilmektedir.

2.1.1. İlk tasarım “Model-1”

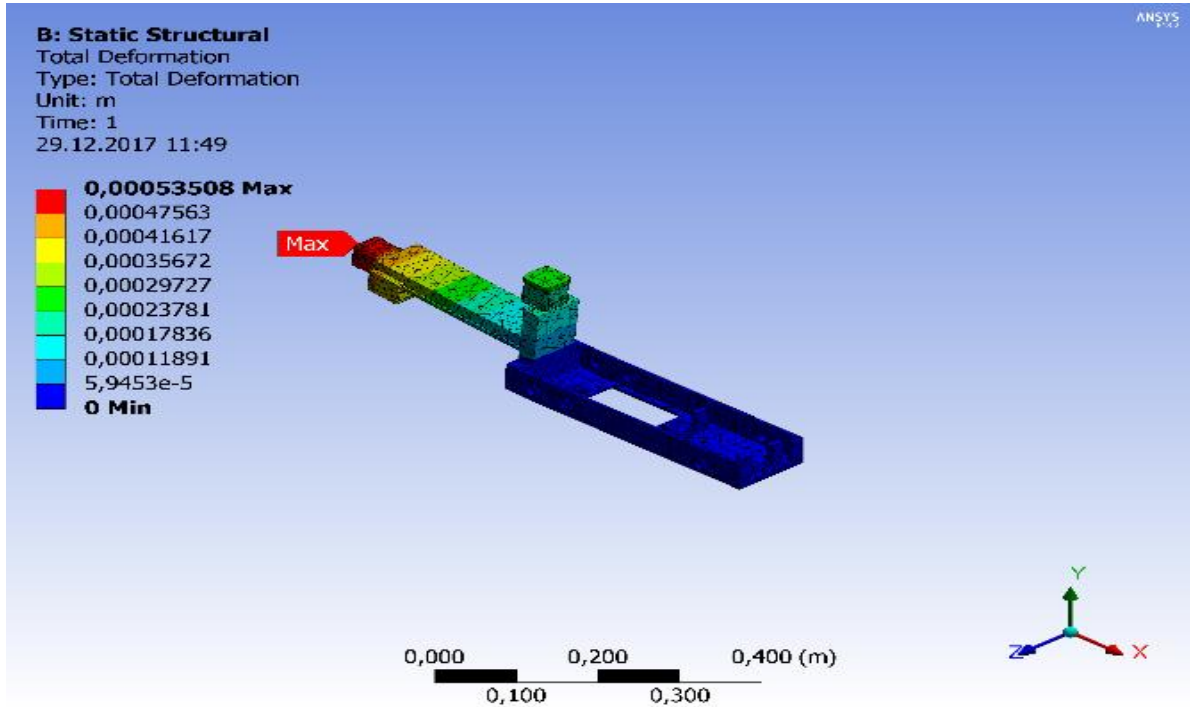
Mekanik tasarım genel olarak ana gövde, tekerlekler, bir uç işlevci ve manipülatörden oluşmaktadır. Manipülatörün tasarımında görev, ekonomik verimlilik ve gerekli hareketler dahil olmak üzere çeşitli faktörler göz önünde bulundurularak uç işlevcinin belirli bölgelere ulaşımı için yönlendirme kolu görevini yapmasıdır. Uç işlevci tasarımı ise üzerine düşen işlemin hassas bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.2. Model-1 genel görünüş

Model-1 üzerinde yapılan statik analizler sonucunda maksimum gerilmelerin ve yerdeğıştirmelerin oluşacağı noktalar belirlenmiştir.(Bkz. Şekil2.3)

Ancak alt sistemlerin Model-1 üzerine yerleştirilmesi ve robotun daha az parça ile daha maliyetli şekilde üretilmesi planlandığından dolayı tasarımda değışikliğe gidilerek sırası ile “Model-2” ve “Model-3” tasarımları üzerinde çalışılmıştır.

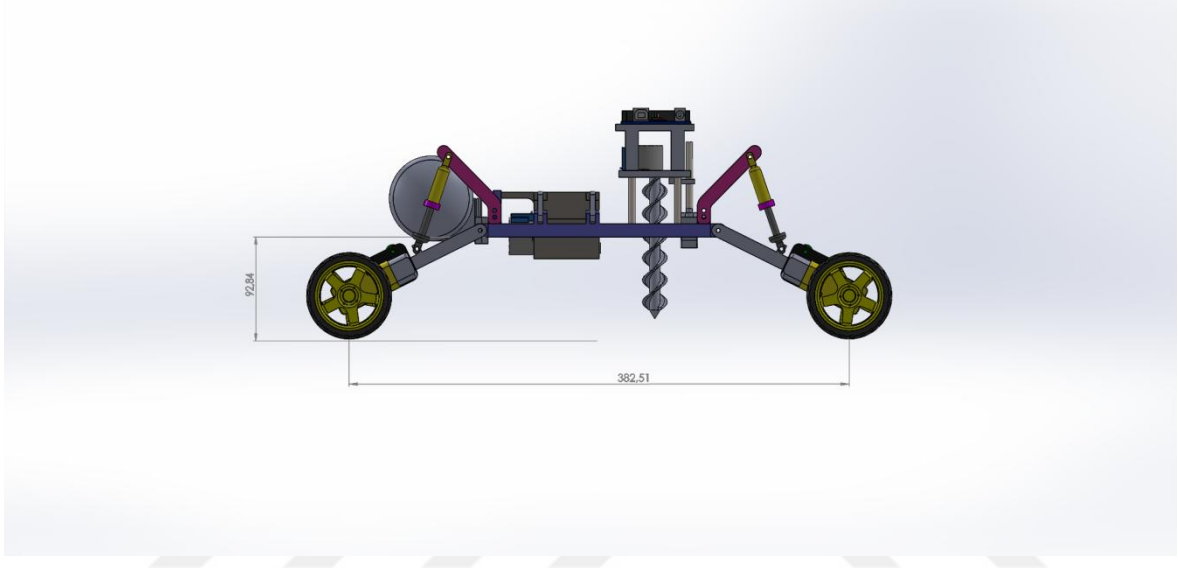


Şekil 2.3. Model-1 üzerinde yapılan statik analiz sonuçlarının görünümü

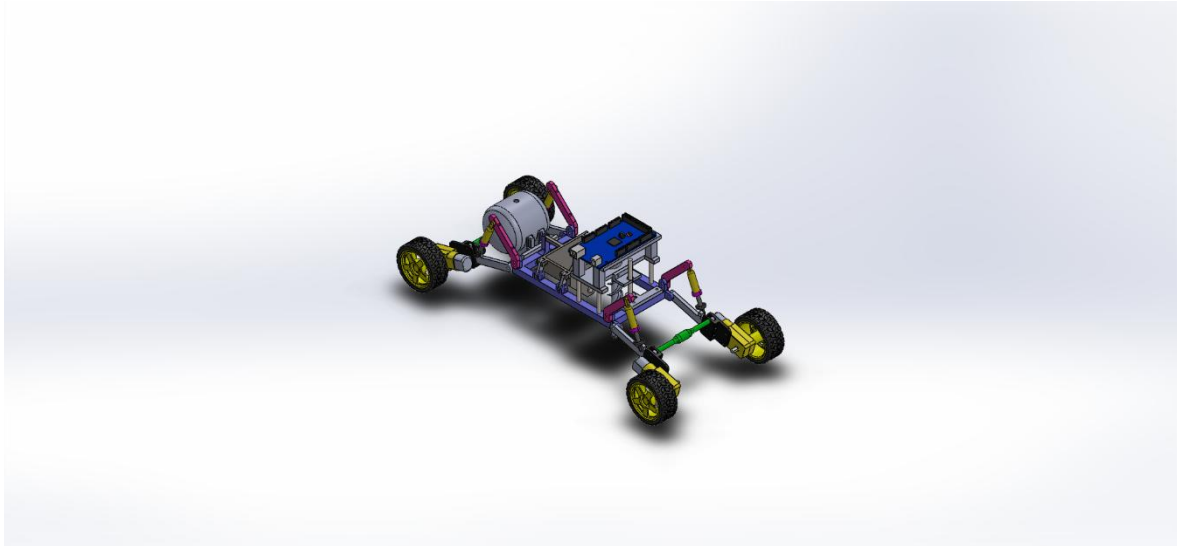
2.1.2. Üretilen ilk tasarım “Model-2”

Yapılan tasarım çalışmaları en az alan ile en fazla görevi yerine getirebilmek üzere yapılmıştır.

Şekil 2.4’te görüldüğü üzere tasarımın uzunluğu 382,5 mm,gövdenin zeminden yüksekliği 98,8 mm ve teker açıklığı ise 210,7 mm olarak ön görülmüştür.



Şekil 2.4. İlk yapılan tasarım: Model-2



Şekil 2.5.Model-2izometrik görünüş

Model-2PLA(Polilaktikasıit) malzeme ile 40 saatlik 3 boyutlu baskı süreci ile üretilmesi mümkün oluyor. Model-2’in üretilmiş hali aşağıdaki Şekilde mevcuttur.(Bkz. Şekil 2.5)

Model-2 tasarım olarak “Mars Curiosity Rover” robotundan ilham alınarak gerçekleştirilmiştir [35].

Tasarımın üretilmesi ve ilk hareket testleri sonucunda ortaya çıkan dezavantajlar şunlardır;

- Dört tekerin bağımsız olmasından dolayı, aktif süspansiyon sistemine ve gövdeyi sürekli aynı seviyede tutabilecek elektron-mekanik sisteme ihtiyaç duyması,
- Lastiklerin ağırlık merkezinden uzakta olması aracı olduğu yerde döndürmemize engel olması,
- Toprağı kazmak için gerekli olan sistemin dikey hareketini sağlayacak manipülâtörün yetersiz olması,

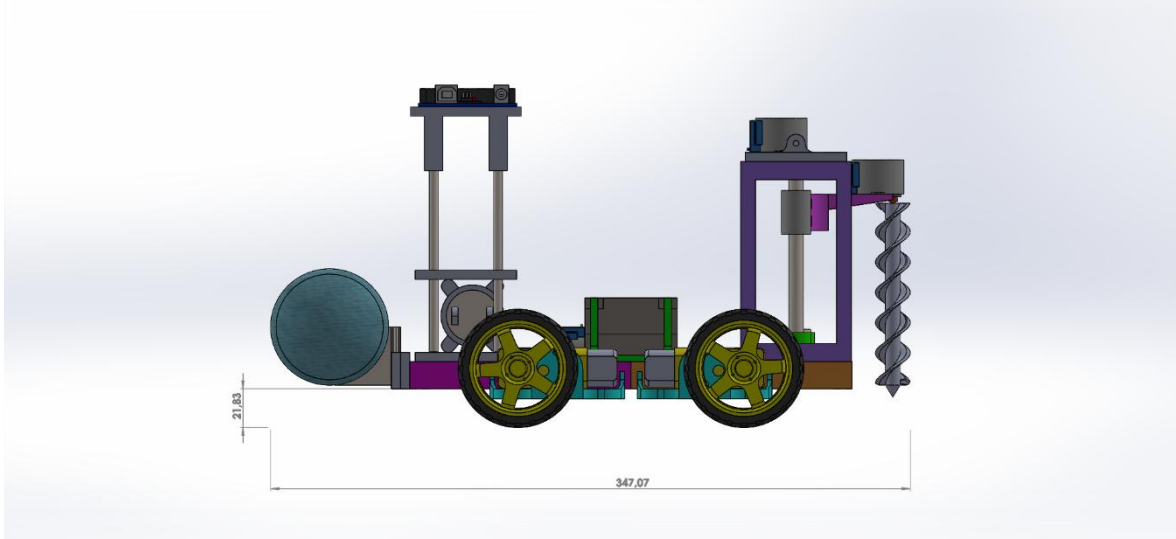
Söz konusu sebeplerden dolayı tasarım değişikliğine gidilmiştir.



Şekil 2.6. Model-2 üretilmiş hali

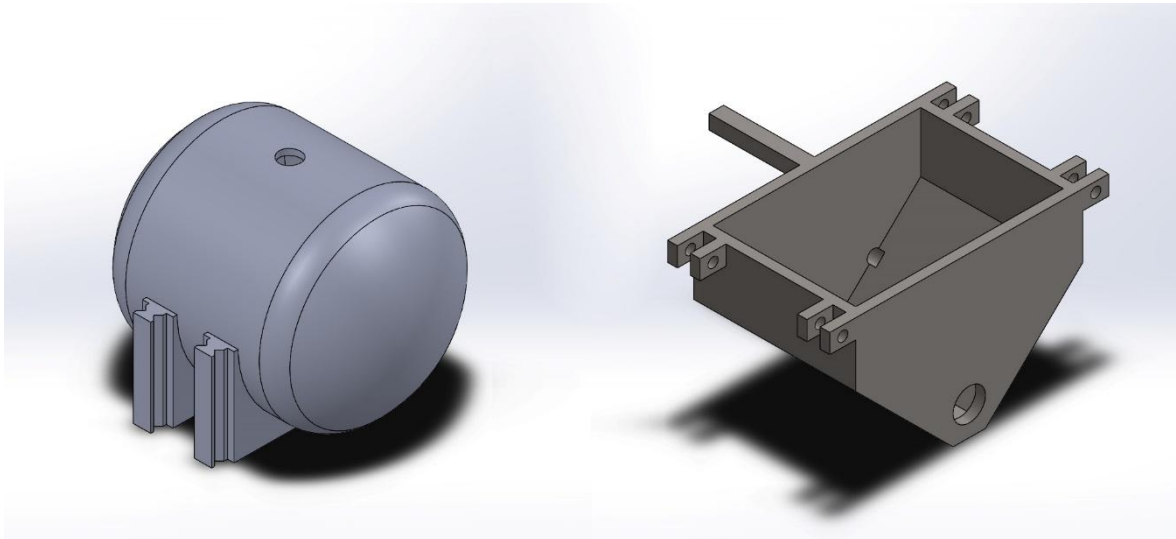
2.1.3. Düşük maliyetli ve nihai minimal tasarım : “Model-3”

Model-2’de karşılaşılan sorunlar doğrultusunda tasarımda serbest süspansiyon sisteminin uygulanmasından vazgeçilmiş olup, lastikler ağırlık merkezine daha yakın olacak şekilde yerleştirilmiştir.(Bkz. Şekil2.7)



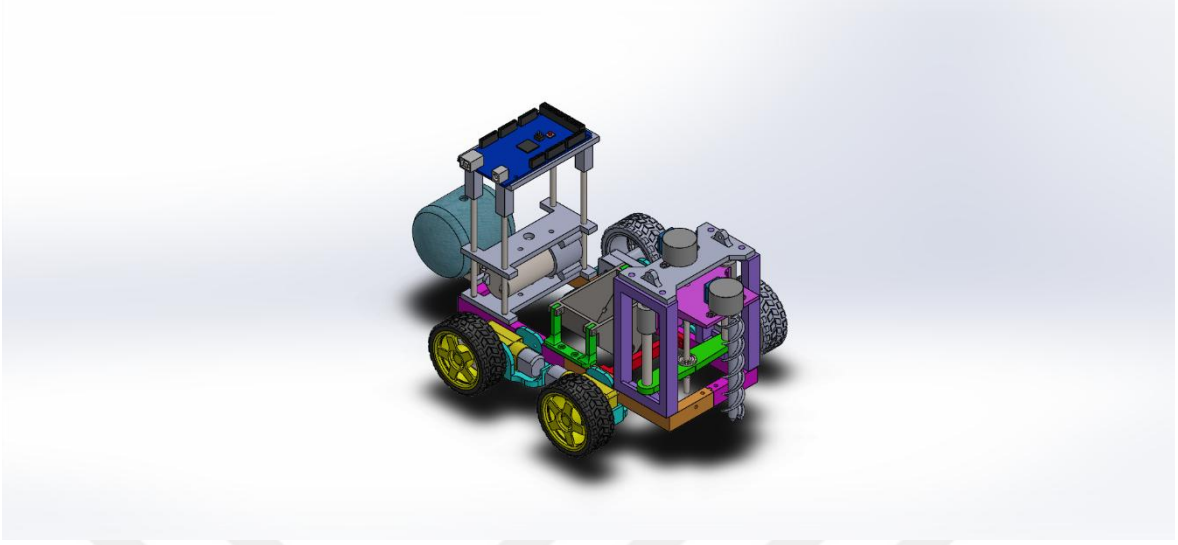
Şekil 2.7. Model-3 yan görünüş

Model-3 de 3Boyutlu baskı yöntemi ile üretilebilecek şekilde modüler olarak tasarlandı ve üretildi. Yerden yüksekliği 21,83mm, uzunluğu 347mm ve teker genişliği 222mm’dir.

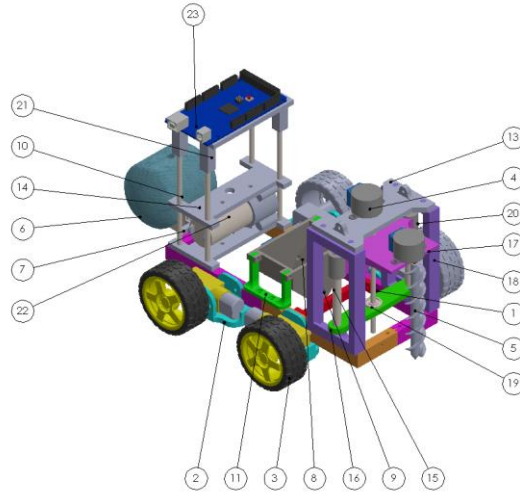


Şekil 2.8. Sulama(solda) ve tohum(sağda) haznesinin izometrik görünüşleri

Tasarım yapılırken sulama haznesi 0,18 litre ve tohum haznesi 0,10 litre olarak seçilmiş ve modellenmiştir.



Şekil 2.9. Model-3 izometrik görünüşü



Şekil 2.10. Model-3 parça numaraları

Model-3 için kullanılan parçaların sayısı Çizelge 2.1’de, parçaların model üzerindeki yerleşimi Şekil 2.10’da gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Model-3 kullanılan parça listesi

ÖĞE NO.	PARÇA NUMARASI	MİKT.
1	60521_Sase	2
2	60521_Motor_tutucu	4
3	60521_6v_250rpm_dcmotor	4
4	Stepper_28BYJ-48.stp	3
5	60521_Delici_spiral	1
6	60521_Sulama_tank	1
7	60521_Sulama_plaka	1
8	60521_Tohumlama_hazne	1
9	60521_Kazıcı_Spiral	1
10	60521_5lik_mil	5
11	60521_Tohum_hazne_kol	2
12	60521_Ara_destek	1
13	60521_Delici_plaka_v2	1
14	60521_delici_plaka	2
15	60521_8lik_mil	2
16	60521_Kazıcı_alt_destek	1
17	60521_Kazıcı_lineer_hareket	1
18	60521_Kazıcı_sase_bag	2
19	SKF - 625	1
20	Lmu8u_rulman	2
21	60521_Arduino_plaka	1
22	60521_Pompa	1
23	ArduinoMega.step	1

2.2. Yapısal Analizi

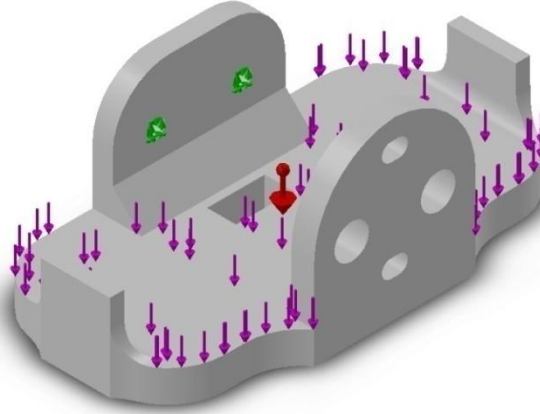
Model-3 üzerinde üç adet kritik parça bulunmaktadır. Bunlar;

- Motor bağlantı parçası
- Kazıcı lineer hareket parçası
- Kazıcı spiral parçasıdır.

Bu üç parça sonlu elemanlar yöntemi ile üzerlerine gelecek kuvvetler altında irdelenmişlerdir.

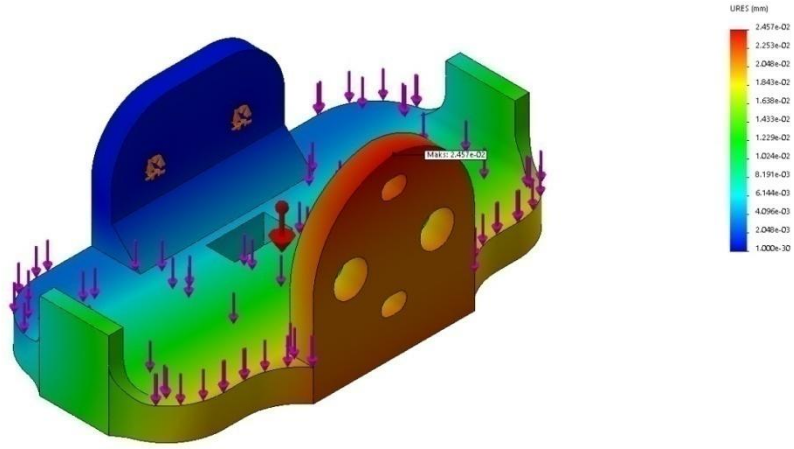
Motor bağlantı parçası için;

Motor bağlantı parçası kullanılan 6V 250RPM ve teker ile birlikte 67 gram ağırlığa sahip redüktörlüdc motoru ana şase parçasıyla birleştirmek üzere tasarlanmıştır. Bu doğrultuda parça üzerinde motorun ağırlığından dolayı oluşacak 0,65 Newton'luk kuvvet değeri oluşacaktır. Analiz sırasında bu değer 1 Newton olarak seçilmiştir. Yük dağılımı Şekil 2.11'da görülmektedir.



