



**YAPAY SİNİR AĞI TABANLI OTONOM PARK SİSTEMİ
GELİŞTİRİLMESİ**

Utku GÜNAY

**YÜKSEK LİSANS
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- 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.

Utku GÜNAY

17/12/2021

YAPAY SİNİR AĞI TABANLI OTONOM PARK SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Utku GÜNAY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2021

ÖZET

Taşıtlarda sürüş destek sistemleri sürücü ve yolcular için can güvenliğini sağlamakla birlikte konfor alanı yaratmaktadır. Bu çalışmada en çok karşılaşılan sürüş destek sistemlerinden biri olan otonom park sistemi geliştirilmiştir. Otonom park sisteminin teorik analizleri yapılmış daha sonra 1/10 ölçekli model araç üzerinde uygulaması yapılarak performansı değerlendirilmiştir. Otonom park yazılımı araç kontrol kartı ve bilgisayar kontrol yazılımlarından oluşmaktadır. Park rotasının belirlenmesi için kontrol algoritmasında yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır. Yapay sinir ağı araç kinematik denklemleri ve farklı park başlangıç konumlarına göre eğitilmiştir. Eğitilen ağ bilgisayar kontrol yazılımına entegre edilmiştir. Geliştirilen sistemin testleri için araç boyutlarına uygun test parkuru oluşturulmuştur. Bu parkur içerisinde tekrarlı testler gerçekleştirilmiş ve sistemin performansı belirlenmiştir. Test sonuçları önerilen otonom park sisteminin başarısını ortaya koymaktadır.

Bilim Kodu : 93006
Anahtar Kelimeler : Otonom park, park kontrol algoritması, park rotası belirleme, yapay sinir ağı
Sayfa Adedi : 75
Danışman : Doç. Dr. Fatih ŞAHİN

DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK BASED AUTONOMOUS PARKING SYSTEM

(M. Sc. Thesis)

Utku GÜNEY

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2021

ABSTRACT

Driving assistance systems provide life safety for the driver and passengers, as well as create a comfort zone in vehicles. In this study, the autonomous parking system, which is one of the most common driving support systems, was developed. Theoretical analyzes of the autonomous parking system were carried out and then its performance was evaluated by applying it on a 1/10 scale model car. Autonomous parking software consists of vehicle control card software and control computer software. An artificial neural network model was used in control algorithm to determine parking path planning. The artificial neural network was trained according to vehicle kinematic equations and different parking starting positions. The trained network was integrated into the control computer software. A test parkour was set according to vehicle geometric boundaries to test the developed system. A number of parking tests were carried out on test parkour and the system performance was determined. The test results reveal the success of proposed autonomous parking system.

Science Code : 93006

Key Words : Artificial neural network, autonomous parking, parking control algorithm, path planning

Page Number : 75

Supervisor : Assoc. Prof. Fatih ŞAHİN

TEŞEKKÜR

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda değerli tecrübe ve deneyimlerini paylaşan, süreç içerisinde karşılaşılan problemleri çözüme ulaştırmak için özenle, sabırla ve ilgiyle destek olan ve eğitim hayatımda kazandığım bilgiler ile mesleki hayatıma sağladığı katkılardan dolayı kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Fatih ŞAHİN' e, hayatım boyunca aldığım kararlarda beni destekleyen ve haklarını asla ödeyemeyeceğim anneme ve babama, yoğun çalışma temposunda bana anlayış gösteren ve çalışmayı tamamlamak için cesaretlendiren eşime, teknik konularda fikirlerini aldığım tez çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen herkese teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. OTONOM PARK SİSTEMLERİ	5
2.1. Otonom Park Sistemlerinin Temel Yapısı	5
2.2. Literatür Taraması.....	8
3. GELİŞTİRİLEN OTONOM PARK SİSTEMİ.....	27
3.1. Sistem Donanımı	28
3.1.1. Araç.....	28
3.1.2. Araç kontrol kartı.....	29
3.1.3. LIDAR sensör	30
3.1.4. Kızılötesi mesafe sensörü	31
3.1.5. Hız kontrol sistemi.....	33
3.1.6. Motor sürücü kartı.....	35

Sayfa

3.1.7. Batarya sistemi	36
3.1.8. Park sistemi entegrasyonu.....	36
3.2. Sistem Yazılımı	39
3.2.1. Araç kontrol kartı yazılımı	40
3.2.2. Araç hız kontrol kartı yazılımı	42
3.2.3. Bilgisayar kontrol yazılımı	42
3.3. Yapay Sinir Ağı ile Park Rotasının Belirlenmesi	49
3.3.1. Yapay sinir ağı modeli	52
3.3.2. Yapay sinir ağının eğitimi.....	52
3.3.3. Geliştirilen yapay sinir ağının performansı.....	53
4. GELİŞTİRİLEN OTONOM PARK SİSTEMİNİN TESTLERİ	57
4.1. Park Yeri Bulma Testi.....	57
4.2. Park Rota Testleri.....	60
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	67
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	75

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. LIDAR ölçüm örneği.....	41
Çizelge 3.2. Seçilen model araç geometrik özellikleri	43
Çizelge 3.3. Dönüş yarıçap değerleri.....	44



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Otonom park sistemlerinin temel yapısı	5
Şekil 2.2. SAE J3016 otonom sürüş seviyeleri	6
Şekil 2.3. Yüzgeç ve Şahin tarafından geliştirilen model araç	8
Şekil 2.4. Lee ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen park boşluğu hesabı	9
Şekil 2.5. Ağvan tarafından geliştirilen sistem	10
Şekil 2.6. Hongbo ve arkadaşları tarafından kullanılan model	10
Şekil 2.7. Zhao ve Collins tarafından oluşturulan matematiksel model	11
Şekil 2.8. Cosetl ve arkadaşları tarafından geliştirilen araç modeli	12
Şekil 2.9. Al-Turjman ve Malekloo tarafından geliştirilen model	13
Şekil 2.10. Bravo ve arkadaşlarının çoklu manevra yöntemi	14
Şekil 2.11. Bravo ve arkadaşlarının doğrudan yaklaşım yöntemi	15
Şekil 2.12. Gupta ve arkadaşlarının yol planlaması ve park yörüngesi	15
Şekil 2.13. Sidharta ve arkadaşlarının haritalama verileri	16
Şekil 2.14. Ren ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği kampüs tarama alanı	17
Şekil 2.15. Feng ve arkadaşlarının oluşturduğu nokta kümesi	18
Şekil 2.16. Açıkkel ve Gökçen tarafından geliştirilen model araç	18
Şekil 2.17. Liu ve Sun tarafından geliştirilen model araç	19
Şekil 2.18. Boniardi ve arkadaşları tarafından geliştirilen haritalama yöntemi	20
Şekil 2.19. Deutsches Müzesi'nin ikinci katının haritası	20
Şekil 2.20. Shan ve Englot çalışmasında oluşturulan harita	21
Şekil 2.21. Li ve arkadaşlarının geliştirdiği simülasyon diyagramı	22
Şekil 2.22. Filatov ve arkadaşları tarafından geliştirilen model araç	22
Şekil 2.23. Wegener ve Bühler park yeri geometrisi	23

Şekil	Sayfa
Şekil 2.24. Li ve arkadaşlarının gerçek zamanlı park deneyi	24
Şekil 2.25. Lin ve Zhu' nun geliştirdiği güzergâh planlama	25
Şekil 3.1. Geliştirilen park sistemi blok diyagramı.....	28
Şekil 3.2. Maverick Strada TC şasi.....	29
Şekil 3.3. Arduino Mega 2560 Rev3 ve pin haritası.....	30
Şekil 3.4. Rplidar A1M8 sensörü ve devre bağlantıları.....	31
Şekil 3.5. Sharp GP2Y0E03 kızıl ötesi mesafe sensörü ve devre bağlantıları	32
Şekil 3.6. Platform sensör yerleşimi	32
Şekil 3.7. TCA9548A I2C çoklayıcı kartı	33
Şekil 3.8. STM32F103 mikrodenetleyici kartı ve hız kontrol devresi.....	34
Şekil 3.9. Devir sensör diski	34
Şekil 3.10. Kızılötesi hız/konum sensörü ve devre bağlantıları.....	35
Şekil 3.11. Adafruit BTS7960B motor sürücüsü ve devre bağlantıları	35
Şekil 3.12. ProFuse 11.1 V 25 C 450mAh LiPo batarya	36
Şekil 3.13. Sistem devre şeması.....	38
Şekil 3.14. Entegrasyonu tamamlanmış model araç	39
Şekil 3.15. Sistem yazılımı yapısı.....	39
Şekil 3.16. Python programı arayüzü.....	45
Şekil 3.17. Park algoritması ölçüm metodolojisi	46
Şekil 3.18. Bilgisayar programında tespit edilen park boşluğu	47
Şekil 3.19. Bilgisayar programı ana akış diyagramı	48
Şekil 3.20. Bilgisayar programı seri port veri olayı akış diyagramı	49
Şekil 3.21. Basit bir biyolojik sinir hücresi.....	50
Şekil 3.22. Park rota hesabı çizimi.....	51

Şekil	Sayfa
Şekil 3.23. Geliştirilen yapay sinir ağı modeli.....	52
Şekil 3.24. Yapay sinir ağıının eğitim, doğrulama, test ve tüm veri seti	53
Şekil 3.25. Yapay sinir ağı hata histogramı	54
Şekil 3.26. Sistem performans noktası.....	55
Şekil 4.1. Parkur ölçüm konum pozisyonları.....	57
Şekil 4.2. 1. Konum ölçüm sonucu	58
Şekil 4.3. 2. Konum ölçüm sonucu	58
Şekil 4.4. 3. Konum ölçüm sonucu	59
Şekil 4.5. 4. Konum ölçüm sonucu	59
Şekil 4.6. 15°- 165° Tarama sonucu	60
Şekil 4.7. Ölçekli test parkuru.....	61
Şekil 4.8. Yandaki araca olan uzaklık 5 cm, doğrultu açısı 0°	62
Şekil 4.9. Yandaki araca olan uzaklık 5 cm, doğrultu açısı 1°	62
Şekil 4.10. Yandaki araca olan uzaklık 10 cm, doğrultu açısı 0°	62
Şekil 4.11. Yandaki araca olan uzaklık 9 cm, doğrultu açısı 0°	63
Şekil 4.12. Yandaki araca olan uzaklık 7 cm, doğrultu açısı 1°	63
Şekil 4.13. Yandaki araca olan uzaklık 9 cm, doğrultu açısı 1°	63
Şekil 4.14. Yandaki araca olan uzaklık 10 cm, doğrultu açısı 1°	64
Şekil 4.15. Yandaki araca olan uzaklık 10 cm, doğrultu açısı 2°	64
Şekil 4.16. Yandaki araca olan uzaklık 12 cm, doğrultu açısı 3°	64
Şekil 4.17. Yandaki araca olan uzaklık 13 cm, doğrultu açısı 3°	65
Şekil 4.18. Test sonuçları.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

cm

Santimetre

mm

Milimetre

V

Volt

Kısaltmalar

Açıklamalar

FPGA

Field Programmable Gate Array

LCD

Liquid Crystal Display

LED

Light Emitting Diode

LIDAR

Light Detection and Ranging

Li-po

Lityum Polimer

Ni-MH

Nikel metal hibrit pil

ROS

Robotic Operation System

RRT

Rapidly Exploring Random Tree

SAE

Society of Automobile Engineers

1. GİRİŞ

Teknolojinin günümüzde ulaştığı seviye ile insanların fiziksel olarak gerçekleştirdiği birçok eylem artık cihazlar veya makinalar tarafından insan müdahalesi olmadan gerçekleştirilmektedir. Entegre halde bulunan sensörler yardımıyla cihazlar çevrelerini ve çevrelerindeki değişimleri algılamakta, kendileri için belirlenen görev tanımları doğrultusunda ihtiyaçları karşılamak üzere bu görevleri yerine getirmektedir. Otonom sistemler iklimlendirme sistemleri, temizlik robotları, kahve makinaları ve otonom taşıtlar başta olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır. Söz konusu sistemler kullanım alanlarına göre zaman kazandırarak veya konfor alanı yaratarak insan hayatını önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır.

Ulaşım sektöründe taşıt üretici firmalar, ticari ve binek araç modellerinde sürücülere yolculuk sırasında yardımcı olması için sürüş destek sistemleri geliştirmektedir. Otomobillerde kullanılan sürüş destek sistemlerine otomasyon seviyeleri açısından bakıldığında birçok farklı uygulamalarla karşılaşılmaktadır. Bu sistemler sürücü ve yolcuların can güvenliğini sağladığı gibi aynı zamanda sürüş konforu da sağlamaktadır. Şerit takip sistemleri, sürüşe duyarlı hız sabitleme, otonom park sistemleri ve otonom sürüş gerçekleştiren otomobiller tam otomasyona en yakın araçlardır. Otonom park sistemleri otonom araçlarda yaygın olarak kullanıldığı gibi geleneksel araçlarda otonom park özelliği olarak da bulunmaktadır.

Otonom park sistemleri uygulamaları araç üretici ve araç modellerine göre farklılık göstermektedir. Sistemin, park işlemi sırasında sürücüye destek olmak üzere geliştirildiği düşünüldüğünde zaman içerisinde ortaya çıkan yeni ihtiyaçlar ve teknolojik gelişmeler ile günümüzdeki halini almıştır. Park yardım asistanı olarak adlandırılan sistemler park işlemini sürücüye bağlı olarak gerçekleştirirken, otonom seviyesi daha yüksek olan araçlar park işlemini sürücünün müdahalesi olmadan başarı ile tamamlayabilmektedir.

Otomobillerde otonom seviyeleri araçların kullanıcı arayüzünde insan bulunması ve eylem sırasında karar aşamasında insan kontrolü olup olmadığına göre farklı sınıflar oluşturmaktadır. Otonom araçlar için SAE J3016 standardına göre 6 seviye tanımlanmıştır. Otonom sürüş seviyeleri kullanıcı müdahalesi azaldıkça yükselmektedir. 0. seviye

sistemlerde sürücü için uyarı sistemleri bulunmakla birlikte araç kontrol bilgisayarı sürüş dinamiklerine müdahale etmemektedir. 2. seviye ve üzerinde olan sistemler araç dinamiklerine müdahale ederek sürücüye destek olmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde otonom park sistemlerinin 2. seviye ile 5. seviye arasında yer aldığı görülmektedir.

Sürüş destek sistemlerinden olan otonom park sisteminin nasıl çalıştığını anlamak için literatürde gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalarda otonom park probleminin farklı yönleri ile ele alındığı görülmüştür. Çalışmalar otonom park sistemleri için iki temel başlık altında toplanmıştır. Bunlar araç için uygun park yeri bulma ve uygun park yerine göre manevraların hesaplanmasıdır. Park yerini tespit etmek için araç üzerinde bulunan sensörler yardımıyla ölçüm alınabildiği gibi alınan mesafe ölçümleri ile bölgenin haritası çıkartılarak aracın oluşturulan haritaya göre konumlandırılması gerçekleştirilmektedir. Araç park manevraları içinse farklı matematiksel yöntemler kullanılmıştır. Araç geometrik boyutları ve fiziksel sınırları kullanılarak türetilen eşitlikler ile manevra hesapları gerçekleştirilmiştir.

Park manevraları park boşluğunun araca göre olan konumu, aracın park işlemi için durduğu pozisyon ve dinamik çevre koşullarına göre sürekli değişim içerisindedir. Park işleminin başarı ile gerçekleştirilebilmesi için değişen çevre şartlarında hızlı ve doğru ölçümler alarak aracın o andaki konumuna göre yazılımın güncel rotayı oluşturarak takibini gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu döngü park işlemi tamamlanana kadar devam etmektedir. Geliştirilen kontrol algoritmaları kullanılan sensör tiplerinin yetenekleri ve kontrol kartının özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Ölçüm sıklığı, alınan verilerin aktarım hızı, geliştirilen sistemin akışı ve sistemin park etme hızları park işleminin performansını doğrudan etkilemektedir.

Literatürde geliştirilen otonom park sistemlerinin performansının iki şekilde ortaya konulduğu görülmüştür. İlk yöntem bilgisayar programları yardımıyla gerçekleştirilen simülasyonlar ile sonuçların elde edilmesidir. Kullanılan ikinci yöntem ise gerçekleştirilen çalışmanın model veya gerçek boyutlu bir araç üzerine uygulanarak sonuçların elde edilmesidir. İki yöntemde de geliştirilen park sistemleri teorik hesaplar ile karşılaştırılarak sistem performans değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar ile sistemlerin hata ve kayıpları

tespit edilerek sistem de oluşan hataları azaltmak için iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Otonom park sisteminin geliştirilmesi sırasında park işleminin gerçekleştirilebilmesi için çok fazla değişken olduğu görülmektedir. Aracın uygun park yerine hangi şekilde park edeceği, nasıl bir rota izleyeceği ve park işlemini nasıl sonlandıracağı gibi durumlara sistemin tasarım aşamasında karar verilmiştir.

Bu çalışmada sürüş destek sistemlerinden biri olan otonom park sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistem 1/10 ölçekli model bir araç üzerinde uygulanmıştır. Literatürdeki yaklaşımlar dikkate alınarak trafiğin sağ şeritten ilerlediği, aracın ilerleme yönüne göre sağ tarafında bulunan park boşluğuna geri park manevrası gerçekleştirmesi durumu dikkate alınarak sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışma sistem donanımı ve yazılımı olmak üzere iki temel başlık altında incelenmiştir. Sistem donanımı model araç, elektronik kontrol kartları ve sensörlerden oluşmaktadır. Sistem yazılımı ise bilgisayar kontrol yazılımı ve araç kontrol kartı yazılımından oluşmaktadır.

Çalışma içerisinde geliştirilen sistemin kinematik modeli, geliştirilen yapay sinir ağı, sistemin blok diyagramı, seçilen donanım özellikleri ve kullanılan kontrol yazılımları detaylı olarak açıklanmıştır. Tasarım aşamasında karşılaşılan sorunlar ve geliştirilen çözümler ifade edilmiştir. Geliştirilen park sistemi testleri başlığında geliştirilen otonom park sisteminin performansını ortaya koymak üzere farklı test senaryolarında elde edilen veriler grafikler ile verilmiştir. Sonuç ve değerlendirme bölümünde sistemin genel performans kriterleri özetlenerek gerçekleştirilen testlerin sonuçları değerlendirilmiştir. Geliştirilen sistemin otonom park işlemi için yeterliliği ve gelecek çalışmalarda sistem başarı performansının artırılmasına yönelik öneriler belirtilmiştir.



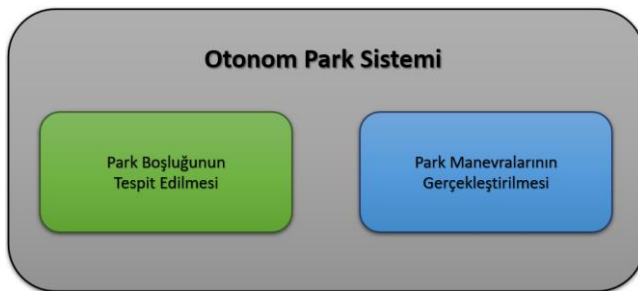
2. OTONOM PARK SİSTEMLERİ

Günümüzde teknolojinin ilerlemesi ile birlikte araç sektöründe sürücüler için kullanışlı birçok sürüş destek sistemi geliştirilmektedir. Araç kullanmaya başlayan tecrübesiz sürücüler göz önünde bulundurulduğunda aracı park etmek, pratik yapılması gereken ve bir o kadar da önemli sürüş kabiliyetidir. Tam bu noktada kendini park konusunda pratik ile geliştiren sürücüler olduğu gibi kullandıkları aracın park etme özelliğinden faydalanan sürücü sayısı da her geçen gün artmaktadır.

Otonom park sistemleri otomobil sektöründe ilk olarak park asistanı ismiyle tanıtılmıştır. İlk geliştirilen bu sistem araca uygun park yerini bulduğunu belirten sesli veya görsel bir uyarı ile uyararak park işlemlerini gerçekleştirmesi için sürücüyü yönlendirmektedir. Bu sistemde park işlemi aracın sürücüye ilettiği direktifler doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Zamanla araç teknolojisi ve sensörlerin gelişmesiyle birlikte araçlar artık tespit edilen uygun park yerine sürücü müdahalesi olmadan başarı ile park edebilmektedir.

2.1. Otonom Park Sistemlerinin Temel Yapısı

Otonom park sistemi teorik olarak aracın uygun park yerinin tespit edilmesi ve manevraların gerçekleştirilmesi üzerine iki bölümden oluşmaktadır. Şekil 2.1’de otonom park sistemlerinin temel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Otonom park sistemlerinin temel yapısı

Bu kapsamda otonom park sistemleri öncelikle araç üzerinde bulunan mesafe ölçüm sensörleri ile çevrelerini tarayarak araca en uygun park yerini aramaktadır. Sistemde istenilen yeteneklere göre çok farklı tipte ve özellikte sensörler bulunmaktadır. Kullanılan sensörlerden gelen bilgiler bir yazılım tarafından değerlendirilerek aracın fiziksel

boyutlarına en uygun park yerinin tespiti yapılmaktadır. Daha sonra araç kinematik sistemlerinin yetenekleri göz önünde bulundurularak oluşturulmuş hareket denklemleri ile aracın park yerine en az manevrayla, hatasız park edebilmesi için rota hesabı çıkartılmaktadır. Araç direksiyon açısı ve hız bilgisi bu rotayı takip etmek için bilgisayar tarafından kontrol edilerek park işleminin başarı ile gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır.

Park işleminin başarı ile gerçekleştirilmesi park yerinin tespit edilmesi ve park işleminin gerçekleştirilmesi sırasında geçen süre ölçülerek değerlendirildiği gibi yapılan teorik ölçümler ile gerçekleştirilen park manevralarının birbirine olan benzerliği park sistemlerinin değerlendirilmesinde performans kriteri olarak kullanılmaktadır. Park işlemi sırasında kaza olduğu durumlar başarısız kabul edilmektedir.

Otomobillerde otonom seviyeleri araçların kullanıcı arayüzünde insan bulunması ve eylem sırasında karar aşamasında veya hareket sırasında insan kontrolü olup olmadığına göre farklı sınıflar oluşturmaktadır. Şekil 2.2’de SAE J3016 standardının otonom sürüş için belirlediği seviyeler gösterilmektedir.



SAE J3016™ OTONOM SÜRÜŞ SEVİYELERİ

	SAE 0. SEVİYE	SAE 1. SEVİYE	SAE 2. SEVİYE	SAE 3. SEVİYE	SAE 4. SEVİYE	SAE 5. SEVİYE
Sürücü koltuğundaki insan ne yapmalı?	Ayaklarınız pedalda değil ve direksiyonu kullanmazsanız bile bu sürüş destek özellikleri devreye girdiğinde aracın sürülmesi gerekmektedir.	Sürekli olarak bu destek özellikleri denetlenmelidir. Güvenliği sağlamak için aracı hızlandırmaz, frenlemeniz ve yönlendirmeniz gerekmektedir.		Sürücü koltuğunda otursanız bile bu otomatik sürüş özellikleri devreye girdiğinde arabanın kullanılması gerekmektedir.		
				Özellik gerektiğinde; Araç Kullanılmalı	Otomatik sürüş özellikleri sürüşü devralmanızı gerektirmez.	

Sürücü Destek Sistem Özellikleri

Otonom Sürüş Özellikleri

Bu özellikler ne işe yarıyor?	Bu özellikler, uyarılar ve anlık yardım sağlamla sınırlıdır.	Bu özellikler sürücüye direksiyon veya frenleme / hızlanma desteği sağlar.	Bu özellikler sürücüye direksiyon ve frenleme / hızlanma desteği sağlar.	Bu özellikler aracı sınırlı koşullar altında kullanabilir ve gerekli tüm koşullar sağlanmadıkça çalışmayacaktır.	Bu özellikler aracı tüm koşullar altında kullanabilmektedir
Örnek Özellikler	- Acil Frenleme Sistemi - Kör Nokta Uyarı Sistemi - Şerit takip Sistemi	- Şerit Merkezleme Sistemi veya - Adaptif Hız Sabitleyici	- Şerit Merkezleme Sistemi ve aynı zamanda - Adaptif Hız Sabitleyici	Trafik Sıkışıklığı Yardımcısı	- Yerel Sürücüsüz Taksi - Pedallar / Direksiyon Takılı Olabilir veya Olmayabilir 4. Seviye özelliklerine ek olarak bu özellik aracı her yerde tüm koşullarda kullanabilmektedir

Şekil 2.2. SAE J3016 otonom sürüş seviyeleri [1]

Otonom araçlar için SAE J3016 standardına göre toplamda 6 seviye tanımlanmıştır;

0. Seviye = Otomasyon olmayan (manuel) kontrol
1. Seviye = Sürücü Destek Sistemleri
2. Seviye = Kısmi Otomasyon
3. Seviye = Koşullu Otomasyon
4. Seviye = Yüksek Otomasyon
5. Seviye = Tam Otomasyon

Otonom sürüş seviyeleri kullanıcı müdahalesine göre sınıflandırılmaktadır. Kullanıcı arayüzünde insan müdahalesi azaldıkça otonom seviyesi yükselmektedir. 0. Seviye otonom sistemler sürücü için uyarıcı sistemler olmakla birlikte araç sürüş dinamiklerine müdahale etmemektedir. 2. Seviye otonom ve üzerinde olan sistemler araç dinamiklerine müdahale ederek sürücüye destek olmaktadır.

