TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

ROBOTAKSİ – BİNEK OTONOM ARAÇ YARIŞMASI

(ÖZGÜN ARAÇ KATEGORİSİ)

KRİTİK TASARIM RAPORU

TAKIM ADI: GÜMÜŞ ARGE TAKIMI

TAKIM ID: 351464

Takım Organizasyonu **5**
1.1 Yazılım Ekibi 5
1.2 Elektronik Ekibi 5
1.3 Mekanik Ekibi 5

Ön Tasarım Raporu Değerlendirmesi **6**
2.1 Yazılım 6
2.1.1 Sensörler 6
2.1.2 Şerit Tespit Algoritması 6
2.1.3 Simülasyon 6
2.2 Mekanik Değerlendirmesi 7
2.3 Bütçe 8

Araç Mekanik Özellikleri **9**
3.1 Şasi ve İskelet Sistemi 10
3.2 Tekerlek ve Süspansiyon Sistemi 11
3.3 Fren Sistemi 14
3.3.1 Brake-by-Wire 14
3.3.2 Fren Hesaplaması 15
3.4 Direksiyon Sistemi 15
3.4.1 Steer-by-Wire 16
3.4.2 Direksiyon Sistemi Tork Hesaplaması 16
3.5 Gövde 18
3.6 İç Mekân 19
3.7 Güç Sistemi 20
3.7.1 Maksimum Hız Hesaplaması 20
3.7.2 Eğimli Yolda Güç Hesaplaması 20
3.7.3 Tekerlere Aktarılan Güç ve Patinaj Hesaplamaları 20
3.7.4 Pedal by Wire 21
3.8 Alt Sistem ve Temel Birleşenler Arası Arayüzler 22
3.8.1 Fren Kolu ve Fren Motoru Arası Bağlantı 22
3.8.2 Enkoder Bağlantısı 22
3.8.3 Direksiyon Motoru ve Potansiyometre 23

Donanım Mimarisi **23**
4.1 Sensörler 24
4.1.1 Kamera 24
4.1.1.1 Derinlikli Kamera 25
4.1.1.2 Takip Kamerası 26
4.1.1.3 WEB Kamera 27
4.1.2 Enkoder 28
4.1.3 IMU 29
4.2 Haberleşme 30

4.2.1 Araç Bilgisayarının ADKM ile Haberleşmesi 31
4.2.2 Göreve Başlatma Komutunun Verilmesi ve Acil Komutların İletimi 32
4.3 Kontrol Yazılımı 32
4.4 Bataryalar ile ilgili Güvenlik Önlemleri 33
4.4.1 Batarya Koruma Kabı 33
4.4.2 Batarya Yönetim Sistemi 33
4.4.2.1 Batarya Şarj/Deşarj Esasları 34
4.4.2.2 Sıcaklık Kontrol Mekanizması 34
4.5 Kablosuz Acil Durum Kontrol Merkezi 34
4.6 Uzaktan Durdurma 35
4.7 Aşırı Akım Kesiciler 35
4.8 Acil Durumlar İçin Durdurma Butonu 35
4.9 Otonom Güvenli Sürüş Mekanizması 36
4.10 Montaj ve Kablaj Hakkındaki Güvenlik Önlemleri 36
4.11 Otonom Fren Sistemi 37
4.12 Işıklandırma 37
4.13 Harness Diyagramı 37

Yazılım Mimarisi 38
5.1 Şerit Tespit Algoritması 38
5.1.1 Derin Öğrenme ile Şerit Tespiti 38
5.1.1.1 Model Omurgasının Detayları: DLA-34 39
5.1.1.2 Ön ve Arka İşleme (Pre and Post Process) Basamakları 40
5.1.1.3 Model Değerlendirme Şekilleri ve Sonuçları 43
5.1.2 OpenCV 44
5.1.2.1 Görüntünün ilgili yerinin kırpılması 44
5.1.2.2 Adaptive Threshold: 45
5.1.2.3 Konturların Bulunması 46
5.1.2.4 Konturların Filtrelenmesi 47
5.1.3 Haritaya Eklenmesi 48
5.2 Engel Tespit Algoritması 49
5.2.1 Tespit 49
5.2.2 Haritaya Eklenmesi 50
5.3 Tabela Tespit Algoritması 52
5.3.1 YOLO 52
5.3.1.1 Datasetin hazırlanması ve elde edilişi 52
5.3.1.2 Nvidia TensorRT ile Optimizasyon Yapılması 52
5.3.1.2.1 Neden Nvidia TensorRT 52
5.3.1.2.2 Ağırlık ve aktivasyon doğruluk kalibrasyonu: 53
5.3.1.2.3 Katman ve Tensör Füzyonu 53
5.3.1.2.4 Otomatik Çekirdek Ayarlama 53
5.3.1.2.5 Dinamik Tensör Hafızası 53
5.3.1.2.6 Çoklu Akış Yürütme 53

5.3.1.2.7 Sonuç 53
5.3.2 Haritaya Eklenmesi 53
5.4 Odometri Verisinin Elde Edilmesi 54
5.5 Araç Sensör Transformasyonu 55
5.6 Yol Planlama Algoritması 56
5.7 Kontrol Yazılımı 57
5.8 Durak Algoritması 57
5.9 Park Algoritması 58