Şekil 2.11. Motor bağlantı parçası üzerine gelen yük dağılımı.

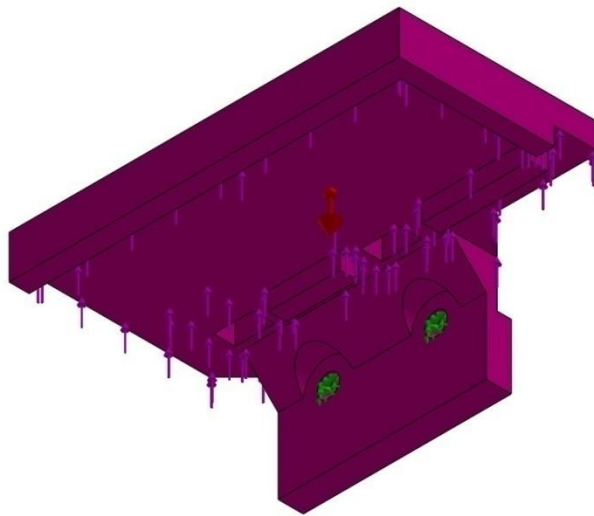
Model adı:02521_motor_tutucu
 Etüt adı:Statik (1)-analiz
 Grafik tipi: Statik yer değiştirme Yer değiştirme1
 Deformasyon ölçeği: 1



Şekil 2.14. Motor bağlantı parçası üzerinde oluşan maksimum yer değiştirme.

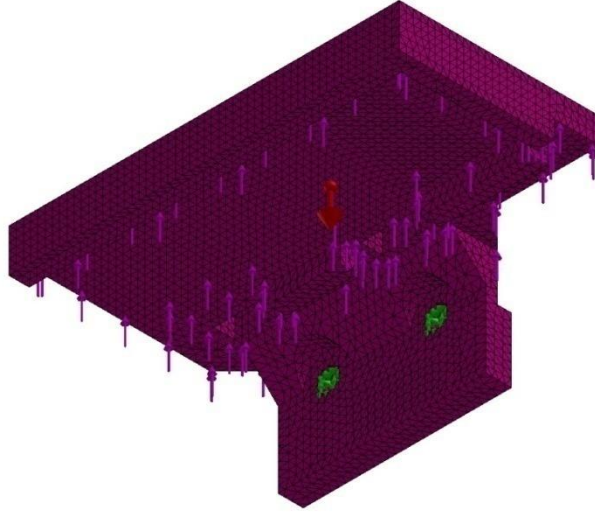
Sonlu elemanlar yöntemi ile Solidworkssimulation üzerinden yapılan statik analiz sonucunda motor bağlantı parçası üzerinde oluşan maksimum gerilmeler ve yer değiştirme miktarı görünmektedir.

Motor tutucu parçaya alternatif olarak ikinci tasarım yapılmıştır. Bu tasarımda motor parçaya alt taraftan plastik kelepçeler ile bağlanarak tutucu parça üzerinde oluşan yerdeğiştirme miktarının azalması ve üretim sürecinin kısaltılması hedeflenmiştir.



Şekil 2.15. Motor tutucu parçasının ikinci versiyonu.

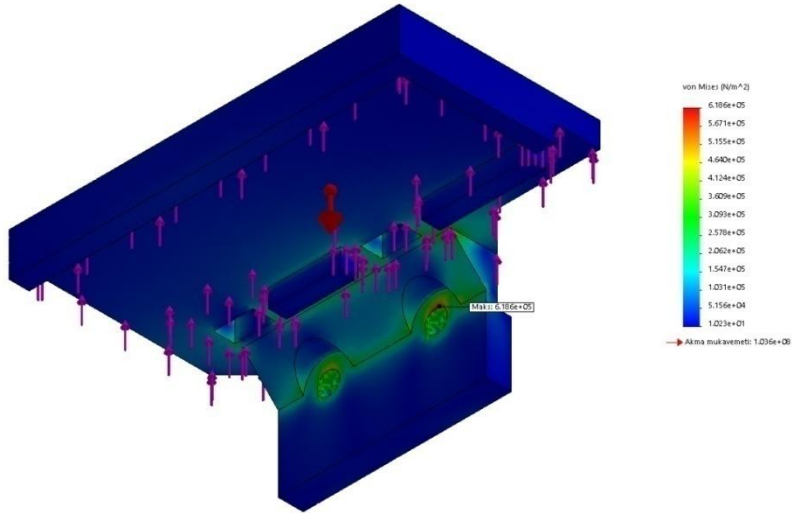
Model adı:021_motor_tutucu_v2
Eklenti adı:Static 11-Varyasyon1
Mesh tipi: Tam Mesh



Şekil 2.16. İkinci tasarım motor bağlantı parçası üzerinde oluşturulmuş mesh yapıları.

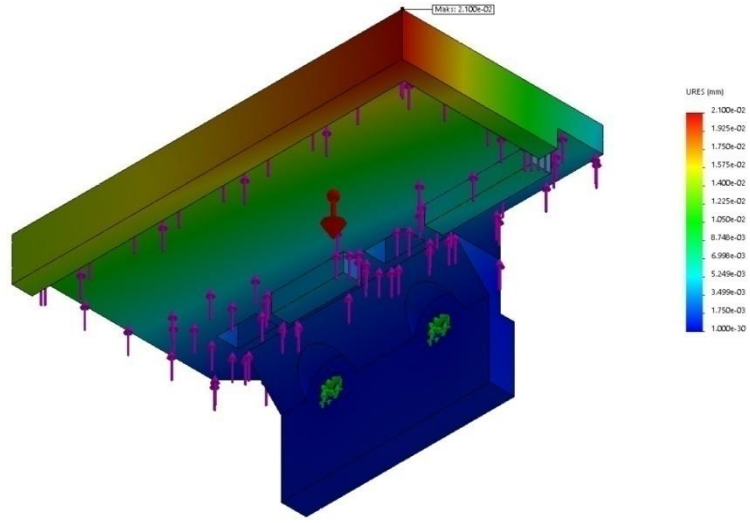
İkinci versiyon motor tutucu parçası için eleman boyutu 1,02 mm olan 56237 mesh elemanı oluşturulmuştur. Söz konusu olan elemanlar toplam 86103 düğüm noktası oluşturmaktadır.

Model adı:021_motor_tutucu_v2
Eklenti adı:Static 11-Varyasyon1
Grafik tipi: Static düğüm stressi Stress1
Deformasyon ölçeği: 1



Şekil 2.17. İkinci tasarım motor bağlantı parçası üzerinde oluşan maksimum stres.

Model adı:021_motor_tutucu_v2
 Etüt adı:Statik 1i-Variasyon
 Grafik tipi: Statik yer değiştirme Yer değiştirme1
 Deformasyon ölçeği: 1



Şekil 2.18. İkinci tasarım motor bağlantı parçası üzerinde oluşan maksimum yer değiştirme.

Çizelge 2.2. Motor tutucu versiyonlarının kıyaslanması.

	1	2
Versiyon Numarası		
Maksimum Stres(N/m ²)	7,047e+05	6,186e+05
Maksimum Yer Değiştirme(mm)	2,457e-02	2,100e-2
Üretim Süresi(dakika)	75	40

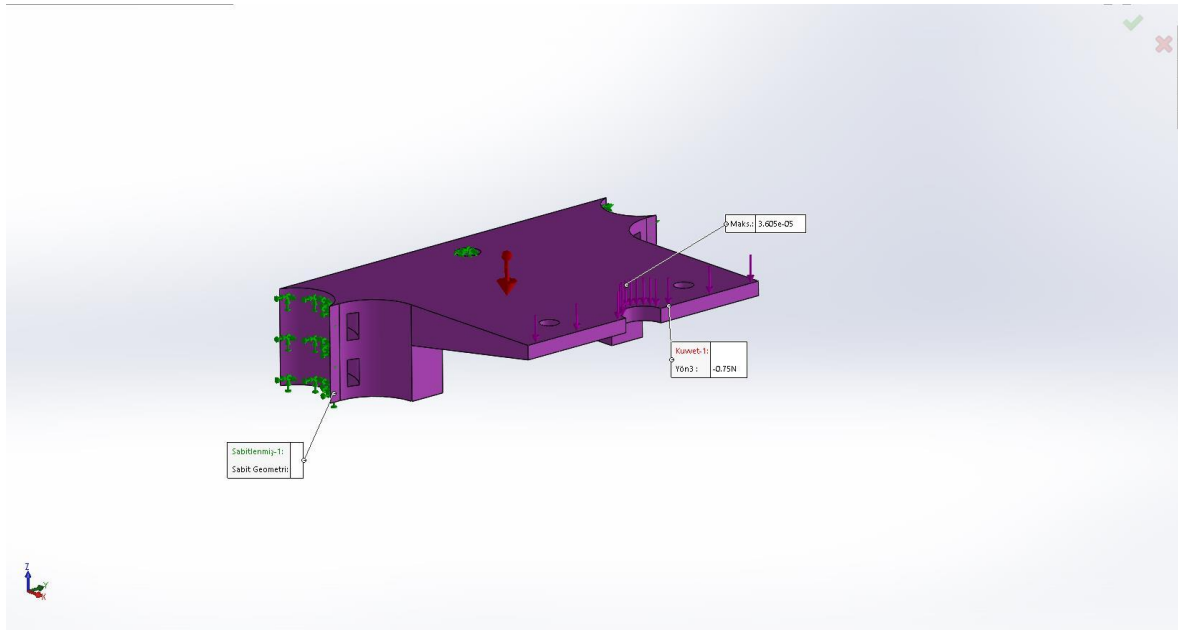
Yapılan iki çalışma için oluşan stres, yer değiştirme ve üretim süresi değerleri Çizelge 2.2 de karşılaştırılmıştır. Alınan sonuçlar doğrultusunda ikinci yapılan tasarımın uygulamaya alınması kararlaştırılmıştır.

Kazıcı lineer hareket parçası için;

Çizelge 3.3. Kazıcı lineer hareket parçasının malzeme özellikleri.

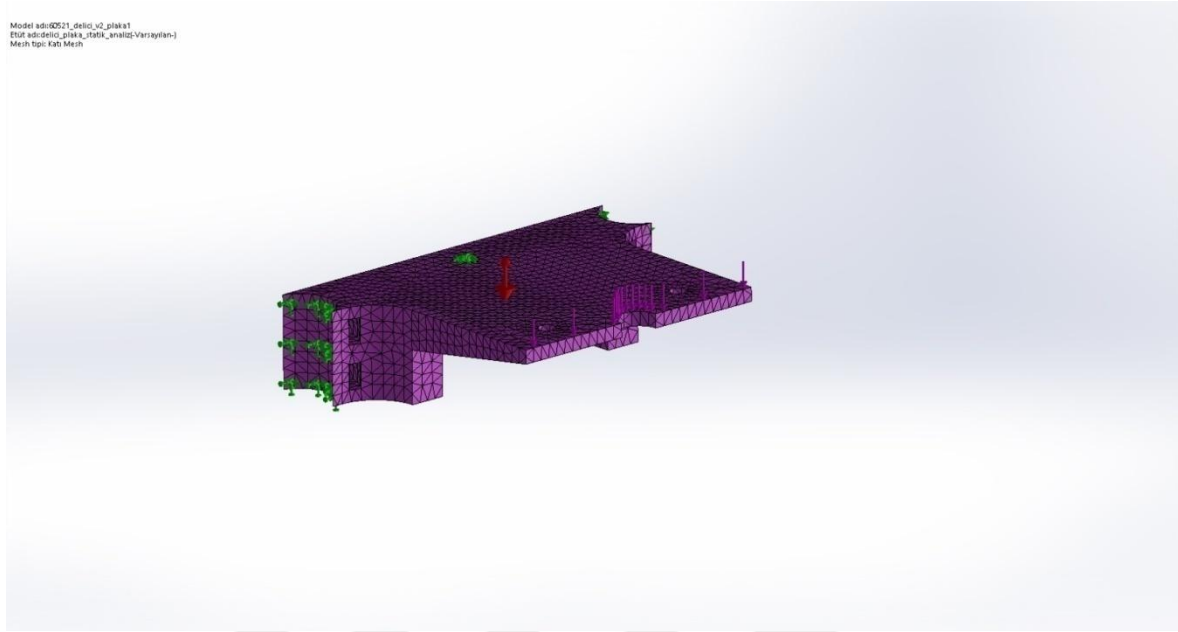
	Ad:	PLA
	Model tipi:	İzotropik Doğrusal Elastik Analizi
	Varsayılan hata kriteri:	Maks. vonMises Gerilimi
	Akma mukavemeti:	1,03649e+08 N/m²
	Gerilme mukavemeti:	9e+07 N/m²
	Elastik modül:	2,62e+09 N/m²
	Poisson oranı:	0,34
	Kütle yoğunluğu:	1250 kg/m³
	Yırtılma modülü:	9,704e+08 N/m²

Kazıcı lineer hareket parçası kazma işlemi için kazıcı spiral parçasını çalıştıracak 28BYJ-48 redüktörlüadım motor ve kazıcı spiral parçasını ana şase parçasıyla birleştirmek üzere tasarlanmıştır. Bu doğrultuda parça üzerinde motorun ağırlığından dolayı oluşacak 0,45Newton'luk kuvvet değeri oluşacaktır. Analiz sırasında bu değer 0,75 Newton olarak seçilmiştir. Yük dağılımı Şekil 2.19'da görülmektedir.

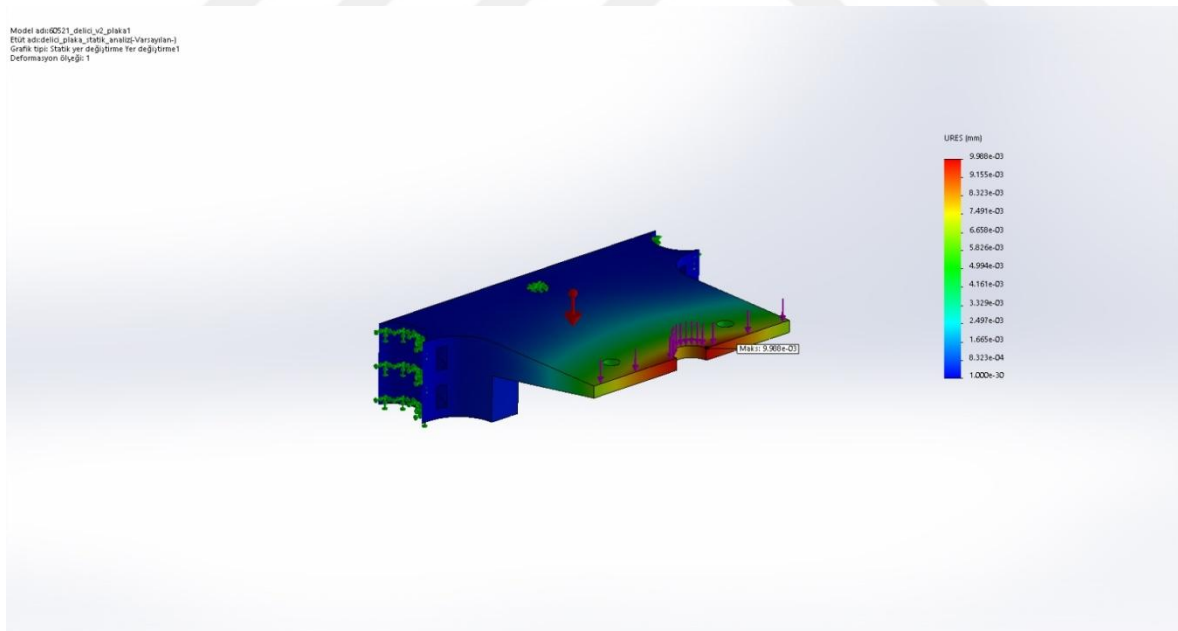


Şekil 2.19. Kazıcı lineer hareket parçasının analize hazırlanması.

Kazıcı lineer hareket parçası için eleman boyutu 2,30mm olan 18909 mesh elemanı oluşturulmuştur. Söz konusu olan elemanlar toplam 30607 düğüm noktası oluşturmaktadır.



Şekil 2.20. Kazıcı lineer hareket parçası üzerine uygulanan mesh yapısı.

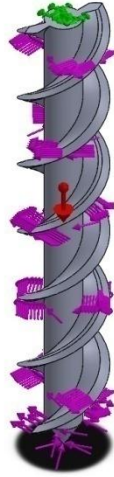


Şekil 2.21. Kazıcı lineer hareket parçası üzerinde ağırlıktan dolayı oluşan maksimum yer değiştirme miktarı.

Parça üzerinde yapılan sonlu elemanlar metodunun simülasyon grafiklerinin verdiği değerlerde, parçanın kırmızı olan bölgesi $9,98e-3$ mm ile en fazla yer değiştirme olayının beklendiği alandır.(Bkz. Şekil 2.21)

Çizelge 2.4. 28BYJ48 adım motoru değerleri.

Model	voltaj	direnç	frekans	çekme torku	tork	çekme frekansı	çekme frekansı	adım açısı	gürültü
	V	(Ω)	(PPS)	(mN.m) 100PPS	(mN.m)	(PPS)	(PPS)	K	dB(A)
28BYJ48	5	15	100	24.5	24.5	800	1000	5.625	≤ 40
28BYJ48	5	15	100	29.4	39.4	800	1000	5.625	≤ 40
28BYJ48	5	20	100	34.2	39.2	800	1000	5.625	≤ 40
28BYJ48	5	20	100	88.2	39.2	800	1000	5.625	≤ 40
28BYJ48	12	80	100	98	39.2	800	1000	5.625	≤ 40
28BYJ48	12	130	100	88.2	39.2	800	1000	5.625	≤ 40
28BYJ48	12	200	100	68.6	39.2	800	1000	5.625	≤ 40
28BYJ48	12	300	100	49	39.2	800	1000	5.625	≤ 40
28BYJ48	24	200	100	98	39.2	800	1000	5.625	≤ 40
28BYJ48	24	300	100	88.2	39.2	800	1000	5.625	≤ 40
28BYJ48	36	380	100	98	49	800	1000	5.625	≤ 40



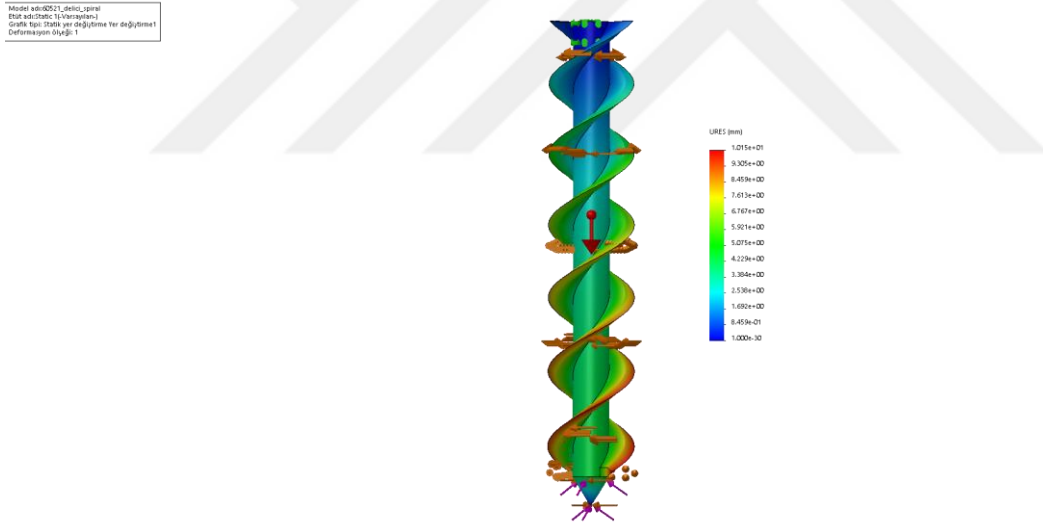
Şekil 2.23. Kazıcı spiral parçası ve üzerine gelen yüklerin gösterimi.

Kazıcı spiral parçası için eleman boyutu 1,32 mm olan 23630 mesh elemanı oluşturulmuştur. Söz konusu olan elemanlar toplam 39517 düğüm noktası oluşturmaktadır.

Şekil.2.24'te mesh yapısı görülmektedir.



Şekil 2.24.Kazıcı spiral parçası mesh yapısı.