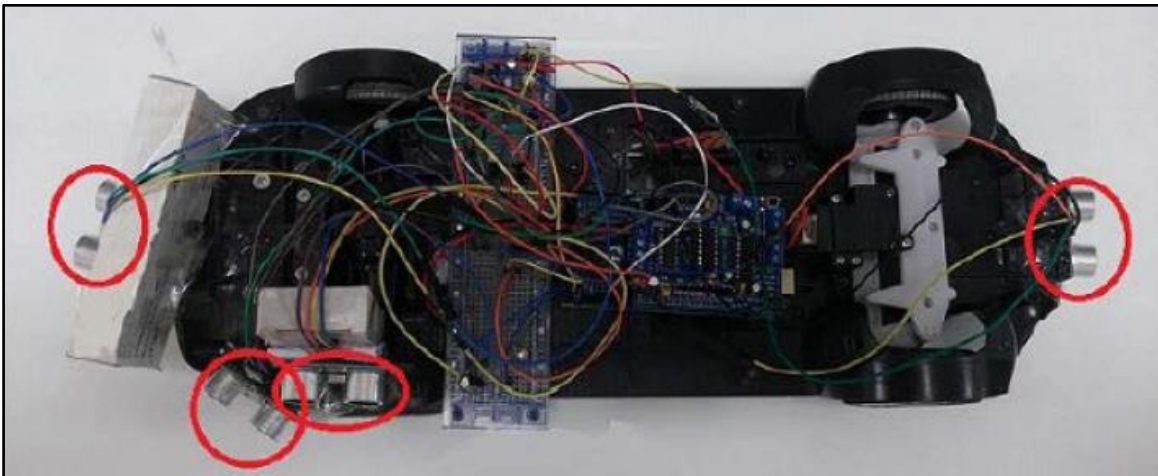
Literatür incelendiğinde otonom park sistemlerinin farklı yapılarda olduğu görülmektedir. Otonom park sistemlerinin otonom seviyeleri 2 ile 5 arasında olabilmektedir. İlk geliştirilen otonom park sistemleri araç üzerinde bulunan sensörler yardımıyla uygun park yerini bulup sürücüyü uyararak ilgili vites seçimlerini gerçekleştirmesini ve gaz ile fren pedalı kontrolünü sürücüdenden beklemektedir. Bu sistemlerde araç bulunduğu konuma göre sürücüye kullanım için bilgi vermekte ve park manevraları sırasında uygun direksiyon açısı için direksiyon sistemini tahrik etmektedir.

Günümüzde dünya üzerinde trafikte kullanılan tam otonom araçlar 5. Seviye otonom kategorisinde değerlendirilmektedir. Sürücü araç içerisinde faydalı bir yük olarak değerlendirilerek, hiçbir araç kontrol arayüzüne müdahale etmeden bulunduğu noktadan gitmek istediği noktayı seçmesi halinde araç tarafından otonom olarak varmak istediği noktaya ulaştırılmaktadır. Bu araçlar sistem üzerinde bulunan bütün kontrol arayüzlerini otomatik olarak kullanabildiği için park manevralarını da otonom olarak gerçekleştirmektedir. Ülkemizde kullanılan otomobil markalarının birçoğunda da otonom park seçeneği opsiyon olarak bulunmaktadır.

2.2. Literatür Taraması

Otonom park sistemleri için literatür taraması yapıldığında konu hakkında birçok başlık üzerinde çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmaları üç bölüm altında toplamak mümkündür. İlk bölümde aracın park yerinin tespit edilmesi için kullanılan yöntemler bulunmaktadır. Çalışmalarda iki boyutta tarama işlemleri yapılarak aracın dinamik çevresinin haritalama işlemleri gerçekleştirilmektedir. Daha gelişmiş cisim tanıma özellikleri olan sistemler için ölçümlerden alınan nokta bulutları ile üç boyutlu haritalar oluşturulmaktadır. İkinci bölümde aracın bu uygun park yerine park edebilmesi için gerekli rota hesabının hangi yöntemlerle gerçekleştirildiği açıklanmıştır. Park rota hesabında literatürde yer alan yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Kullanılacak yöntem uygulanacak platform ve sistemin yeteneklerine göre seçilmektedir. Üçüncü bölümde ise geliştirilen sistemlerin performanslarını ortaya koyan simülasyon ve test çalışmaları yer almaktadır.

Yüzgeç ve Şahin, yaptıkları çalışmada otomobil ve türev araçların park problemini çözebilmek için, araçların kendi kendine park edebilmesi üzerine prototip bir sistem geliştirmiştir. Bu sistemde yer alan yazılım ve donanım tarafından araç için uygun park yeri bulunmaktadır. Uygun park yeri bulunduğu durumda otonom park işlemi gerçekleştirilmektedir. Buna ek olarak çalışmada uzaktan araç kontrolü için mobil tabanlı arayüz geliştirilmiştir. Ultrasonik sensörler yardımıyla paralel park senaryosu için çalışma gerçekleştirilmiş ve bu çalışma model araç ile test edilmiştir [2].

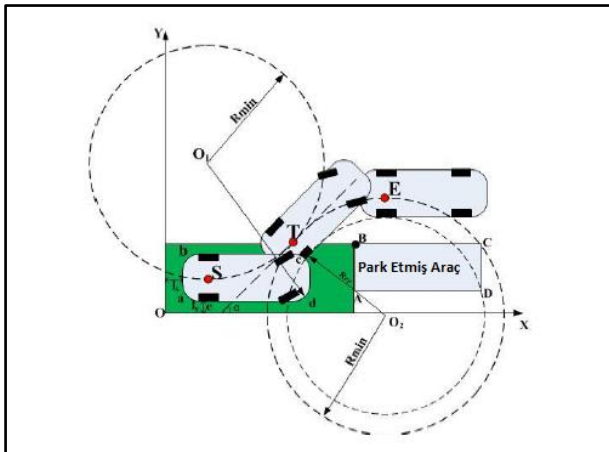


Şekil 2.3. Yüzgeç ve Şahin tarafından geliştirilen model araç [2]

Paromtchik ve Laugier, elektrikli bir araç üzerine yerleştirilmiş ultrasonik sensörlerden gelen mesafe bilgilerini işleyerek araca uygun park yerinin bulunması ve aracın konumunu, aracın pozisyonuna, açısına ve referans bir noktaya göre belirleyerek park etmesi sağlanmıştır. Araç tahrik motoru ve direksiyon motoru gelen mesafe bilgilerine göre servo sistemler ile tahrik edilmiştir [3].

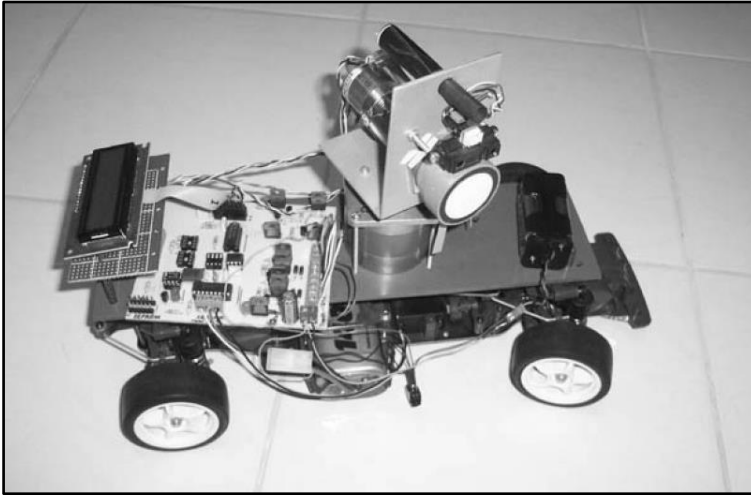
Lee ve arkadaşları araba benzeri bir mobil robot ile park problemini çözmek üzere yeni bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma hedeflenen çizgi stabilizasyonu ve hedeflenen nokta stabilizasyonu olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Doğrusal hız kontrolü ve çevreye duyarlı direksiyon kontrolünü yapmak için açık çevrim ve kapalı çevrim kontrol yöntemlerini kullanmışlardır. Geliştirilen bu algoritma istenilen konuma yol planlaması olmadan gelebilmektedir. Çalışmada önerilen algoritma simülasyonlar ile doğrulanmıştır [4].

Wei ve arkadaşları ultrasonik sensörler ve kamera sistemlerindeki eksikliklerinin üstesinden gelmek için LIDAR mesafe sensörü kullanarak otonom park sistemi geliştirmiştir. Öncelikle LIDAR üzerinden alınan mesafe bilgileri ile üç boyutlu bulut kümesi oluşturularak araç için uygun park yeri tespit edilmiştir. Alınan bulut kümesi içerisinde anlamlı olmayan değerler filtre edilerek araç için uygun park yeri gerçeğe yakın tespit edilebilmektedir. Park hareket denklemleri ile araç manevraları hem paralel park hem de dik park alternatifleri için oluşturulmuştur. Sisteme ayrıca ivmelenme ve frenleme işlemleri için bulanık mantık denetleyici entegre edilmiştir. Geliştirilen bu sistem bir otomobile entegre edilerek gerçek zamanlı testler yapılmıştır. [5].



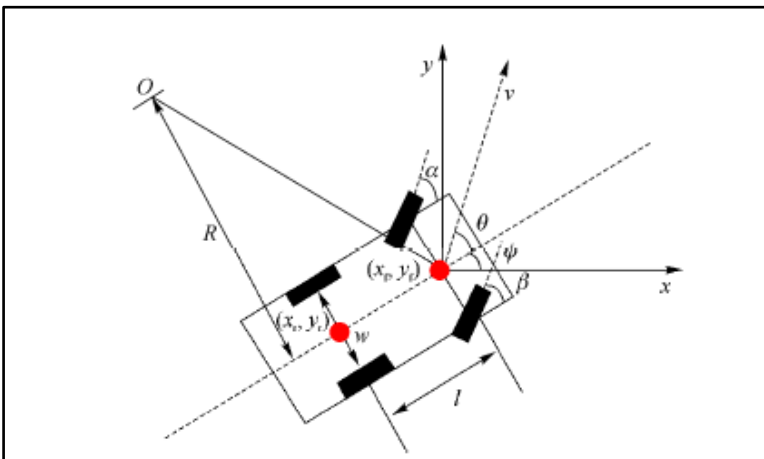
Şekil 2.4. Lee ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen park boşluğu hesabı [5]

Ağvan, otonom park edebilen model bir araç geliştirilmiş ve sistemin kontrolü için bulanık mantık denetleyici geliştirmiştir. Bu algoritma ile park işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için gerekli donanımları tasarlamış, üretmiş ve sisteme entegre ederek programlamasını gerçekleştirmiştir. Araca yerleştirilmiş döner sistem üzerinde bulunan ultrasonik sensör ile sistemin konumlandırılması yapılmıştır. Oluşturulan algoritma simülasyon ortamında çalıştırılarak park manevraları gerçekleştirilmiştir [6].



Şekil 2.5. Ağvan tarafından geliştirilen sistem [6]

Hongbo ve arkadaşları akıllı araçlar için yeni bir otonom park kontrolü gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada gerçek bir aracın kinematik modeli oluşturularak hareket denklemleri çıkartılmıştır. Sonrasında bu hareket denklemleri ile yörünge planlamasına dayalı aracın dik, paralel ve açılı alanlara park etmesini sağlayan algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmanın testleri MATLAB programı üzerinden simülasyonlar ile gerçekleştirilmiştir [7].



Şekil 2.6. Hongbo ve arkadaşları tarafından kullanılan model [7]

araçların belirli bir sıra ve minimum yer değiştirmeye uygun otopark yerleşimini tespit etmesi hedeflenmiştir. Otoparktaki her park bölgesini bir kuyruk sistemi olarak ele alan tam sayı doğrusal olmayan bir program geliştirmiştir [11].

Cosetl ve arkadaşları insan bilgisine dayalı hareketlerin gerçek dünya durumunda simüle edilmesi üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada bulanık mantık denetleyici model araçta otonom park işlemi için kullanılmıştır. Model araç üzerinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Sistem modeli ve arayüzü tasarımı için MATLAB programı kullanılmıştır. Program çıktıları araca gönderilerek ilgili park manevraları gerçekleştirilmiştir [12].



Şekil 2.8. Cosetl ve arkadaşları tarafından geliştirilen araç modeli [12]

Al-Turjman ve Malekloo, nüfustaki hızlı artışın, trafik ve ulaşım sistemlerinde yol açtığı sorunlara ve bunun yanında hava kirliliği, enerji ve zaman kayıplarına sebep olduğundan bahsedilmiştir. Araçlarda ve şehir altyapısında bulunan sensörler yardımıyla park yeri konusundaki sorunların azaltılacağı ortaya konulmuştur. Bunun için akıllı park sistemlerinin geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada tasarım yüzeysel ve derinlemesine olmak üzere iki aşamada değerlendirilmiştir. Değerlendirme yapılırken literatürde kullanılan tüm sensörler ve iletişim yöntemleri farklı yönleri ile ortaya konulmuştur. Yeni park yöntemlerinin geliştirilmesi için farklı sensörlerin birlikte kullanıldığı hibrit bir yaklaşım önerilmiştir [13].



Şekil 2.9. Al-Turjman ve Malekloo tarafından geliştirilen model [13]

Millard otonom araçların yakın bir bölgeye park etme zorunluluğunun olmadığından bahsetmiştir. Bu durumun şehir merkezlerinde oluşan trafik yoğunluğunu büyük oranda azaltılabileceği değerlendirilmiştir. Bu çalışmada San Francisco şehir merkezi verileri kullanılarak bir mikro simülasyon modeli oluşturulmuştur. Bu modelde otonom araçların trafiği azaltmak üzere daha sakin yolları kullanabileceği ve etkin park yeri ücretlerinden kaynaklı yaşanan yoğunlukları azaltılabileceği değerlendirilmiştir [14].

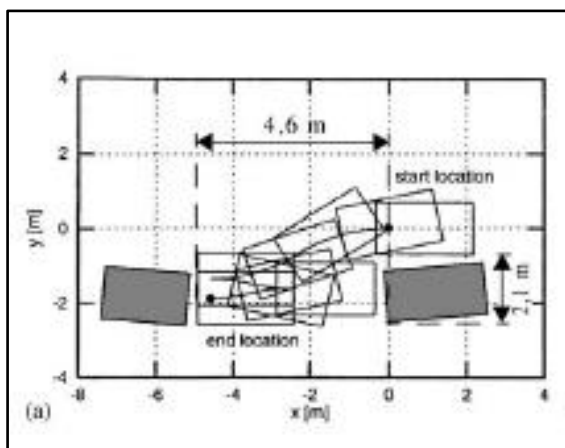
Aydın ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada internete bağlanabilen ve veri aktaran cihazlar akıllı şehir tasarımları için ilham olduğundan ve şehirlerimizde yaşadığımız yaygın sorunlardan olan park yeri bulma sorunundan bahsedilmiştir. Bu soruna bir çözüm olarak akıllı şehirler için navigasyon ve rezervasyon temelli bir otopark sistemi önerilmiştir. Önerilen bu yöntemde nesnelerin interneti teknolojisini kullanarak internete veri gönderen küçük cihazların geliştirilmesi ve eş zamanlı olarak genetik algoritma ile park yeri bulma işlemi gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem için farklı senaryolar test edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir [15].

Im ve arkadaşları yaptıkları çalışmada çevre izleme monitörü, eş zamanlı pozisyonlama ve haritalama ile LIDAR sensöründen gelen bilgiler birleştirilmektedir. Park hattı özellikleri LIDAR tabanlı filtreleme işleminden sonra temel bileşen analizi ve histogram analizi kullanılarak çıkarılmıştır. Önerilen yöntem ilgilenilen bölgedeki verilerin ölçülebilmesini sağlamış ancak bu durum dinamik engellerin tespit edilememesine neden olmuştur [16].

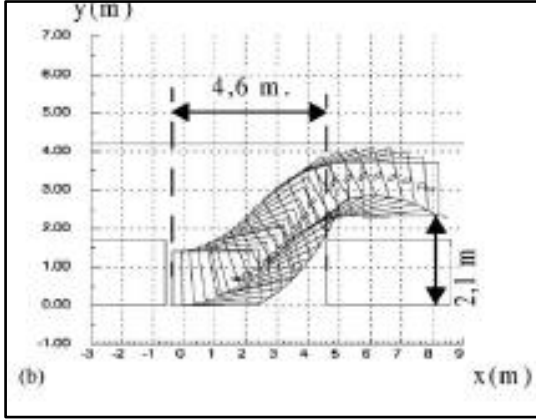
Thomas ve Koor, akıllı park sistemi için genetik algoritma ile programlama üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirdikleri çalışmada alışveriş merkezlerinde insanların otopark ararken harcadıkları zamanı en aza indirmek için akıllı bir park sistemi geliştirilmişlerdir. Sistemin çalışma prensibi uygun olan park yerine aracın yönlendirilmesi temeline dayanmaktadır. Yönlendirme sırasında genetik algorithmadan faydalanılmıştır. Genetik algoritma uygun park yerinin bulunması için arama süresinin optimize edilmesine yardımcı olmaktadır. Bunun sonucu olarak kullanıcıların bekleme süresi kısalmaktadır [17].

Wenwen ve arkadaşları otonom araçların şehirde park etme etkisini bir simülasyon modeli ile incelemiştir. Otonom araçların ortak kullanım bakış açısıyla araç güzergâh modeli oluşturmuştur. Geliştirilen model ile araçların ekonomik maliyetleri ve çevresel etkileri göz önünde bulundurularak bu araçların potansiyel etkisi değerlendirilmiştir [18].

Bravo ve arkadaşları holonomik olmayan otonom araçlarda paralel ve çapraz park işlemleri üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada gerçek zamanlı birçok diziyi çarpışma olmadan gerçekleştirebilmek için yöntemler sunulmuştur. Yapay zekâ teknikleri ve bulanık mantık denetleyici ile park yerine en uygun manevra ile park işlemi gerçekleştirilecek sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistem planlama ile tepkiselliği birleştiren bulanık davranış tabanlı kontrol mimarisinde kullanılmıştır. Geliştirilen sistem Romeo-3R isimli mobil robot üzerinde test edilmiştir [19].

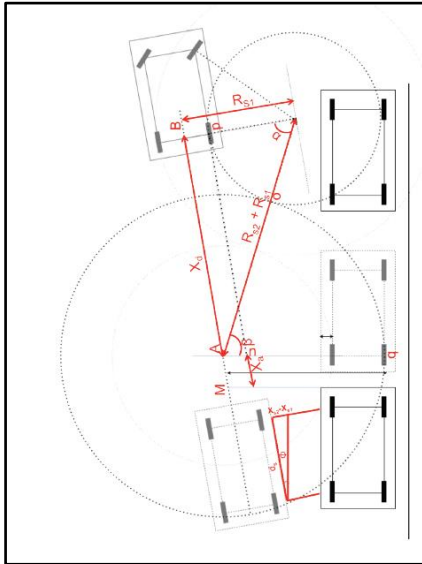


Şekil 2.10. Bravo ve arkadaşlarının çoklu manevra yöntemi [19]



Şekil 2.11. Bravo ve arkadaşlarının doğrudan yaklaşım yöntemi [19]

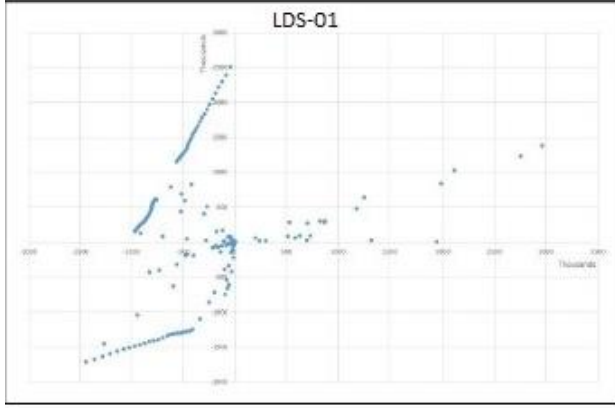
Gupta ve arkadaşları otonom paralel park sistemi için dört tekerlekli bir araç üzerinde Ackermann direksiyon sistemi üzerinde çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma iki parçalı yörünge planlama algoritması ve bu yönlendirme planlamasının hesaplamalarından oluşmaktadır. Bu hesaplamalarda araç geometrik sınırları ile tahrik tork değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Çalışma için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyon ve deney sonuçları park etme manevrasının daha hızlı ve güvenli olabileceğini göstermiştir [20].



Şekil 2.12. Gupta ve arkadaşlarının yol planlaması ve park yörüngesi [20]

Sidharta ve arkadaşları entegre sensörlü programlanabilir bir otonom araç üzerinde haritalama ve sınır algılama üzerinde çalışma gerçekleştirmişlerdir. Entegre sensörlü otonom araç, belirli bir amaç doğrultusunda hareket etmesi için geliştirilen bir robot projesi olarak

çalışılmıştır. Otonom araç için çevreyi algılama problemi ele alınarak aracın çevresini algılaması için sensörler incelenmiş ve piyasada bulunan LIDAR sensörü ile çevre algılaması gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışmalarıyla önerilen sistemin uygunluğu belirlenmiştir. [21].



Şekil 2.13. Sidharta ve arkadaşlarının haritalama verileri [21]

Arun ve Krishna tek boyutlu bir LIDAR sensörü ve robotik geliştirme sistemi ile bilinmeyen bir ortamın haritalaması üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Süreç haritalama ile bir robotun ortamı otomatik olarak nasıl tanıyabileceği ve robotların etrafındaki ortamın haritalamasına yönelik çözüm sağlanmaktadır. Tek boyutlu bir LIDAR sensörü ile mobil robotun odometri bilgisi olmadan çevresini haritalayabilmesi için hektor algoritmasından yararlanılmıştır. Ayrıca araç üzerine yerleştirilen üç adet ultrasonik sensör ile araç yönlendirilmesi sağlanmıştır. Bu çalışma Rviz arayüzü kullanarak ROS (Robotik Operation System) platformunda gerçekleştirilmiştir. Çalışma ile doğruluğu yüksek, sınır hesaplama tekniklerine sahip, düşük maliyetli haritalama robotu geliştirilmiştir [22].

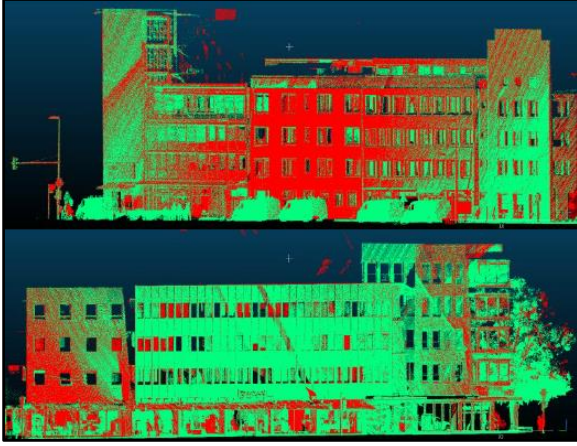
Ren ve arkadaşları açık alanda geniş ölçekli LIDAR temelli haritalama üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Otonom araçların bilinmeyen çevrede hareket edebilmesi için haritalamanın öneminden bahseden çalışmada taramalardan alınan değerlerin doğruluğunu geliştirmek için bağlantılı tarama eşleştirme algoritması önerilmiştir. Sistem performansı gerçek zamanlı veri kümeleri ile KITTI adı verilen odometri karşılaştırmaları ile doğrulanmıştır [23].



Şekil 2.14. Ren ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği kampüs tarama alanı [23]

Duong ve arkadaşları LIDAR temelli ev haritalama üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada OSLRF-01 model bir LIDAR sensör ile arduino mikrodenetleyici kartı kullanılarak kat planı çıkartılmıştır. Sensörler ve lazer telemetre ile Arduino Uno kartı tarafından sürülen Futuba S3003 model bir servo motor yardımıyla iki boyutlu alan taraması gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları ile ölçümün başarıyla gerçekleştirildiği belirtilmiştir [24].

Feng ve arkadaşları LIDAR verileri ile yapay sinir ağı kullanarak üç boyutlu noktaların çıkarılması üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Başlangıçta noktaların iz düşüm değerleri LIDAR üzerinden alınan nokta bulutlarının mesafe değerleri ile oluşturulmuştur. Üç boyutlu nokta bulutu oluşturmak için Shi-Tomasi köşe detektörü uygulanmıştır. Sisteme yapay sinir ağı manuel olarak eklenmiş bir veri kümesine yerel şekil, eğrilik değeri ve z eksenine eklenen vektör ile sinir ağı eklenmiştir. Geliştirilen çalışma testler ile desteklenerek araçların çevrelerini algılaması konusunda başarılı olduğu belirtilmiştir [25].



Şekil 2.15. Feng ve arkadaşlarının oluşturduğu nokta kümesi [25]

Açıkel ve Gökçen otonom robotlarla konum takibi ve nokta bulutu tabanlı üç boyutlu haritalama üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Geliştirilen algoritma ile daha geniş alanlarda çevrenin daha hızlı ve doğru taranması hedeflenmiştir. Haritalama işleminin ortam hareketlerinden etkilenmemesi amaçlanmıştır. Haritalama için dört tekerlekli model araç üzerine iki adet servo ile tahrik edilen LIDAR Lite V3 model sensör ile veriler alınmıştır. Sensörden gelen verileri işlemek için araç üzerine Raspberry Pi 3 yerleştirilmiştir. Hareket algılama filtresi ile gürültüler giderilmiştir [26].



Şekil 2.16. Açıkel ve Gökçen tarafından geliştirilen model araç [26]

Liu ve Sun mobil robot ile iki boyutlu lazer taramasıyla kapalı alanda konum belirleme ve haritalama üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. İki boyutlu taramayla elde edilen gerçek zamanlı tarama dataları ile robot içinde bulunduğu odanın merkezini hesaplayarak haritalama işlemine başlayabilmektedir. Anlık harita gösterimi için en küçük kare algoritması ve ızgara tabanlı gösterim tercih edilmiştir. Haritalama sonucunda mobil robotlar odaya dair yaklaşık harita bilgisine sahip olmaktadır. Oda dış sınırlarının tam olarak oluşturulabilmesi için metrik tabanlı yinelemeli en yakın nokta tekniği kullanılmıştır. Yarı

tamamlanmış bir haritalama da oluşan gürültülü bölgeler için poz tahmin yaklaşımı tercih edilmiştir [27].

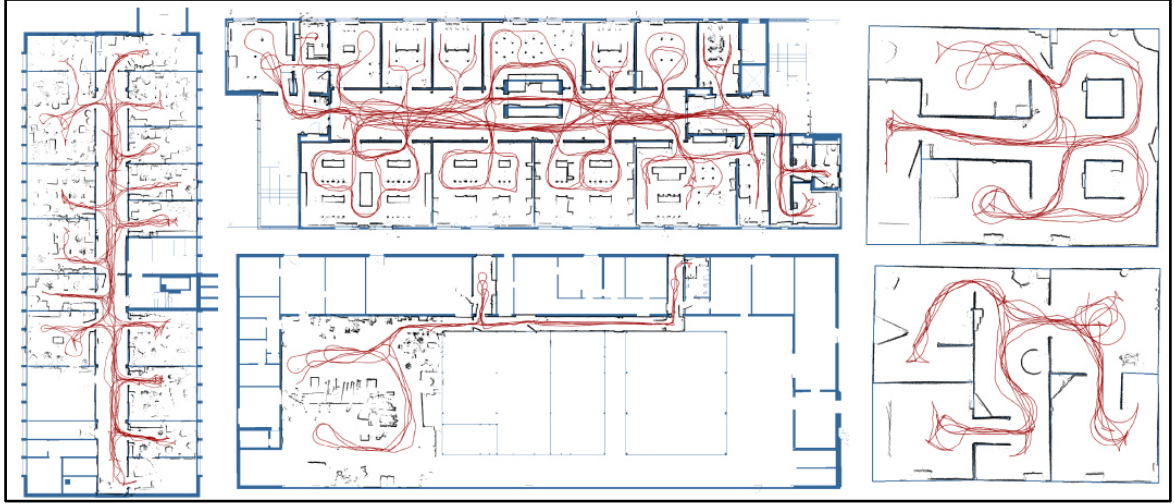


Şekil 2.17. Liu ve Sun tarafından geliştirilen model araç [27]

Minguez ve arkadaşları metrik tabanlı tekrarlı sensör yer değiştirme yaklaşımı ile kapalı nokta tarama eşleşmesi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Mesafe sensörü için alanlar tanımlanmıştır. Çalışmada öteleme ve dönme yönlerinde oluşan tüm hatalar hesaba katılmıştır. Yeni geliştirilen bu tarama eşleştirme tekniği önceki yöntemleri hassasiyet, doğruluk, yaklaşım ve hesaplama yönlerinden iyileştirmiştir. Geliştirilen sistem kapsamlı şekilde test edilerek performansı belirlenmiştir [28].

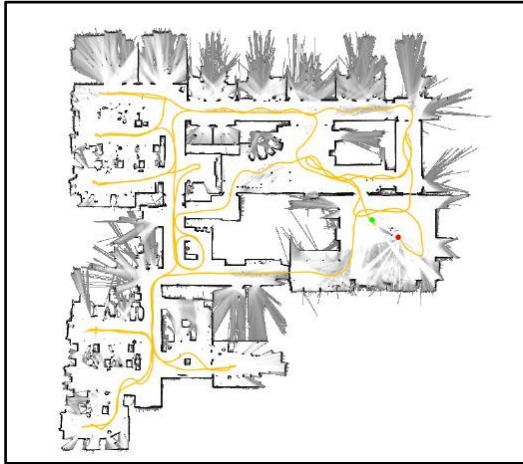
Zhang yüksek lisans tez çalışmasında düşük maliyetli LIDAR sensörü ile iki boyutlu haritalama ve konum belirleme üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Mobil robot ile bilgisayar arasında tercih edilecek olan haberleşme protokolleri açıklanmıştır. Bahsi geçen çalışma Redbot prototip robotu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Prototip üzerine yerleştirilmiş Lite V3 model LIDAR sensörüne hareket yeteneği kazandırmak için servo motor kullanılmıştır. Haberleşme için Zigbee RF modülü tercih edilmiştir [29].

Boniardi ve arkadaşları mimari kat planlarında LIDAR temelli konum bulma üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Robot tarama gerçekleştirilecek ortamda ilerlerken ölçümlerden temsili bir harita oluşturmak için eş zamanlı konum bulma ve haritalama yöntemi kullanmıştır. Oluşan temsili harita robot çevresinde yeteri kadar boşluk olduğunda robot konumunu göreceli tahmin etmektedir. Geliştirilen yöntem gerçek zamanlı şekilde test edilerek başarılı bir şekilde çalıştığı belirtilmiştir [30].



Şekil 2.18. Boniardi ve arkadaşları tarafından geliştirilen haritalama yöntemi [30]

Hess ve arkadaşları çevreyi algılamak için döngü kapama işlemini gerçek zamanlı olarak iki boyutlu, eş zamanlı konum bulma ve haritalama metodu ile gerçekleştirmiştir. Aldıkları alt haritaları birleştirerek nihai ortam haritası oluşturulmuşlardır. Alt harita yörüngeleri, yerel ızgara tabanlı eş zamanlı konum bulma ve haritalama metodu kullanılarak oluşturulmuştur. Arka planda döngü kapatma bölümü için taramalar piksel doğruluğunda eşleştirilerek birleştirilmiştir. Çalışma, donanım ile gerçek zamanlı test edilerek uygunluğu belirtilmiştir [31].

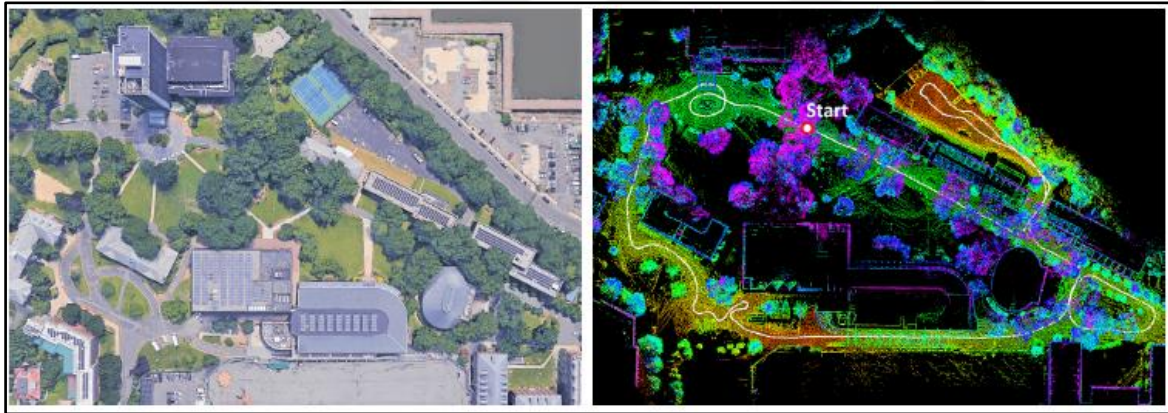


Şekil 2.19. Deutsches Müzesi'nin ikinci katının haritası [31]

Zhang ve Singh gerçek zamanlı LIDAR odometrisi ve haritalama üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada sınır ölçülerinde döngü kapatmak için çevrimdışı yığın metodu kullanılmıştır. Algoritma LIDAR hızını tespit etmek için yüksek frekans ve düşük

doğrulukta bir odometri gerçekleştirmişlerdir. Farklı bir yöntemle nokta bulutunu eşleşmesi adına daha düşük frekans değerleri üretilmiştir. Bu iki yöntemin birleştirilmesi ile ortamın gerçek zamanlı haritalaması gerçekleştirilebilmiştir. Geliştirilen yöntem iç ve dış ortamlarda test edilmiştir [32].

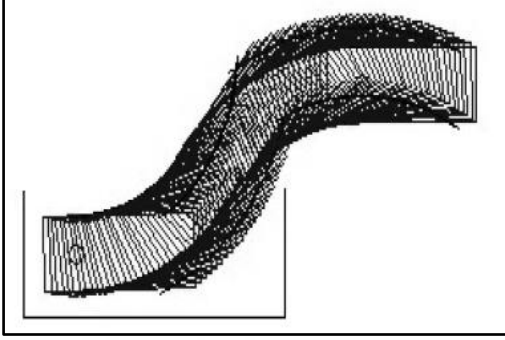
Shan ve Englot farklı zeminler için hafif bir platform üzerinde optimize edilmiş odometri ve haritalama üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada platform olarak altı serbestlik derecesine sahip LeGO-LOAM kullanılmıştır. İlk olarak gürültüleri filtrelemek için nokta bulutu segmentasyonu ile ayırt edici düzlem ve sınır bölgelerini tespit edebilmek üzere özellik çıkarımı yapılmıştır. Sistemde kullanılan Levenberg-Marquart optimizasyon yöntemi ardışık taramalarda altı serbestlik dereceli dönüşümün farklı bileşenlerini çözmek için düzlem ve sınır özellikleri kullanılmıştır. Kullanılan aracının performansı son teknoloji ürünleri ile karşılaştırılmıştır. Bu değerler KITTI veri seti kullanılarak tespit edilen sapmanın neden olduğu hataları ortadan kaldırmak için eş zamanlı konum bulma ve haritalama yöntemine entegre edilmiştir [33].



Şekil 2.20. Shan ve Englot çalışmasında oluşturulan harita [33]

Liang ve arkadaşları otonom park sistemi güzergâh optimizasyonu için Bezier eğrisi birleştirme yöntemi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada park sırasında zeminde meydana gelecek kaymalar göz önünde bulundurularak, Ackermann direksiyon geometrisine dayalı araç kinematik denklemleri oluşturulmuştur. Park işlemi sırasında araç çevresinde bulunan sınırlar ile herhangi bir girişim yapmaması için park yörüngesi ve başlangıç noktası hesaplanmıştır. Bezier eğrisi çok sayıda çevre yayı üzerinde oluşan köşeli yörüngeyi yumuşatmak için kullanılmıştır. Gerçekleştirilen hesaplar doğrultusunda MATLAB ortamında simülasyon yapılmıştır. Simülasyon ortamında daha önce planlanan

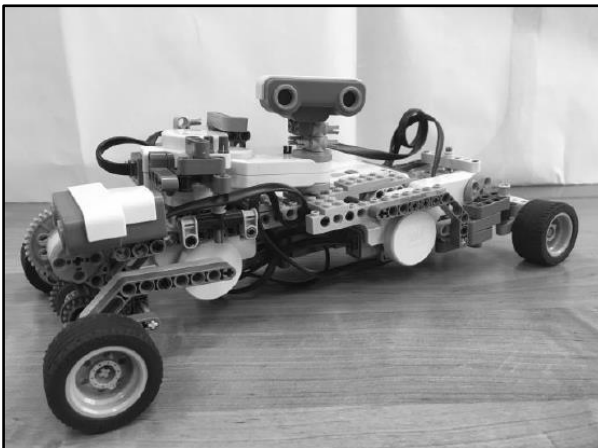
güzergâh takibi için PID kontrol yöntemi kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları gerçekleştirilen hesaplar ile park işleminin başarılı bir şekilde yapılabildiğini göstermiştir [34].



Şekil 2.21. Li ve arkadaşlarının geliştirdiği simülasyon diyagramı [34]

Eşiyok ve arkadaşları çeşitli yörüngeli otonom park sistemi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirilen çalışmada aracın sağ tarafında bulunan araçlar veya nesneler arasına park işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler Simulink ortamında simüle edilmiştir. Çalışmada park algoritmasında en az manevra ile park işlemi gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu şekilde tasarruf edileceği öngörülmüştür. [35].

Filatov ve arkadaşları dört tekerlekli bir araç için otonom park kontrol sistemi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada en uygun park yerinin bulunması ve en az manevra ile park işleminin gerçekleştirilmesi için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Sistem MATLAB Simulink ortamında geliştirilmiştir. Park algoritması bulanık mantık temeline dayanmaktadır. Geliştirilen algoritma bir model araç üzerinde test edilmiştir [36].



Şekil 2.22. Filatov ve arkadaşları tarafından geliştirilen model araç [36]

çalışmada direksiyon açısı ve hız kontrolü için bulanık mantık kullanılmıştır. Sistem optimize edildiğinde araç boyutları ve zemin koşullarından bağımsız şekilde başarılı park işlemi gerçekleştirebilmiştir [40].

Zheng ve Liu, araçlarda otonom park için hızla keşfedilen rastgele ağaç metoduyla güzergâh planlama üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yol planlamanın otonom park işlemi için zorlu bir aşama olduğuna değinen çalışma içerisinde holonomik olmayan kısıtlama ve aracın kinematik modeli ile hızla keşfedilen rastgele ağacı temel alan yol planlama yöntemi ortaya konulmuştur. Bu yöntem ile RRT (Rapidly-Exploring Random Tree) algoritması kısıtlamalarıyla park güzergahını bulmak mümkün olmuştur. Akabinde arama verimliliğini optimize etmek için iki yöntem kullanılmıştır. Bunlar çift RRT ve hedef tercihidir. Çalışma MATLAB tabanlı bir simülasyon ile doğrulanmıştır [41].

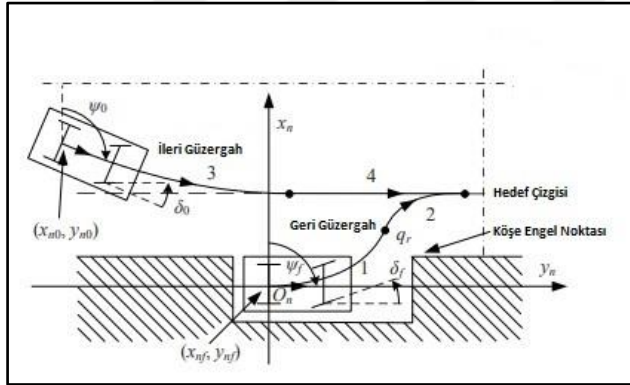
Yi ve arkadaşları otonom park sistemi için güzergâh planlaması üzerine çalışmışlardır. Sorunsuz şekilde park yeri bulmak ve park optimizasyonu için sistem algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma ile geleneksel otomobil kinematik denklemlerine ek olarak doğrusal olarak yönlendirilen direksiyon spiral eğrisi geliştirilmiştir. Sistem tasarımında karşılaşılan belirsizlikleri gidermek için basit bir kapalı döngü kontrolcüsü tasarlanmıştır. Çalışmada farklı ortam ve koşullar için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlara ek olarak gerçek zamanlı testler yapılmıştır. Sonuçlar önerilen yöntemin doğruluk ve hesaplama maliyetleri açısından performans değerlerinin yüksek olduğunu göstermiştir [42].



Şekil 2.24. Li ve arkadaşlarının gerçek zamanlı park deneyi [42]

Küçükaya direksiyon sisteminin matematiksel modelinin oluşturulması ve simülasyonu üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın çıkış noktası otomotiv sektöründe gelişen ihtiyaçlara hızlı cevap verebilmek için test ve prototip maliyetlerini en aza indirerek sistemin ve alt sistemlerin matematiksel modelinin oluşturulması, buna ek olarak üretimden önce sistemlerin fonksiyonelliğini kontrol edebilmek için simülasyonlarının gerçekleştirilmesidir. Matematiksel model için direksiyon sisteminin altı serbestlik dereceli modeli oluşturulmuş ve bu modelin doğal frekans değeri bulunmuştur. Direksiyona uygulanan tork değerine göre direksiyon açıları, dişliler üzerinde oluşan kuvvetler ve konum değişiklikleri simülasyon sonuçlarından elde edilmiştir [43].

Lin ve Zhu otonom park sistemleri için yol planlama üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Literatürde daha önce gerçekleştirilen yöntemler avantajları ve dezavantajları ile incelenmiş ve dar bir alanda park işleminin başarı ile gerçekleştirilmesi için dört aşamalı yeni bir algoritma kullanarak yol planlayıcısı geliştirilmişlerdir. Bu çalışmada güzergahlar ayrı ayrı ele alınmış daha sonra başlangıç ve bitiş noktaları birleştirilerek güzergâh tamamlanmıştır. Gerçekleştirilen simülasyon sonuçları ile önerilen park algoritması doğrulanmıştır [44].



Şekil 2.25. Lin ve Zhu' nun geliştirdiği güzergâh planlama [44]

Chen ve arkadaşları otonom park desteği için yörünge planlama yöntemi optimal kontrol problemini çözerek park işlemi gerçekleştirmek üzere çalışma yapmışlardır. Literatürde yapılan çalışmaların yörünge planlamasına göre daha çok yol planlaması üzerine olduğu ifade edilmiş ancak yörünge planlamasının pratik park işlemleri için daha uygun olduğu belirtilmiştir. Bu sebeple çalışmada optimum otonom park sistemi yörüngesi kontrol problemi çözülerek elde edilen planlama yöntemi önerilmiştir. Aracın dinamik engellere

çarpmamaları için ve mekanik kısıtlar göz önünde bulundurularak araç kinematik modeli oluşturulmuştur [45].

Konu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde ortamın algılanmasında başlangıçta ultrasonik sensörlerin kullanıldığı günümüzde ise daha çok iki boyutlu ve üç boyutlu LIDAR sensörler ile kameraların kullanıldığı görülmektedir. Bazı çalışmalarda iki boyutlu LIDAR sensör hareketli bir platforma yerleştirilerek ortamın daha doğru algılanması sağlanmıştır. Bununla birlikte LIDAR sensörler ve kamera kullanılması durumunda alınan büyük miktardaki verinin işlenmesinin önemli bir işlemci kapasite gerektirdiği görülmektedir.

Literatürde park hesapları kinematik denklemler üzerine inşa ederek bulanık mantık denetleyicisi, yapay sinir ağlar ve PID denetleyici gibi farklı kontrol algoritmalarının kullanıldığı görülmektedir. Ortaya konan kontrol algoritmalarının park işlemini başarı ile gerçekleştirildiği görülmektedir.

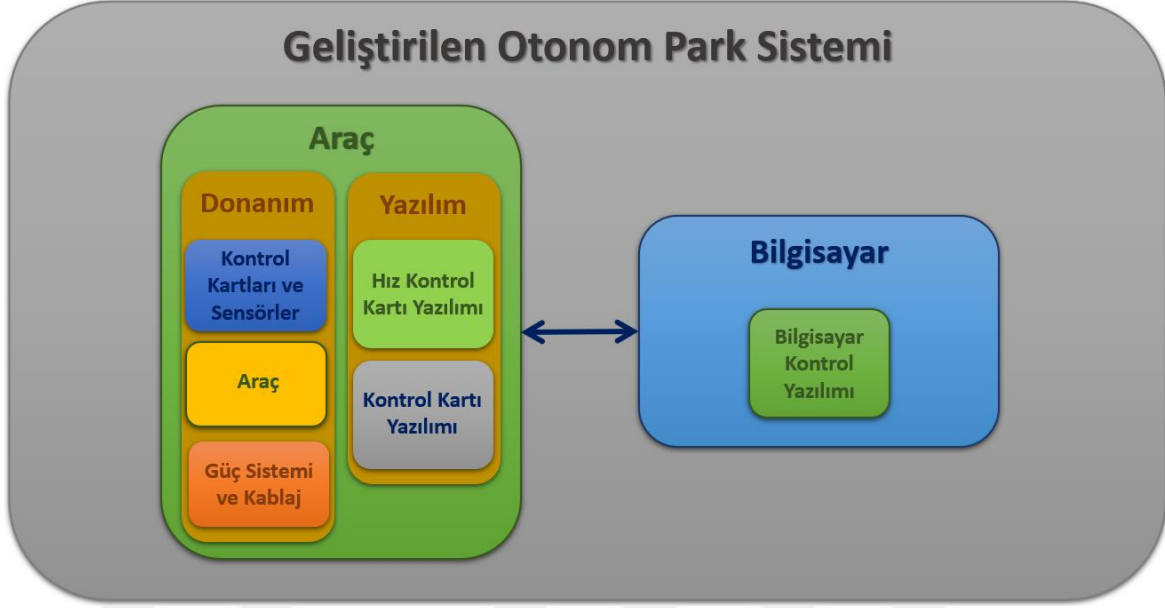
Yapılan çalışmaların bir kısmının simülasyon esaslı olduğu, önerilen algoritmaların performanslarının genellikle simülasyonlar ile belirlendiği, bazı çalışmalarda ise model araç veya gerçek bir araç üzerinde sistemlerin uygulandığı görülmektedir.

3. GELİŞTİRİLEN OTONOM PARK SİSTEMİ

Otonom park sistemine ait alt bileşenler, donanım, yazılım ve park senaryoları gerçekleştirilen literatür taramasında detaylı olarak incelenmiş ve geliştirilen sistemlerin avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Literatürde karşılaşılan çalışmalarda gerçekleştirilen hesaplamalar sonrasında park sistemlerinin simülasyon programları üzerinden gerçekleştirildiği görülmüştür. Bunun yanında gerçekleştirilen hesapların bir model araç üzerinde veya gerçek bir araç üzerinde uygulamaları da mevcuttur. Bu çalışmada geliştirilen otonom park sistemini 1/10 ölçekli bir araç üzerinde test edilerek binek otomobiller için uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

Geliştirilen otonom park sistemi için ilk önce park senaryosunda gerekli parametreler üzerine çalışılmıştır. Bu süreç içerisinde aracın trafikte birden fazla alana, trafik akış yönünden bağımsız olarak ileri veya geri yönde park edebileceği, bazı durumlarda da çapraz park gerçekleştirmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu senaryolar içerisinde trafiğin sağ şeritten ilerlediği durumda aracın ilerleme yönüne göre sağ tarafında uygun park boşluğuna paralel park işlemi gerçekleştirmesi seçilmiştir.

İlgili park senaryosu seçimi tamamlandıktan sonra park sisteminin geliştirilebilmesi için donanım ve yazılım ihtiyaçları belirlenmiştir. Donanım seçimi sırasında çalışmada kullanılacak model araç önemli rol oynamaktadır. Kullanılacak araç boyutları düşünüldüğünde araç çevresini algılayacak sensörlerin ölçüm menzillerine ek olarak donanımların boyut ve ağırlıkları seçilecek donanımlar üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca donanım seçimi yapılırken seçilen ürünlerin temin edilebilirliği, ölçüm hassasiyetleri, mekanik toleransları ve hata payları göz önünde bulundurulmuştur. Donanım seçimindeki ihtiyaçlar süreç içerisinde eklenen yetenekler ve beklentiler doğrultusunda yeniden şekillendirilerek park işleminin daha az hata ile gerçekleştirilebilmesi hedeflenmiştir. Sistem yazılımı, araç üzerindeki sensörlerden gelen bilgileri okuyan ve bu verileri bilgisayar yazılımına aktaran kontrol yazılımı, bilgisayar tarafında araç tarafından gönderilen sensör verilerini işleyerek park işlemi için gerekli hesapları yapan bilgisayar kontrol yazılımından oluşmaktadır. Şekil 3.1’de geliştirilen park sistemi blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Geliştirilen park sistemi blok diyagramı

3.1. Sistem Donanımı

Geliştirilen sistemin model araç üzerinde uygulanabilmesi için gerekli alt yapı ve donanımların seçimi sistem performansını doğrudan etkilemektedir. Paralel park işlemi gerçekleştirebilmek için gerekli araç platformu ve tahrik sistemlerini kontrol etmek üzere kontrol kartları ve sürücü kartlar belirlenmiştir. Park işleminde çevrenin algılanması için kullanılacak sensörler belirlenerek sistemin donanım tasarımı tamamlanmıştır.

3.1.1. Araç

Sistemin performansını ortaya koyacak olan araç platformu seçimi için model araçların tüm özellikleri göz önünde bulundurularak incelemeler yapılmıştır. Ürünler incelenirken farklı model araçların avantajları ve dezavantajları sırasıyla değerlendirilmiştir.