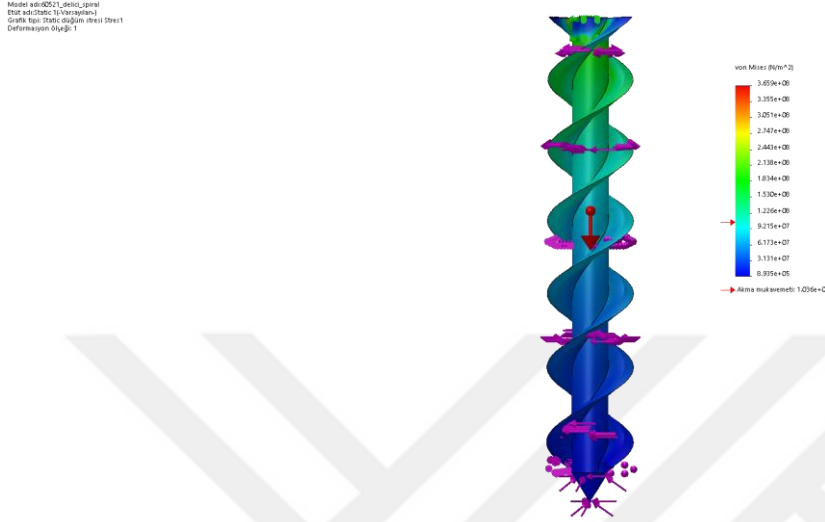


Şekil 2.25.Kazıcı spiral parçası deformasyon analizi.

Parça üzerinde yapılan sonlu elemanlar metodunun simülasyon grafiklerinin verdiği değerlerde, kazıcı spiral parçasının helezon kısımlarında toprakla temas eden ilk yüzeyden yukarıya doğru 1,015e1 mm ile en fazla yer değiştirme olayının beklendiği alanıdır. (Bkz. Şekil2.25.)

Aynı yükler altında modelin üzerinde oluşan maksimum stres noktasal olarak 3,659e8 N/m^2 olarak gözlemlenmiştir. Oluşan bu değerin parçanın akma mukavemetinden

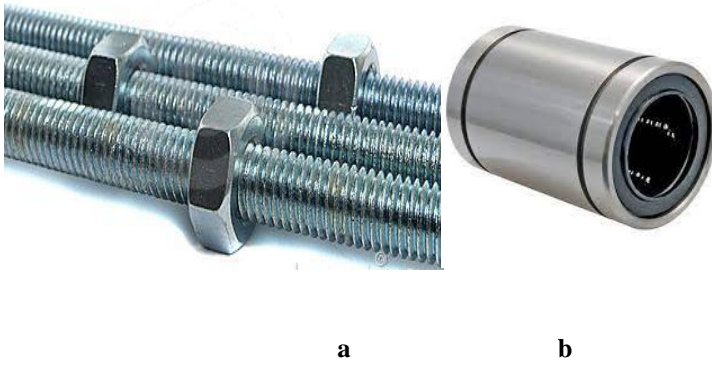
($1,036e8 \text{ N/ m}^2$) büyük olması noktasal olarak kopma gerçekleşebileceğini göstermektedir.(Bkz. Şekil 2.26)



Şekil 2.26.Kazıcı spiral parçası stres analizi.

Yapılan bu analiz çalışmaları bizlere tasarımın genel anlamda çalışma verimi ve mukavemet dayanımı açısından ön bilgi vermektedir. Analiz sonuçlarında ortaya çıkan yükler neticesinde kazıcı spiral parçası üzerinde yüzey kaplama ve sertleştirme işlemleri yapılması gerektiği öngörülmüştür.

Robotun genel montajı M3 vida, gerekli yerlerde yapıştırıcı ve plastik kelepçeler ile gerçekleştirilmiştir. Kazıcı spiral parçasının aşağı yukarı hareketi M5 gijon ile gerçekleştirilmiştir. Yataklamak için iki yanında bulunan M8 miller üzerine 1m8uu lineer rulmanlar ile sabitlenmiştir.



Şekil 2.27. Kazıcı spiral parçasını montajında kullanılan mekanik bileşenler a)5mm gijon, b)Lm8uu lineer rulman

2.3. Hedefler

Hedeflenen çalışmalar;

- Robotun istenilen istikamet hattında kalması,
- İstenilen aralıklarla mekanik işlevlerini yerine getirmesi,
- Sistem çalışırken sensörlerden veri almasıdır.

2.4. Yazılım Tasarımı

2.4.1. Kullanılan elektronik bileşenler

Yüksek kapasite ve düşük ağırlık oranından dolayı projenin temel güç kaynağı olarak 11,1 Volt 1350 mAh lityum polimer pil kullanılması seçilmiştir.

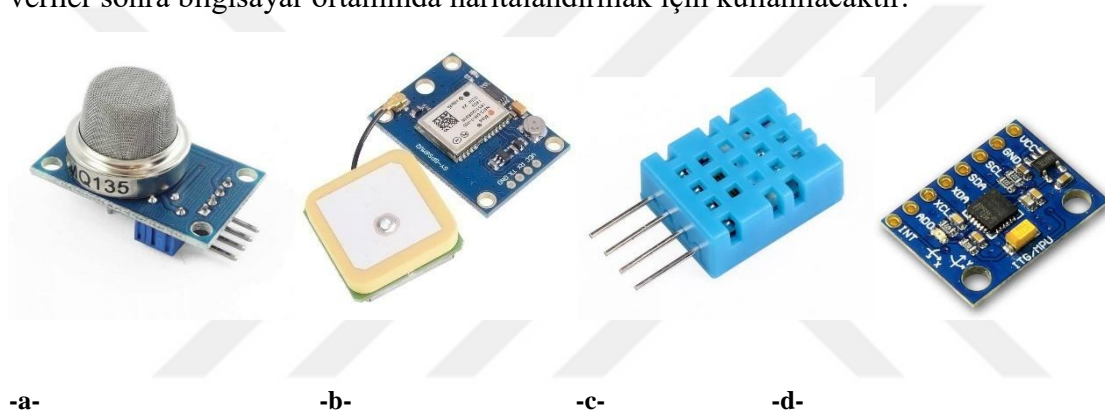


Şekil 2.28. 11,1V 1350 mAh Li-Po pil.

Model-3'nin temel mekanik ve elektronik davranışlarını gerçekleştirmesi Atmega2560 işlemciye sahip Arduino Mega kartı ile sağlanacaktır. Bu temel hareketler;

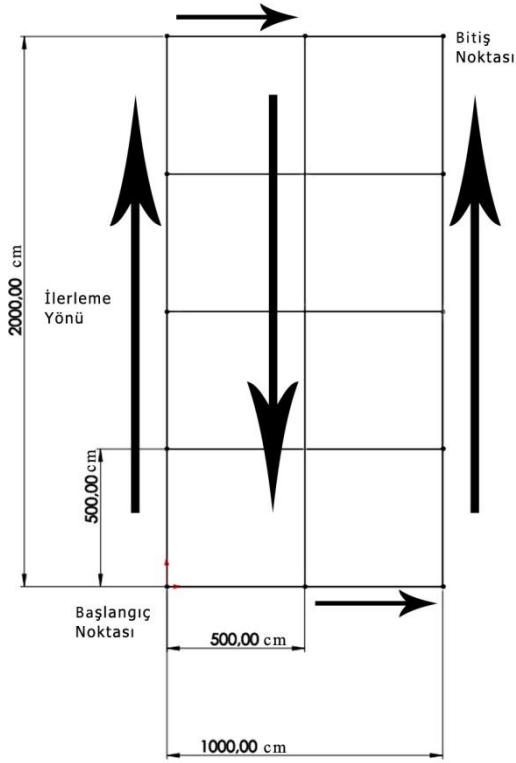
- Robotun kullanıcı ile iletişimin sağlanması,
- İleri, geri, sağa ve sola aracın hareket etmesi,
- Kazıcı, tohumlama ve sulama sistemlerinin kontrolüdür.

Robotumuz üzerindeki MQ135 gaz sensörü, DHT11 sıcaklık ve nem sensörü, MPU6050 ivme ve gyrosensörü ile GY-NEO6MV2 GPS modülünden alınacak olan verileri AT328 işlemciye sahip arduinouno kartı tarafından hafıza kartına kaydedilecektir. Kaydedilen bu veriler sonra bilgisayar ortamında haritalandırmak için kullanılacaktır.



Şekil 2.29. Robot üzerinde kullanılacak temel sensörler sırası ile a) MQ-135 gaz sensörü, b)GY-NEO6MV2 GPS modülü, c) DTH11 sıcaklık ve nem sensörü, d) MPU6050 ivme sensörü.

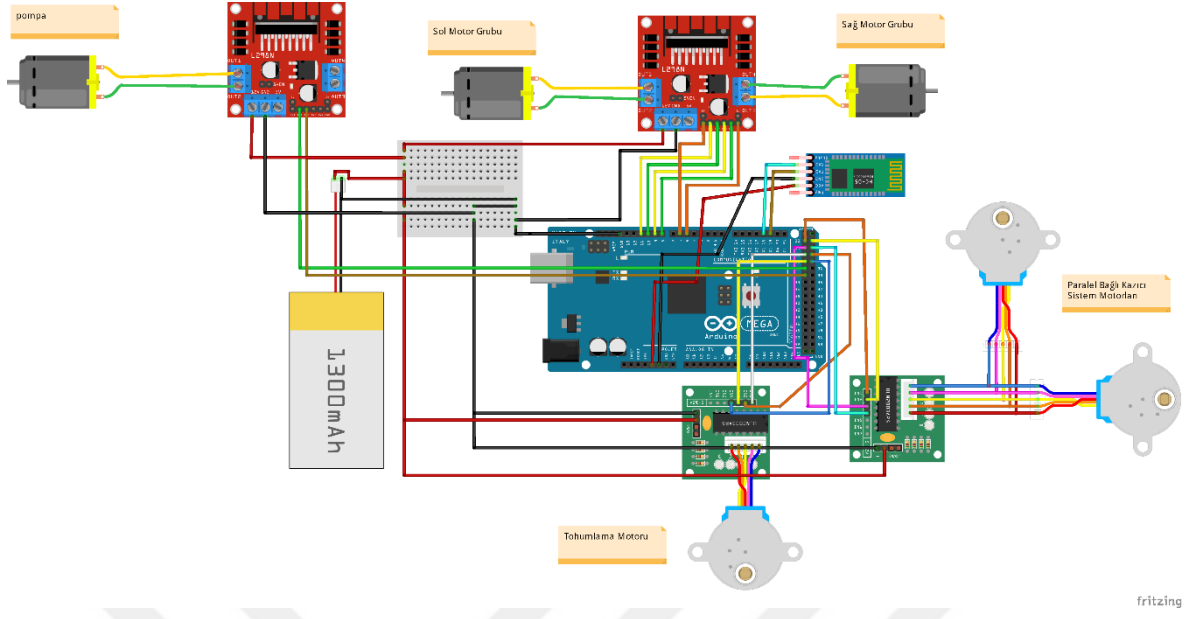
Robotumuz kullanıcı tarafından cep telefonu ile bluetooth iletişim protokolü üzerinden alınan ölçülerini ve iki istasyon arasındaki mesafeyi işleyecektir. İşlenen bu değerler ile alan Model-3'nin işleyebileceği anlamlı ölçülere dönüştürülecektir. Arduino Mega kartında işlenecek olan bu ölçüler Model-3'nin izleyeceği sinüs dalgası modeli rotasını oluşturacaktır.



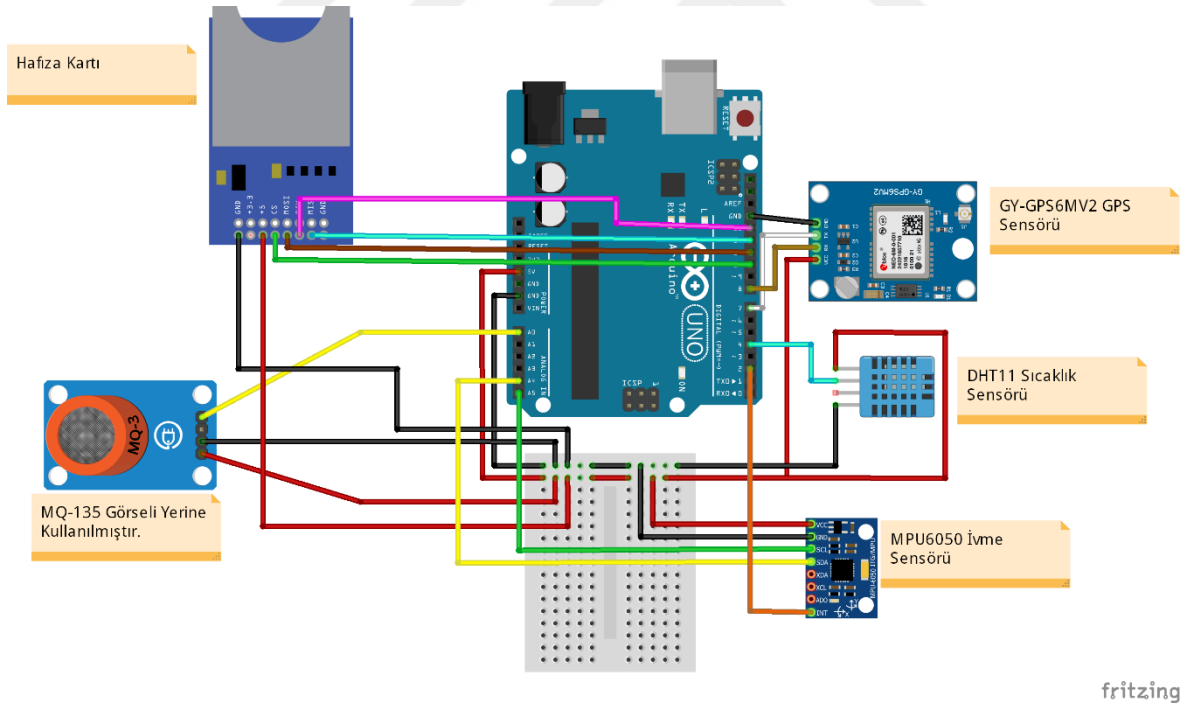
Şekil 2.30. Robot için hazırlanmış örnek güzergah şablonu.

2.4.2. Arduino ile haberleşme ve kontrol sistemi

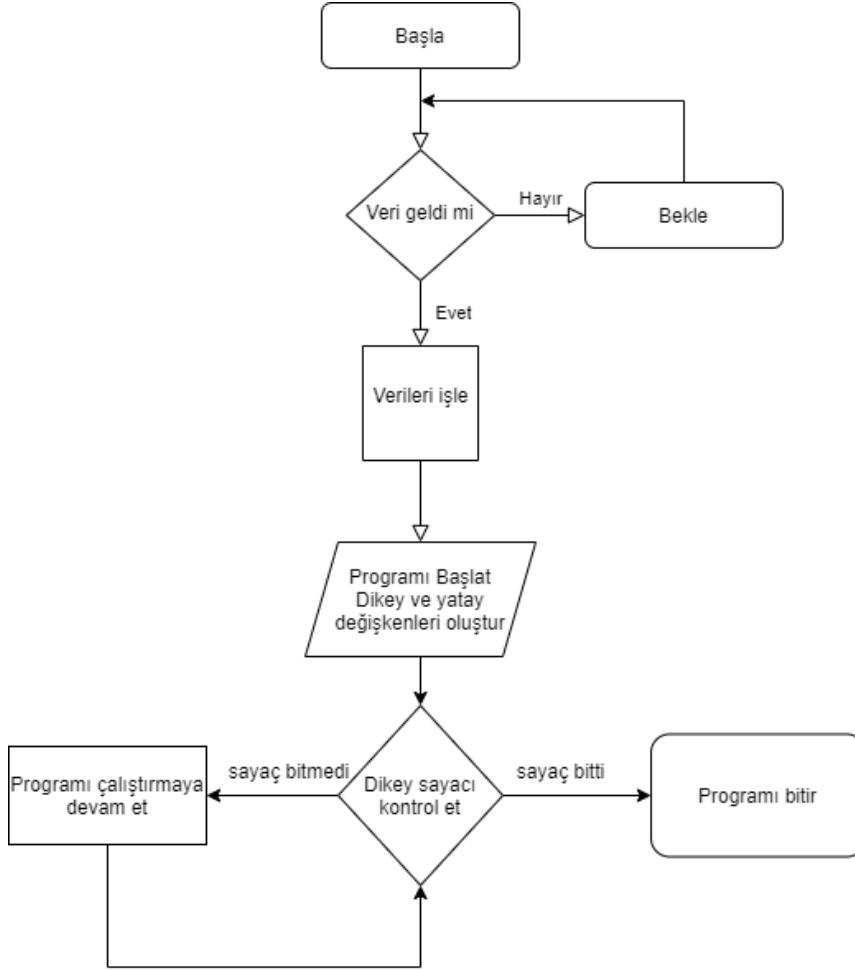
Model-3 temel fonksiyonlar için gerekli olan elektronik bileşenlerin bağlantı şeması (Bkz. Şekil 2.31) ve sensörlerin bağlantı şeması (Bkz. Şekil 2.32) aşağıdaki görsellerde gösterilmektedir. Programın akış şeması Şekil 2.33'te gösterilmektedir.



Şekil 2.31. Model-3 ile iletişim ve mekanik hareketler için devre bağlantısı.



Şekil 2.32. Model-3 üzerinde sensörlerin devre bağlantısı.



Şekil 2.33.Model-3program akış şeması.

Robot üzerinde bulunan ve arduino mega kartına bağlı olan bluetooth modülü telefon üzerinden gelecek olan değerleri sırası ile (uzunluk, genişlik ve adım sayısı) olmak üzere yazılım içerisinde oluşturulan dizi içerisinde kaydetmeyi sağlayan “while döngüsü”Şekil2.34’te belirtilmiştir.

```

while (k < 3) {
  while (Serial1.available() > 0) {

    byteSayisi = Serial1.parseInt();

    // Serial.print("Dizi : ");

    Serial.println(byteSayisi);

    dizi[i] = byteSayisi ;

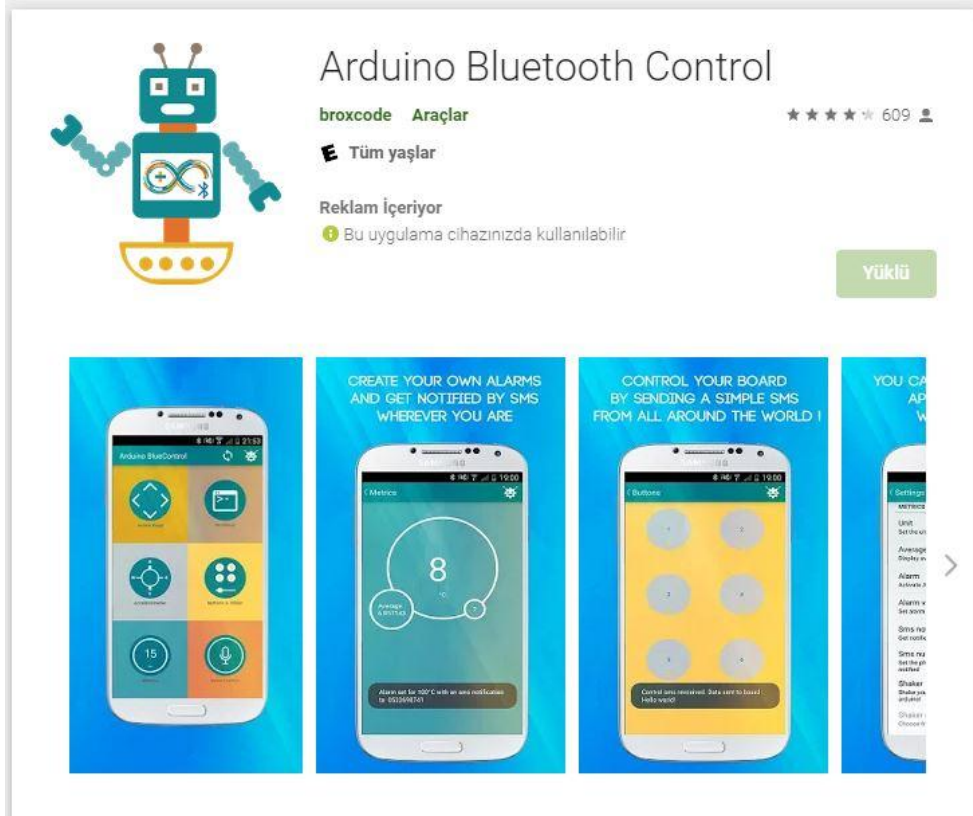
    Serial.println(i);
    i++;
    k++;
  }
}

```

Şekil 2.34. Bluetooth modülü ile arduino kartına veri alımı yapılan kod bölümü.

2.4.3. Android yazılımı

Robotumuz bluetooth teknolojisi ile android yazılıma sahip telefonumuz üzerinden hazır uygulama ile kontrol edilmektedir. Yaygın android uygulama indirme sayfasından seçilen uygulama aşağıdaki Şekil 2.35’de gösterilmektedir.



Şekil 2.35. Robotun kontrolü için kullanılan android uygulama.

Arduino ve android arasında iletişim kurmayı sağlayan farklı uygulamalarda aynı işlevi görmektedirler.