Aracın zemin ile olan kayıplarını en aza indirmek için dört tekerden tahrikli bir model tercih edilmiştir. Tez çalışmasının günümüz otomobillerine uygulanabilirliği de göz önünde bulundurularak binek araç modeli seçilmiştir. Aracın direksiyon sisteminin hassas şekilde tahrik edilerek istenilen direksiyon açısına getirilmesi gerekmektedir. Araç platformu süspansiyon ve tahrik sistemi yetenekleri göz önünde bulundurulduğunda araç üzerine park sistemi için gerekli donanımın yerleştirilebilmesine uygun olması seçim için temel bir

kriterdir. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda seçilen model araç HBI firmasının 1/10 lekli Maverick Strada TC model aracıdır. Şekil 3.2’de seçilen model araç gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Maverick Strada TC şasi

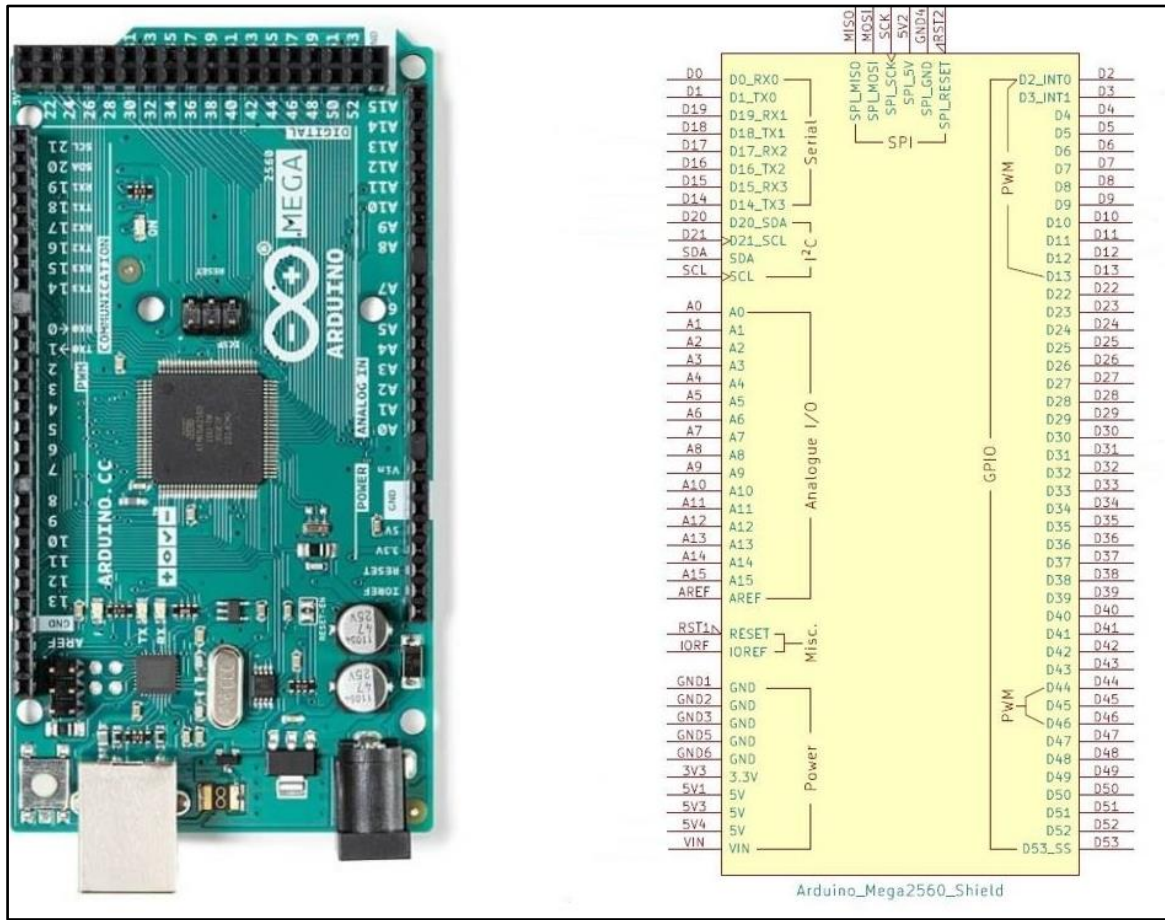
Seçilen araç 20 cm x 39 cm boyutlarında 14 cm yüksekliğindedir. Seçilen model aracın sistemin gerçek bir araç üzerine uygulanabilirliğini belirlemek için uygun olduğu değerlendirilmiştir. Araç zerinde Maverick marka MM-22 model 540 tip fırçalı tahrik motoru bulunmaktadır. Tahrik motoru sürücüsü olarak MSC-30BR- WP model ESC modülü yer almaktadır. Direksiyon tahrik sistemi için MS-22 model servo motor bulunmaktadır.

3.1.2. Araç kontrol kartı

Model araç üzerindeki sensörlerden gelen mesafe bilgilerini okumak, bu değerleri bilgisayar kontrol yazılımına iletmek ve hesaplamalar sonucunda bilgisayar programından gelen komutları uygulayarak aracı kontrol edecek bir kontrol kartına ihtiyaç duyulmuştur.

Araç kontrol kartı için platformda kullanılacak donanımların bağlantıları, haberleşme ve g arayüzleri göz önünde bulundurulurak mevcutta kullanılan ürünler incelenmiştir. Benzer sistemlerde kullanılması ve parçalarının kolay erişilebilir olması avantajı ile Arduino

firmasının Mega 2560 model mikrodnetleyici kartı tercih edilmiştir. Araç üzerine yerleştirilmiş olan Arduino Mega 2560 kartı USB kablo ile bilgisayara bağlanarak seri port üzerinden veri aktarımı gerçekleştirilmektedir. Arduino Mega 2560 kartı için gerekli araç kontrol yazılımı Arduino üreticisi tarafından geliştirilen Arduino IDE ortamında kodlanmıştır. Şekil 3.3'te Arduino Mega 2560 mikrodnetleyici kartının resmi ve pin haritası gösterilmiştir.

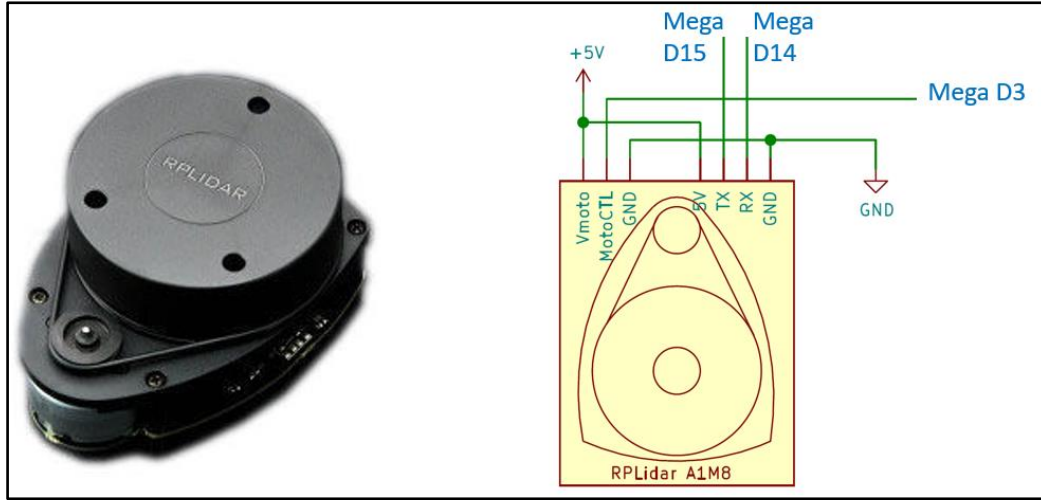


Şekil 3.3. Arduino Mega 2560 Rev3 ve pin haritası

3.1.3. LIDAR sensör

Temel problemlerden birincisi araç hareket halindeyken park yerinin bulunmasıdır. Bu problem için literatürde farklı uygulamaların gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Bu probleme çözüm olarak iki veya üç boyutlu bir LIDAR sensörler ile nokta kümeleri oluşturmakta ve bu kümelerden aracın boyutlarına göre uygun park yeri tespit edilmektedir. Yüksek maliyeti ve veri işleme yükünün fazla olması nedeniyle bu çalışmada üç boyutlu LIDAR sensör yerine iki boyutlu LIDAR sensörü tercih edilmiştir.

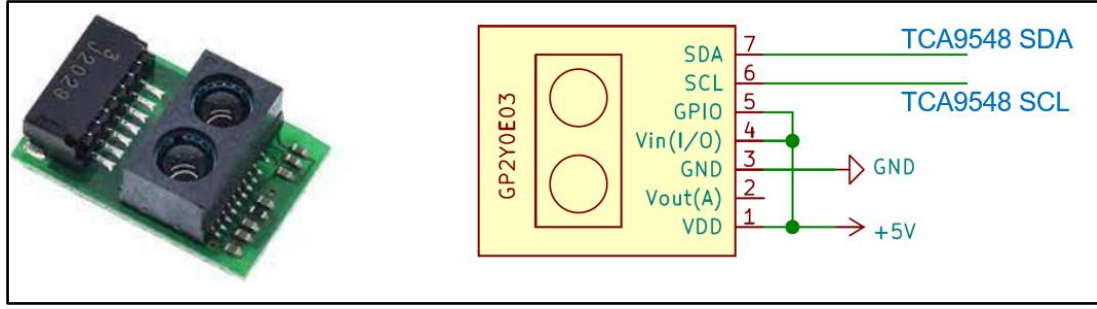
Çalışmada uygun park boşluğunun belirlenmesi amacıyla incelenen ürünler arasından RPLIDAR firmasının A1M8 model LIDAR sensörü kullanılmıştır. Sensör 0,15-6m ölçüm aralığına 360° tarama yapabilmektedir. LIDAR sensörünün kısa mesafe ölçümlerinde araç boyutlarından kaynaklı ölü bölgeler oluşabilmektedir. Şekil 3.4'te çalışmada kullanılan Rplidar A1M8 model LIDAR sensörünün resmi ve devre bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Rplidar A1M8 sensörü ve devre bağlantıları

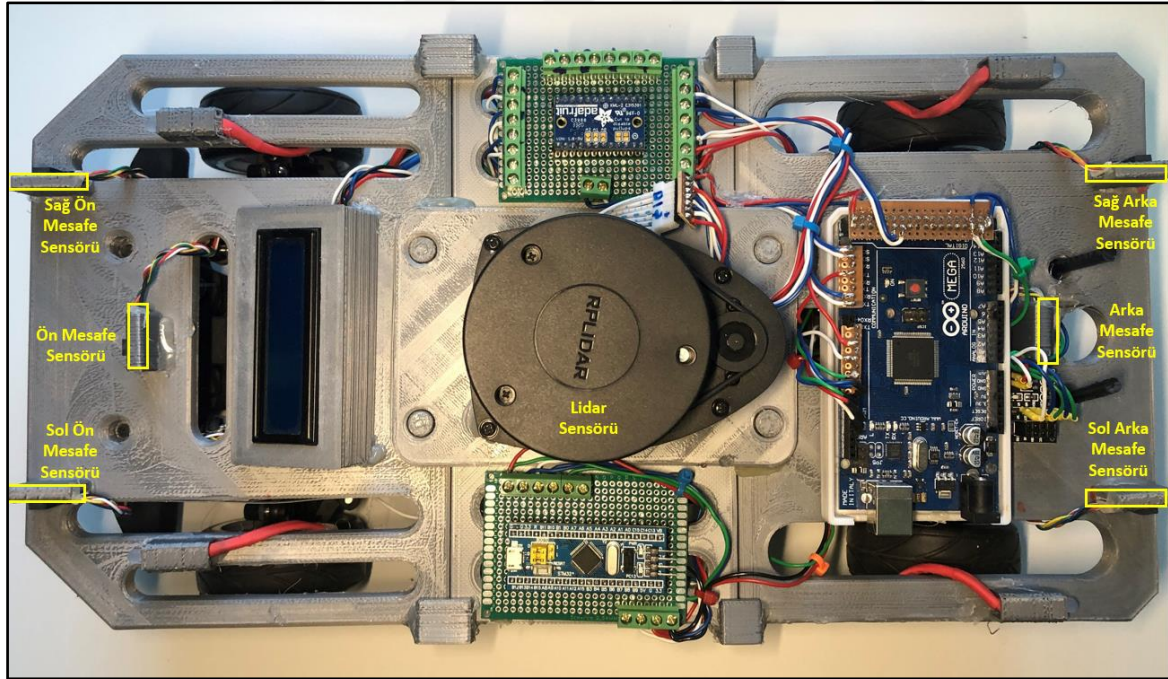
3.1.4. Kızılötesi mesafe sensörü

LIDAR sensörünün ölçüm aralığı nedeniyle ölü bölgeler bulunmaktadır. Bu nedenle kısa mesafe ölçümleri için Sharp firmasının GP2Y0E03 model kızılötesi mesafe sensörleri kullanılmıştır. Aracın önüne ve arkasına birer adet, sağ ve sol taraftarlarına ikişer adet olmak üzere toplam altı adet GP2Y0E03 kızılötesi mesafe sensörü yerleştirilmiştir. Şekil 3.5'te Sharp GP2Y0E03 kızılötesi mesafe sensörü ve devre bağlantıları gösterilmiştir. Bu sensörlerden gelen bilgiler ve LIDAR sensörden alınan veriler araç kontrol kartı ile seri port üzerinden bilgisayar kontrol yazılımına gönderilmektedir. Bilgisayara gönderilen mesafe bilgileri bilgisayar kontrol yazılımı tarafından araç boyutları ve park işlemi için gerekli boşluk bilgilerini değerlendirerek araç için uygun park yerini tespit etmektedir.



Şekil 3.5. Sharp GP2Y0E03 kızıl ötesi mesafe sensörü ve devre bağlantıları

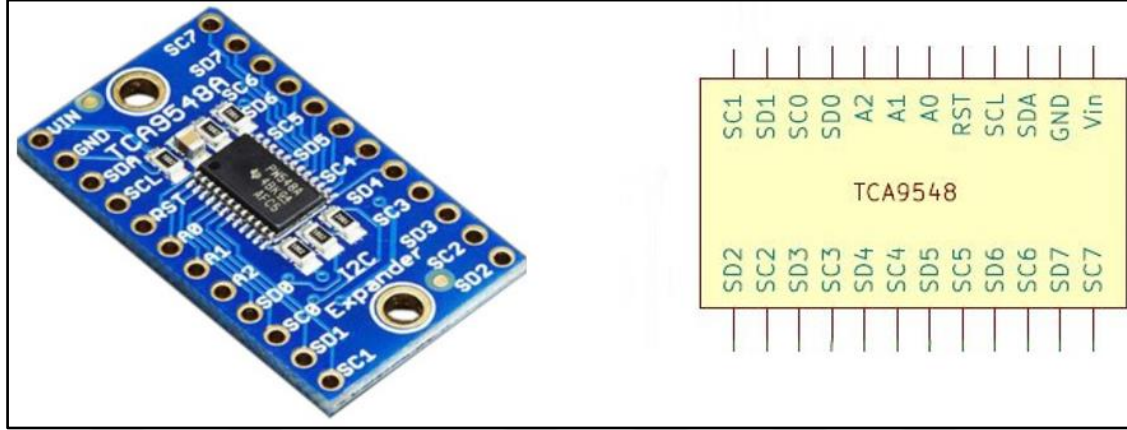
GP2Y0E03 model kızılötesi mesafe sensörü kompakt yapısı ile araç üzerine çok rahat entegre edilebilmektedir. Sensör 16.7 mm x 11.0 mm x 5.2 mm boyutlarındadır. Ölçüm mesafesi 4 cm ile 50 cm arasındadır. Haberleşme için I2C protokolünü kullanmaktadır. Sensör montajı araç üzerine görüldüğü şekilde gerçekleştirilmiştir. GP2Y0E03 sensörlerinin minimum ölçüm mesafesi 4 cm olduğundan sensörler araç üst yapısında 4 cm içeriye yerleştirilmiştir. Araç üzeri sensör yerleşimleri Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Platform sensör yerleşimi

Araç üzerine park işlemi sırasında mevcut durumu gösteren I2C haberleşme protokolüne sahip 16x2 LCD ekran eklenmiştir. LCD ekran ve Sharp mesafe sensörleri I2C haberleşme protokolünü kullandığı için bir I2C çoklayıcıya ihtiyaç duyulmuştur. Bu sorunun çözümü

için Adafruit firmasının TCA9548A model I2C çoklayıcı kartı kullanılmıştır. Şekil 3.7’de TCA9548A I2C çoklayıcı kartı gösterilmiştir.



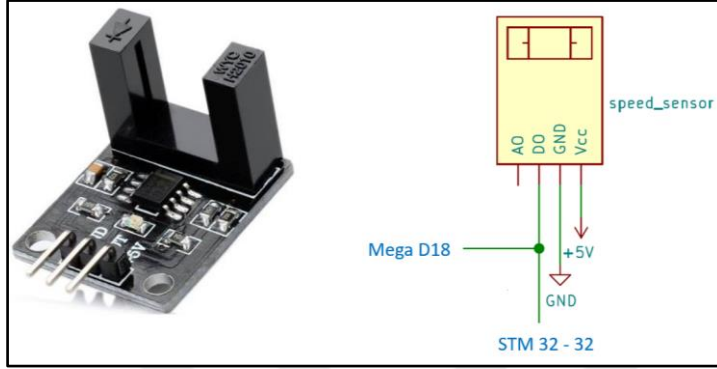
Şekil 3.7. TCA9548A I2C çoklayıcı kartı

3.1.5. Hız kontrol sistemi

Aracın park yeri araması ve park manevraları sırasında belirlenen sabit bir hızda hareket edebilmesi için hız kontrolüne ihtiyaç duyulmuştur. Aracın mevcut hızı ve konumunun belirlenmesi için kızılötesi bir konum ve hız sensörü kullanılmıştır. Aracın hız kontrolü araç kontrol kartının işlem yükünü azaltmak amacıyla STM32F103 mikrodnetleyici kartı ile gerçekleştirilmiştir.

Araç tahrik motorunun sürülmesinde Adafruit BTS7960B motor sürücü modülü kullanılmıştır. STM32F103 mikrodnetleyici kartı hız sensöründen alınan gerçek hız ve referans hız bilgisini kullanarak BTS7960B motor sürücü yardımıyla araç hızını kontrol etmektedir. Şekil 3.8’de STM32F103 mikrodnetleyici kartı ve hız kontrol devresi gösterilmiştir.

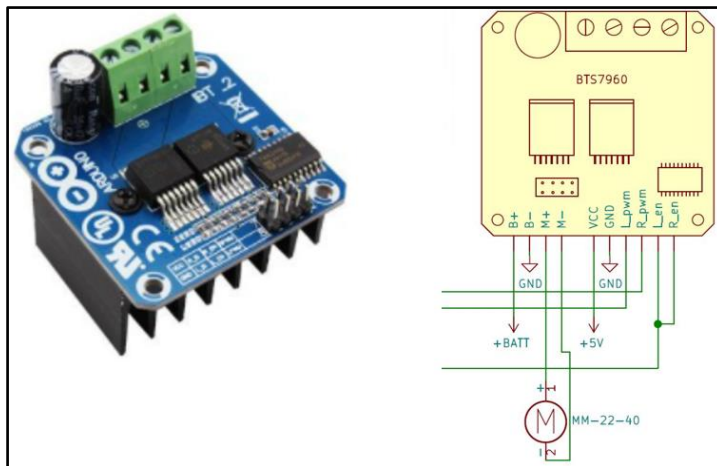
Teker yarıçap değeri göz önünde bulundurulduğunda gerçekleştirilen hesaplar ile kızılötesi sensörden alınan her bir palsin aracın 10.28 mm ilerlemesine karşılık geldiği belirlenmiştir. Bu değer araç manevralarında aracın pozisyonunun takip edilebilmesi için kullanılmıştır. Şekil 3.10’da kızılötesi hız/konum sensörü ve devre bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Kızılötesi hız/konum sensörü ve devre bağlantıları

3.1.6. Motor sürücü kartı

Araç üzerinde bulunan elektronik hız kontrol modülünün araç kontrol kartı ile kontrolünde istenilen sonuçlar elde edilememiştir. Araç üzerinde bulunan elektronik hız kontrol kartının batarya geriliminin değişmesi ile kontrol hızlarının değiştiği belirlenmiştir. Bu nedenle araç üzerindeki elektronik hız kontrol modülü yerine 40A kapasitesinde Adafruit firmasının BTS7960B model motor sürücü kartı kullanılmıştır. Motor sürücü kartının kontrolü STM32F103 mikrodenetleyici kartı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.11’de BTS7960B motor sürücü kartı ve devre bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Adafruit BTS7960B motor sürücüsü ve devre bağlantıları

3.1.7. Batarya sistemi

Mevcut model araç üzerinde bulunan 7.2 V değerine sahip Ni-MH batarya ile geliştirilen otonom park sisteminin güç ihtiyacının karşılanamadığı belirlenmiştir. Bu nedenle araç üzerinde güç ihtiyacını karşılamak için araç tahrik sistemi ve üst yapı ikiye ayrılmıştır. Araçta en çok güç tüketen tahrik motoru ve üst yapıda bulunan donanım parçaları için iki adet 11.1 V 25C 450 mAh kapasiteli LiPo batarya kullanılmıştır. Şekil 3.12’de 11.1 V 25 C 450mAh LiPo batarya gösterilmiştir.



Şekil 3.12. ProFUSE 11.1 V 25 C 450mAh LiPo batarya

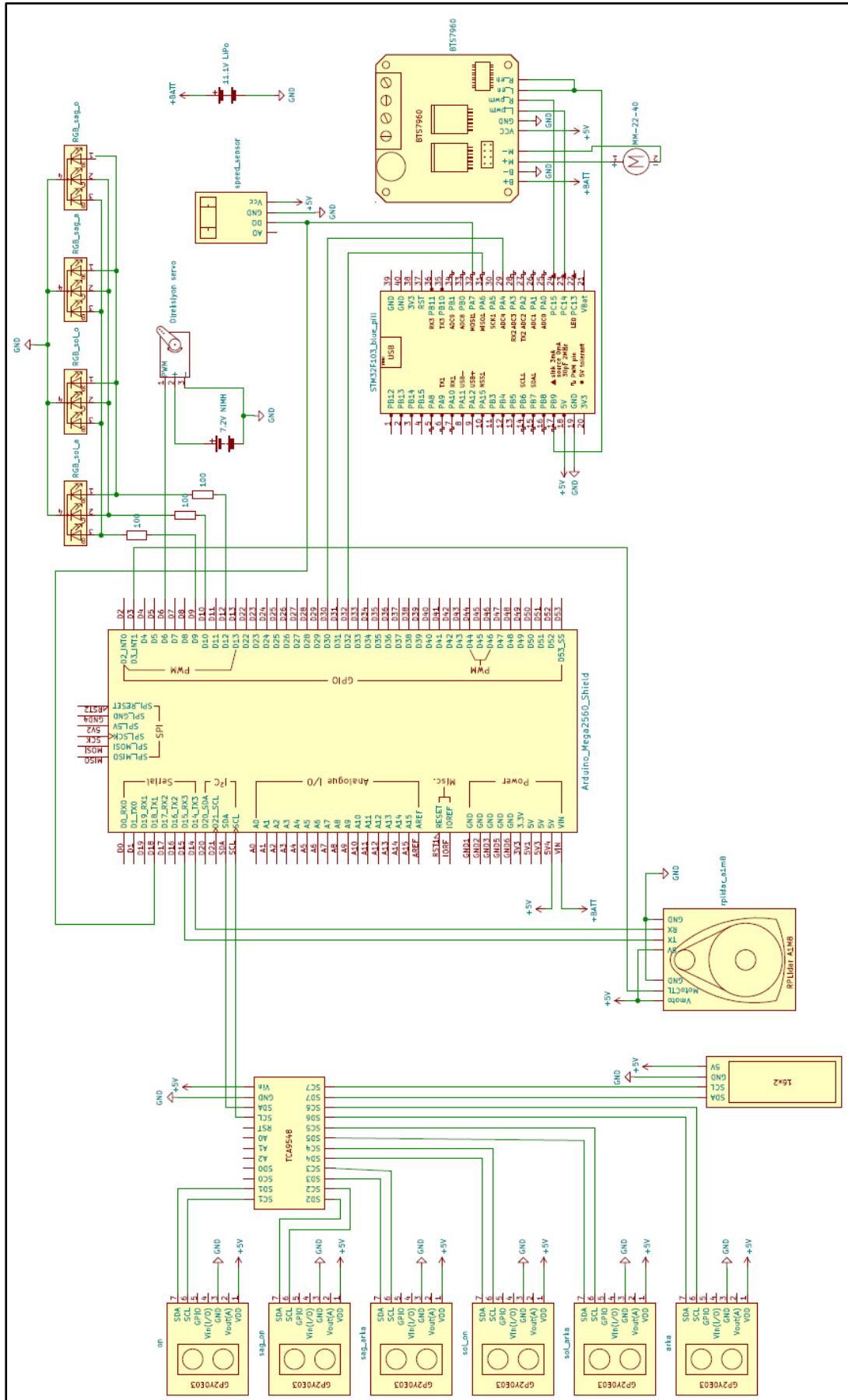
3.1.8. Park sistemi entegrasyonu

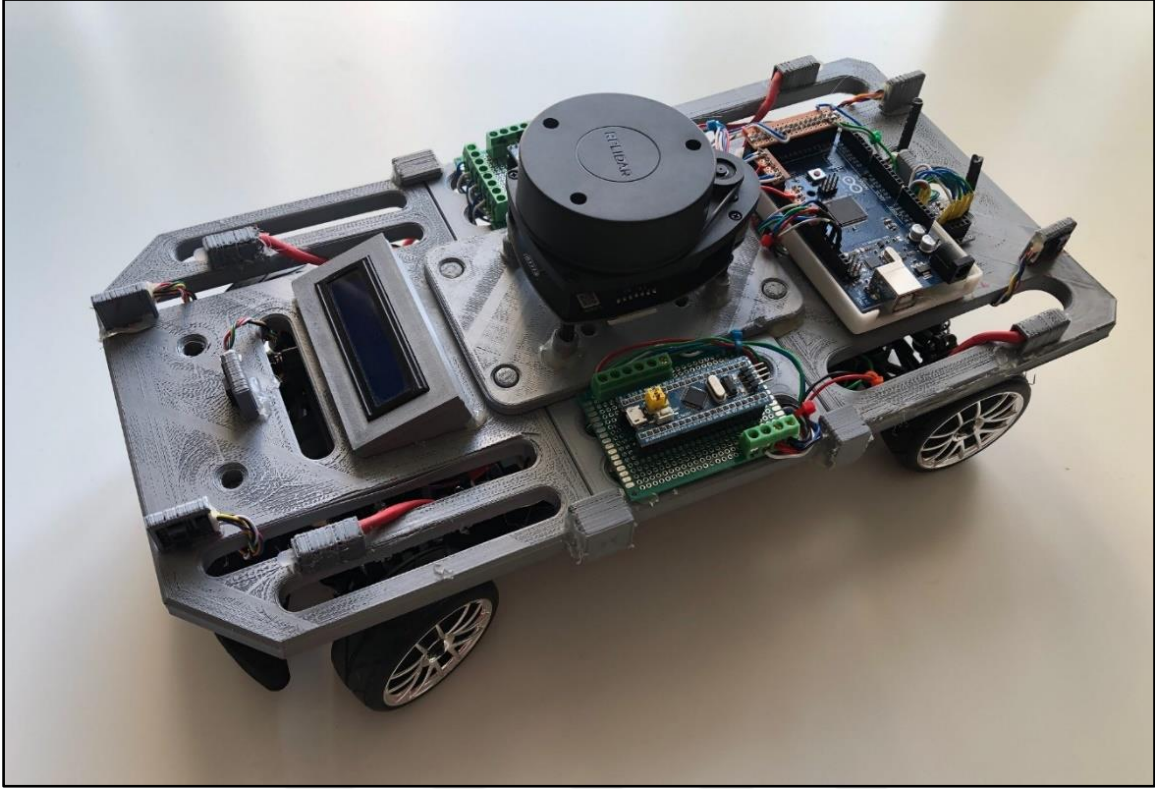
Donanım seçimleri tamamlandıktan sonra araç üzerinde bulunan kabuk model sökülerek seçilen ürünlerin araç üzerine entegrasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Donanımlar sırası ile belirlendikten sonra mesafe sensörlerinin ve diğer donanımların araç üzerine yerleştirilebilmesi için uygun bir üst yapı ihtiyacı doğmuştur. Bu üst yapı üç boyutlu bir çizim programı ile modellenerek hafif olması avantaj yarattığı için üç boyutlu yazıcı ile PLA malzemeden üretilmiştir. Otonom park sisteminde aracın hangi işlem basamağında olduğunu anlamak üzere aracın dört köşesine RGB ledler entegre edilmiştir. Aracın hangi işlem basamağında olduğu farklı renkler ile ifade edilerek park sırasında görsel olarak takip edilebilmektedir.

Araç üst yapısı entegrasyonun kolay olması ve parçaların ihtiyaçlar doğrultusunda değiştirilebilmesi için üst yapı parçalı olarak üretilmiş ve montajlanmıştır. Donanım parçalarının kablolaj bağlantıları ve mekanik montajları gerçekleştirilerek sistem

entegrasyonu tamamlanmıştır. Şekil 3.13'te sistem devre şeması ve Şekil 3.14' te aracın entegrasyonu tamamlanmış hali gösterilmiştir.







Şekil 3.14. Entegrasyonu tamamlanmış model araç

3.2. Sistem Yazılımı

Sistem yazılımı araç üzerinden gelen mesafe bilgilerini işleyerek öncelikli olarak uygun park yerini tespit etmektedir. Araca uygun park yeri tespit edildikten sonra park işlemi için gerekli manevraları hesaplayarak park için gerekli komutları tahrik sistemlerine iletmekte ve park işleminin başarıyla gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Geliştirilen otonom park sistemi yazılımı, araç kontrol kartı yazılımı, araç hız kontrol kartı yazılımı ve bilgisayar kontrol yazılımı olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Sistem yazılımı yapısı Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Sistem yazılımı yapısı

3.2.1. Araç kontrol kartı yazılımı

Araç üzerine yerleştirilen kontrol kartının temel görevi sensör verilerini alarak bilgisayar kontrol yazılımına iletmek ve bilgisayar kontrol yazılımı tarafından gönderilen komutları araca uygulamaktır. Araç kontrol kartı yazılımı kontrol kartı üreticisi firma tarafından kullanıma sunulan Arduino IDE arayüzü kullanılarak geliştirilmiştir. Araç kontrol kartı için geliştirilen kodda gerekli port ayarları sensörler ve sürücü kartlar için uygun bağlantı ve haberleşme protokolleri belirlenmiştir.

Araç kontrol kartının temel görevlerinden biri LIDAR sensörden alınan verileri uygun bir formatta bilgisayar kontrol yazılımına aktarmaktır. Araç kontrol kartı yazılımının geliştirilmesinde yapılan testlerde başlangıçta LIDAR sensörden alınan 0-360° aralığındaki veriler bir paket olarak bilgisayar kontrol yazılımına gönderilmiştir. Bilgisayar kontrol yazılımında alınan verilerin fazla olması ve ard arda sürekli gelmesi park yeri bulunmasında karar için kısa sürede değerlendirmenin yapılamamasına yol açmıştır. Bu nedenle araç kontrol kartı yazılımında LIDAR sensörden alınan veriler 0-360° yerine uygun park boşluğunun arandığı 15°-165° aralığına indirilmiştir. Ayrıca araç kontrol kartının LIDAR sensörü verilerini sürekli bilgisayara göndermesi yerine kontrol bilgisayarından gelecek veri talebi doğrultusunda gönderilmesi sağlanmıştır. Böylece araç kontrol kartı yazılımı kontrol bilgisayarı tarafından LIDAR verisi talep ettiğinde 15°-165° aralığındaki veriler paket haline getirilip kontrol bilgisayarına gönderilmekte, kontrol bilgisayarı tarafından bu veriler işlendikten sonra park yeri arama işlemi devam ettirilecekse yeni veri gönderilmesi talep edilmektedir. Geliştirilen bu çözüm ile veri trafiği azaltılarak araç kontrol kartı ve kontrol bilgisayarı yazılımlarının etkili bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Bilgisayar kontrol yazılımı tarafından uygun park yeri belirlendiğinde aracın park başlangıç konumuna gitmesi için gerekli komut gönderilmektedir. Araç park başlangıç noktasına ulaştığında park manevra hesabı için gerekli uzaklık ve açı bilgileri araç kontrol kartı tarafından bilgisayar kontrol yazılımına gönderilmektedir. Bilgisayar kontrol yazılımı tarafından uygun park manevrası için gerekli komutlar araç kontrol kartına iletilmekte ve iletdikten sonra park işlemleri gerçekleştirilmektedir. Son olarak park işlemi tamamlandıktan sonra araç üzerinde bulunan kızılötesi mesafe sensörlerinin değerleri okunarak park işlemi sonrasında performans çıktısı oluşturmak üzere bilgisayar kontrol yazılımına gönderilmektedir. Çizelge 3.1. LIDAR ölçüm örneği de LIDAR sensörü veri seti örneği gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. LIDAR ölçüm örneği

Açı değeri (°)	Mesafe (mm)	Açı değeri (°)	Mesafe (mm)	Açı değeri (°)	Mesafe (mm)	Açı değeri (°)	Mesafe (mm)
15.09	2229.2	56.09	1234.75	97.03	546.25	134.64	803.00
16.12	2242.75	57.16	1222.25	98.20	547.75	135.58	818.50
17.14	2248.75	58.22	1213.00	99.33	550.00	136.64	837.50
18.19	2270.25	59.34	1192.00	100.25	556.75	137.67	852.00
19.25	2281.50	60.38	1182.25	101.09	563.50	138.63	870.00
20.25	2298.50	61.39	1172.50	102.28	567.00	139.69	891.00
21.30	2306.25	62.48	1162.00	103.27	570.00	140.64	913.50
22.34	2312.50	63.52	1152.50	104.25	572.25	141.63	931.75
23.36	2331.50	64.55	1143.00	105.37	573.25	142.64	954.00
24.39	2364.75	65.58	1133.50	106.39	577.75	143.63	979.25
25.42	2453.25	66.64	1122.50	107.36	581.25	144.67	986.00
28.25	4790.00	67.72	1115.50	108.47	585.00	145.59	1014.5
29.23	5718.25	68.83	1105.00	109.48	589.50	146.63	1057.2
30.27	5757.25	69.83	1099.75	110.44	593.75	147.70	1041.7
31.31	5788.25	70.87	1092.25	111.47	597.25	149.19	807.00
32.45	3948.50	71.92	1087.75	112.56	600.00	150.16	828.75
33.52	3930.50	72.92	1082.50	113.39	606.75	151.44	706.25
34.56	3816.25	74.03	1075.75	114.41	612.75	152.64	652.75
35.58	3741.75	75.09	1072.25	115.53	618.50	153.77	647.00
37.09	1648.75	76.12	1068.75	116.45	625.25	154.66	650.00
38.16	1637.75	77.19	1063.00	117.59	630.50	155.66	666.75
39.23	1609.00	78.16	1059.25	118.56	634.50	156.75	676.00
40.31	1580.75	79.25	1056.00	119.62	641.25	157.75	677.25
41.31	1548.00	80.28	1050.75	120.59	650.75	158.91	670.50
42.38	1518.50	81.37	1047.50	121.61	659.25	160.02	633.25
43.45	1482.25	82.41	1045.50	122.53	668.00	161.11	612.25
44.53	1452.50	83.39	1044.75	123.64	676.00	162.27	582.50
45.53	1428.25	84.50	1042.50	124.58	685.50	163.44	579.25
46.58	1403.00	85.55	1040.75	125.64	681.50		
47.66	1386.00	86.48	1038.75	126.67	686.00		
48.75	1361.25	87.62	1038.25	127.67	701.25		
49.80	1343.00	88.56	1037.75	128.73	712.00		
50.88	1321.25	89.70	1038.25	129.66	725.25		
51.91	1302.00	90.67	1037.25	130.75	735.50		
52.92	1281.50	91.72	1039.25	131.67	768.50		
54.02	1266.75	92.75	1039.75	132.72	774.75		
55.09	1247.50	95.94	566.75	133.55	789.50		

3.2.2. Araç hız kontrol kartı yazılımı

Araç kontrol kartının işlen yoğunluğunu azaltmak ve park işleminin daha verimli olması için araç tahrik motorunun hız kontrolünde STM32F103 mikrodenetleyici kartı kullanılmıştır. Araç kontrol yazılımı STM32F103 kartı üzerinden park işlemleri sırasında aracın ileri ve geri yön hareketlerini gerçekleştirmektedir. Araç hızının kontrolünü yapabilmek için LM393 model kıyılötesi hız/konum sensörü kullanılmıştır. Sensörden gelen kesme sinyalleri ile aracı sabit hızda kullanabilmek için P (Oransal) kontrol gerçekleştirilmiştir. Hız kontrol kartı yazılımı STM32CubeIDE ortamında geliştirilerek karta aktarılmıştır. Park işleminin düşük hızlarda gerçekleşmesi ön şartı ile oluşturulan P kontrolün hız testleri gerçekleştirilmiştir. Bu test sonuçlarına göre oransal kontrol optimize edilerek sistemin düşük hızlarda bile başarılı bir sürüş gerçekleştirmesi sağlanmıştır. Park işlemlerinde aracın hareket hızı 0,3 m/s olarak seçilmiştir.

3.2.3. Bilgisayar kontrol yazılımı

Bilgisayar ortamında çalışacak yazılım programı için alternatif uygulamalar ve yazılım dili seçenekleri arasından açık kaynak olarak kullanılabilen ve son dönemde birçok benzer platformda da kullanılan Python programlama dili tercih edilmiştir. Park sisteminin kontrol algoritmaları bilgisayar kontrol yazılımı tarafında geliştirilmiştir. Öncelikle araç kontrol kartından gelen veri setini değerlendirerek araç geometrik boyutlarına uygun park yeri olup olmadığı tespit edilmektedir.

Araca uygun park genişliği ve uzunluğu araç fiziksel sınırları ve direksiyon mekanizması dönüş yarıçap bilgileri kullanılarak belirlenmektedir. Uygun park yeri Çizelge 3.2’de verilen değişkenler kullanılarak Eşitlik 3.1, Eşitlik 3.2, Eşitlik 3.3 ve Eşitlik 3.4 yardımıyla belirlenmiştir.

Çizelge 3.2. Seçilen model araç geometrik özellikleri

Değişkenler		Değer (mm)
Lfo	Ön Teker Ekseni ile Araç Önü Mesafe	69
Lro	Arka Teker Ekseni ile Araç Arkası Mesafe	59
Rmin	Minimum Dönüş Yarıçapı	1050
W	Araç Genişliği	200
L	Araç Uzunluğu	390
Lwb	Ön ve Arka Dingil Arası Mesafe	262
Lf	Ön Boşluk Değeri	155
Lr	Arka Boşluk Değeri	155
Is	Araç ile Fiziksel Çevre Arası Emniyetli Mesafe	50
x_{B1}	Park Uzunluğu 1. Hesap Değeri	Hesaplanacak Değerler
x_{B2}	Park Uzunluğu 2. Hesap Değeri	
L_p	Park Genişlik Değeri	
W_p	Park Uzunluk Değeri	

$$L_p = y_B = W + 2 \cdot I_s \quad (\text{Eş. 3.1})$$

$$W_p = x_B = \max(x_{B1}, x_{B2}) \quad (\text{Eş. 3.2})$$

$$x_{B1} = L_{ro} + I_s + \sqrt{(2 \cdot R_{min} - I_s) \cdot (W + I_s) + (L - L_{ro})^2} \quad (\text{Eş. 3.3})$$

$$x_{B2} = L_{ro} + I_s + (\sqrt{2} \cdot R_{min}) - \sqrt{[(2 - \sqrt{2}) \cdot R_{min} - W - I_s] \cdot [\sqrt{2} \cdot R_{min} + I_s]} \quad (\text{Eş. 3.4})$$

$$L_p = 300 \text{ mm} \quad (\text{Eş. 3.5})$$

$$W_p = 908 \text{ mm} \quad (\text{Eş. 3.6})$$

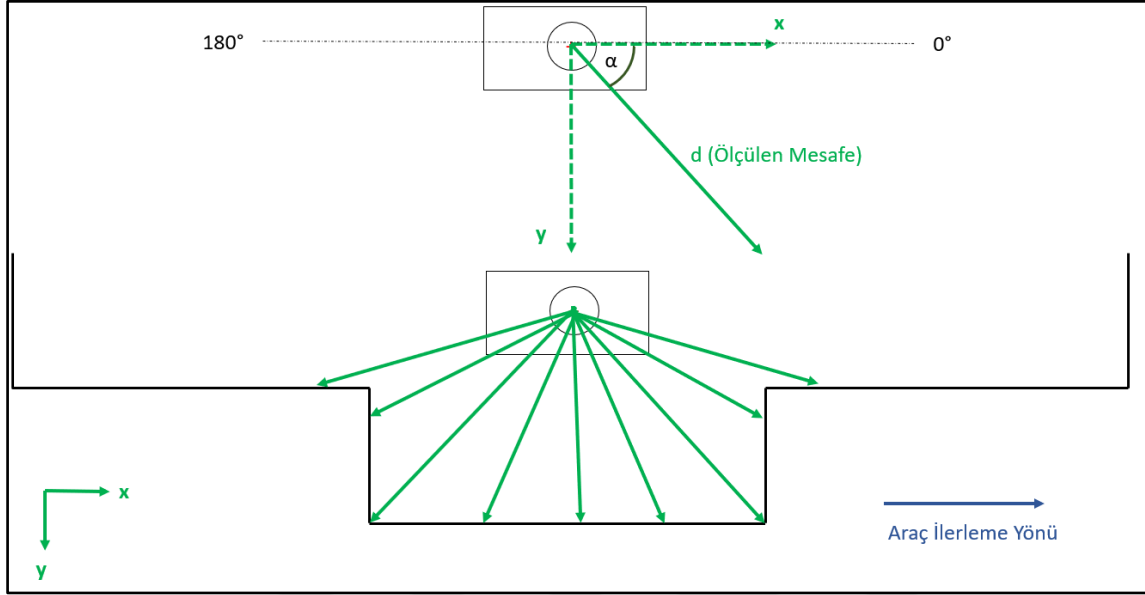
Bu hesaplamalar gerçekleştirilirken araç dönüş yarıçap değerinin ortalama değeri olan 1050 mm referans alınmıştır. Kullanılan model aracın direksiyon mekanik yapısı itibarı ile sağ ve sol dönüş performansları farklılık göstermektedir. Aracın çıkan hesaplar sonrasında istenilen direksiyon açısı değerini yakalayabilmesi için araç servo motor açıları ile araç dönüş yarıçap bağlantıları araç üzerinde gerçekleştirilen sürüşlü testler ile tespit edilmiştir. Çizelge 3.3’de elde edilen dönüş yarıçap değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Dönüş yarıçap değerleri

Servo Direksiyon Açısı	Araç Dönüş Yarıçapı (mm)	Yön
30°	700	Sağ (saat yönü)
40°	750	Sağ (saat yönü)
50°	800	Sağ (saat yönü)
54°	850	Sağ (saat yönü)
56°	900	Sağ (saat yönü)
140°	950	Sol (saat yönü tersine)
130°	1000	Sol (saat yönü tersine)
125°	1050	Sol (saat yönü tersine)
120°	1100	Sol (saat yönü tersine)
117°	1150	Sol (saat yönü tersine)

Belirlenen direksiyon servo değerleri daha sonra programda hesaplanan rotalar için direksiyon açısının belirlenmesinde kullanılmıştır. Şekil 3.16'da Anaconda3 Spyder editöründe oluşturulan program ekranı gösterilmiştir.

Araç için uygun park yeri hesaplandıktan sonra bilgisayar yazılımı tarafından veri seti geometrik eşitlikler kullanılarak kartezyen koordinata çevrilerek ölçüm değerlendirilmektedir. Şekil 3.17’ de park algoritması ölçüm metodolojisi gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Park algoritması ölçüm metodolojisi

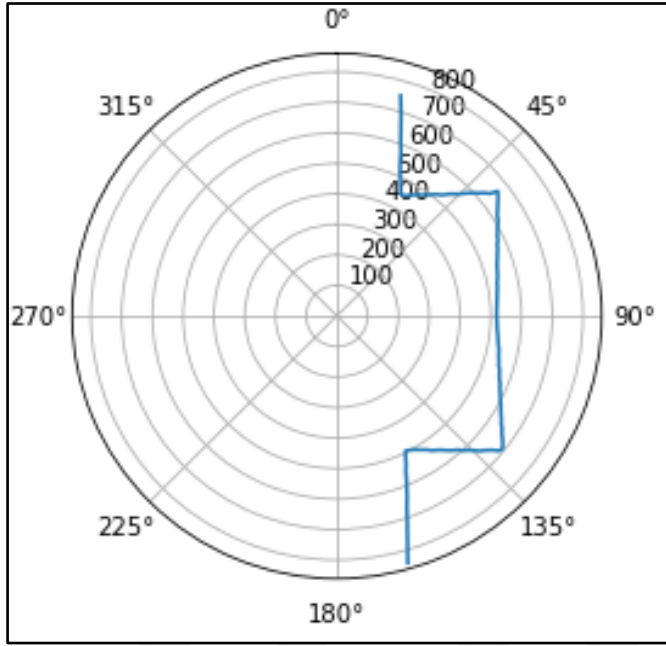
Araç sağ tarafında bulunan y eksenini doğrultusunda bulunan park boşluğu mesafesi d ile alınan ölçümün o andaki açı değerinin sinüsü hesaplanarak kaydedilmektedir.

$$y = d \cdot \sin(\alpha) \quad (\text{Eş. 3.7})$$

Alınan ölçümlerden kartezyen koordinat düzlemi oluşturmak için alınan ölçümün x eksenini doğrultusundaki aynı açı değerindeki büyüklüğü kosinüsü hesaplanarak kaydedilmektedir.

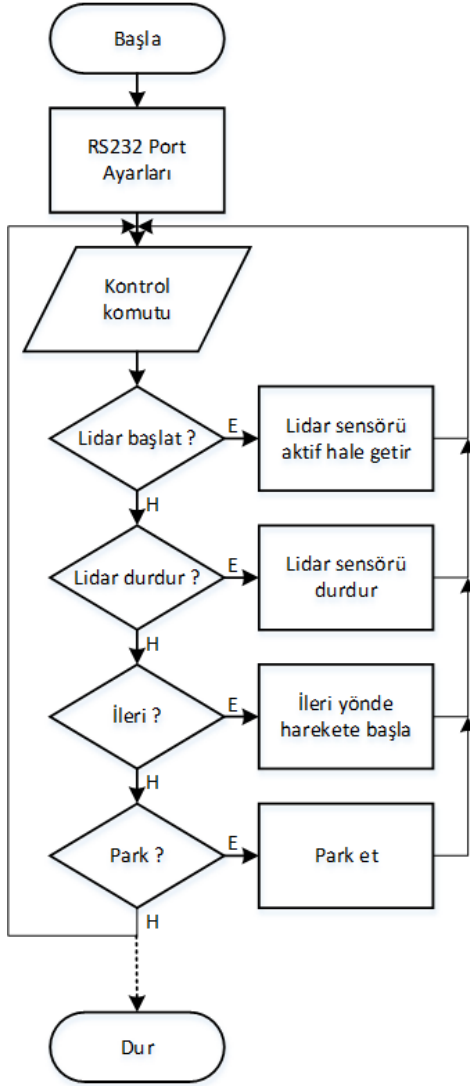
$$x = d \cdot \cos(\alpha) \quad (\text{Eş. 3.8})$$

Bilgisayar kontrol yazılımında Eşitlik 3.7 ve Eşitlik 3.8 kullanılarak araç kontrol kartından alınan LIDAR sensör verileri değerlendirilmekte ve uygun park boşluğu bulunup bulunmadığı belirlenmektedir. Ayrıca alınan veriler ayrı bir grafik penceresi üzerinde görselleştirilmektedir. Şekil 3.18’de örnek bir LIDAR data setinin görsel hali gösterilmiştir.



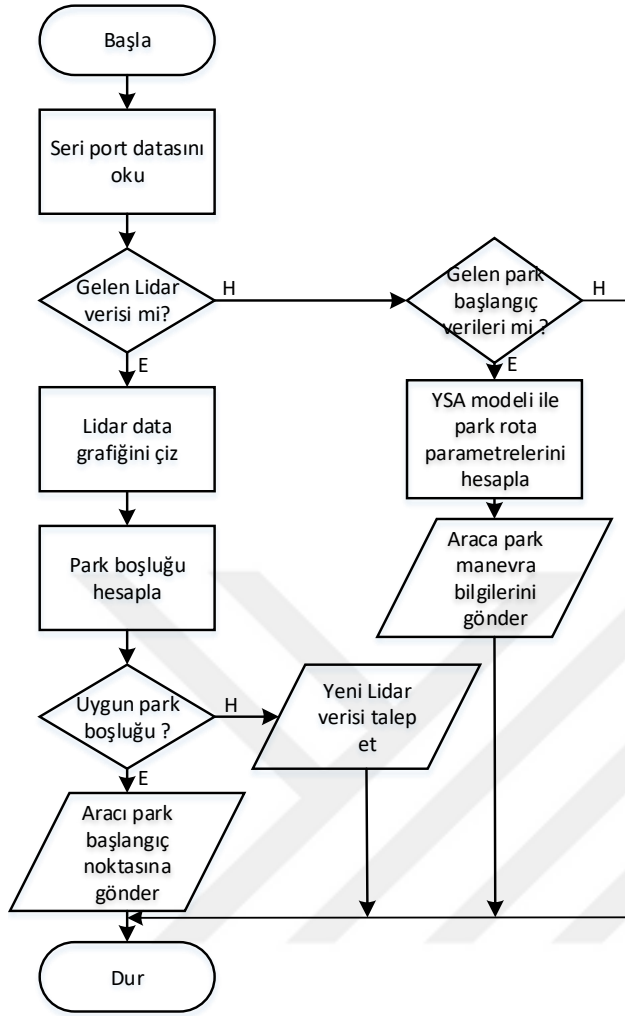
Şekil 3.18. Bilgisayar programında tespit edilen park boşluğu

Araç genişliği ve park işlemi sonrasında duvar ile emniyetli mesafe değeri toplandığında alınan ölçümlerin y – eksen bileşeninin 400 mm değerinden büyük olması gerekmektedir. Buradan hareketle veri setinden gelen mesafe ve açı bilgileri ile y – ekseninde bulunan değerler ile yeni bir dizi oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu dizi içerisinde 400 mm ve üzerindeki değerler alınarak park işlemi için uygun olduğu değerlendirilmektedir. Ancak alınan bu değerlerin 400 mm’den büyük olması tek başına yeterli olmamaktadır. Bu değerlerin araç uzunluğu ve emniyetli park boşlukları toplamı kadar uzun olması gerekmektedir. Bunun için alınan değerlerin sürekliliği yazılım içerisinde kontrol edilmektedir. Uygun park yeri mesafesi olan 400 mm mesafesi ölçüldükten sonra veri paketi içerisinde gelen konum bilgisi ile gerekli park mesafesi uzunluğu ayrıca kontrol edilmektedir. Bilgisayar programı ana akış diyagramı Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Bilgisayar programı ana akış diyagramı

Bilgisayar kontrol yazılımında araç kontrol kartı tarafından veri gönderilmesi halinde gönderilen verinin türü belirlenmekte (LIDAR tarama verisi, park başlangıç verisi, park sonu performans verisi) gelen veri tarama verisi ise uygun park yeri değerlendirilerek uygun park yeri olmaması halinde tekrar veri seti istemektedir. Uygun park yeri bulunması halinde ise aracın park başlangıcına gidilmesi komutu verilmektedir. Araç kontrol kartı tarafından gönderilen verinin park başlangıç verisi olması halinde ise alınan park başlangıç verilerine göre yapay sinir ağı yardımıyla park rotası için uygun hareketler belirlenerek araç kontrol kartına gönderilmektedir. Araç kontrol kartından alınan verinin park sonu performans verisi olması halinde bu veri ekrana uygun formatta yazdırılmaktadır. Şekil 3.20’de bilgisayar kontrol yazılımı seri port akış diyagramı gösterilmiştir.