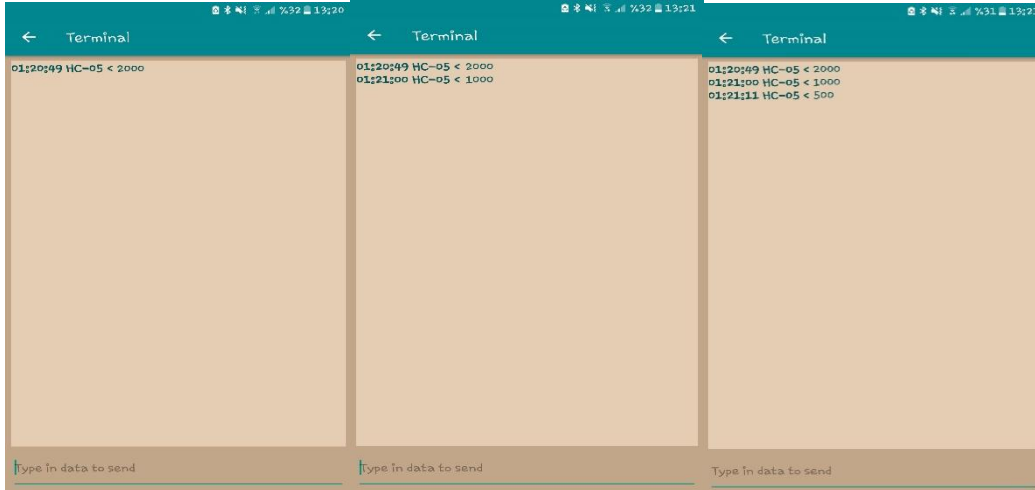
-a-

-b-

-c-

Şekil 2.36. Uygulama arayüz gösterimi a) uygulamanın arayüz seçenekleri, b) uygulama bluetooth cihazı ile eşleşmek için onay beklediği ekran, c) eşleştirme yaptıktan sonra sağ üst köşedeki terminal ekranı.

Android cihazımızı robot ile eşleştirdikten sonra terminal ekranından aracımızın işleyeceği uzunluk, genişlik ve adım sayısını santimetre cinsinden iletiyoruz.



-a-

-b-

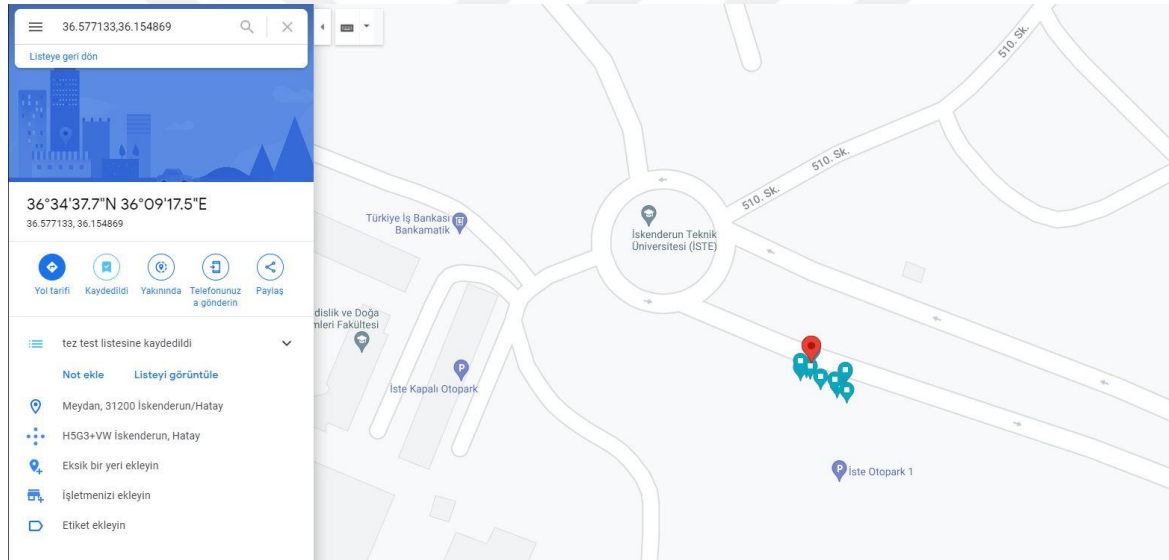
-c-

Şekil 2.37. Uygulama üzerinden robota iletilen değerler a) işlenecek uzunluk, b) işlenecek genişlik, c) adım sayısı

3. UYGULAMA

Robot, android cihaza bağlandıktan sonra bluetooth iletişim protokolü üzerinden aldığı veriler doğrultusunda işlem yapacağı alanı, işlenebilecek en yakın tam sayı değerlerine dönüştürmektedir. Yapılan arazi test çalışmasında ölçüler 2000-1000-500 cm olarak mobil uygulama üzerinden robota iletilmiştir. Bu değerler doğrultusunda takip etmesi beklenen güzergah planlanmıştır.(Bkz. Şekil 2.30)

Bu güzergah doğrultusunda 12 çalışma noktası oluşmaktadır ve sensörlerden değerler okunmaya devam etmektedir. İskenderun Teknik Üniversitesi içerisinde yapılan arazi çalışmaları doğrultusunda GPS değerleri toplanmıştır.



Şekil 3.1. Gps sensöründen alınan koordinat noktalarının harita uygulaması üzerinde gösterimi

Çizelge 3.1. Robot üzerinde bulunan gps, ivme ve gaz sensöründen alınan verilerin sadeleştirilmiş tablosu

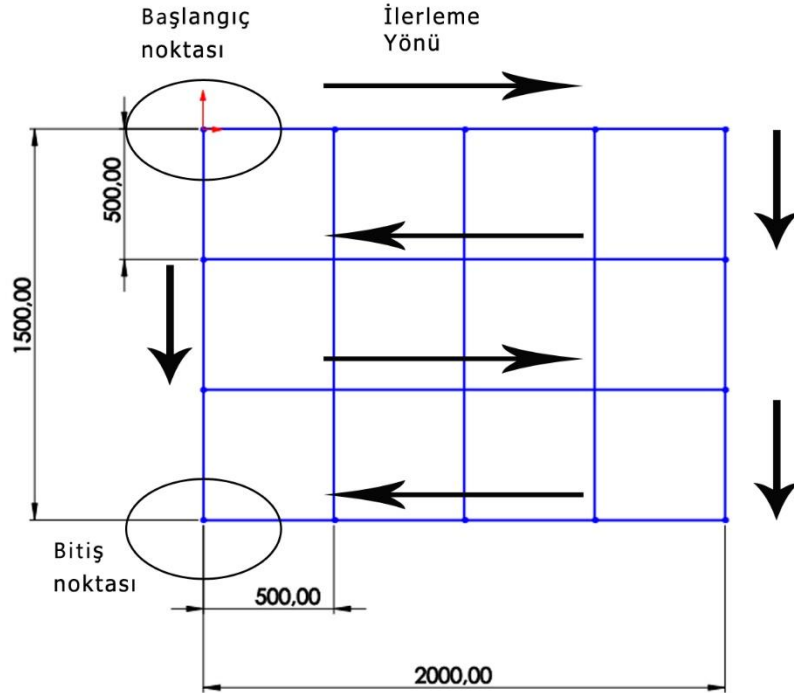
Uydu sayısı	Enlem	Boylam	İrtifa	x	y	z	Hava kalitesi
8	36.577133	36.154869	2	128	23	135	1020,00
8	36.577129	36.154876	2	144	25	169	1019,00
8	36.577072	36.154991	2	119	51	142	1018,00
8	36.577068	36.154991	2	128	25	137	1019,00
11	36.577045	36.154956	4	129	24	136	1019,00

Çizelge 3.1.(Devam) Robot üzerinde bulunan gps, ivme ve gaz sensöründen alınan verilerin sadeleştirilmiş tablosu

11	36.577083	36.154865	4	133	36	168	1018,00
10	36.577087	36.154853	3	129	25	137	1020,00
11	36.577098	36.154830	3	129	24	137	1017,00
11	36.577079	36.154838	3	159	3	150	1019,00
9	36.577053	36.154903	2	128	23	136	1020,00
10	36.577030	36.154964	3	140	33	140	1019,00
10	36.577014	36.154998	4	141	41	145	1019,00

Çizelge 3.1 de Gpssensörü, ivme sensörü (derece) ve MQ-135 gaz sensörü üzerinden alınan veriler (ppm değerleri) görülmektedir.

Yapılan diğer bir arazi test çalışmasında ölçüler 2000-1500-500 cm olarak mobil uygulama üzerinden robota iletilmiştir. Bu değerler doğrultusunda takip etmesi beklenen güzergah planlanmıştır.



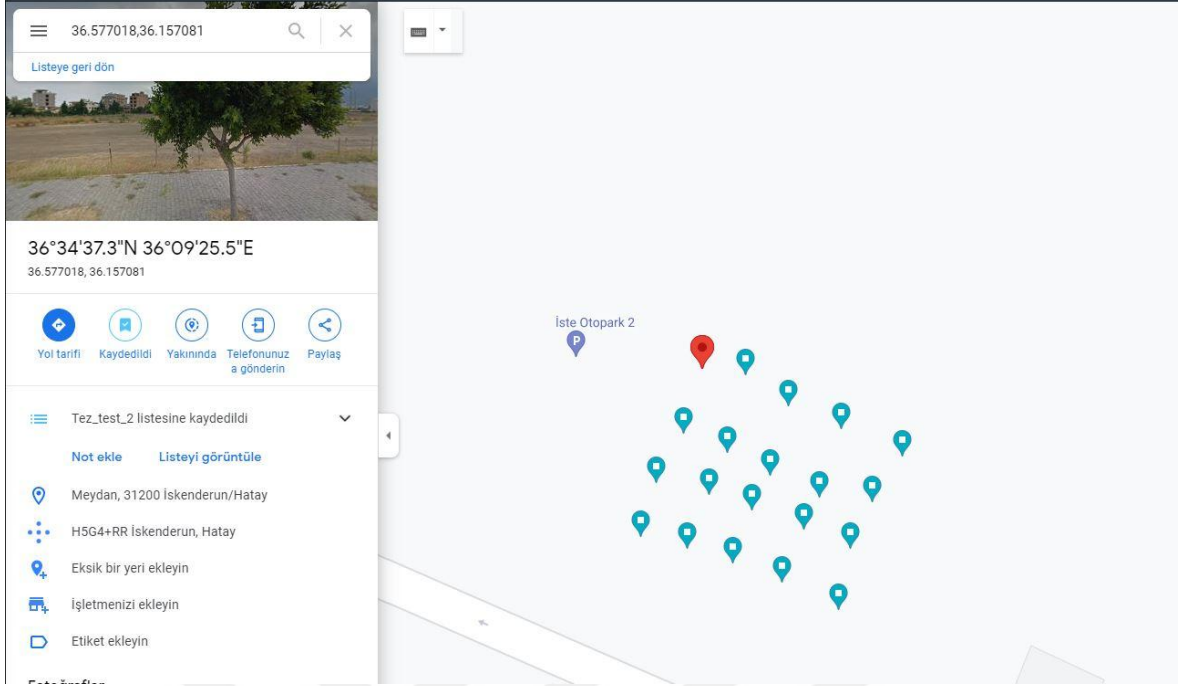
Şekil 3.2. Robot için planlanan ikinci çalışma alanı.

Yapılan çalışmalar doğrultusunda sistem üzerinden alınan veriler aşağıdaki tabloda görülmektedir. Ortalama 11 uydu ya bağlantı sağlandığı durumda konum bilgileri daha kesin sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

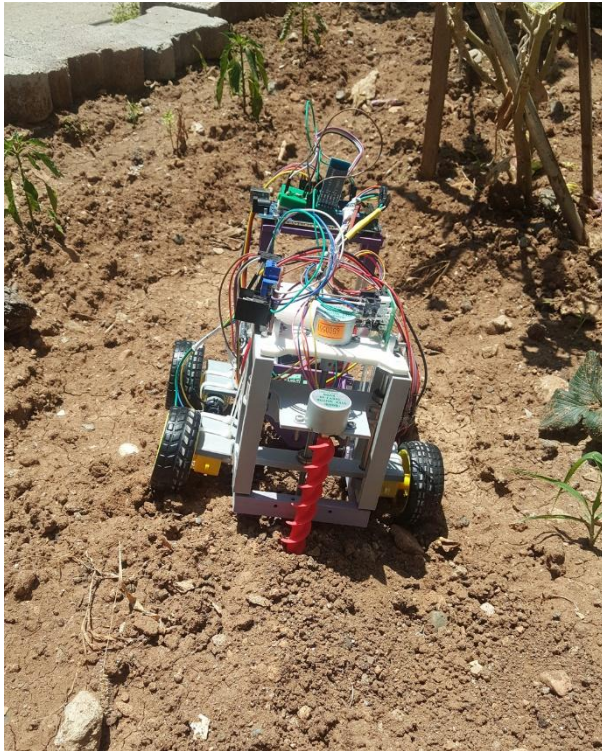
Çizelge 3.2. İkinci test için alınan verilerin sadeleştirilmiş tablosu.

Uydu Sayısı	Enlem	Boylam	İrtifa	x	y	z	Hava Kalitesi
10	36.577018	36.157081	8	159	37	80	1017,00
11	36.577011	36.157135	6	160	37	81	1019,00
9	36.576980	36.157188	5	162	38	79	1017,00
10	36.576957	36.157253	8	160	37	79	1018,00
11	36.576930	36.157329	10	160	38	79	1018,00
10	36.576885	36.157291	5	160	36	83	1018,00
11	36.576889	36.157226	6	159	36	83	1018,00
11	36.576911	36.157165	7	160	36	82	1019,00
11	36.576934	36.157112	7	161	36	84	1018,00
10	36.576953	36.157058	6	160	37	83	1018,00
12	36.576904	36.157024	5	158	34	82	1019,00
12	36.576892	36.157089	5	158	34	84	1018,00
12	36.576877	36.157142	5	158	34	87	1018,00
12	36.576858	36.157207	7	158	34	85	1018,00
12	36.576839	36.157264	5	158	34	86	1018,00
12	36.576778	36.157249	5	159	35	87	1017,00
12	36.576805	36.157180	7	158	33	86	1018,00
12	36.576824	36.157119	7	158	34	87	1018,00
12	36.576839	36.157062	7	158	33	86	1017,00
12	36.576850	36.157005	7	159	34	87	1019,00

Alınan bu koordinatlar çevrimiçi harita uygulamasına girildiğinde robotumuzun hangi noktalarda çalışma yaptığını göstermektedir.



Şekil 3.3.Gps sensöründen alınan ikinci koordinat noktalarının harita uygulaması üzerinde gösterimi



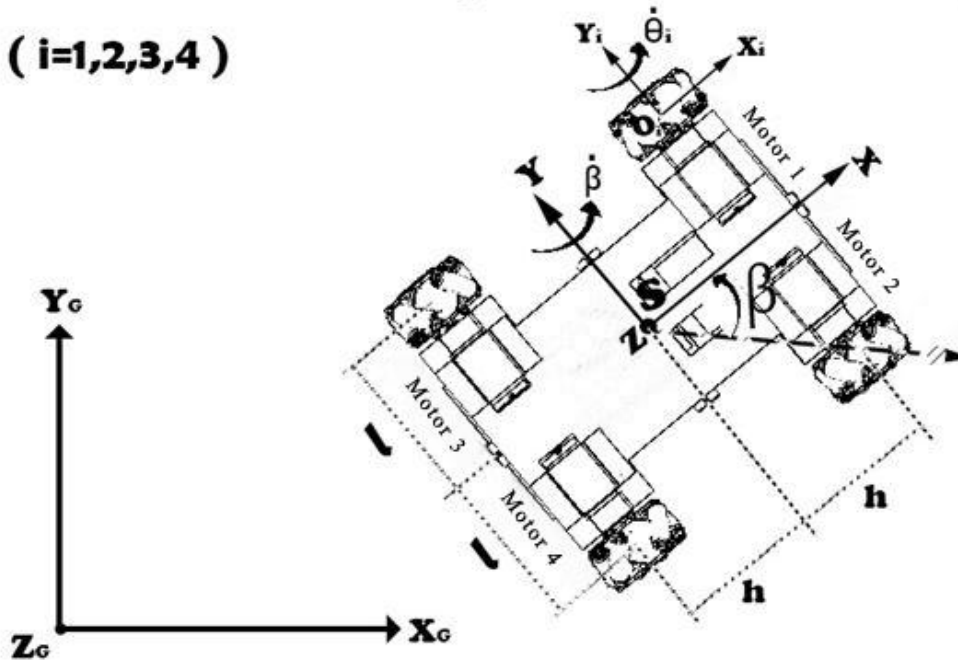
Şekil 3.4. Mekanik sistemlerin toprak arazide testi

Robotun mekanik testleri toprak arazide test edilmiştir. Kazıcı spiral uç yaklaşık olarak 3cm derinliğe sahip yer açmaktadır. Mevcut yazılım içerisinde tohumlama ve sulama sistemleri 2,5 saniye süre ile çalışmaktadır.



4. ROBOTUN MODELLENMESİ

Robotun kinematik, dinamik, motor, elektrik analizleri bu bölümde gerçekleştirilecektir. Dört çok yönlü tekere sahip aracın iki boyutlu ve koordinat sisteminde görünümü Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1.Dört çok yönlü tekere sahip aracın iki boyutlu koordinat sistemi görünümü

4.1. Kinematik Model

Robotun kinematik modeli Şekil 4.1 referans alınarak oluşturulduğunda aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$V_x \mp V_y \mp \dot{\beta}(h + l) \mp \dot{\theta}_i(R + r) = 0 \quad (i=1,2,3,4) \quad (4.1)$$

$$V_x - V_y - \dot{\beta}(h + l) - \dot{\theta}_1(R + r) = 0 \quad (4.2)$$

$$V_x + V_y + \dot{\beta}(h + l) - \dot{\theta}_2(R + r) = 0 \quad (4.3)$$

$$V_x + V_y - \dot{\beta}(h + l) - \dot{\theta}_3(R + r) = 0 \quad (4.4)$$

$$V_x - V_y + \dot{\beta}(h + l) - \dot{\theta}_4(R + r) = 0 \quad (4.5)$$

h = araç merkezi ile tekerlek merkezi arası dikey uzunluk,

l = araç merkezi ile tekerlek merkezi arası yatay uzunluk,

R = tekerlek yarıçapı,

r = silindir yarıçapı,

$\dot{\beta}$ = araç açısal hızı,

$\dot{\theta}_i$ = her bir tekerlek açısal hızı,

V_x = x yönü lineer hız,

V_y = y yönü lineer hız.

Bu eşitliklerden ters kinematiğe geçildiği zaman ;

$$\dot{\theta}_1 = \frac{1}{(R+r)} (V_x - V_y - \dot{\beta}(h+l)) \quad (4.6)$$

$$\dot{\theta}_2 = \frac{1}{(R+r)} (V_x + V_y + \dot{\beta}(h+l)) \quad (4.7)$$

$$\dot{\theta}_3 = \frac{1}{(R+r)} (V_x + V_y - \dot{\beta}(h+l)) \quad (4.8)$$

$$\dot{\theta}_4 = \frac{1}{(R+r)} (V_x - V_y + \dot{\beta}(h+l)) \quad (4.9)$$

$$\dot{\theta} = J \cdot V \quad (4.10)$$

$$\dot{\theta} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \\ \dot{\theta}_4 \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

$$V = \begin{bmatrix} V_y \\ \dot{\beta} \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

$$J = \begin{bmatrix} \frac{1}{R+r} & \frac{-1}{R+r} & \frac{-(h+l)}{R+r} \\ \frac{1}{R+r} & \frac{1}{R+r} & \frac{(h+l)}{R+r} \\ \frac{1}{R+r} & \frac{1}{R+r} & \frac{-(h+l)}{R+r} \\ \frac{1}{R+r} & \frac{-1}{R+r} & \frac{(h+l)}{R+r} \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

Moore-Penrose teoremi ile J dikdörtgen matrisine ters çevirme işlemi uygulandığında ulaşılan eşitlik;

$$J_{mp} = (J^T \cdot J)^{-1} \cdot J^T \quad (4.14)$$

$$V = J_{mp} \cdot \dot{\theta} \quad (4.15)$$

Denklemini elde etmek için J matrisinin tersi aşağıdaki gibi yazılır.

$$J_{mp} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} (R+r) & (R+r) & (R+r) & (R+r) \\ -(R+r) & (R+r) & (R+r) & -(R+r) \\ \frac{-(R+r)}{(h+l)} & \frac{(R+r)}{(h+l)} & \frac{-(R+r)}{(h+l)} & \frac{(R+r)}{(h+l)} \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

$V = J_{mp} \cdot \dot{\theta}$ eşitliğinin sonucu ileri kinematik denklemleri verecektir.

$$V_x = \left(\frac{R+r}{4}\right) [\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4] \quad (4.17)$$

$$V_y = \left(\frac{R+r}{4}\right) [-\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_4] \quad (4.18)$$

$$\dot{\beta} = \left(\frac{R+r}{4(h+l)}\right) [-\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4] \quad (4.19)$$

4.2. Dinamik Model

Langrange enerji denklemi robotun dinamik denklemlerinin elde edilmesi aşamasında kullanılır.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i \quad (4.20)$$

T= Kinetik enerji + Potansiyel enerji,

q_i = Global koordinat değeri,

Q_i = Global kuvvet.

Robot için planlanan güzergahlar düz zemin olduğundan dolayı potansiyel enerji sıfır olacaktır.

$$E_k = E_A + E_T \quad (4.21)$$

E_k = Toplam kinetik enerji,

E_A = Araç kinetik enerji,

E_T = Tekerlek kinetik enerji.

Robotun kinetik enerjisi xyz düzlemi üzerinde aşağıdaki eşitliklerle ifade edilir.

$$E_A = \frac{1}{2} m_A (V_x^2 + V_y^2) + \frac{1}{2} I_A \dot{\beta}^2 \quad (4.22)$$

m_A = Araç toplam ağırlığı,

I_A =z eksenindeki araç atalet momenti

Çok yönlü tekerlerde de yapısından dolayı kinetik enerji oluşur. Oluşan bu enerjinin denklemi ş şekildedir;

$$E_T = \frac{1}{2} I_T (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2 + \dot{\theta}_3^2 + \dot{\theta}_4^2) + 4 \left[\frac{1}{2} m_T (V_x^2 + V_y^2) + \frac{1}{2} I_z \dot{\beta}^2 \right] \quad (4.23)$$

I_T = Tekerleklerin kendi eksenindeki atalet momenti,

I_z = Tekerleklerin z eksenindeki atalet momenti,

m_T = Tekerleklerin ağırlığı.

$$m_c = m_A + 4m_T \quad (4.24)$$

$$I_c = I_A + 4I_z \quad (4.25)$$

m_c = Toplam ağırlık,

I_c = Toplam atalet momenti.

Toplam kinetik enerji;

$$E_k = \frac{1}{2}m_c(V_x^2 + V_y^2) + \frac{1}{2}I_c\dot{\beta}^2 + \frac{1}{2}I_T(\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2 + \dot{\theta}_3^2 + \dot{\theta}_4^2) \quad (4.26)$$

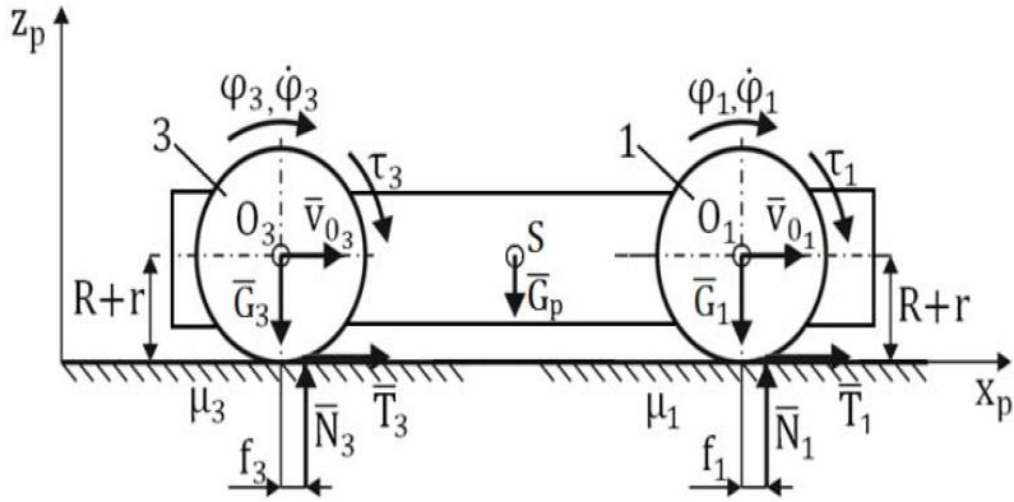
Sistemin kinetik enerjisinin(E_k) tekerleklerin açısal hızlarıyla ilgili bağıntısını kurabilmek için yardımcı değişkenler ile yeni eşitlikler elde edilir. (Yardımcı değişkenler; A, B, C)

$$A = \frac{m_c(R+r)^2}{8} \quad (4.27)$$

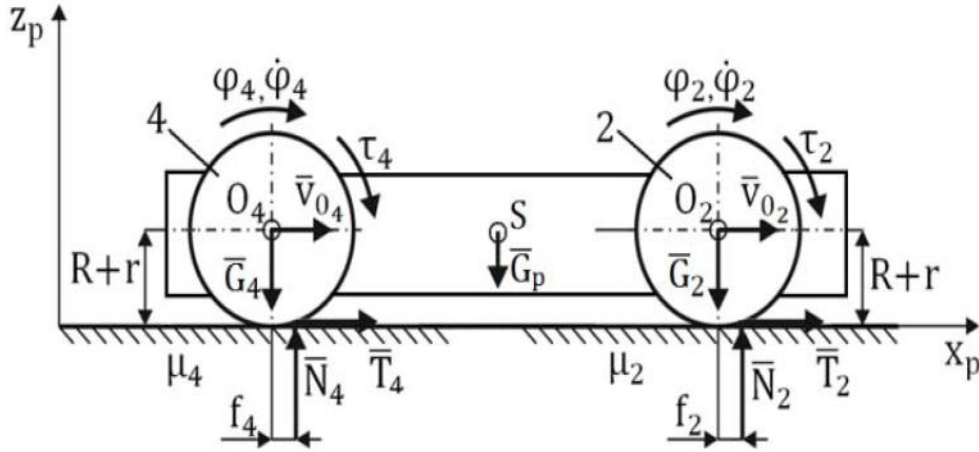
$$B = \frac{I_c(R+r)^2}{16(h+l)} \quad (4.28)$$

$$C = I_T \quad (4.29)$$

$$E_k = \frac{1}{2}(A + B + C)[\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2 + \dot{\theta}_3^2 + \dot{\theta}_4^2] + (A - B)(\dot{\theta}_1\dot{\theta}_4 + \dot{\theta}_2\dot{\theta}_3) - B[\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3\dot{\theta}_4 - \dot{\theta}_1\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_2\dot{\theta}_4] \quad (4.30)$$



Şekil 4.2. 1. ve 3. tekerleklere gelen kuvvetler[36]



Şekil 4.3. 2. ve 4. tekerleklere gelen kuvvetler [36]

Robotun dört serbestlik derecesine sahip olmasından dolayı global koordinat değerleri Eşitlik 4.31'de görülmektedir.

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} \quad (4.31)$$

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'deki gösterimlere göre kuvvetlerin temel denklemi yazılırsa,

$$\partial L = (\tau_1 - N_1 f_1) \partial \theta_1 + (\tau_2 - N_2 f_2) \partial \theta_2 + (\tau_3 - N_3 f_3) \partial \theta_3 + (\tau_4 - N_4 f_4) \partial \theta_4 \quad (4.32)$$

Eşitliği elde edilir.

τ_i =Güç aktarım sisteminden kaynaklanan sürüş momenti,

G_p = Araç kasa ağırlığı,

G_i =Tekerleklerin ağırlığı,

μ_i =Sürtünme katsayısı,

f_i =Yuvarlanma sürtünme katsayısı,

T_i =Sürtünme kuvveti,

N_i =Zeminden gelen basınç kuvveti.

Signum işaret fonksiyonu ve açısal hız değerleri kullanılarak temel eşitlik yeniden düzenlenirse;

$$Q_1 = \tau_1 - N_1 f_1 \quad (4.33)$$

$$Q_2 = \tau_2 - N_2 f_2 \quad (4.34)$$

$$Q_3 = \tau_3 - N_3 f_3 \quad (4.35)$$

$$Q_4 = \tau_4 - N_4 f_4 \quad (4.36)$$

$$Q_1 = \tau_1 - N_1 f_1 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_1) \quad (4.37)$$

$$Q_2 = \tau_2 - N_2 f_2 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_2) \quad (4.38)$$

$$Q_3 = \tau_3 - N_3 f_3 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_3) \quad (4.39)$$

$$Q_4 = \tau_4 - N_4 f_4 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_4) \quad (4.40)$$

Eşitlik 4.20'deki Langrange denklemi ve Eşitlik 4.30'daki toplam kinetik enerji denkleminde yola çıkarak oluşturulan dikdörtgen matris eşitlik 4.41'de görülmektedir.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} (A+B+C)\dot{\theta}_1 & (A-B)\dot{\theta}_4 & -B(\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_3) \\ (A+B+C)\dot{\theta}_2 & (A-B)\dot{\theta}_3 & -B(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) \\ (A+B+C)\dot{\theta}_3 & (A-B)\dot{\theta}_2 & -B(\dot{\theta}_4 - \dot{\theta}_1) \\ (A+B+C)\dot{\theta}_4 & (A-B)\dot{\theta}_1 & -B(\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \end{bmatrix} \quad (4.41)$$

Eşitlik 4.41 denkleminin zamana göre türevi alındığında;

$$M \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\theta}_3 \\ \ddot{\theta}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \end{bmatrix} \quad (4.42)$$

$$M = \begin{bmatrix} (A+B+C) & -B & B & (A-B) \\ -B & (A+B+C) & (A-B) & B \\ B & (A-B) & (A+B+C) & -B \\ (A-B) & B & -B & (A+B+C) \end{bmatrix} \quad (4.43)$$

Eşitlik 4.42'den yararlanarak ters dinamik denklem hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\theta}_3 \\ \ddot{\theta}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_1 f_1 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_1) \\ N_2 f_2 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_2) \\ N_3 f_3 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_3) \\ N_4 f_4 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_4) \end{bmatrix} \quad (4.44)$$

Tekerleklerin açısal ivmelerinin hesaplanması için Eşitlik 4.45'deki dönüşüm yapılır.

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{2AB+AC+3BC+C^2}{(8AB+2AC+4BC+C^2)C} & \frac{B}{(4B+C)C} & \frac{-B}{(4B+C)C} & \frac{-(2AB+AC-BC)}{(8AB+2AC+4BC+C^2)C} \\ \frac{B}{(4B+C)C} & \frac{2AB+AC+3BC+C^2}{(8AB+2AC+4BC+C^2)C} & \frac{-(2AB+AC-BC)}{(8AB+2AC+4BC+C^2)C} & \frac{-B}{(4B+C)C} \\ B \frac{-B}{(4B+C)C} & \frac{-(2AB+AC-BC)}{(8AB+2AC+4BC+C^2)C} & \frac{2AB+AC+3BC+C^2}{(8AB+2AC+4BC+C^2)C} & \frac{B}{(4B+C)C} \\ \frac{-(2AB+AC-BC)}{(8AB+2AC+4BC+C^2)C} & \frac{-B}{(4B+C)C} & \frac{B}{(4B+C)C} & \frac{2AB+AC+3BC+C^2}{(8AB+2AC+4BC+C^2)C} \end{bmatrix} \quad (4.45)$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\theta}_3 \\ \ddot{\theta}_4 \end{bmatrix} = M^{-1} \begin{bmatrix} \tau_1 - N_1 f_1 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_1) \\ \tau_2 - N_2 f_2 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_2) \\ \tau_3 - N_3 f_3 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_3) \\ \tau_4 - N_4 f_4 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_4) \end{bmatrix} \quad (4.46)$$

Homojen dönüşüm matrisleri matematiksel model oluşturmak ve xyz koordinat sisteminde nesneyi bir nesneyi tanımlamak için kullanılır. Bu dönüşüm matrisleri kullanılarak V_x ve V_y hızları aşağıdaki gibi yazılır.

$$V_x = \dot{x}_s \cos \beta + \dot{y}_s \sin \beta \quad (4.47)$$

$$V_y = -\dot{x}_s \sin \beta + \dot{y}_s \cos \beta \quad (4.48)$$

Eşitlik 4.47 ve Eşitlik 4.48 denklemlerinin türevi alınıp, Eşitlik 4.17, Eşitlik4.18, Eşitlik4.19 denklemleri ile bağlantı kurulursa elde edilecek denklemler aşağıda görülmektedir.

$$\ddot{x}_s \cos \beta - \dot{x}_s \dot{\beta} \sin \beta + \ddot{y}_s \sin \beta + \dot{y}_s \dot{\beta} \cos \beta = \left(\frac{R+r}{4}\right) \cdot [\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4] \quad (4.49)$$

$$-\ddot{x}_s \sin \beta - \dot{x}_s \dot{\beta} \cos \beta + \ddot{y}_s \cos \beta + \dot{y}_s \dot{\beta} \sin \beta = \left(\frac{R+r}{4}\right) \cdot [-\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 - \ddot{\theta}_4] \quad (4.50)$$

$$\dot{\beta} = \left(\frac{R+r}{4(h+l)}\right) \cdot [-\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_2 - \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4] \quad (4.51)$$

Eşitlik 4.46'datorkları içeren yeni denklemler aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{aligned} \ddot{x}_s \cos \beta - \dot{x}_s \dot{\beta} \sin \beta + \ddot{y}_s \sin \beta + \dot{y}_s \dot{\beta} \cos \beta = \\ \left(\frac{R+r}{4(2A+C)}\right) \cdot [\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 - N_1 f_1 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_1) - \\ N_2 f_2 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_2) - N_3 f_3 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_3) - N_4 f_4 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_4)] \end{aligned} \quad (4.52)$$

$$\begin{aligned} \ddot{x}_s \sin \beta - \dot{x}_s \dot{\beta} \cos \beta + \ddot{y}_s \cos \beta + \dot{y}_s \dot{\beta} \sin \beta = \\ \left(\frac{-(R+r)}{4(2A+C)}\right) \cdot [\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 - N_1 f_1 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_1) + \\ N_2 f_2 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_2) + N_3 f_3 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_3) - N_4 f_4 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_4)] \end{aligned} \quad (4.53)$$

$$\ddot{\beta} = \left(\frac{-(R+r)}{4(h+l)(4B+C)} \right) \cdot [\tau_1 - \tau_2 - \tau_3 - \tau_4 - N_1 f_1 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_1) + N_2 f_2 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_2) - N_3 f_3 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_3) + N_4 f_4 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_4)] \quad (4.54)$$

Mesafeler eşit olduğundan $f_1 = f_2 = f_3 = f_4 = f$ olarak kabul edilir.

Eşitlik 4.27, Eşitlik 4.28, Eşitlik 4.29'daki yardımcı değişken denklemlerinden faydalanılarak Eşitlik 4.52, Eşitlik 4.53 ve Eşitlik 4.54 denklemler düzenlenirse yeni oluşan eşitlikler;

$$\left(m_c + \frac{4I_T}{(R+r)^2} \right) [\cos\beta(\ddot{x}_s + \dot{y}_s\dot{\beta}) + \sin\beta(\ddot{y}_s + \dot{x}_s\dot{\beta})] = \frac{1}{(R+r)} \cdot [\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 - f(N_1 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_1) + N_2 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_2) + N_3 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_3) + N_4 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_4))] \quad (4.55)$$

$$\left(m_c + \frac{4I_T}{(R+r)^2} \right) [\cos\beta(\ddot{y}_s - \dot{x}_s\dot{\beta}) - \sin\beta(\ddot{x}_s + \dot{y}_s\dot{\beta})] = \frac{-1}{(R+r)} \cdot [\tau_1 - \tau_2 - \tau_3 + \tau_4 - f(N_1 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_1) - N_2 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_2) - N_3 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_3) + N_4 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_4))] \quad (4.56)$$

$$\left(I_c + 4I_T \frac{(h+l)^2}{(R+r)^2} \right) \ddot{\beta} = \frac{-(h+l)}{(R+r)} \cdot [\tau_1 - \tau_2 + \tau_3 - \tau_4 - f(N_1 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_1) - N_2 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_2) + N_3 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_3) - N_4 \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_4))] \quad (4.57)$$

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 göz önünde bulundurularak toplam kuvvet eşitliği aşağıdaki gibi yazılır.

$$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 - G_p - G_1 - G_2 - G_3 - G_4 = 0 \quad (4.58)$$

S noktasına göre moment alınırsa;

$$(N_1 + N_2)h - (N_3 + N_4)h - (G_1 + G_2)h + (G_3 + G_4)h = 0 \quad (4.59)$$

$$G_c = G_p + 4G_t \quad (4.60)$$

$G_t = G_1 = G_2 = G_3 = G_4 =$ Tekerlek ağırlıkları,

$G_c =$ Toplam ağırlık

$G_p =$ Kasa ağırlığı

$$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 - G_c = 0 \quad (4.61)$$

Mesafeler eşit kabul edildiğinden;

$$N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = \frac{G_c}{4} \quad (4.62)$$

Eşitlik 4.55, Eşitlik 4.56 ve Eşitlik 4.57, Eşitlik 4.62'ye göre düzenlenirse;

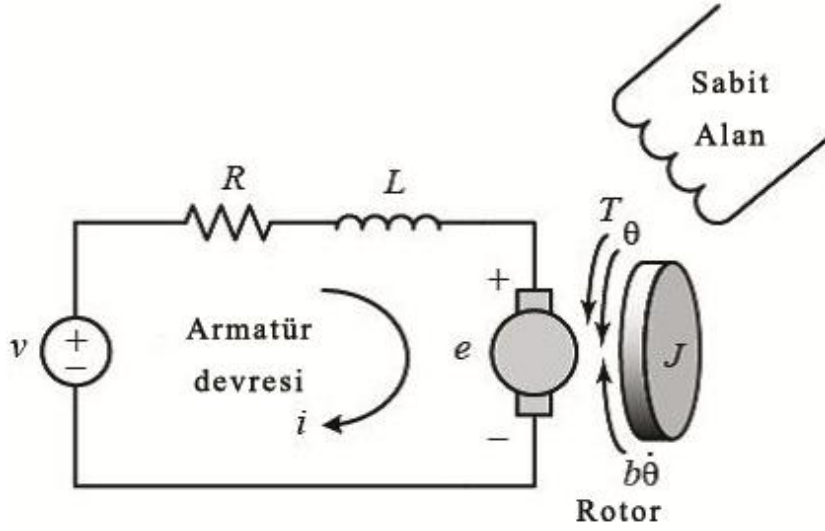
$$\left(m_c + \frac{4I_T}{(R+r)^2}\right)[\cos\beta(\ddot{x}_s + \dot{y}_s\dot{\beta}) + \sin\beta(\ddot{y}_s - \dot{x}_s\dot{\beta})] = \frac{1}{(R+r)} \cdot [\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 - \frac{G_c f}{4}(\text{sgn}(\dot{\theta}_1) + \text{sgn}(\dot{\theta}_2) + \text{sgn}(\dot{\theta}_3) + \text{sgn}(\dot{\theta}_4))] \quad (4.63)$$

$$\left(m_c + \frac{4I_T}{(R+r)^2}\right)[\cos\beta(\ddot{y}_s - \dot{x}_s\dot{\beta}) + \sin\beta(\ddot{x}_s - \dot{y}_s\dot{\beta})] = \frac{-1}{(R+r)} \cdot [\tau_1 - \tau_2 - \tau_3 + \tau_4 - \frac{G_c f}{4}(\text{sgn}(\dot{\theta}_1) - \text{sgn}(\dot{\theta}_2) - \text{sgn}(\dot{\theta}_3) + \text{sgn}(\dot{\theta}_4))] \quad (4.64)$$

$$\left(I_c + 4I_T \frac{(h+l)^2}{(R+r)^2}\right)\ddot{\beta} = \frac{-(h+l)}{(R+r)} \cdot [\tau_1 - \tau_2 + \tau_3 - \tau_4 - \frac{G_c f}{4}(\text{sgn}(\dot{\theta}_1) - \text{sgn}(\dot{\theta}_2) + \text{sgn}(\dot{\theta}_3) - \text{sgn}(\dot{\theta}_4))] \quad (4.65)$$

4.3. DC Motor Modeli

Robotun tahrik sistemi için her bir tekerde bağımsız doğru akım motoru kullanılması kararlaştırılmıştı. Motorda üretilen moment teker üzerinde dönme etkisi yaratmadan önce dişli kutusu sonrasında ise teker aksına ve tekere iletilmektedir. Motor ve teker arasındaki enerji kaybı, motorun ihtiyaç duyduğu voltaj değerinde değişikliklere sebep olacaktır. Her bir motor için gerekli olan voltaj, tork, hız ilişkisi için transfer fonksiyonu hesaplanmıştır.



Şekil 4.4. Armatürün elektrik eşdeğer devresi ve DC motorun serbest gövde diyagramı [37]

Armatür akımının ve manyetik alanın, DC motor tarafından üretilen tork üzerinde doğru orantıda etkisi vardır.

Motor torkunun, motor tork sabiti ve armatür akımı bağlantılı varsayılmaktadır. Manyetik alan sabit kabul edilmiş olup buna bağlı aşağıdaki denklem oluşur.