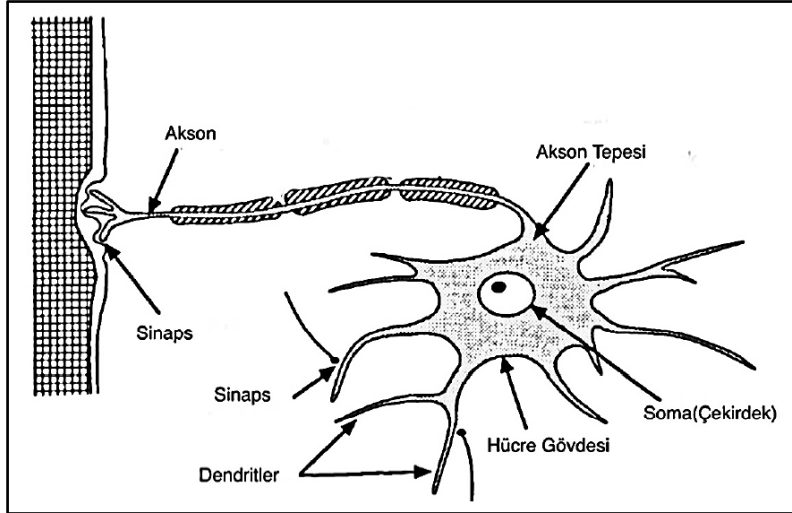


Şekil 3.20. Bilgisayar programı seri port veri olayı akış diyagramı

Park yeri tespit edildikten sonra araç park başlangıç noktasına ilerleyerek park manevraları için pozisyon almaktadır. Park başlangıç pozisyonunda aracın konumu ve açısına göre park işlemi yapay sinir ağı ile hesaplanarak araç kontrol kartına iletilmektedir. Geliştirilen yapay sinir ağı ilgili başlık altında detaylı olarak açıklanmıştır.

3.3. Yapay Sinir Ağı ile Park Rotasının Belirlenmesi

Yapay sinir ağlarının temeli insan sinir hücresine dayanmaktadır. İnsan vücudunda sinir hücreleri diğer hücreler ile çok sayıda bağ oluşturmaktadır. Oluşturulan bu bağda iletim elektrokimyasal şekilde olmaktadır. İnsan vücudunda nöronlar aldıkları bilgileri birleştirerek sonuca ulaşır [46]. Bilgisayar programlarında yapay sinir ağı, insan beyninin düşünme, hatırlama ve öğrenme deneyimlerini kullanarak çözümü gerçekleştirir. Şekil 3.21’de basit bir biyolojik sinir hücresi gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Basit bir biyolojik sinir hücresi [46]

Tez çalışmasında aracın uygun park yerine park etmesi için yapay sinir ağı kullanılmıştır. Yapay sinir ağları insanın biyolojik olarak öğrenme temeline göre çalışmaktadır. Veriler yardımıyla eğitilen sinir ağları bu bilgileri kullanarak sistemde yeni oluşan bir durumda eğitilen verileri kullanarak çözüm üretmektedir. Yapay sinir ağları verileri topladığı toplama fonksiyonu ve çıktı ürettiği aktivasyon fonksiyonuna sahiptir. Çok çeşitli toplama ve aktivasyon fonksiyonları vardır. Yapay sinir ağları katmanlardan oluşmaktadır [47].

- Girdi katmanı
- Ara katmanlar
- Çıktı katmanı

Bu katmanlar tek katlı veya çok katlı olabilmektedir. Yapay sinir ağının kullanılacağı yer ve ağdan beklenen yetenekler göz önünde bulundurularak katmanlar şekillendirilmektedir. Veriler girdi katmanları ile ağı alındıktan sonra ara katmanlarda işlenerek çıktı katmanlarına doğru ilerlemektedir. Ağı eğitilmesi sırasında veriler kontrollü uygulanarak çıktı fonksiyonunun doğru değeri verip vermediği kontrol edilmektedir. Doğru çıktılar elde edilene kadar ağ eğitilmesine devam edilmektedir. Yapay sinir ağları aşağıdaki bilgilere göre karakterize edilmektedir [48];

- Ağ topolojisi
- Toplama fonksiyonu
- Aktivasyon fonksiyonu
- Öğrenme stratejisi
- Öğrenme kuralı

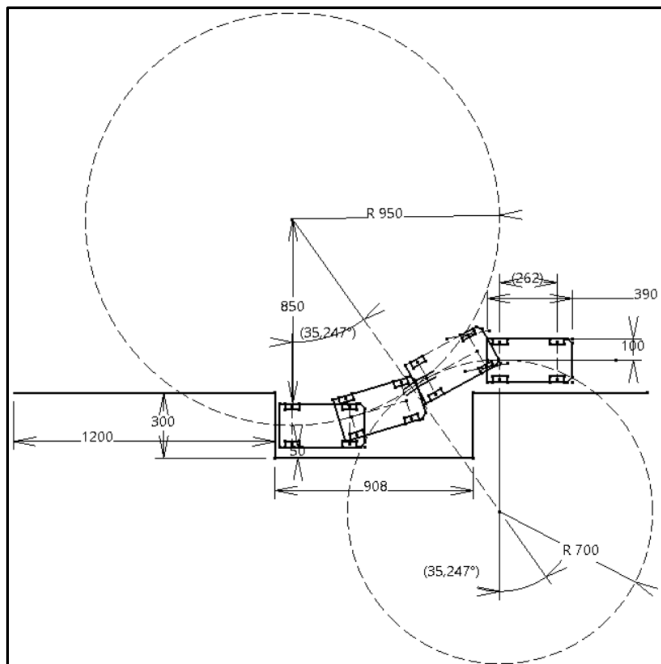
Yapay sinir ağıları temelde aşağıdaki özelliklere sahiptir [47];

- Doğrusal olmama
- Öğrenme
- Genelleme
- Uyarlanabilirlik
- Hata toleransı

Çalışmada araç mekanik özellikleri ve boyutları ile park başlangıç noktasına göre gerçekleştirilecek manevralar için bir yapay sinir ağı oluşturulmuş ve eğitilmiştir. Araç park denklemleri birbirine bağlı değişkenler şeklinde oluşturulmuş ve birçok olasılık hesaplanmıştır. Park hareket denklemlerinde;

- Aracın yandaki araca olan uzaklığı
- Park başlangıcına olan mesafe
- Doğrultu açısı
- Dönüş yarıçapı
- Manevra sırasında taranan yay uzunlukları
- Araç konumu

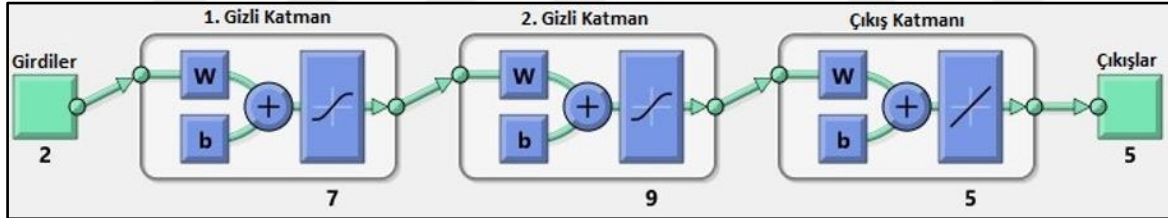
bilgileri kullanılarak hesaplar yapılmıştır. Şekil 3.22’de kullanılan bilgileri gösteren iki boyutlu çizim gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Park rota hesabı çizimi

3.3.1. Yapay sinir ağı modeli

Yapay sinir ağı oluşturulurken MATLAB programının Neural Network modülü kullanılmıştır. Teorik hesaplar ile elde edilen sonuçlara göre yapay sinir ağı model çalışmalarına başlanılmıştır. Yapay sinir ağının girişleri park başlangıç konumunda aracın yandaki araca veya duvara olan mesafesi ve aracın doğrultu açısı olarak belirlenmiştir. Yapay sinir ağının çıkışları ise park başlangıç konumu, sağ direksiyon dönüş yarıçapı, sağ dönüş yarıçap yay uzunluğu, sol dönüş yarıçapı ve sol dönüş yarıçap yay uzunluğu olarak belirlenmiştir. Yapay sinir ağı birinci gizli katmanında yedi nöron, ikinci gizli katmanında dokuz nöron ve çıkış katmanında beş nöron bulunmaktadır. Gizli katmanlarda transfer fonksiyonu olarak tanjant sigmoid fonksiyonu çıkış katmanında ise lineer fonksiyon kullanılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarda yapay sinir ağı modelinin belirlenmesinde belirgin bir yaklaşım bulunmadığı daha çok yapılan denemeler ile en uygun modelin belirlendiği görülmüştür. Bu çalışmada geliştirilen yapay sinir ağı modelinde de benzer bir yaklaşımla katman ve nöron sayıları farklı denemelerle nihai halini almıştır. Geliştirilen yapay sinir ağı modeli Şekil 3.23’de gösterilmiştir.



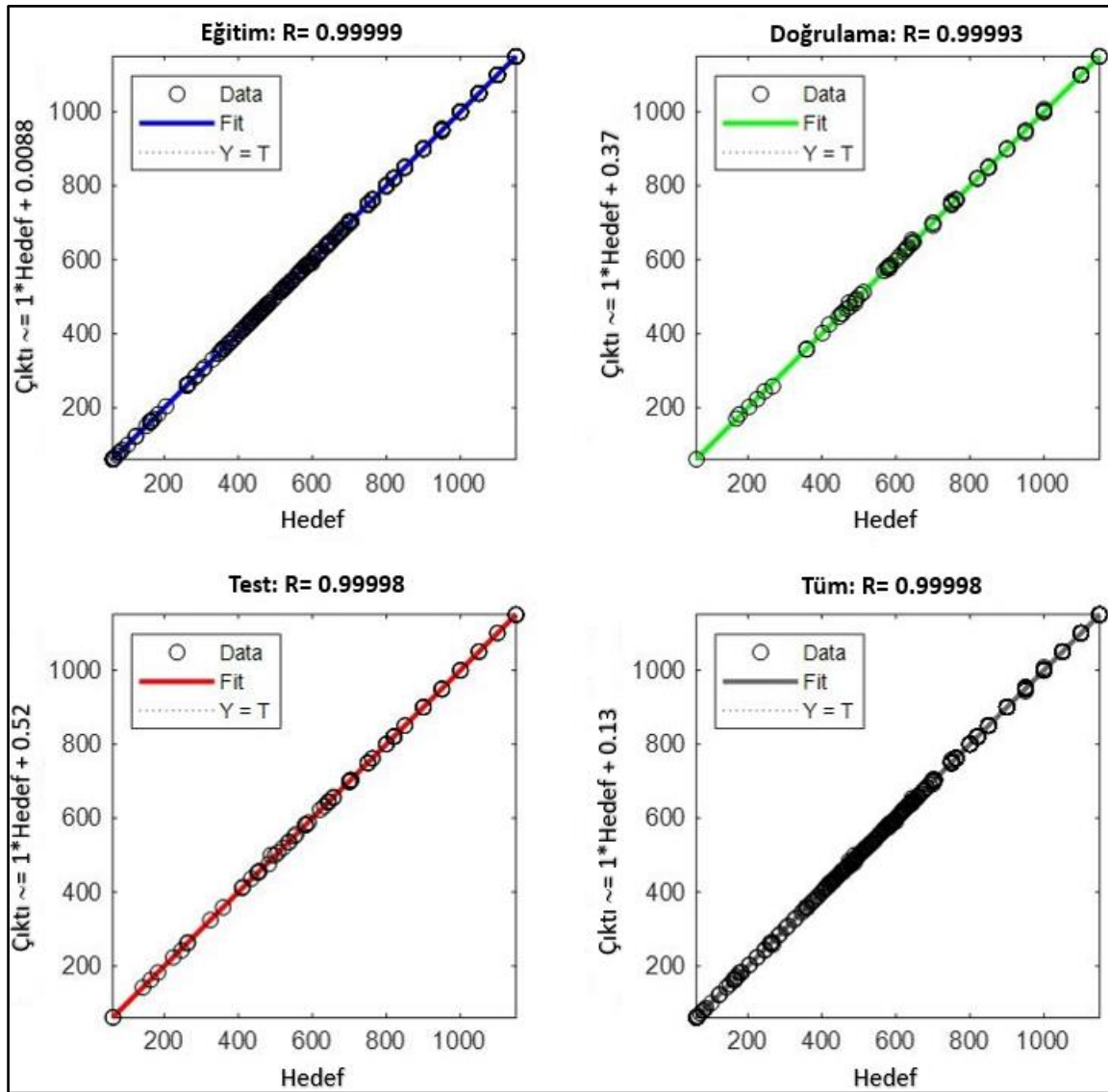
Şekil 3.23. Geliştirilen yapay sinir ağı modeli

3.3.2. Yapay sinir ağının eğitimi

Yapay sinir ağının eğitimi için Şekil 3.22’de verilen geometriden faydalanarak 115 farklı başlangıç senaryosu (aracın yandaki araca olan mesafesi ve doğrultu açısı değiştirilerek oluşturulmuştur) için yapay sinir ağından çıktı olarak beklenen değerler oluşturulmuştur. Elde edilen bu değerlerin %70’i yapay sinir ağının eğitiminde, %15’i test aşamasında ve %15’i doğrulama aşamalarında kullanılmıştır.

3.3.3. Geliştirilen yapay sinir ağının performansı

Yapay sinir ağı eğitimi için kullanılan değerler ile yapay sinir ağının çıktıları arasında hata oluşmaktadır. Bu hatanın ölçülmesi için R (korelasyon) katsayısı yöntemi kullanılmaktadır. R katsayısı teorik olarak -1 ile +1 arasında değer alabilmektedir. Sonuç -1' e yakın ise elde edilen sonuçlar eğitilen değerlerden uzak, +1' e yakın ise eğitilen sistemin çıktılarının başarılı olduğu anlamına gelmektedir. Yapay sinir ağı eğitimi sonrasında elde edilen tüm korelasyon değerleri Şekil 3.24'de gösterilmiştir.

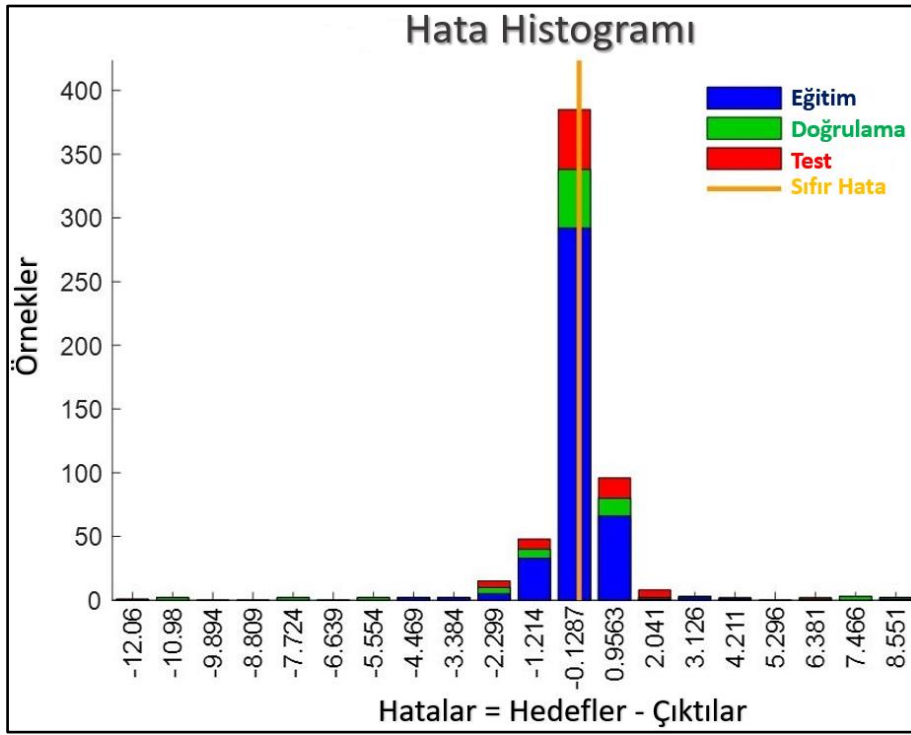


Şekil 3.24. Yapay sinir ağının eğitim, doğrulama, test ve tüm veri seti

Sonuçlarda eğitim, doğrulama, test değerleri için hedef değerler ile R katsayısı görülmektedir. Eğitilen sistem için tüm değerlerin R katsayıları +1 değerine oldukça yakın

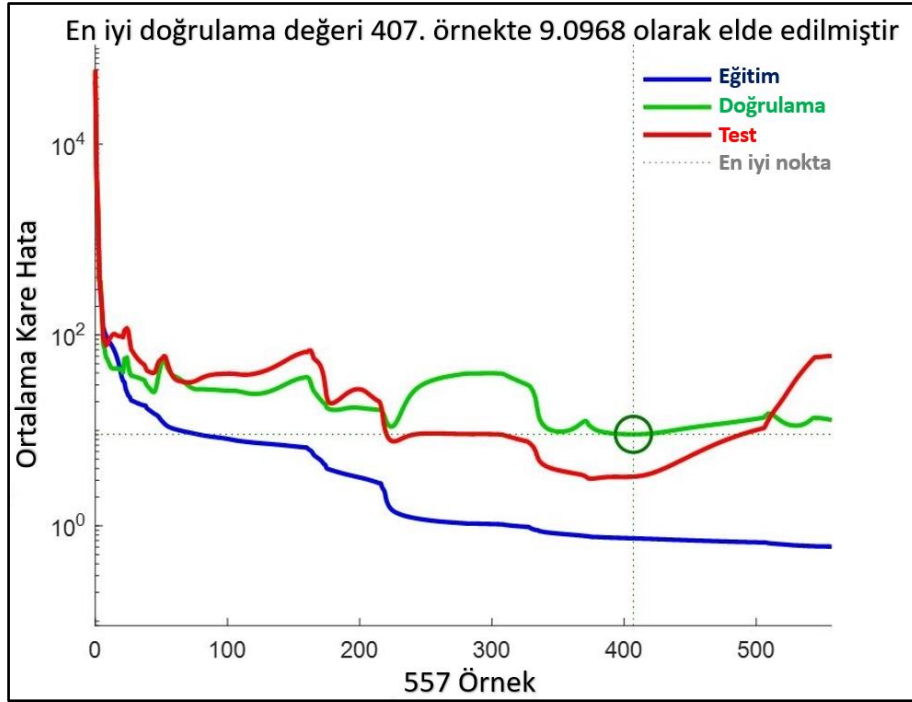
çıkıştır. Bu sonuçlar yapay sinir ağ modelinin hedeflenen park rotasını çok yüksek bir başarı ile belirleyebildiğini göstermektedir.

Yapay sinir ağı eğitimi tamamlandıktan sonra program yardımıyla hata histogramı üzerinden beklenen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki hata miktarları görülebilmektedir. Şekil 3.25'te hata histogramı görülmektedir.



Şekil 3.25. Yapay sinir ağı hata histogramı

Sonuçlar incelendiğinde en büyük hatanın -3,384 ile 3,126 arasında çıktığı görülmektedir. Grafik beklenen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkı gösterdiği için değerler negatif olabilmektedir. Grafik üzerinde yeşil sütun doğrulama verilerini, mavi sütun eğitim verilerini, kırmızı sütun ise test verilerini temsil etmektedir. Elde edilen hata değerlerinin kabul edilebilir bir aralıkta olduğu görülmektedir. Sistemin performans noktası ise Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Sistem performans noktası

Yapay sinir ağının en iyi performans noktası 407. iterasyon değerinde elde edilmiştir. Teorik olarak yüksek değerden başlayan yapay sinir ağın ortalama kare hatası en düşük değere ulaşana kadar devam etmektedir. Sistem en iyi noktaya geldikten sonra eğitimini 557 değerinde tamamlamıştır.

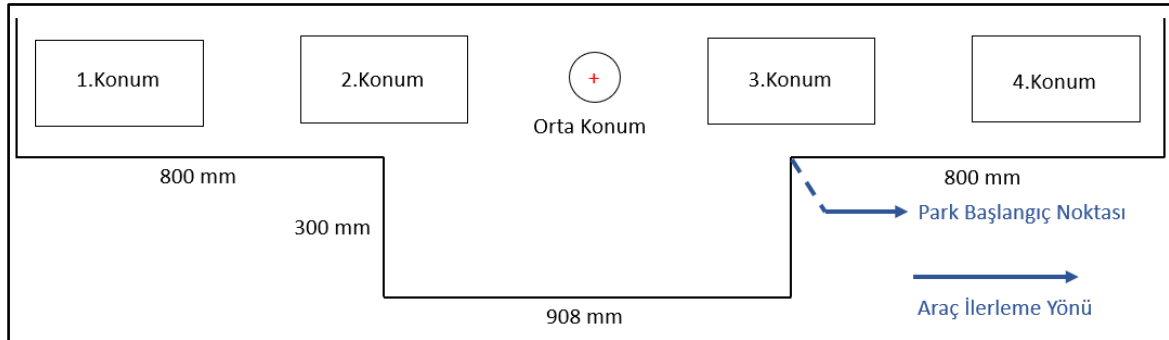


4. GELİŞTİRİLEN OTONOM PARK SİSTEMİNİN TESTLERİ

Geliştirilen otonom park sisteminin kontrol yazılımlarında yer alan akışı hangi ölçüde takip ettiğini ve manevraların teorik hesaba ne kadar yakın gerçekleştirildiği yapılan testler ile ortaya konulmuştur. Sistem performansı teorik hesaplarda ortaya çıkan değerler ile test sonuçlarının karşılaştırılmasıyla belirlenmiştir.

4.1. Park Yeri Bulma Testi

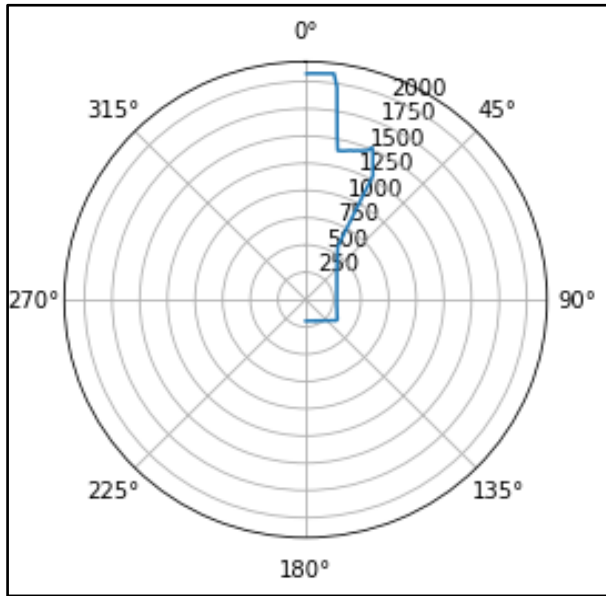
Otonom park sistemi testlerinin gerçekleştirilebilmesi için parkur ihtiyacı oluşmuştur. Parkur oluşturulurken gerçekleştirilecek park senaryosu, araç boyutları ve aracın manevra kabiliyetleri göz önünde bulundurulmuştur. Araç park yeri genişliği ve uzunluğu teorik hesaplarda belirlenen değere göre ayarlanmıştır. Ayrıca emniyetli parkı sağlamak için aracın tüm çevresi ile olan park boşluk değeri en az 5 cm olarak belirlenmiştir. Park yerini tespit edebilmek için öncelikle LIDAR sensörü ile ölçüm testleri yapılmıştır. Bu testler sonrasında kritik noktalarda alınan ölçümler ve bu ölçümler sonrasında park yerinin nasıl belirleneceği üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir.



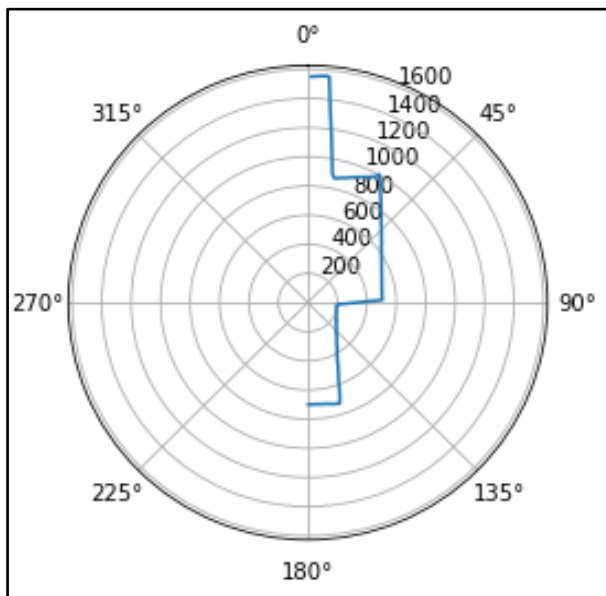
Şekil 4.1. Parkur ölçüm konum pozisyonları

Test faaliyetleri için öncelikle araç üzerinde bulunan LIDAR sensör ile dört farklı konumda ölçümler alınmış ve alınan ölçümlerin çıktıları grafik halinde gösterilmiştir. Testlerden elde edilen sonuçlarda görüldüğü üzere alınan ölçümler süreklilik göstermektedir. Ölçüm aralığının hiçbir değerinde ölçüm alınamayan nokta bulunmamaktadır. Bunun yanında herhangi bir sapma veya ölçüm hatası olmadığı görülmüştür. Bu durum alınan değerler için herhangi bir filtreleme işlemi yapmadan verilerin doğrudan kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Oluşabilecek hataları önlemek için parkur oluşturulurken LIDAR sensörün

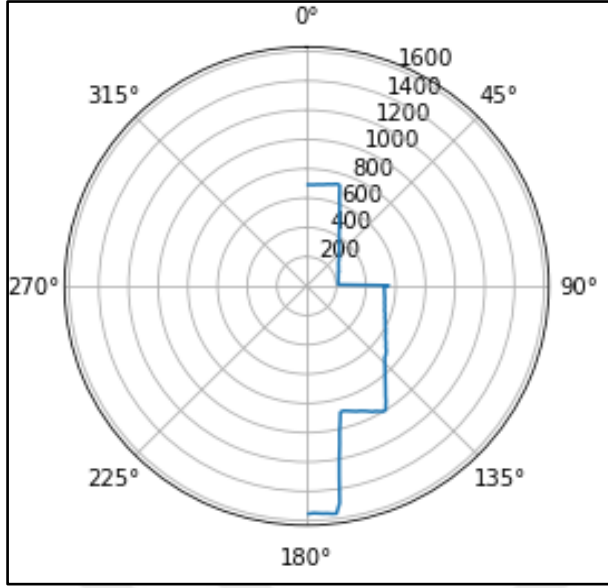
hatalı ölçüm alabileceği geçirgen veya yansıtıcı yüzeyler kullanılmamıştır. Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te aracın park boşluğu araması sırasında elde edilen LIDAR sensör verileri grafik olarak gösterilmiştir. Buna göre Şekil 4.1'de işaretlenen 1. ve 4. konumlarda park yeri boşluğunun araç konumundan kaynaklı olarak belirlenemediği, 2. ve 3. konumlar arasında ise park boşluğunun kolaylıkla tespit edilebildiği görülmektedir. Bu nedenle park boşluğu aranırken 2. ve 3. konumlar arasında uygun park boşluğu elde edileceği öngörülmektedir.