τ_M = Motor torku,

K_T = Motor tork sabiti,

I_M = Armatür akımı.

$$\tau_M = K_T \cdot I_M \quad (4.66)$$

Ters emk kuvveti ile açısal hız arasında ise ters emk sabiti kullanılarak aşağıdaki eşitlik oluşur.

e = Emk kuvveti,

K_E = Emk sabiti,

$\dot{\theta}_M$ = Motoraçısal hızı

$$e = K_E \cdot \dot{\theta}_M \quad (4.67)$$

SI biriminde motor torksabiti(K_T) ile ters emk sabiti(K_E) eşit olduğundan aşağıdaki gibi kabul edilir.

$$K_T = K_E = K \quad (4.68)$$

Kirchhoff'un gerilim yasası ve Newton'un 2. Yasasını Şekil4.4 üzerinde uygularsak elde edilen yeni eşitlikler;

J = Rotor atalet momenti,

b = Motor viskoz sürtünme sabiti,

$\ddot{\theta}_M$ = Motor açısal ivme,

L = İndüktans,

R = Direnç,

V_M = Motor voltajı

$$J\ddot{\theta}_M + b\dot{\theta}_M = Ki \quad (4.69)$$

$$L \frac{\partial i}{\partial t} + Ri = V_M - K\dot{\theta}_M \quad (4.70)$$

s cinsinden Laplace değişkeni, Eşitlik 4.69 ve Eşitlik 4.70'e Laplace dönüşümü uygulanması durumunda bulunduğu;

$$s(Js + b)\theta(s) = KI(s) \quad (4.71)$$

$$(Ls + R)I(s) = V(s) - s\theta(s) \quad (4.72)$$

Eşitlik 4.71 ve Eşitlik 4.72'den $I(s)$ değerlerini kaldırırsak, ulaşılabacak açık-çevrim transfer fonksiyonu Eşitlik 4.73'te görülmektedir. Burada armatür voltajı girişi, motor açısal hızı çıkışı olarak kabul edilir. ($w = \dot{\theta}_M =$ Motor açısal hız)

$$T(s) = \frac{w(s)}{V(s)} = \frac{K}{(Js+b)(Ls+R)+K^2} \left[\frac{\text{rad/sn}}{V} \right] \quad (4.73)$$

4.4. Gri Kurt Optimizasyon Yöntemi

Sistem optimizasyonu için ‘‘Gri kurt optimizasyon algoritması’’ tercih edilmiştir. Son yıllarda meta-sezgisel algoritmalar arasında popülerliği artan bu metod, Mirjalili'nin gri kurtların davranışlarını incelemesi ve bunun sonucunda bu davranışları matematiksel modele çevirmesi ile ortaya çıkmıştır. Üst düzey yırtıcı olarak kabul edilen bozkurtlar genellikle 5-12 kişilik gruplar halinde, grup lideri (alfa), lidere yardımcı kurtlar (beta) ve onların alt kademe üyeleri (delta) ve bu sıralamanın dışında bırakılmış diğer grup üyelerine (omega) sahip hiyerarşik bir yapıda yaşarlar. Basit ve kararlı yapıda olan kurtların avlanma prensibi şu şekilde işler;

- Avın tespit edilmesi, izlenmesi ve yaklaşılması,
- Avın kuşatılması,
- Saldırma.

Modellenmesi sırasında gri kurt metodu kullanıldığında, ideal çözüm alfa (α), ikinci en iyi çözüm beta (β) ve üçüncü en iyi çözüm delta (δ) olarak tanımlanabilir. Bunların dışındaki çözüm olasılıkları ise omega (ω) olacaktır. α , β ve δ çözümlenmeleri yapılırken ω çözümlenmeleri de ana çözümlenmelere sadık kalmak zorundadır. Bunun sebebi kurtların avlanırken av sırasında avın etrafını çevreleme eğiliminde olmaları ve bunu hiyerarşik yapıya bağlı kalarak gerçekleştiriyor olmalarıdır. Aşağıdaki denklemler çevreleyen davranışı gösterir.

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t)| - \vec{X}(t) \quad (4.74)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D}$$

t mevcut tekrarlamayı gösterir,

\vec{X} gri kurtların konum vektörüdür,

\vec{X}_p avın konum vektörü,

\vec{A} ve \vec{C} aşağıdaki denklemlerle verilen katsayı vektörlerini ifade eder.

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (4.75)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2$$

\vec{r}_1 ve \vec{r}_2 0 ile 1 arasında rastgele oluşturulan bir vektördür. 2'den 0'a doğru azalma gerçekleşmesi; katsayı değeri \vec{a} nın tekrarlama sayısı arttıkça gerçekleşecektir. İlk üç çözüm gri kurtların avlanma davranışının matematiksel modelini çıkartmak için kaydedilir. Bu işlem omega (ω) kurtlarının en iyi pozisyona gitmesini zorlar. Bu durum şöyle açıklanabilir;

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}|, \quad \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}|, \quad \vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}|$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot (\vec{X}_\alpha), \quad \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{X}_\beta), \quad \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{X}_\delta) \quad (4.76)$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3}$$

Özetlemek gerekirse bu metotta en iyi sonucu bulmaya yönelik çalışan rastgele bir kurt popülasyonu oluşturulur. Keşif ve yararlanma süreçlerinin modellenmesi \vec{a} değeri 2'den 0'a düşürülerek gerçekleştirilir. Eğer $|\vec{A}| > 1$ ise olası çözümler avı terk edecektir ancak $|\vec{A}| < 1$ şartı sağlanırsa avı doğru birleştirecekler. Algoritma ise başlangıçta belirlenen şartlar ile sonlandırılacaktır.

4.5. PID Kontrol Sisteminin Tasarımı

Basit, güvenilir ve etkili olması nedeniyle birçok alanda sıklıkla kullanılan PID sistemleri, mevcut tasarımı yapılan robot için çıkış voltaj değerinin belirli düzeyde kalmasını sağlamak amacı ile kullanılacaktır.

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (4.77)$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4.78)$$

$r(t)$ referans değeri,

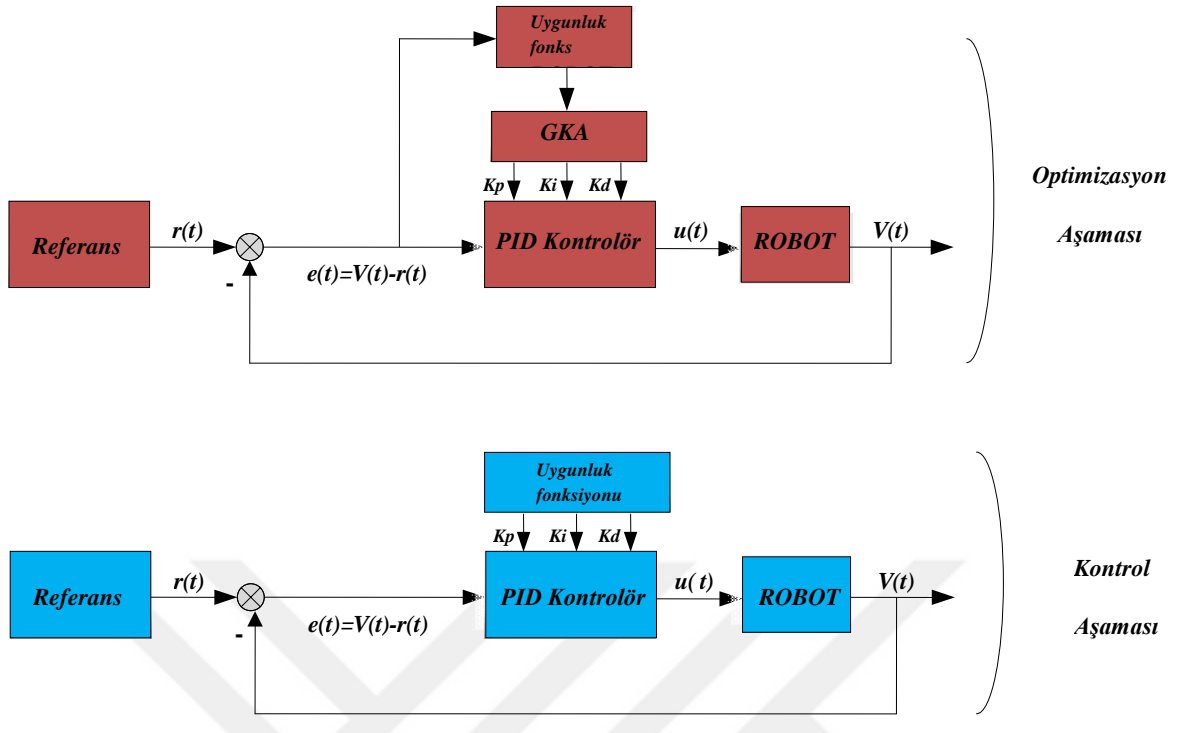
$V(t)$ çıkış değeri,

$e(t)$ hata değeri,

$u(t)$ kontrol sinyali ve

K_p, K_i, K_d sırası ile orantısal, integral ve türev kazançları.

Kontrolör parametreleri belirlenirken sistem dinamiği ve bu sistem üzerindeki etkiler dikkate alınarak, sistem için tasarlanan kontrolör de kullanılmıştır. Karmaşık denklemlerle sistemlerde PID denetleyici parametrelerinin tespit edilmesi, bir serbestlik dereceli sistemlerin PID değerlerinin deneme yapılarak bulunması gibi kolay değildir. Sezgisel arama yöntemlerinden olan GA ve PSO algoritmaları ile kontrolör kazançları kararlı hale getirilmiştir. Gri kurt optimizasyon algoritmasının kontrolör kazançlarının optimizasyonu ve sisteme uygulanması Şekil 4.5'de sunulmuştur.



Şekil 4.5. Gri kurt optimizasyon algoritmasının pid üzerinde uygulanması

Referans gerilim değeri sisteme giriş olarak verilmiştir. Açık çevrim kullanılmasından dolayı yanıt sinyali referans değerini takip edemiyor ve sistemin kontrolör ihtiyacı olduğunu bizlere bildirmiş oluyordur. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için kapalı çevrim tercih edilir. Oluşturulan algoritmanın PID değerlerini optimal olarak belirleyebilmesi için kullanıcı tarafından sisteme gönderilen amaç fonksiyonuna ihtiyaç duymaktadır. Bu amaç fonksiyonu, çıkış ve giriş arasındaki farkı (hata) minimum düzeyde tutmaya çalışacaktır.

Optimum değerler şu şekilde belirlenir;

$$J = \int_0^{\infty} k_1 * OS + k_2 * ST + |e(t)| \quad (4.79)$$

$$e(t) = r(t) - V(t) \quad (4.80)$$

Burada k_1 ve k_2 ağırlıkları belirtirken, OS, ST, $e(t)$ sırasıyla sistemin aşma, yerleşme zamanı değeri ve izleme hatası değerini gösterir. k_1 ve k_2 ağırlık değerleri 1.5 ve 2 olarak ayarlanır.

Uygunluk değerlerinin elde edilmesi ve bu değerlerin minimum seviyede tutulması arama algoritmaları için önem arz eder. Uygunluk fonksiyonu olarak ITAE (Zaman Ağırlıklı Mutlak Hataların Toplamı) kullanılmıştır.

$$ITAE = \int_0^{\infty} t|e(t)| dt \quad (4.81)$$

Sistemin genel işleyişi anlatılırsa kapalı çevrim kontrol sistemindeki hata Mutlak hatanın zamanla çarpımının integrali (ITAE) olarak yeniden hesaplanarak minimum hale getirilmeye çalışılmıştır. Hesaplanan yeni hata değerleri, her adımda minimize edilecek şekilde 12 adet PID parametreleri ayarlanarak Gri Kurt Optimizasyonu (GKO) optimizasyon yöntemi ile azaltılmaya çalışılmıştır. Her iterasyonda yeni optimum kazanç parametreleri belirlenerek kontrolörün performansı artırılmaya çalışılmıştır.

Çizelge 4.1. Gri kurt optimizasyonunun uygulanması sonucu oluşan değerler

Gri Kurt Optimizasyon	Değer
Değişken Sayısı	12
Üst Sınır	[7500 2500 25 7500 2500 25 7500 2500 25 7500 2500 25]
Alt Sınır	[1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1]
Ajan Sayısı	30
Maksimum İterasyon	20

Farklı koşullar altında denetleyici performansının test edildiği simülasyon çalışmaları için kullanılan sistem parametreleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.2. Simülasyon sırasında kullanılan değerler

$$B_m = 0.250; T_l = 0.002; r_a = 0.50; L_{AA} = 0.12; K_v = 0.2; J = 0.15; M_p = 45;$$

$$M_k = 1.5; M_{pc} = M_p + 4 * M_k; I_{pzp} = 0.0178; I_{kzp} = 0.0139;$$

$$I_{pc} = I_{pzp} + 4 * I_{kzp}; I_k = 0.0005; R = 0.035; r = 0.015; S_y = 0.158;$$

$$S_x = 0.095; f = 0.002; G_p = M_p * 9.81; G_k = M_k * 9.81; G_r = G_p + 4 * G_k;$$

$$N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = G_r / 4;$$

4.6. Simülasyon Çalışmaları

Simülasyon çalışmaları 3 adet farklı rotaya sahip senaryolar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

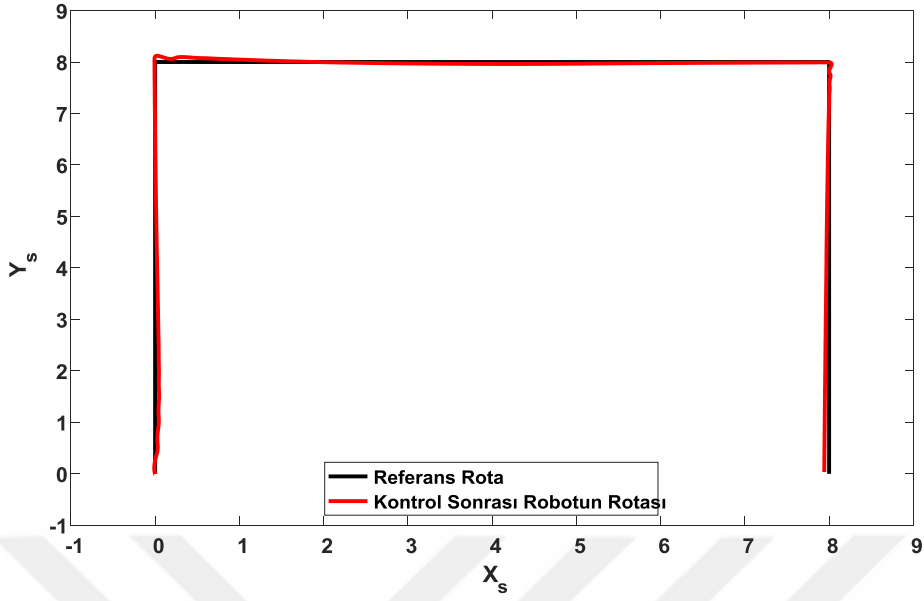
4.6.1. Dikdörtgen senaryo

Gri kurt optimizasyon algoritması ile ayarlanmış PID parametreleri Çizelge 4.3'te görülmektedir.

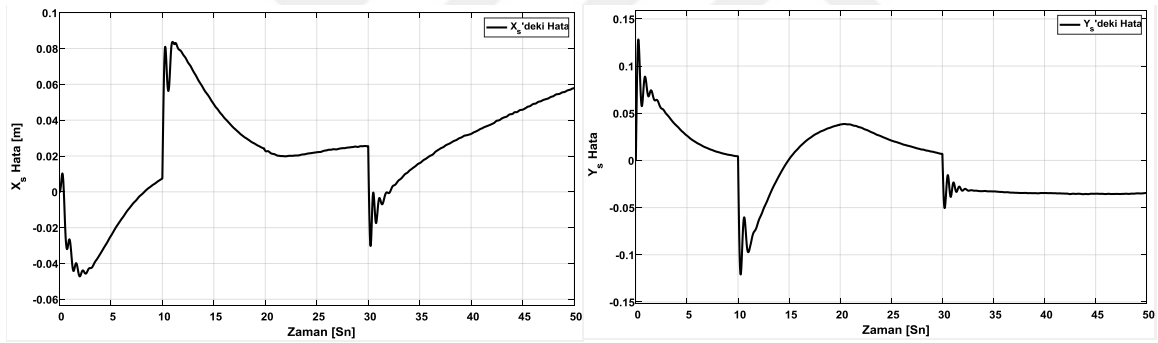
Çizelge 4.3. Dikdörtgen senaryo için PID değerleri

Kp_1	Ki_1	Kd_1
1644,26773014973	2500	10,1428658630287
Kp_2	Ki_2	Kd_2
6474,80729339966	1950,53579822165	20,2282558166010
Kp_3	Ki_3	Kd_3
3528,49366525633	1634,85489959701	7,41595964227942
Kp_4	Ki_4	Kd_4
7028,26858880402	853,402289998323	1,44220378135440

Yörünge takip performansı Şekil 4.6'da görülmektedir.

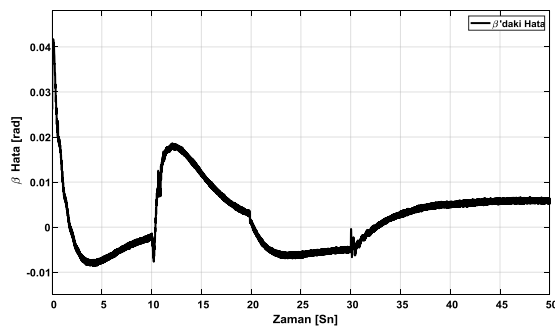


Şekil 4.6. Dikdörtgen yörünge takip performansı



-a-

-b-

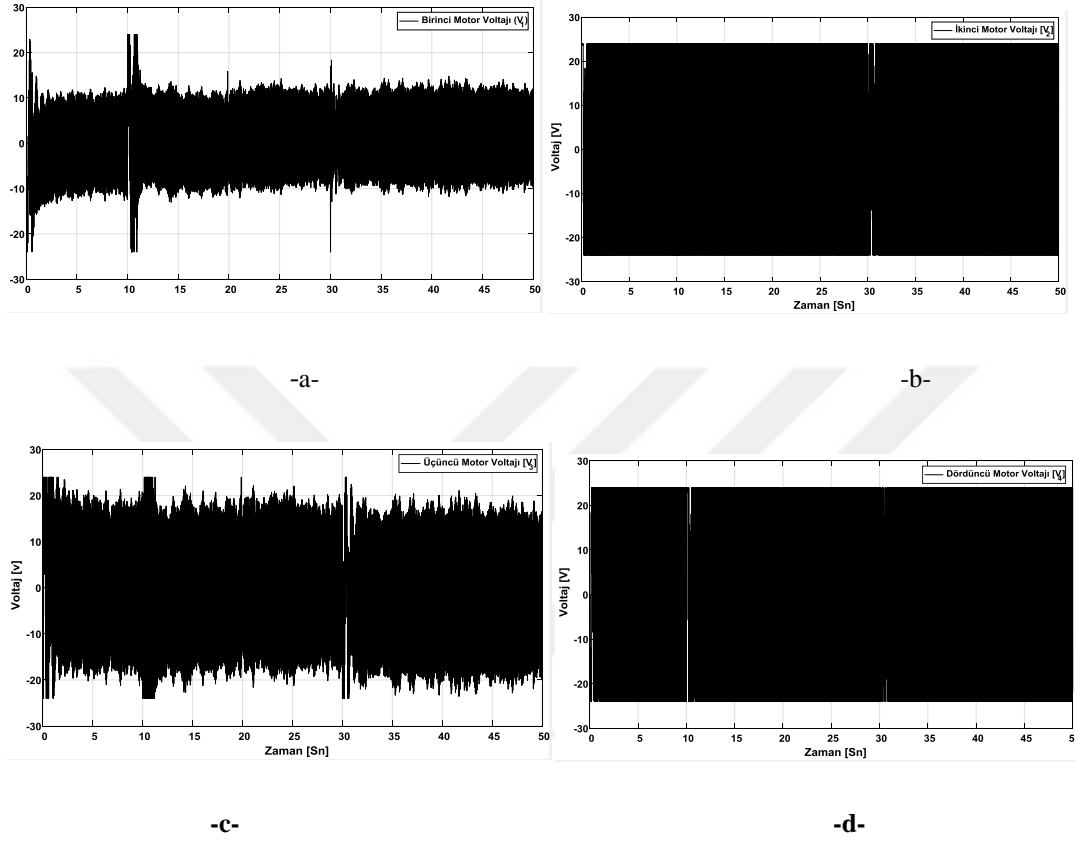


-c-

Şekil 4.7. Dikdörtgen güzergah için oluşan hata değerleri a) X_s 'deki hata, b) Y_s 'deki hata,

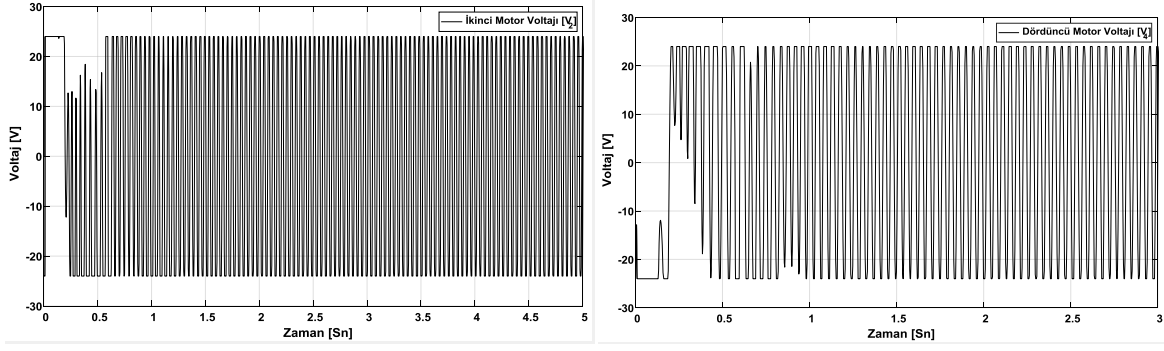
c) β 'deki hata.

60 saniye sonucunda simülasyonda oluşan hata değerleri Şekil4.7’de görülmektedir.



Şekil 4.8. Dikdörtgen güzergah için 0-50 saniye arasında zamana bağlı voltaj değerleri, a) birinci motor (v_1), b) ikinci motor (v_2), c) üçüncü motor (v_3), d) dördüncü motor (v_4),

Şekil 4.8 zamana bağlı olarak motorların voltajının değişimini göstermektedir. Bu grafikteki simülasyon 50 saniye olarak yapılmış olup sonuçlara göre, motorların voltajının motorun sürüm maksimum voltajı olan 24 Volt voltaja yakın çalıştığı görülmektedir. İkinci ve dördüncü motorlar için grafiklerinin 10 saniyelik kısımları Şekil 4.9’da incelenebilir.

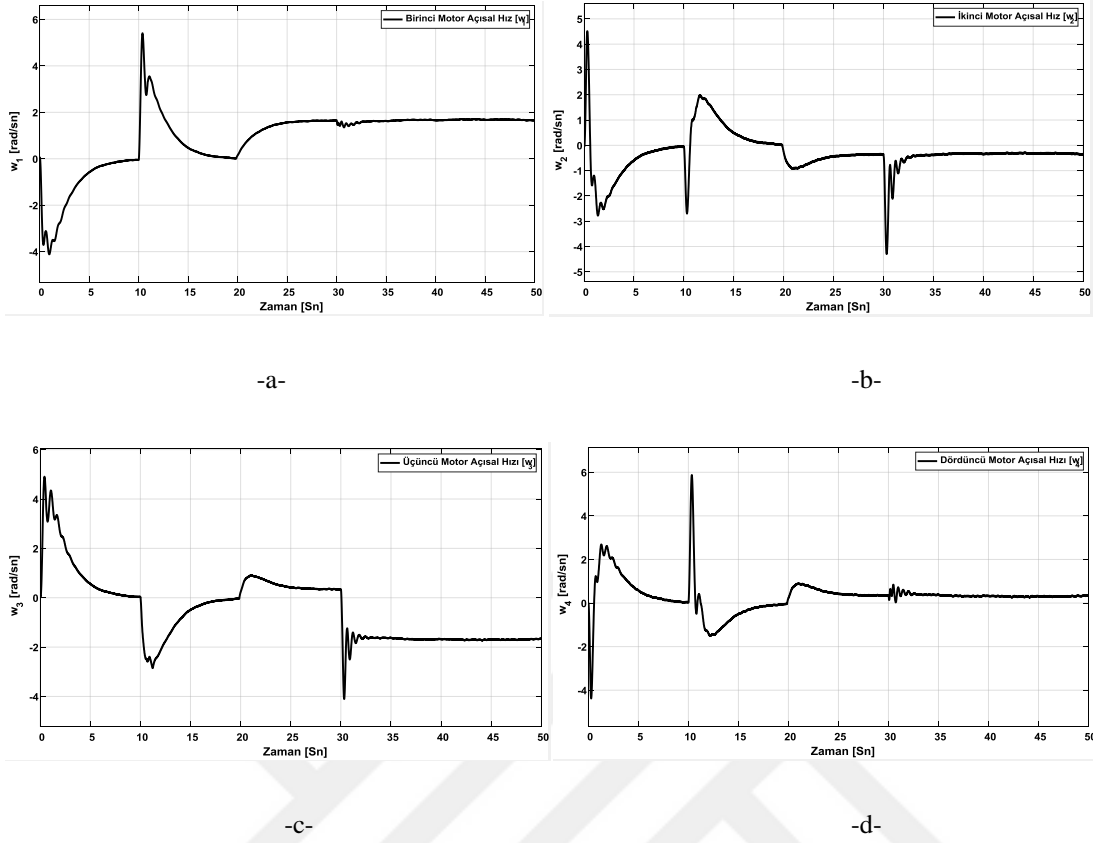


-a-

-b-

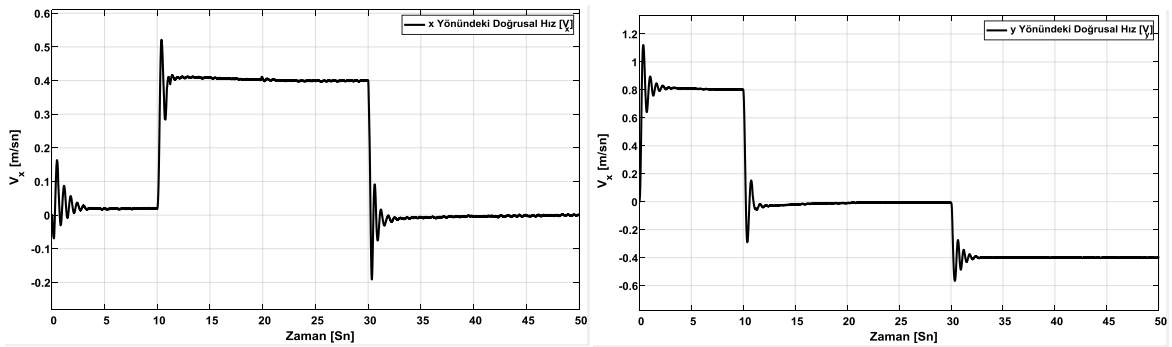
Şekil 4.9. 0-10 saniye arasında zamana bağlı voltaj değerleri, a) ikinci motor (v_2), b) dördüncü motor (v_4)

Şekil 4.10 zamana bağlı olarak motorların açısal hız değişimini göstermektedir. Bu grafikteki simülasyon 50 saniye olarak yapılmış olup sonuçlara göre, motorların açısal hızlarındaki değişimler Şekil 4.8'de bulunan zamana bağlı voltaj değişim grafikleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.10. Dikdörtgen güzergah için 0-50 saniye arasında zamana bağlı açısal hız değerleri, a) birinci motor (w_1), b) ikinci motor (w_2), c) üçüncü motor (w_3), d) dördüncü motor (w_4),

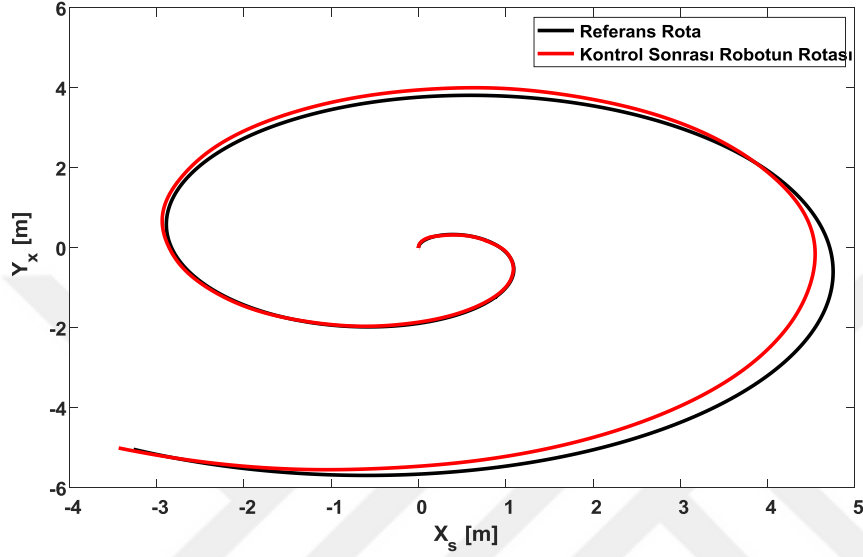
Belirlenen güzergah ve gelen voltaj doğrultusunda x ve y eksenleri üzerinde zamana bağlı değişim gösteren doğrusal hız grafikleri Şekil 4.11’de gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Dikdörtgen güzergah için sırası ile x ve y eksenlerinde zamana bağlı doğrusal hızların değişimi

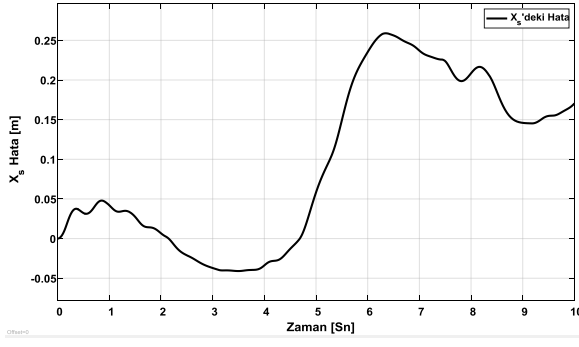
4.6.2. Spiral Senaryo

Robot simülasyon uygulamaları için planlanan bir diğer güzergah ise spiral olacak şekilde tasarlanmıştır.

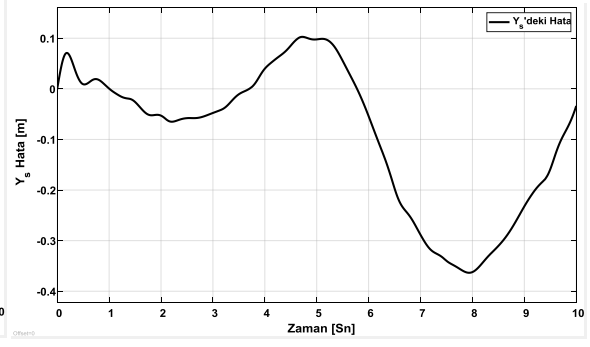


Şekil 4.12. Spiral yörünge takip performansı

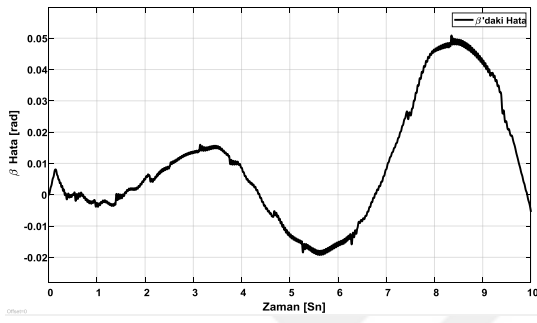
60 saniye sonucunda spiral güzergah için simülasyonda oluşan hata değerleri Şekil 4.13'te görülmektedir.



-a-

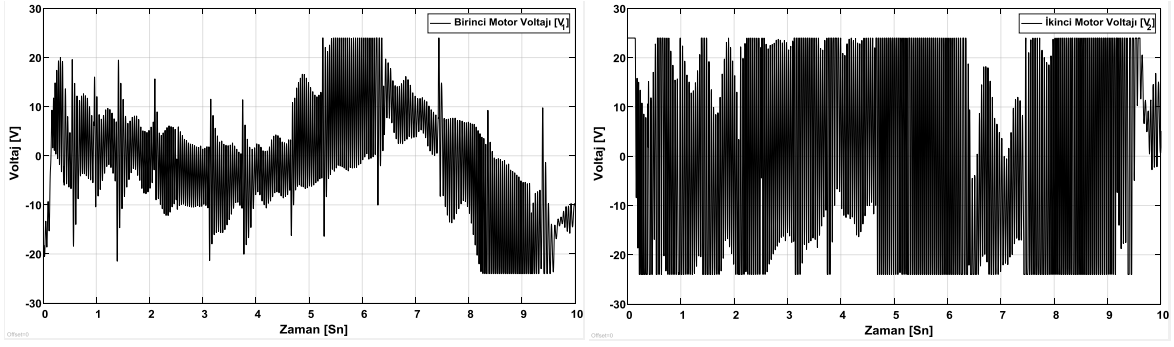


-b-



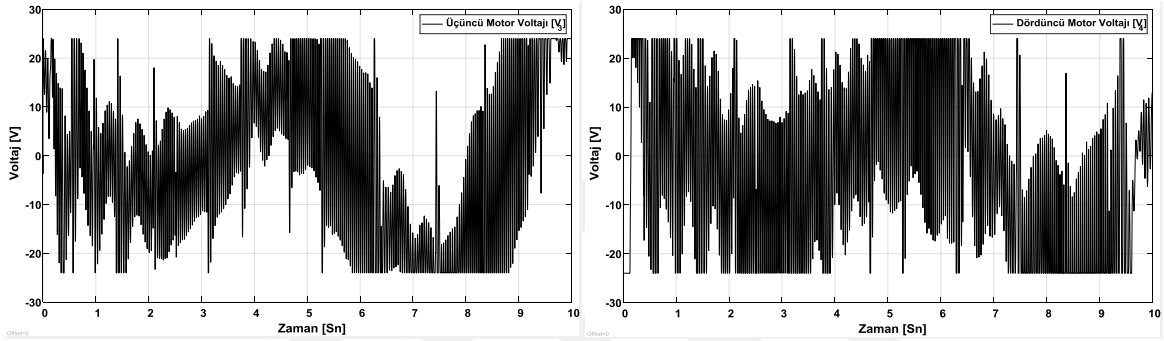
-c-

Şekil 4.13. Spiral güzergah için oluşan hata değerleri a) X_s 'deki hata, b) Y_s 'deki hata, c) β 'deki hata



-a-

-b-

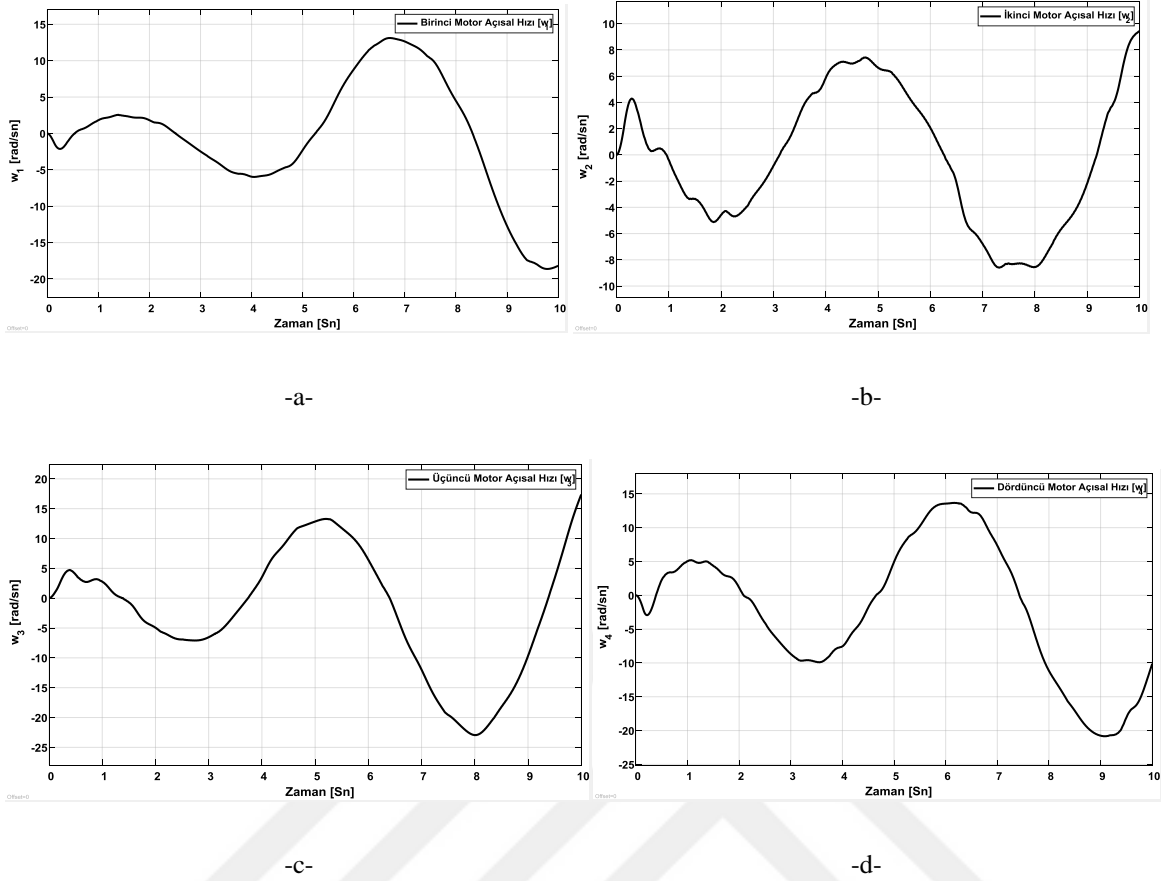


-c-

-d-

Şekil 4.14. Spiral Güzergah için 0-50 Saniye Arasında Zamana Bağlı Voltaj Değerleri, a) Birinci Motor (V_1), b) İkinci Motor (V_2), c) Üçüncü Motor (V_3), d) Dördüncü Motor (V_4),

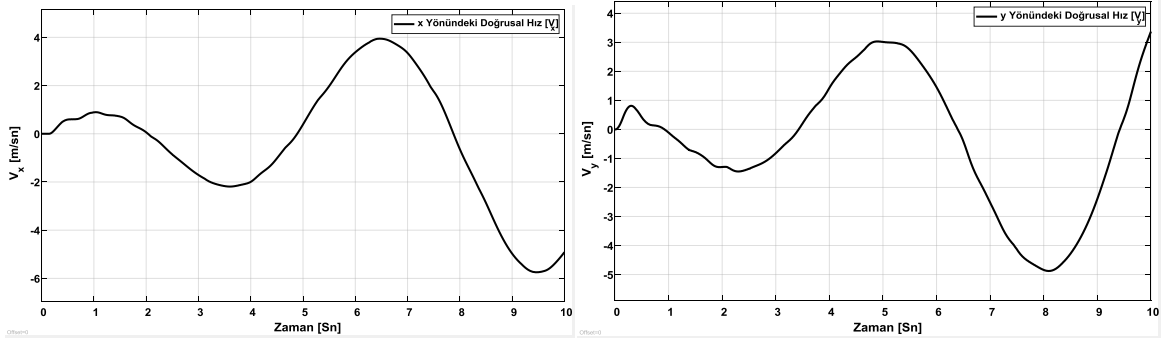
Şekil 4.14 zamana bağlı olarak motorların voltajının değişimini göstermektedir. Bu grafikteki simülasyon 50 saniye olarak yapılmış olup sonuçlara göre, motorların voltajının motorun sürüm maksimum voltajı olan 24 Volt voltaja yakın çalıştığı görülmektedir.



Şekil4.15. Spiral güzergah için 0-50 saniye arasında zamana bağlı açısai hız değerleri, a) birinci motor (w_1), b) ikinci motor (w_2), c) üçüncü motor (w_3), d) dördüncü motor (w_4),

Şekil 4.15 zamana bağlı olarak motorların açısai hız değişimini göstermektedir. Bu grafikteki simülasyon 50 saniye olarak yapılmış olup sonuçlara göre, motorların açısai hızlarındaki değişimler Şekil 4.14'te bulunan zamana bağlı voltaj değişim grafikleri ile karşılaştırılmıştır.

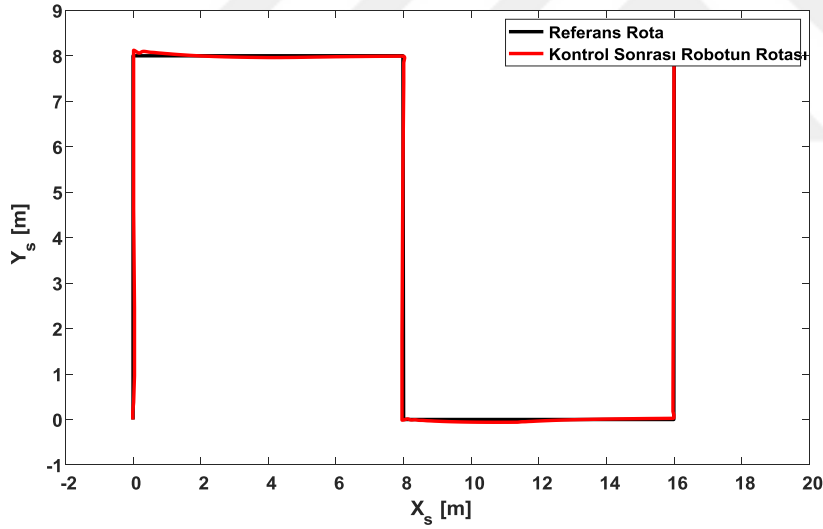
Belirlenen güzergah ve gelen voltaj doğrultusunda x ve y eksenleri üzerinde zamana bağlı değişim gösteren doğrusal hız grafikleri Şekil 4.16'da gösterilmektedir.



Şekil4.16. Spiral güzergah için sırası ile x ve y eksenlerinde zamana bağlı doğrusal hız değişimi

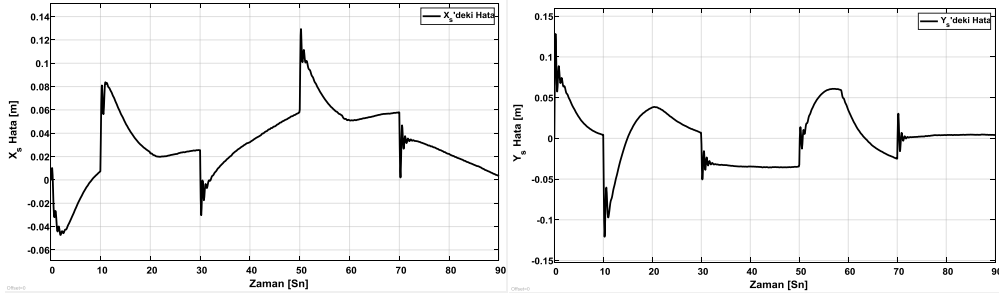
4.6.3. Robot gerçek arazi çalışma senaryosu

Üçüncü simülasyon uygulaması için tarım robotunun gerçek arazideki çalışma sistemi güzergahı modellenmiştir.