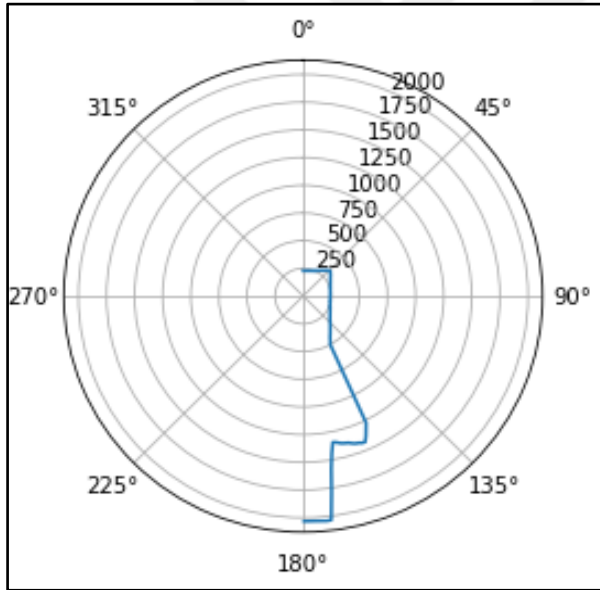
Şekil 4.2. 1. Konum ölçüm sonucu



Şekil 4.3. 2. Konum ölçüm sonucu

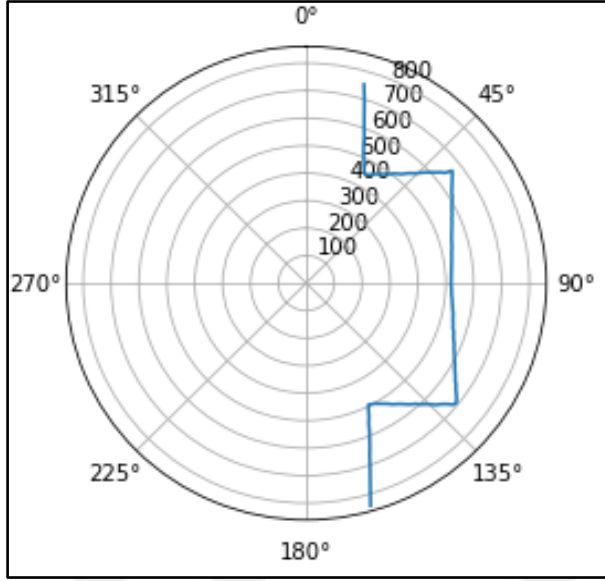


Şekil 4.4. 3. Konum ölçüm sonucu



Şekil 4.5. 4. Konum ölçüm sonucu

LIDAR sensörü ile alınan mesafe bilgilerinin 0° ve 180° uç değerlerinde çok anlamlı olmadığı görülmüştür. Araç test parkurunda merkez noktasına yerleştirilerek $0^\circ - 180^\circ$, $5^\circ - 175^\circ$, $10^\circ - 170^\circ$, $15^\circ - 165^\circ$, $20^\circ - 160^\circ$, $25^\circ - 155^\circ$, $30^\circ - 150^\circ$, $35^\circ - 145^\circ$, $40^\circ - 140^\circ$, $45^\circ - 135^\circ$ ve $50^\circ - 130^\circ$ açı değerleri için ölçümler alınmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

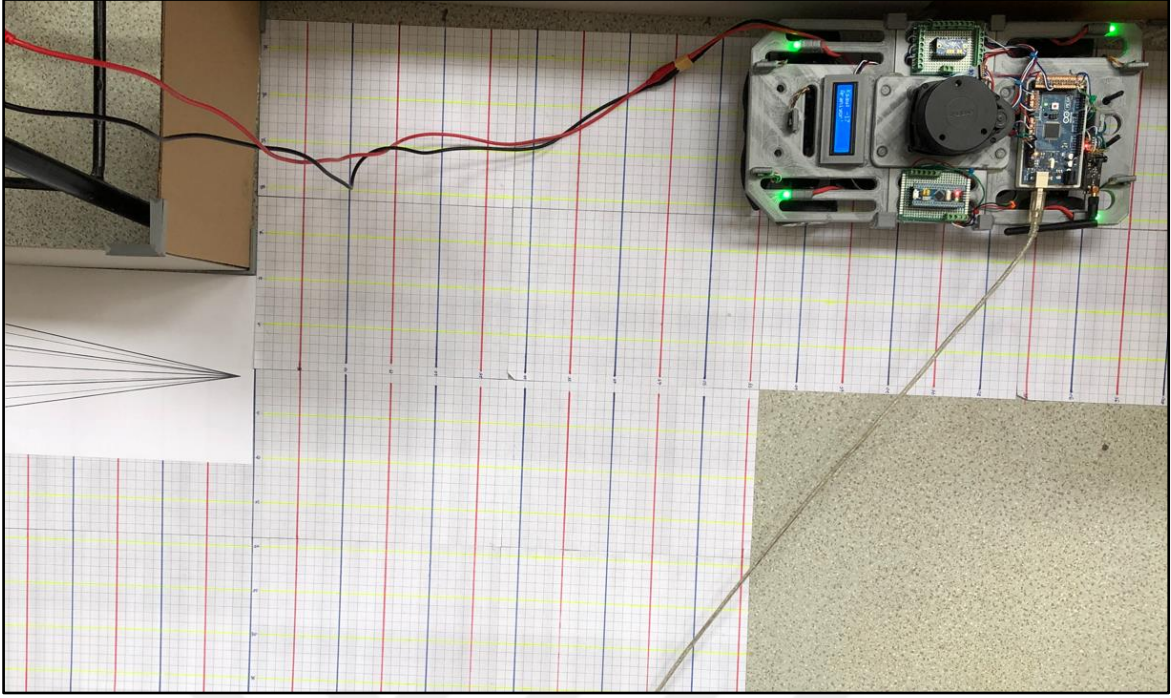


Şekil 4.6. 15°- 165° Tarama sonucu

Alınan ölçüm sonuçlarından bulunan park yeri için tüm sınır değerlerinin elde edildiği 15° ile 165° değeri arası tarama değerinin uygun olduğu belirlenmiştir.

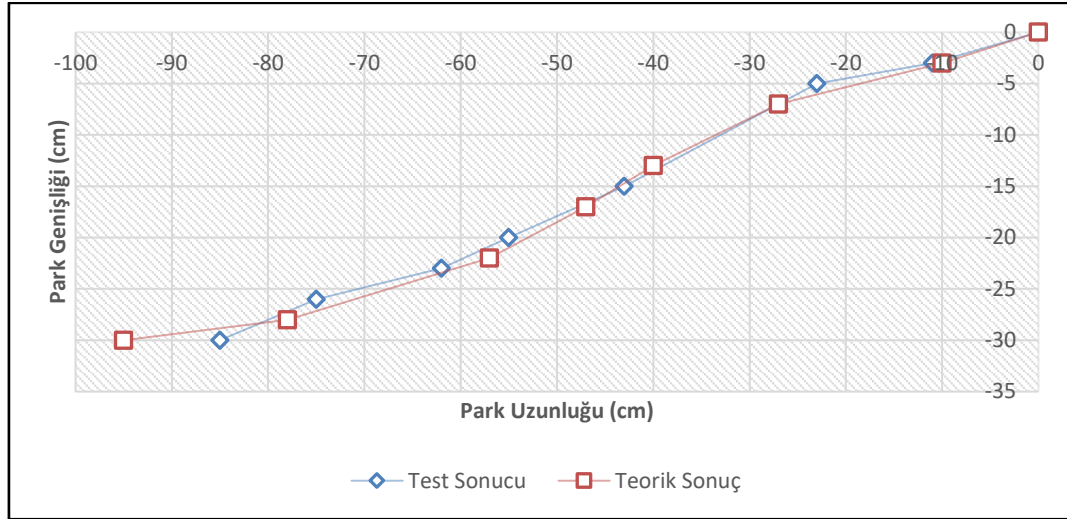
4.2. Park Rota Testleri

Geliştirilen otonom park sisteminin donanım entegrasyonu sonrasında geliştirilen yazılım ile birlikte performans çıktılarını elde etmek için testler gerçekleştirilmiştir. Testlerde aracın farklı başlangıç konumları için gerçekleştirdiği manevralar izlenmiştir. Teorik hesaplarla karşılaştırma yapabilmek için zemin olarak ölçekli kâğıt kullanılmıştır. Manevralar sırasında video kaydı alınarak aracın izlediği güzergâh üzerinden ölçümler yapılmış ve koordinatlar belirlenmiştir. Şekil 4.7’de oluşturulan ölçekli test parkuru gösterilmiştir.

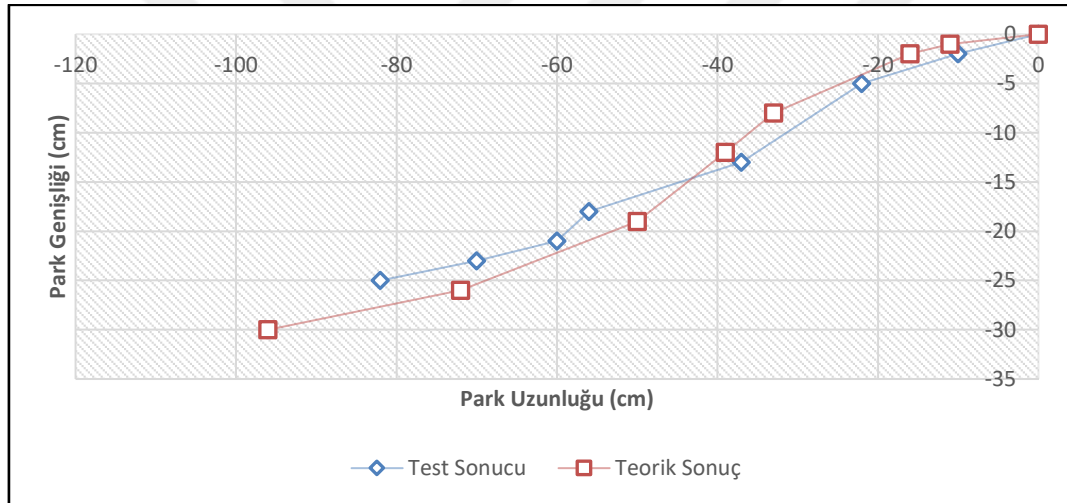


Şekil 4.7. Ölçekli test parkuru

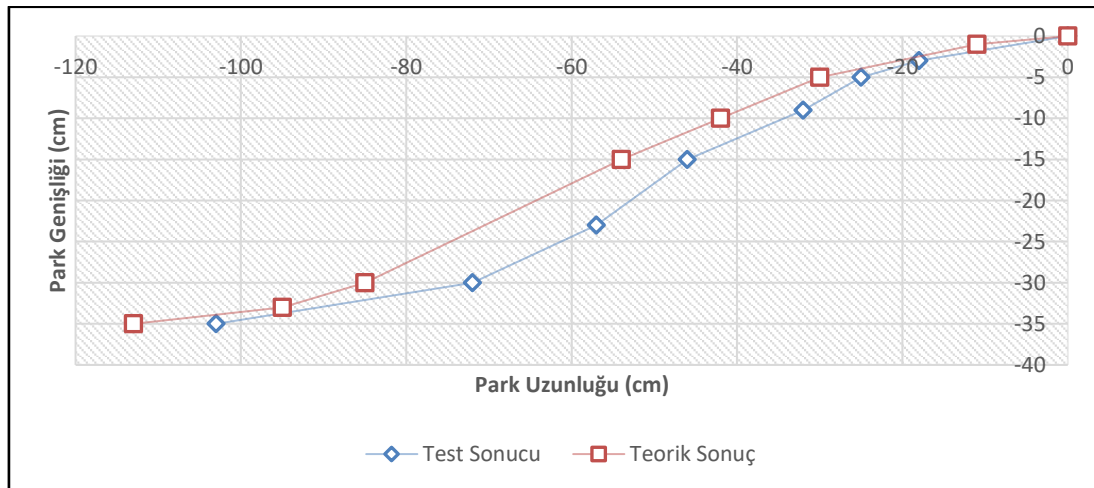
Aracın uygun park boşluğuna park işlemini gerçekleştirebilmesi için gerekli manevralar bilgisayar kontrol yazılımı tarafından belirlenmektedir. Bilgisayar tarafından hesaplanan rotanın model araç tarafından ne kadarlık bir doğruluk ile gerçekleştirildiğini ortaya koymak ve sistemin performansını belirlemek için testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler için ölçekli bir zemin hazırlanarak manevralar gerçekleştirilirken video kaydı alınmıştır. Daha sonra aracın gerçekleştirdiği manevralar üzerinden ölçümler alınarak grafikler oluşturulmuştur. Başlangıç koşulu referans alınarak gerçekleştirilen teorik hesaplar aynı grafiğe eklenerek sonuçlar ortaya konulmuştur. Grafiklerde “0” pozisyonu park başlangıç konumunu, grafiğin sol alt noktası park bitiş konumunu göstermektedir. Testler grafiklerin altında yazan başlangıç pozisyonlarına göre gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.8 - Şekil 4.17 arasında farklı başlangıç koşulları için elde edilen sonuç grafikleri gösterilmiştir.



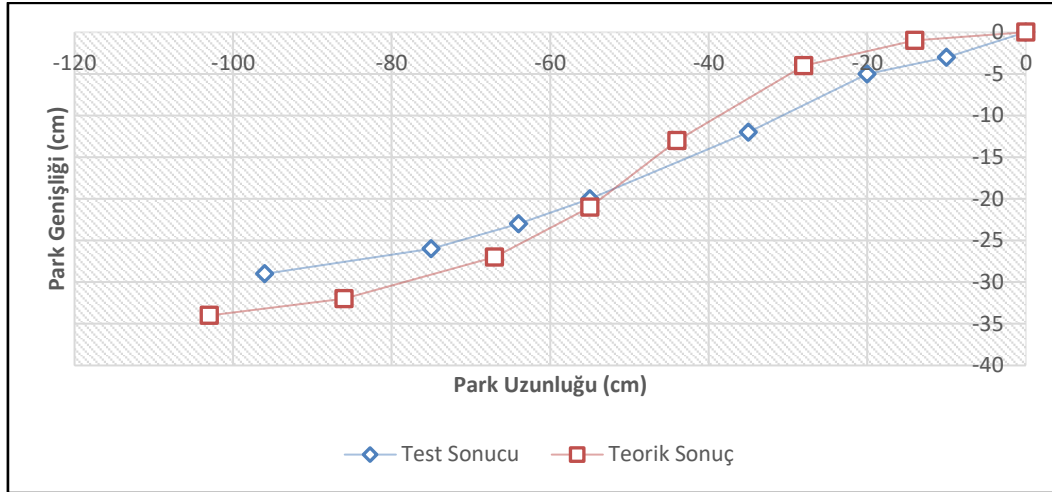
şekil 4.8. Yandaki araca olan uzaklık 5 cm, doğrultu açısı 0°



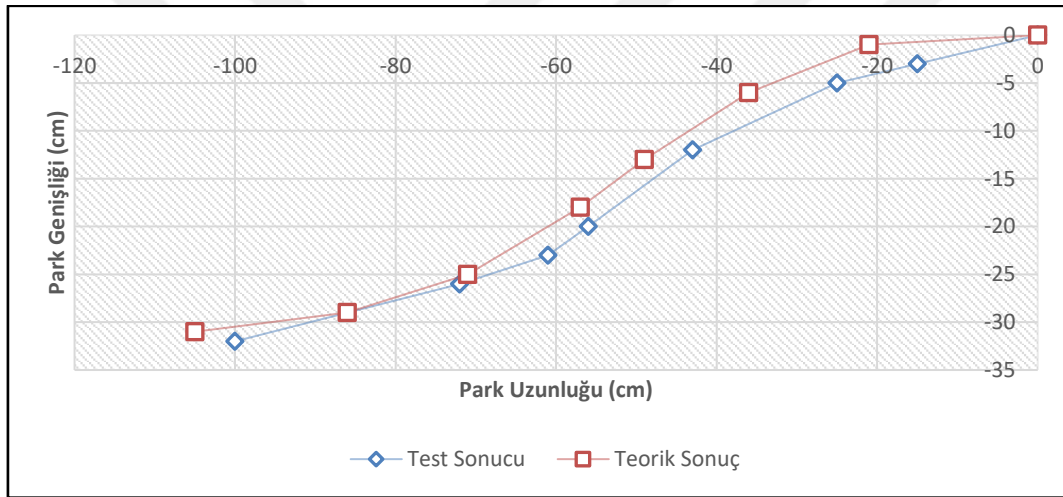
şekil 4.9. Yandaki araca olan uzaklık 5 cm, doğrultu açısı 1°



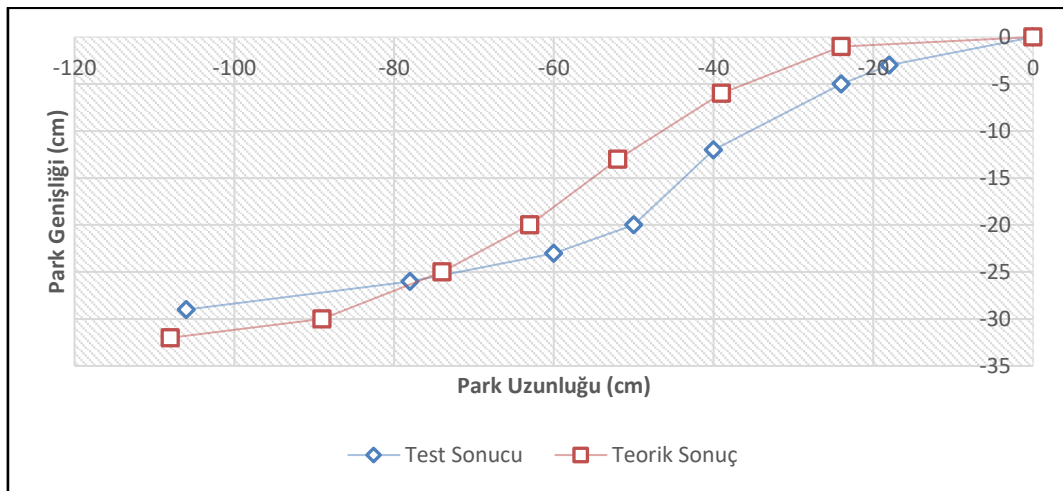
şekil 4.10. Yandaki araca olan uzaklık 10 cm, doğrultu açısı 0°



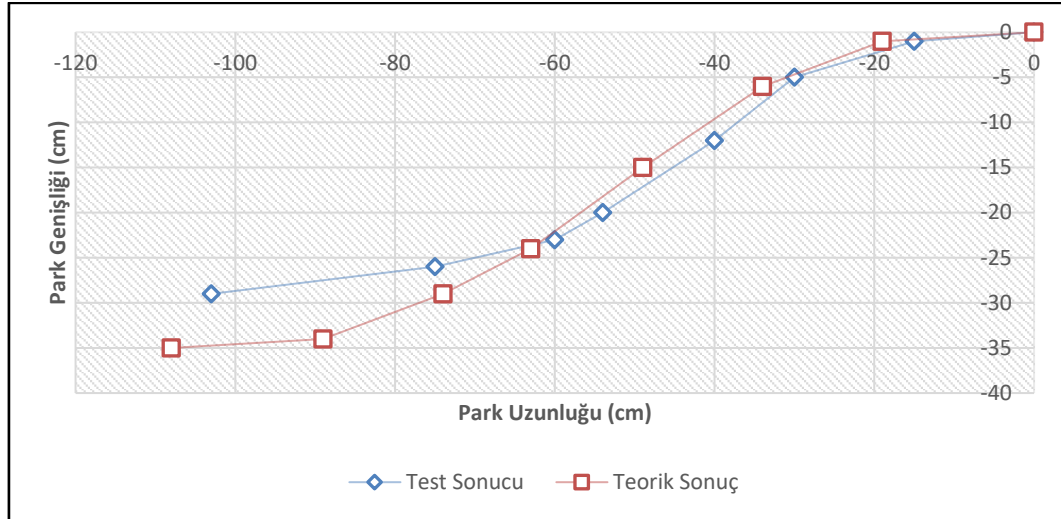
Şekil 4.11. Yandaki araca olan uzaklık 9 cm, doğrultu açısı 0°



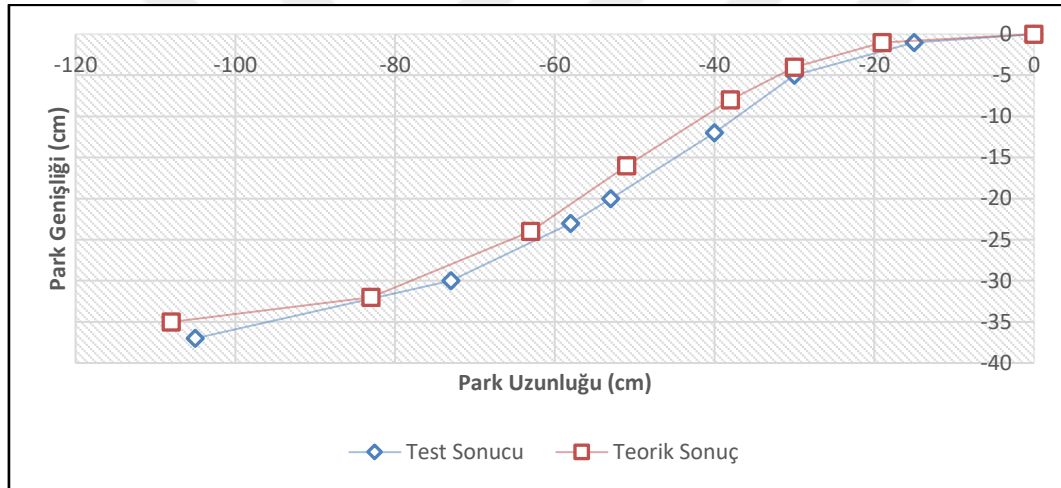
Şekil 4.12. Yandaki araca olan uzaklık 7 cm, doğrultu açısı 1°



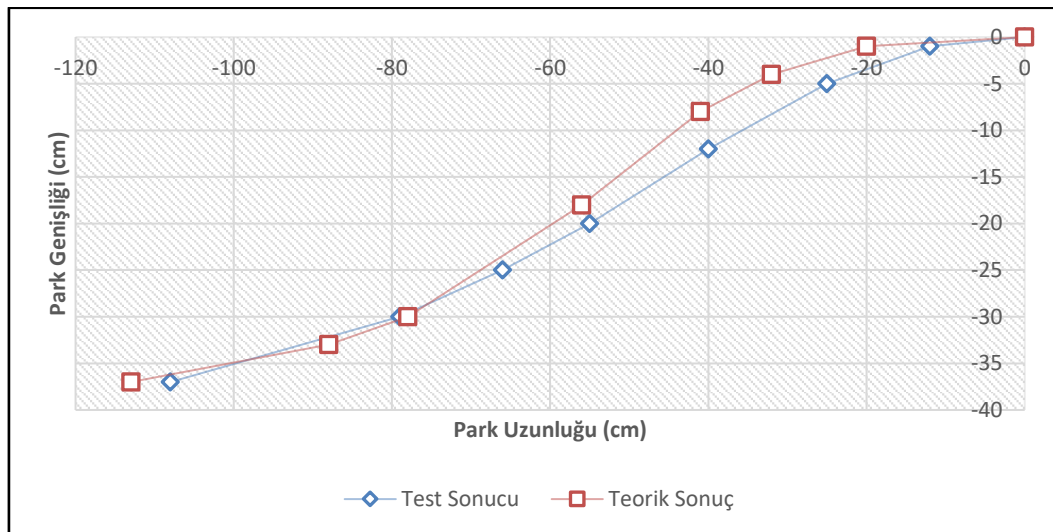
Şekil 4.13. Yandaki araca olan uzaklık 9 cm, doğrultu açısı 1°



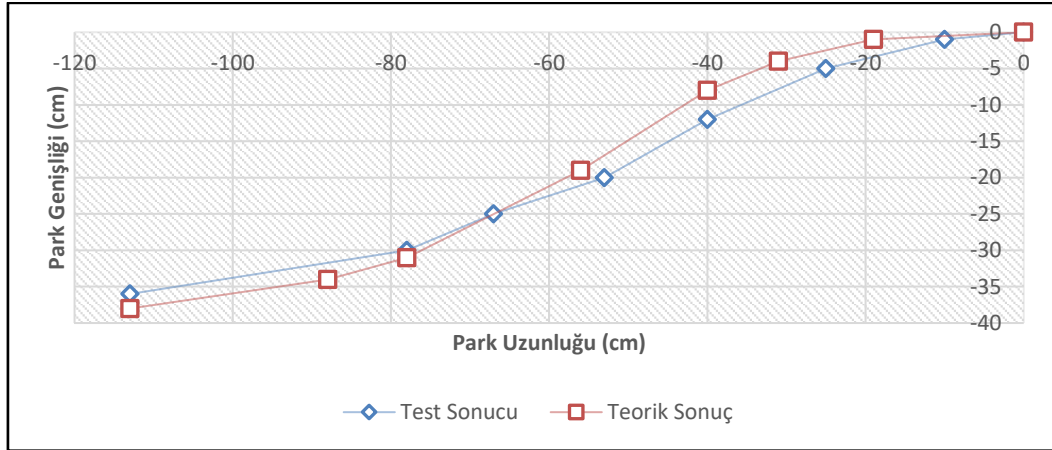
Şekil 4.14. Yandaki araca olan uzaklık 10 cm, doğrultu açısı 1°



Şekil 4.15. Yandaki araca olan uzaklık 10 cm, doğrultu açısı 2°



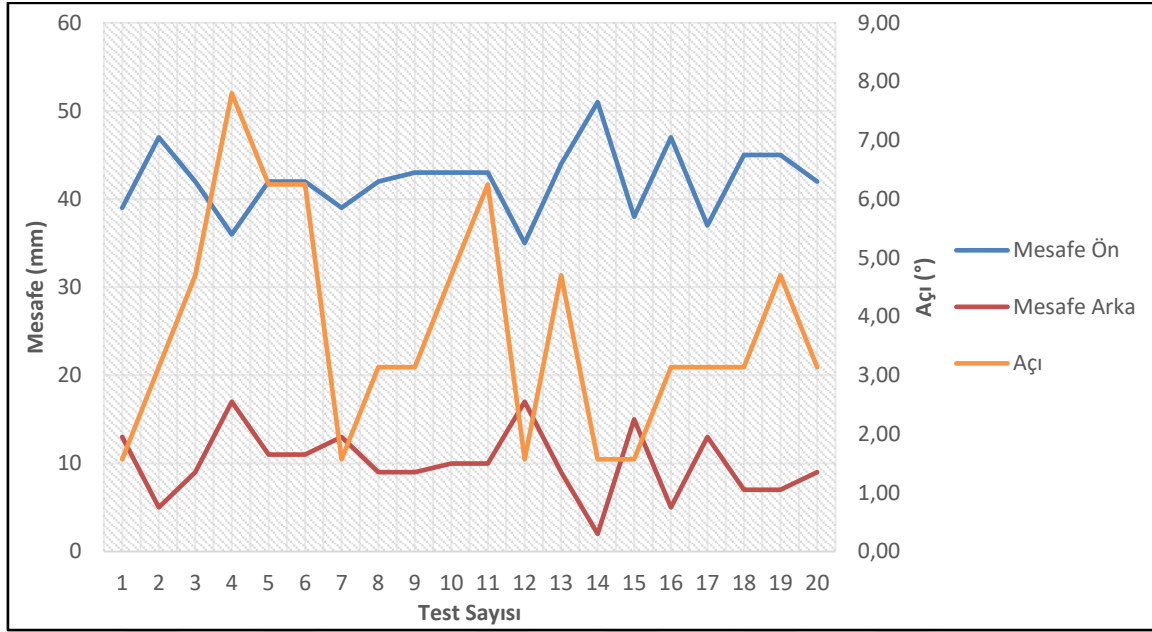
Şekil 4.16. Yandaki araca olan uzaklık 12 cm, doğrultu açısı 3°



Şekil 4.17. Yandaki araca olan uzaklık 13 cm, doğrultu açısı 3°

Gerçekleştirilen testler sonrasında elde edilen sonuçlar incelendiğinde geliştirilen park sisteminin teorik hesaplara yakın değerler ile park işlemini tamamladığı görülmüştür. Teorik hesaplar ile gerçekleştirilen testler arasında beklenildiği üzere farklılıklar meydana gelmiştir. Sonuçlar yandaki araca olan mesafe ve doğrultu açısı arttıkça teorik hesap değerinden uzaklaşmaktadır. Bunun sebebi yapay sinir ağının eğitimi sırasında yandaki araca olan mesafe ve doğrultu açısı değerleri için sınırlı bir aralığın belirlenmiş olmasıdır. Bu kabul gerçek hayatta dar bir alanda park işleminin gerçekleştirilmesi için yandaki araca olan mesafesinin kısa olması gerektiği yaklaşımıyla yapılmıştır. Park işlemlerinde meydana gelen hatalar ise seçilen platformun güç aktarma ve yönlendirme sistemlerinde bulunan mekanik boşluklar ve sürtünme kayıplarından meydana gelmektedir. Araç üzerinde ayarlanabilir mekanik sistemler için iyileştirmeler yapılmış ve testler ile en az hata oluşan ayarlar sabitlenerek testler gerçekleştirilmiştir. Bu noktada araçtan ve geliştirilen yapay sinir ağı hesaplarından kaynaklanan hatalar en aza indirilerek sistem performansı en iyi seviyeye getirilmiştir. Bu sistemin testleri icra edilerek sonuçlar ortaya konulmuştur.

Park rota testlerinde aracın park işlemi sırasında gerçekleştirdiği manevraları gözlemlemek için başlangıç şartı sabitlenerek çok sayıda park işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu testler sırasında aracın yan araç ile olan mesafesi 5 cm, doğrultu açısı 0° ve park başlangıç noktasına olan mesafe 15 cm olduğu durum başlangıç pozisyonu olarak sabitlenmiştir. Bu başlangıç şartlarında araç 20 kez park işlemi gerçekleştirmiştir. Testler sonrasında aracın park işlem sonundaki konumunun ön ve arka sınırlara olan uzaklık bilgileri çıktı olarak ele alınmıştır.



Şekil 4.18. Test sonuçları

Sonuçlar incelendiğinde sapmalar ile ölçümlerin belirli değerler arasında kaldığı görülmektedir. Değerlerdeki bu farklılığın araç mekaniğinde bulunan boşluklar ve seçilen sensörlerin hata paylarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Test sonuçlarından sonra araç mekaniği incelenmiş aracın fiziksel sınırlarında olduğu bu sebeple model araç değiştirilmeden araç tarafında meydana gelen hataların azaltılamayacağı tespit edilmiştir. Ayrıca sürtünme ve patinaj kayıplarını en aza indirmek için araç park etme hızı olabildiğince düşük olarak ayarlanmıştır. Buna rağmen zemin ile tekerler arasında oluşan kaymalar ortadan kaldırılamamıştır.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tezde araçlarda kullanılan otonom sistemlerden otonom park sistemi üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma başlangıcında mevcut durumu ortaya koymak üzere otonom park sistemleri modelleri ve park işlem basamakları, gerçekleştirilen detaylı literatür taraması ile incelenmiştir. Konu hakkında gerçekleştirilen çalışmaların genellikle araç üzerinde yer alan sensörler ile uygun park yerinin bulunması ve aracın park edebilmesi için gerekli manevraların hesaplanması üzerine yoğunlaştığı görülmüştür. Bu çalışmada ise araç üzerinde bulunan LIDAR sensör ile park yerinin tespit edilerek sonrasında yapay sinir ağı ile park rotasının belirlenmesi ve test aracının park yerine uygun manevralar ile park etmesi sağlanmıştır.

Uygun park yerinin tespit edilmesi için sensörlerden alınan mesafe bilgileri kullanılarak aracın içinde bulunduğu ortamın haritası çıkartılabilmektedir. Bu yöntem iki boyutta alınan ölçümler ile gerçekleştirildiği gibi üç boyutlu alınan ölçümlerden nokta bulutu kullanılarak da oluşturulabilmektedir. Üç boyutlu tarama sensörlerinin ağır ve hacimli olması, model araç üzerine uygulanabilirliği konusunda dezavantaj oluşturmaktadır. Buna ek olarak alınan üç boyutlu tarama ile elde edilen değerlerin örneklem sayısı çok fazla olmaktadır. Ölçüm değerinin fazla olması sistem üzerinde kullanılan haberleşme ağını sürekli meşgul etmektedir. Çalışmada iki boyutta sürekli tarama gerçekleştirebilen bir LIDAR sensör ile ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümler 15° ile 165° arasındaki değerler için bir veri seti oluşturularak yazılım tarafından daha kolay işlenebilir hale getirilmiş ve haberleşme protokolü sürekli meşgul edilmemiştir. Alınan veri seti bilgisayar kontrol yazılımında değerlendirilerek araç boyutları ve kinematik limitleri çerçevesinde park boşluğu tespit edilmektedir.

Aracın uygun yere park edebilmesi için manevra hesaplarında aracın fiziksel boyutları ve kinematik sistemlerin geometrik limitleri kullanılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarda benzer şekilde araç boyutlarını ve araç dönüş yarıçap bilgilerini referans alarak aracın çarpışma olmadan gerçekleştireceği park işlemi için gerekli genişlik ve derinlik değerleri tespit edilmiştir. Aracın manevra işlemleri geometrik eşitlikler kullanılarak iki boyutlu bir çizim programında oluşturulmuştur. Bunun sonucu olarak aracın uygun kabul edilen park

yerine başarı ile park edebilmesi için park başlangıç konum ve açı değerlerinin limit değerleri tespit edilmiştir.

Sistem yazılımı araç kontrol yazılımı ve bilgisayar kontrol yazılımı olmak üzere iki bölümden oluşturulmuştur. Daha yetenekli donanım ve ekipmanlar kullanılarak tek bir yazılım altyapısı ile sistem geliştirilmesi mümkündür. Ancak bu çalışmada piyasada yaygın olarak bulunabilen sınırlı kapasiteli kontrol kartları kullanıldığından iki farklı yazılımla park sistemi oluşturulmuştur.

Park işleminin gerçekleştirilmesi için bilgisayar kontrol yazılımı tarafında kullanılan metotlar literatürde yer alan çalışmalarda incelenmiştir. Bulanık mantık, hızlı keşfedilen rastgele ağaç yöntemi ve yapay sinir ağları otonom park sistemlerinde kullanılan yaygın yöntemler olarak görülmüştür. Teorik hesaplar ile ortaya çıkarılan değerler için sistemin eğitilerek istenilen sonuca yakın değerler vereceği öngörüsü ile çalışmada yapay sinir ağı kullanılmıştır. Öncelikle yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Eşitlikler göz önünde bulundurularak hangi değişkenlerin girdi ve çıktı olarak kullanılacağı belirlenmiştir. Yapay sinir ağının tek katlı veya çok katlı olması gerçekleştirilen ön model çalışmaları ile belirlenmiştir. Çok katmanlı yapay sinir ağının park sistemi performansı daha yüksek olduğu için iki gizli katmanı bulunan çok katmanlı ağ yapısı seçilmiştir. 1. gizli katmanda 7, 2. gizli katmanda 9, çıkış katmanında ise 5 nöron kullanılmıştır. Gizli katmanlarda transfer fonksiyonu olarak tanjant sigmoid fonksiyonu, çıkış katmanında ise lineer fonksiyon kullanılmıştır. Yapay sinir ağı araç hareket denklemleri ile yandaki araca olan mesafe ve açı değerleri kullanılarak oluşturulan 115 farklı başlangıç senaryosuna göre eğitilmiş ve kontrol yazılımına entegre edilmiştir. Yapay sinir ağı park işlemi için yan araca olan mesafe ve doğrultu açısı bilgileri çalışmada başlangıç değerleri olarak kabul edilmiş ve uygulanmıştır. MATLAB neural network arayüzünde elde edilen grafiklerde %99 korelasyon değeri ile park sisteminin başarıyla geliştirildiği görülmüştür. Eğitilen veri sayısı ve çeşitleri arttırıldığında farklı başlangıç senaryoları için de park işleminin başarı ile gerçekleştirileceği değerlendirilmektedir.

Yapılan çalışma ile otonom park sisteminin farklı problemlerin çözümlerinin birleştirilmesi ile ortaya çıktığı görülmüştür. Başlangıç için park senaryosu seçilmeli ve seçilen bu senaryo için park akışı oluşturulmalıdır. Oluşturulacak her park senaryosu farklı bir çözüm gerektirdiği için geliştirilen sistemler farklılıklar içermektedir. Birden farklı senaryo

çözümü içeren park sistemleri için donanım seçimi bu senaryolarda ihtiyaç duyulacak gereksinimleri karşılayacak yetenekte olmalıdır. Özetle otonom park sistemi geliştirilmesi için çok sayıda değişken bulunmaktadır. Problemin çözümü için park sisteminin sınırları belirlenmelidir. Çünkü bu sınırlar içerisinde gerçekleştirilecek olan park işlemi için donanım seçimleri park sistemi performansını doğrudan etkilemektedir.

Geliştirilen otonom park sistemin performansı yapılan testler ile belirlenmiştir. Yapılan testlerde ilk olarak aracın sabit başlangıç koşullarında tekrarlı olarak park etmesi sağlanmış, aracın aynı rotayı takip etme performansı ve park sonu pozisyonları belirlenmiştir. Bu testin sonuçlarına göre park rotasında ve park sonu konumlarında kabul edilebilir düzeyde farklılıklar olduğu görülmüştür. Sonrasında aracın farklı başlangıç koşullarında teorik hesaplarda elde edilen rotayı hangi ölçüde takip ettiği belirlenmiştir. Gerçekleştirilen testler ile sistemin beklenen sapma/hata değerleri ile park işlemini başarıyla gerçekleştirdiği görülmüştür. Oluşan bu hata ve sapma değerlerinin kullanılan aracın mekanik toleranslarından, araç tekeri ile zemin arasında meydana gelen kaymalardan, araç üzerine yerleştirilen sensörlerin ölçümlerin hassasiyetleri ve doğruluk seviyelerinden ve geliştirilen modelin hata payından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte araç kaynaklı hataların toplam sistem performansı üzerinde önemli oranda etkili olduğu değerlendirilmektedir.

Günümüzde kullanılan park sistemlerinin anlaşılması ve geliştirilebilir yönleri ortaya koymak için yapılan bu çalışmada geliştirilen otonom park sistemi model araç üzerine uygulanmış olsa da otomobil üzerine uygulanabilecek bir sistem için temel oluşturabilecek yetenektir. Sistemin otomobil üzerine uygulanabilmesi için kullanılacak sensör seçimlerinin araç boyutları göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Çalışmada gerçekleştirilen test sonuçlarında görüldüğü üzere daha hassas ölçüm almak ve daha az hata ile park etmek için seçilen sensörlerin hassasiyeti ve çalışma sınır değerleri park performansını etkilemektedir. Ayrıca testlerde kullanılan araç platformunun mekanik yapısında bulunan boşluklar ve toleransların sistem performansını büyük oran etkilediği tespit edilmiştir. Mekanik toleransların daha az olduğu bir model araç üzerinde hassasiyet ve doğruluk payları daha yüksek sensörler kullanılarak aracın otonom park performansının iyileştirilebileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca bu çalışmada geliştirilen otonom park sisteminin tam boyutlu bir otomobil üzerine uygulanarak sistemin performansı

belirlenebilir. Gerçek bir araç üzerine uygulanması durumunda sistemin fonksiyonel güvenliği, olası kaza durumlarının engellenmesi, yaya ve yolcu güvenliğine yönelik çalışmalarında yapılabileceği değerlendirilmektedir.



KAYNAKLAR

1. Society of Automobile Engineers, *J3016 Levels of Autonomous Driving*, 2021
2. Yüzgeç, U. ve Şahin, S. (2016). Mobil Otonom Park Etme (MOPA) Uygulaması Geliştirilmesi. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi* 9(2), 27-33.
3. Paromtchik, I. and Laugier, C. (April 1996). Motion Generation and Control for Parking an Autonomous Vehicle. *Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 4(1), 3117- 3122.
4. Lee, S., Kim, M., Youm, Y. and Chung, W. (1999). Control of a Car-like Mobile Robot for Parking Problem. *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, 1(1), 1-6.
5. Lee, B., Wei, Y. and Guo, Y. (18-22 September 2017). Automatic Parking Of Self-Driving Car Based On LIDAR. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W7, 2017 ISPRS Geospatial, Wuhan, China, 241 – 246.
6. Ağvan, U. (September 2003). *Design And Control Of A Self-Parking Model Car*. A Master Thesis, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of The Middle East Technical University.
7. Hongbo, G., Guotao, X., Xinyu, Z. and Bo, C. (August 2017). *Autonomous parking control for intelligent vehicles based on a novel algorithm*. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications., 24(4), 51–56.
8. Ibish, A., Stümper, S., Altinger, H., Neuhausen, M., Tschentscher, M., Schlipf, M., Salmen, J., and Knoll, A. (June 23-26, 2013). *Towards Autonomous Driving in a Parking Garage: Vehicle Localization and Tracking Using environment-embedded LIDAR Sensors*. 2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Gold Coast, Australia, 829 – 834.
9. Firdaus, A.Z.A., Shinn, A.W., Hashim, M.S.M., Khalid, N.S., Ismail, I.I. and Ridzuan, M.J.M. *Design and Simulation of Fuzzy Logic Controlled Car Parking Assist System*. Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering, 81 – 87.
10. Zhao, Y., and Collins, (2019). *Fuzzy Logic Control of Autonomous Vehicles for Parallel Parking Maneuver*.
11. Nourinejad, M., Bahrami, S., and Roorda M.J. (2018). Designing parking facilities for autonomous vehicles. *Transportation Research Part B* 109, 110–127
12. Cosetl, R.C., Alvarez, M.Z.M. and Palomares, R.A. (2009). *Self-Parking System Based in a Fuzzy Logic Approach*. 2009 International Conference on Electrical, Communications and Computers, 119 – 124.
13. Al-Turjman, F., and Malekloo, A. (2019). *Sustainable Cities and Society*, 49 - 101608.
14. Millard, A.B. (2019), *The autonomous vehicle parking problem*. *Transport Policy* 75 (1).

15. Aydın, I., Karaköse, M. ve Karaköse, E. (2017). *A Navigation and Reservation Based Smart Parking Platform Using Genetic Optimization for Smart Cities*. 5. Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler ve Şehirler Kongre ve Fuarı. ICSG İstanbul.
16. Im, G., Kim, M. and Park, J. (2019). *Parking Line Based SLAM Approach Using AVM/LIDAR Sensor Fusion for Rapid and Accurate Loop Closing and Parking Space Detection*. Sensors, 19, 4811.
17. Thomas, D. ve Kooroor, B.C. (December 2017). *A Genetic Algorithm Approach to Autonomous Smart Vehicle Parking system*. 6th International Conference on Smart Computing and Communications, ICSCC 2017, 7-8, 68 – 76.
18. Zhang, W., Z., Guhathakurta, S., Fang, J. and Zhang, G. (2015). *Exploring the Impact of Shared Autonomous Vehicles on Urban Parking Demand: An Agent-based Simulation Approach*. Sustainable Cities and Society, 19, 34-35.
19. Bravo, F.G., Cuesta, F. and Ollero, A. (2001). *Parallel and diagonal parking in nonholonomic autonomous vehicles*. Engineering Applications of Artificial Intelligence 14 (2001), 419–434.
20. Gupta, A., Divekar, R. and Agrawal, M. (2010). *Autonomous Parallel Parking System For Ackerman Steering Four Wheelers*. 2010 IEEE, 1-6.
21. Sidharta, H.A., Sidharta and Sari, W.P. (May 2019). *2D Mapping and Boundary Detection Using 2D LIDAR Sensor for Prototyping Autonomous PETIS (Programable Vehicle with Integrated Sensor)*. KINETIK, 4(2), 107-114.
22. Arun T. S. and Prof. Krishna S. (March 2018). *Autonomous 2D Mapping of an Unknown Environment using Single 1D LIDAR and ROS*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 10 – 13.
23. Ren, R., Fu, H. and Wu, M. (2019). *Large-Scale Outdoor SLAM Based on 2D LIDAR*. Electronics 2019, 8, 613
24. Duong, E., Patel, Shi, L., Patel, S. and Ward, E. (2015). *LIDAR Based Home Mapping: Using the OSLRF 01 and Arduino to Generate Floor Plans*. Web: <https://soe.rutgers.edu/sites/default/files/imce/pdfs/gset-2014/GSET2015-LIDAR.pdf> Erişim Tarihi: 10.12.2021
25. Feng, Y., Schlichting, A. and Brenner, C. (2016). *3D Feature Point Extraction From LIDAR Data Using A Neural Network*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 2016, 563 – 569.
26. Açikel, S. ve Gökçen, A. (October 2019). *Localization and Point Cloud Based 3D Mapping with Autonomous Robots*. European Journal of Science and Technology Special Issue, 82 – 92.
27. Liu, Y. and Sun, Y. (June 30-July 2, 2012). *Mobile Robot Instant Indoor Map Building and Localization Using 2D Laser Scanning Data*. International Conference on System Science and Engineering, 339 – 344.
28. Minguez, J., Montesano, L. and Lamiraux, F. (2005). *Metric-Based Iterative Closest Point Scan Matching for Sensor Displacement Estimation*. In Submitted As A Short Paper To The Ieee Transactions On Robotics, 22(5), 1047-1054.

29. Zhang, Y. (2018), *Localization and 2D Mapping Using Low-Cost LIDAR*. Master of Science in Technology, 31, 67
30. Boniardi, F., Caselitz, T., Kümmerle, R. and Burgard, W. (2017). *Robust LIDAR-based Localization in Architectural Floor Plans*. 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS).
31. Hess, W., Kohler, D., Rapp, H. and Andor, D. (2016). *Real-Time Loop Closure in 2D LIDAR SLAM*. 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA).
32. Zhang, J. and Singh, S. *LOAM: LIDAR Odometry and Mapping in Real-time*. The paper is based upon work supported by the National Science. Foundation under Grant No. IIS-1328930
33. Shan, T. and Englot, B. (2018). *LeGO-LOAM: Lightweight and Ground-Optimized LIDAR Odometry and Mapping on Variable Terrain*. 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems ,2(9).
34. Liang, Z., Zheng, G. and Li, J. (August 2012). *Automatic Parking Path Optimization Based on Bezier Curve Fitting*. Proceeding of the IEEE International Conference on Automation and Logistics Zhengzhou, China.
35. Esiyok, B., Turkmen, A.C., Kaplan, O. ve Celik, C. (November 2017). *Autonomous Car Parking System with Various Trajectories*. Periodicals of Engineering and Natural Sciences 5(3), 364 – 370.
36. Filatov, D.M., Serykh,E.V., Kopichev, M.M. and Weinmeister, A.V. (2016). *Autonomous Parking Control System of Four-Wheeled Vehicle*. 2016 IEEE
37. Wegener, J. and Bühler, O. (2004). *Evaluation of Different Fitness Functions for the Evolutionary Testing of an Autonomous Parking System*. K. Deb et al. (Eds.): GECCO 2004, LNCS 3103,2004, 1400–1412.
38. Scicluna, N., Gatt, E., Casha, O., Grech, I. and Micallef, J. (2012). *FPGA-Based Autonomous Parking of a Car-Like Robot Using Fuzzy Logic Control*. 2012 IEEE
39. Flores, C.D.P., Angel, M., Gutierrez, H. and Palomares, R.A. (2005). *Fuzzy Logic Approach to Autonomous Car Parking Using MATLAB*. Proceedings of the 15th International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP 2005).
40. Wang, Y. and Zhu, X. (June 17-19, 2013). *Hybrid Fuzzy Logic Controller for Optimized Autonomous Parking*. American Control Conference (ACC) Washington, DC, USA.
41. Zheng, K. and Liu, S. (2018). *RRT based Path Planning for Autonomous Parking of Vehicle*. 2018 IEEE 7th Data Driven Control and Learning Systems Conference.
42. Yi, Y., Member IEEE, Lu, Z., Xin, Q., Jinzhou, L., Yijin, L. and Jianhang, W. (June 11-14, 2017). *Smooth Path Planning for Autonomous Parking System*. 2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Redondo Beach, CA, USA.
43. Küçükaya, T. (2008), *Direksiyon Sisteminin Matematiksel Modellenmesi ve Simülasyonu*. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Yüksek Lisans Tezi.
44. Lin, L. and Zhu, J. (November, 2018), *Path Planning For Autonomous Car Parking*. Proceedings of the ASME 2018 Dynamic Systems and Control Conference,1-10.

45. Chen, C., Wu, B., Xuan, L., Chen, J. Wang, T. and Qian, L. (2020). *A Trajectory Planning Method for Autonomous Valet Parking via Solving an Optimal Control Problem*. Sensors 2020, 20, 6435.
46. Çavuşoğlu, T, (2021). *Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Ekonomisinde Doğrudan Yabancı Sermaye Yatırımları*, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi.
47. Ergezer, H., Dikmen, M. ve Özdemir, E. *Yapay Sinir Ağları ve Tanıma Sistemleri*. Pivolka Sayı:6, Sayfa 14.
48. Prof. Dr. Öztemel, E. *Yapay Sinir Ağları*, 3. Basım, Nisan, 2012.





GAZİ GELECEKTİR..