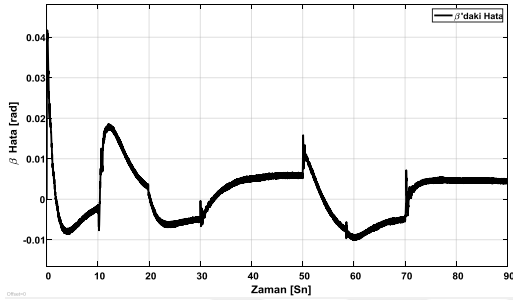
Şekil4.17. Çalışma rotasının modellenmesi

60 saniye sonucunda spiral güzergah için simülasyonda oluşan hata değerleri Şekil 4.18'te görülmektedir.



-a-

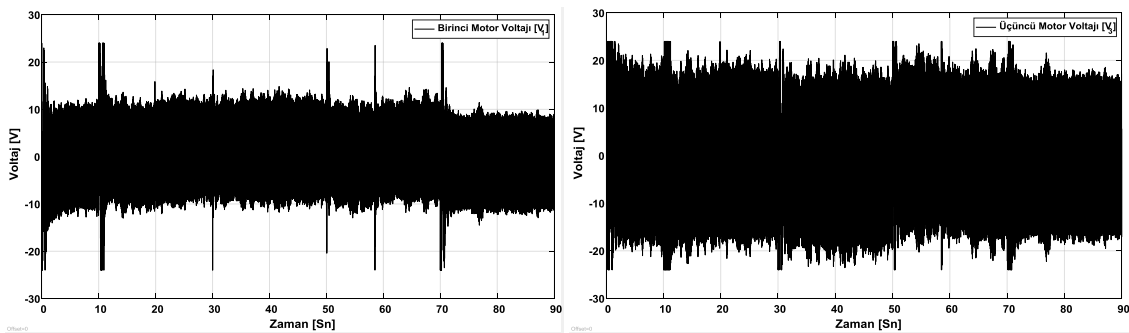
-b-



-c-

Şekil 4.18. Çalışma güzergah için oluşan hata değerleri a) X_s 'deki hata, b) Y_s 'deki hata, c) β 'deki hata

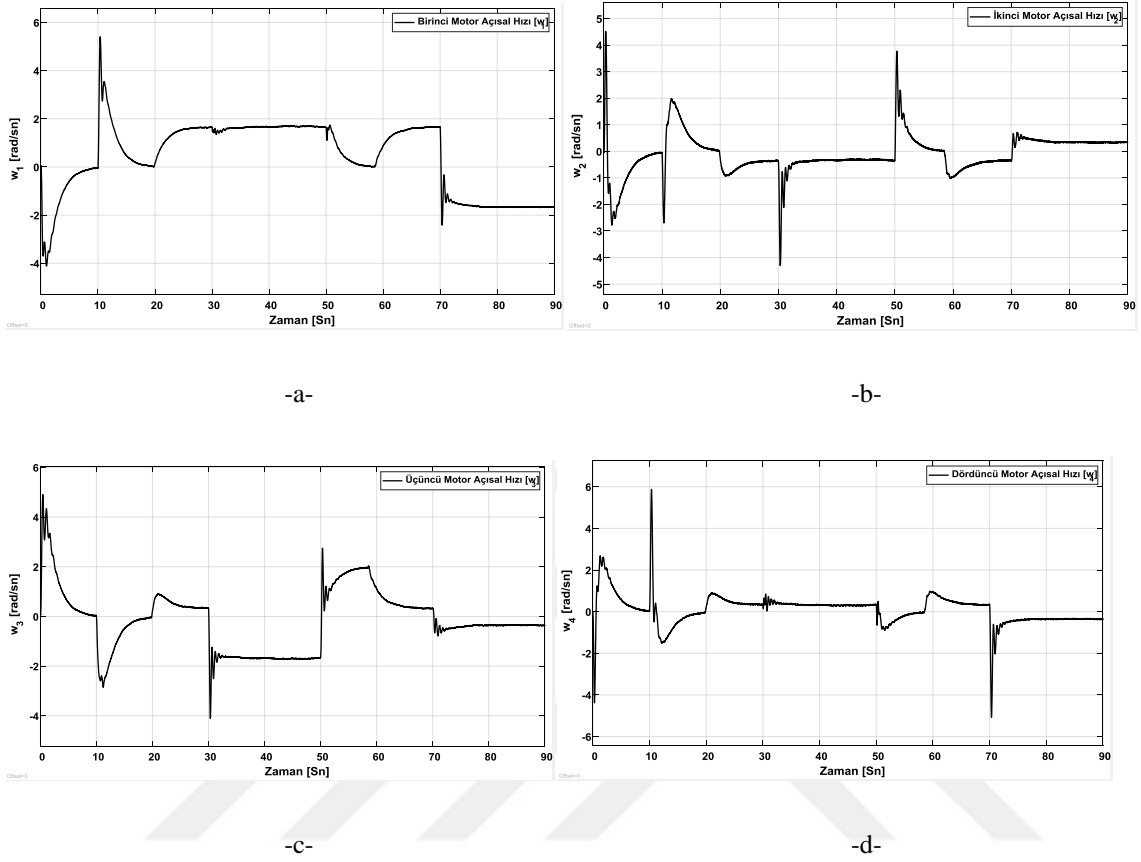
Şekil 4.19 zamana bağlı olarak motorların voltajının değişimini göstermektedir. Bu grafikteki simülasyon 50 saniye olarak yapılmış olup sonuçlara göre, motorların voltajının motorun sürüm maksimum voltajı olan 24 Volt voltaja yakın çalıştığı görülmektedir.



-a-

-b-

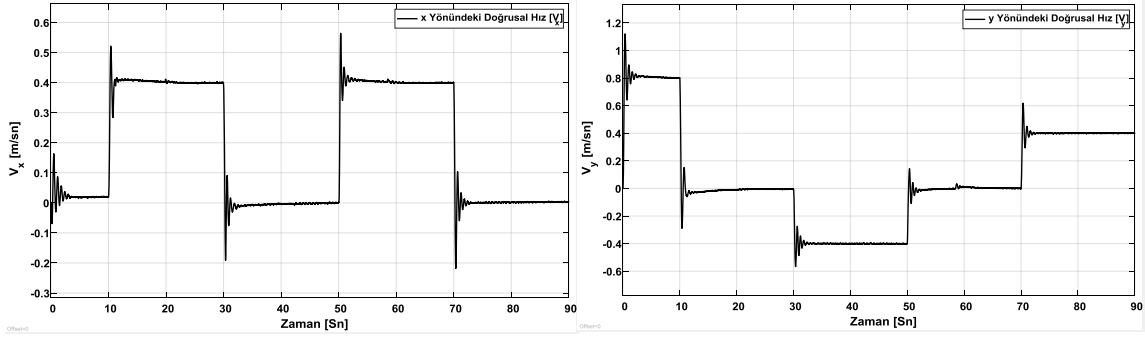
Şekil 4.19. Çalışma güzergah için 0-50 saniye arasında zamana bağlı voltaj değerleri, a) birinci motor (v_1), b) üçüncü motor (v_3)



Şekil 4.20. Çalışma güzergah için 0-50 saniye arasında zamana bağlı açısal hız değerleri, a) birinci motor (w_1), b) ikinci motor (w_2), c) üçüncü motor (w_3), d) dördüncü motor (w_4)

Şekil 4.20 zamana bağlı olarak motorların açısal hız değişimini göstermektedir. Bu grafikteki simülasyon 50 saniye olarak yapılmış olup sonuçlara göre, motorların açısal hızlarındaki değişimler Şekil 4.19'da bulunan zamana bağlı voltaj değişim grafikleri ile karşılaştırılmıştır.

Belirlenen güzergâh ve gelen voltaj doğrultusunda x ve y eksenleri üzerinde zamana bağlı değişim gösteren doğrusal hız grafikleri Şekil 4.21'de gösterilmektedir.



Şekil 4.21. Çalışma güzergah için sırası ile x ve y eksenlerinde zamana bağlı doğrusal hızları değişimi



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, tarım işlerinde kullanılması planlanan mobil bir robot için farklı tasarımları gerçekleştirilmiş ve bu tasarımların statik ve dinamik analizleri sonlu elemanlar metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen tasarımlar belirtilen koordinatlarda toprak kazıma, ekim işlemi, toprağı kapatma ve ilk sulama görevlerini yerine getirme üzere yapılmıştır. Daha sonra 3 boyutlu yazıcı kullanılarak daha az maliyetli bir tasarımın üretimi yapılmıştır. Dijitalleşen dünyanın kaçınılmaz gereksinimi olan cep telefonlarındaki mobil uygulamalar ile robotlara komut yollama durumları da göz önünde bulundurularak android tabanlı bir uygulamadan robota hangi aralıklarla, x ve y eksenlerinde kaç adet ekim yapacağı bilgisi gönderilmekte ve robot bu verilere göre ekim işlemini gerçekleştirmektedir. Robot üzerine yerleştirilen gps, ivmeölçer ve gaz sensörü ile robotun ekim yapılan alandaki konumu, robotun hareketi sırasında x,y ve z eksenlerindeki hareketi ile zemin analizinin yapılması ve sera gibi kapalı ortamlara ekim yapıldığı sırada bölgesel olarak gaz ölçümü yapılmaktadır. Robot ile yapılan deneyler sonucunda robotun gelen talimatları başarılı bir şekilde gerçekleştirdiği ve gerekli ölçümleri yaptığı tespit edilmiştir. Mevcut sistemin olabildiğince ufak tutulmasından ve üzerinde kullanılan küresel konumlandırma sensörünün sapma payının yüksek olmasından dolayı alınan koordinat noktalarında sapmalar meydana gelmektedir. Robot tasarımının büyütülmesi ve sapma payı düşük sensör kullanımı ile işlem yapılan noktalar tam olarak tespit edilebilecektir. Ayrıca tasarımın büyütülmesi buna bağlı olarak motor değerlerinin arttırılması ve derin dişli arazi tekerlerinin kullanılması belirlenen güzergah üzerinde robotun hareket kabiliyetini sabit tutacaktır.

Ek olarak mobil robot için basit ve uygulanabilir bir denetleyici tasarımı gerçekleştirmek için robotun matematiksel modeli çıkarılmıştır. Matematiksel modelde kinematik ve dinamik modeller elde edilmiş ve simülasyon ortamına aktarılmıştır. Motor açısal hızlarından geri beslemeler alınarak denetleyici vasıtasıyla referans yörünge izlenmeye çalışılmıştır. Robot üzerindeki dört tekerlekte kullanılan dört motor için ayrı ayrı PID denetleyici tasarımı yapılmıştır. Uyarlanabilir bir PID tasarımı hedeflenen çalışmada PID parametreleri sistem performansına (hatanın minimize edilmesine) dayalı olarak Gri Kurt Optimizasyon Algoritması ile ayarlanmaktadır. Motor voltajlarının ayarlandığı uygun kontrol çıkışlarının oluşması için amaç fonksiyonu olarak mutlak hatanın zamanla çarpımının integrali (ITAE) fonksiyonu kullanılmıştır. Tasarımı yapılan denetleyicilerin

performansları 3 farklı yörünge ile test edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde denetleyicilerin başarı bir yörünge takip performansı oluşturduğu tespit edilmiştir. Ayrıca her bir yörünge için sistem parametrelerinin (kontrol girişleri – motor voltajları, motor açısal hızları, x ve y eksenlerindeki hatalar vb.) değişimleri incelenmiştir. Başarılı sonuçların elde edildiği bu çalışma tarım uygulamaların kullanılmak üzere mobil uygulama ile yönetilmeye uyumlu kazma, ekme, kapama ve sulama işlemlerini yapacak bir mobil robotun modellenmesi, kontrolü ve az maliyetli bir tasarım ile üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda robot üzerinden arazi ölçülerinin kontrol edilmesi, ekim yapılan noktaların saptanması ve ekilen ürünlerin bölgesel olarak kontrol edilmesi sağlanmış olacaktır.

Ülkemizde yeni yaygınlaşmaya başlayan tarımda robotikleşme girişimleri tarım alanlarının daha verimli kullanılması ve üretim kapasitesinin artırılması amaçlanmaktadır. Yapılan tarım robotuna ilave edilebilecek sistemler ile ilaçlama işleminin yapılması, mahsulleri hasat etmek gibi temel tarımsal görevleri işçilerinden daha yüksek hacimde ve daha hızlı bir şekilde gerçekleştirebileceği öngörülmektedir. Ayrıca üzerine eklenebilecek sensörlerle ya robotun tasarımında değişikliğe gidilmesi ile sürü robot sistemine geçilebilir ve daha büyük arazilerde insan gücünün en aza indirilmesi gelecek çalışmalar olarak ön plana çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

1. İnternet Adresi: <https://sozluk.gov.tr> Son Erişim Tarihi : 20.10.2020
2. İnternet Adresi: KarelČapek. https://tr.wikipedia.org/wiki/Karel_Čapek Son Erişim Tarihi : 20.10.2020
3. ÇIRAK, B., & Yörük, A. (2016). Mekatronik biliminin öncüsü İsmail El-Cezeri. *Siirt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (4), 175-194.
4. İnternet Adresi: M.Ö'den günümüze robot tarihi,<https://www.moment-expo.com/tr/dergiler/23/nostalji/moden-gunumuze-robot-tarihi> Son Erişim Tarihi : 20.10.2020
5. Gürkan GÜRGÜZE, İbrahim TÜRKOĞLU. (2019). Kullanım Alanlarına Göre Robot Sistemlerinin Sınıflandırılması. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi* 31(1), 53-66
6. AnthonyKing. (2017). Technology: TheFuture of Agriculture. *Nature*, 544, S21
7. Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C. &Bogaardt, M J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agric. Syst.*, 153, 69–80.
8. Chlingaryan, A., Sukkarieh, S. &Whelan, B. (2018). Machine Learning Approachesfor Crop Yield Predictionand Nitrogen Status Estimation in Precision Agriculture: A Review. *Comput. Electron. Agric*, 151, 61–69.
9. Bechar, A.&Vigneault, C. (2016). Agricultural Robotsfor Field Operations: Conceptsand Components. *Biosystems Engineering*, 149, 94-111.
10. Oberti, R., Marchi, M., Tirelli, P., Calcante, A., Iriti, M., Tona E, et al. (2016). *SelectiveSpraying of Grapevines for Disease Control Using a Modular Agricultural Robot. Biosyst. Eng*, 146, 203–215.
11. Longo, D.&Muscato, G. (2013). Design and Simulation of Two Robotic Systems for Automatic Artichoke Harvesting. *Robotics*, 2(4),217–230.
12. Gonzalez-de-Soto, M., Emmi, L., Perez-Ruiz, M., Aguera, J. &Gonzalez-de-Santos P. (2016). Autonomous Systems for Precise Spraying – Evaluation of a Robotised Patch Sprayer. *Biosyst. Eng.*, 146, 165–182.
13. Ishigure, Y., Hirai, K. &Kawasaki, H. (2013). A Pruning Robot with a Power-Saving Chainsaw Drive. In *Mechatronics and Automation (ICMA), IEEE International Conference on*, 1223–1228.

14. Drach, U., Halachmi, I., Pnini, T., Izhaki, I. & Degani, A. (2017). Automatic Herding Reduces Labour and Increases Milking Frequency in *Robotic Milking*. *Biosyst. Eng.*, 155, 134–141.
15. Zhang, C., Gao, H., Zhou, J., Cousins, A., Pumphrey, M. O. & Sankaran, S. (2016). 3D Robotic System Development for High-Throughput Crop Phenotyping. *IFAC-Papers On Line*, 49(16), 242–247
16. Comba, L., Gay, P. & Ricauda Aimonino, D. (2016). Robot Ensembles for Grafting Herbaceous Crops. *Biosyst. Eng.*, 146, 227–239.
17. Eaton, R., Katupitiya, J., Siew, K. W. & Siew, K. W. (2009). Robust Sliding Mode Control of an Agricultural Tractor Under the Influence of Slip. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Singapore*, 1873–1878.
18. Matveev, A. S., Hoy, M., & Savkin, A. V. (2010). Mixed Nonlinear-Sliding Mode Control of an Unmanned Farm Tractor in the Presence of Sliding. *2010 11th International Conference on Control Automation Robotics & Vision, Singapore*, 927–932.
19. Mehmet Metin ÖZGÜVEN, Mustafa TAN, Cemil KÖZKURT, Muzaffer Hakan YARDIM, Mustafa ÖZSOY, Eray SABANCI. (2016). *Çok Amaçlı Tarım Robotunun Geliştirilmesi*. 33 (Ek sayı), 108-116.
20. Alparslan GÜZEY, Mehmet Mutlu AKINCI, Şenol ALTAN. (2020). Otonom Kara ve Hava Araçları ile Akıllı Tarım: Hasat Optimizasyonu Üzerine Bir Uygulama. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Özel Sayı* 207-220
21. İnternet Adresi: MARS – Mobile Agricultural Robot Swarms <http://echord.eu/mars/>
Son Erişim Tarihi : 16.11.2020
22. Musa Matlı, Raif Bayır. (2020). Dört Mekanum Tekerli Mobil Robot Platformunun Geliştirilmesi ve Güvenlik Amacıyla Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı*, S. 416-425.
23. Faik DEMİRBAŞ, Mete KALYONCU. (2017). Differential drive mobile robot trajectory tracking with using pid and kinematic based back stepping controller. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(1), 1-15.
24. Abidin CAN. (2019). Yörünge ve Hareket Kontrollü Mobil Robot Tasarımı, *T.C. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*
25. Awaludin, M. F. K., Winarno, T., Siradjuddin, I. (2021). Motion Planning Robot dengan Kontrol Kinematik. *Jurnal Elektronika Otomasi Industri*, 8(2), 30-38.

26. Cihangir Han KAZANCI; A. Fatih KOCAMAZ, (2018). PID Optimization on Differential Drive Mobile Robot. In *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)* (pp. 1-6). IEEE.
27. Alshorman, A. M., Alshorman, O., Irfan, M., Glowacz, A., Muhammad, F., &Caesarendra, W. (2020). Fuzzy-based fault-tolerant control for omnidirectional mobile robot. *Machines*, 8(3), 55.
28. Normey-Rico, J. E., Alcalá, I., Gómez-Ortega, J., &Camacho, E. F. (2001). Mobile robot path tracking using a robust PID controller. *Control Engineering Practice*, 9(11), 1209-1214.
29. Carlucho, I., De Paula, M., &Acosta, G. G. (2019). Double Q-PID algorithm for mobile robot control. *Expert Systems with Applications*, 137, 292-307.
30. Saleh, A. L., Hussain, M. A., &Klim, S. M. (2018). Optimal trajectory tracking control for a wheeled mobile robot using fractional order PID controller. *Journal of University of Babylon for Engineering Sciences*, 26(4), 292-306.
31. Ayten, K. K., Çiplak, M. H., &Dumlu, A. (2019). Implementation a fractional-order adaptive model-based PID-types liding mode speed control for wheeled mobile robot. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, *Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 233(8), 1067-1084.
32. Nail Akçura, Erol Uyar, Mücahid Candan, Ekrem Yavuz, Çevre Haritalandırma ve Obje Geçme Algoritması Entegreli Bir Mobil Aracın Bulanık Mantık ile İç Mekan Navigasyon Kontrolü, *Tok 2014 Bildiri Kitabı*, 11-13 Eylül 2014, Kocaeli
33. Azizi, M. R., Rastegarpanah, A., &Stolkin, R. (2021). *Motion Planning and Control of an Omnidirectional Mobile Robot in Dynamic Environments. Robotics*, 10(1), 48.
34. İnternet Adresi: Mecanum Wheel, https://en.wikipedia.org/wiki/Mecanum_wheel Son Erişim Tarihi : 10.03.2021
35. İnternet Adresi: Mars CuriosityRover ,<https://mars.nasa.gov/msl/home/>Son Erişim Tarihi : 15.03.2021
36. Z. Hendzel ve L. Rykala. (2017).Modelling of Dynamics of a Wheeled Mobile Robot With Mecanum Wheel With The Use of Langrange Equations of The Second Kind. *Int. J. of Applied Mechanics and Engineering*, 2017, vol.22, No.1, pp.81-99
37. Bharat J.,Rakesh S. ve Ramesh C. (2014).Modelling, Simulation and Implementation of Brushed DC Motor Speed Control Using Optical Incremental Encoder Feedback. *Proceedings of IOE Graduate Conference*, 2014.

DİZİN

A

Arduino · 15,27,28
Android · 32

B

B

C

C

Ç

ç

D

Dinamik · 41,67

E

Eklemeli imalat · 8

F

F

G

Gri Kurt · 50
Gps · 28,67

H

H

İ

i

K

Kinematik · 39,41

L

Laplace · 49

M

Mekanik · 8
Mecanum · 8
Matematiksel model · 45

N

N

O

Optimizasyon · 50, 52

Ö

Ö

P

PID · 6, 7, 51, 52

R

Robot · 1, 8, 34, 39

S

Sensör · 1, 27, 28, 67
Sonlu Elemanlar · 16, 67
Statik · 10, 18, 67

Ş

ş

T

Tasarım · 1, 8, 27, 51
Tarım · 2, 8, 62

U

Uygulama · 34

V

v

Y

y



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