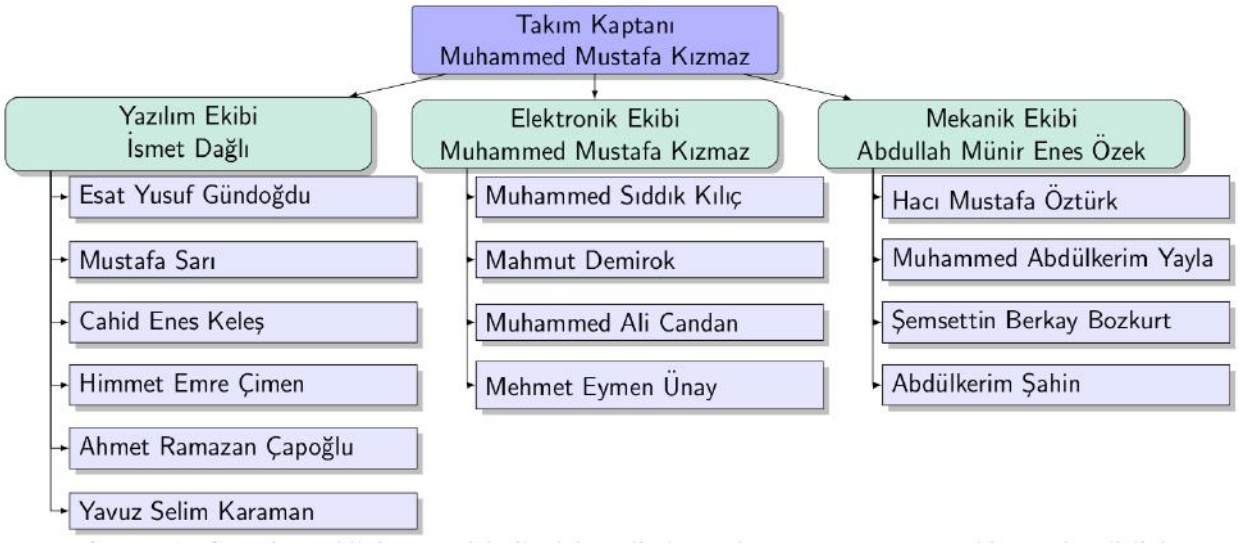
Özgün Bileşenler 60
6.1 Yazılım Alanındaki Özgün Bileşenler 60
6.1.1 Nesne Tespitinde Derin Öğrenmeye Ek Olarak SVM Katmanı Eklenmesi 60
6.1.2 Şerit Tespiti Veri Seti ve Eğitim Kodunun Uyarlanması 60
6.1.3 TensorRT ile GPU Hızlandırma 60
6.2 Mekanik Özgün Bileşenler 61
6.2.1 Şasi ve İskelet 61
6.2.2 Kabuk 61
6.2.3 Süspansiyon Sistemi Geometrisi 62

Test 62
7.1 Sensör Testleri 62
7.1.1 D455 62
7.1.2 T265 63
7.1.3 D455 ve T265 64
7.1.4 Enkoder 64
7.2 Karar Verme Testleri 66
7.2.1 Şerit Tespit OpenCV 66
7.2.2 Şerit Tespit Derin Öğrenme 67
7.2.3 Şeritlerin Haritaya Eklenmesi 67
7.2.4 Tabela 68
7.2.5 Path planning 69
7.3 Davranış Testleri 69
7.3.1 Kontrol Testi 69
7.4 Simülasyon Modeli Testi 72
7.4.1 İvmelenme 72
7.4.2 Yavaşlama 74
7.4.3 Frenleme 75
7.4.4 Yönlendirme 77

Referanslar 81

1. Takım Organizasyonu

Gümüş Arge Takımı; bilgisayar, elektrik-elektronik, kontrol-otomasyon ve makine mühendisliği lisans öğrencilerinden oluşan disiplinler arası bir yapıya sahiptir. Organizasyon; yazılım, elektronik ve mekanik ekipleri olarak üç ana gruptan oluşmaktadır. Her bir grubun başında ilgili alanlarda akademik çalışmalarını sürdüren yetkin ekip liderleri bulunmaktadır.



Şekil 1. Takım organizasyon şeması

1.1 Yazılım Ekibi

Yazılım ekibi, biri takım lideri olmak üzere 7 mühendisten oluşmaktadır. Ekibin başlıca çalışma alanları aşağıda sıralanmıştır:

- Aracın kontrol sistemi
- Şerit takip sistemi
- Aracın karar mekanizması
- Otonom sürüş algoritması ve simülasyon çalışmaları
- Tabela tanıma sistemleri

1.2 Elektronik Ekibi

Elektronik ekibi, biri takım lideri olmak üzere toplam 5 mühendisten oluşmaktadır. Ekibin başlıca görevleri aşağıda sıralanmıştır:

- Aracın elektronik aksamının genel planı ve bağlantıları
- İhtiyaç duyulan elektronik kartların temini ya da tasarımı
- Aracın haberleşme sistemi
- Bataryalar ve batarya yönetim sistemleri

1.3 Mekanik Ekibi

Mekanik ekibi, biri takım lideri olmak üzere 5 mühendisten oluşmaktadır. Ekibin başlıca

görevleri aşağıda sıralanmıştır:

- Aracın mekanik sistemi
- Aracın tasarımı
- Araç kabuk yapımı
- Şasi ve gövde imalatı

2. Ön Tasarım Raporu Değerlendirmesi

Takım olarak ön tasarım raporunun çok dışına çıkmamaya özen göstererek çalışmalarımızı ve araştırmalarımızı hızlandırdık. Yeni çalışma ve araştırmalar sonucunda birtakım değişikler yapmanın daha doğru olduğunu düşünerek bazı yeniliklere başvurduk.

2.1 Yazılım

2.1.1 Sensörler

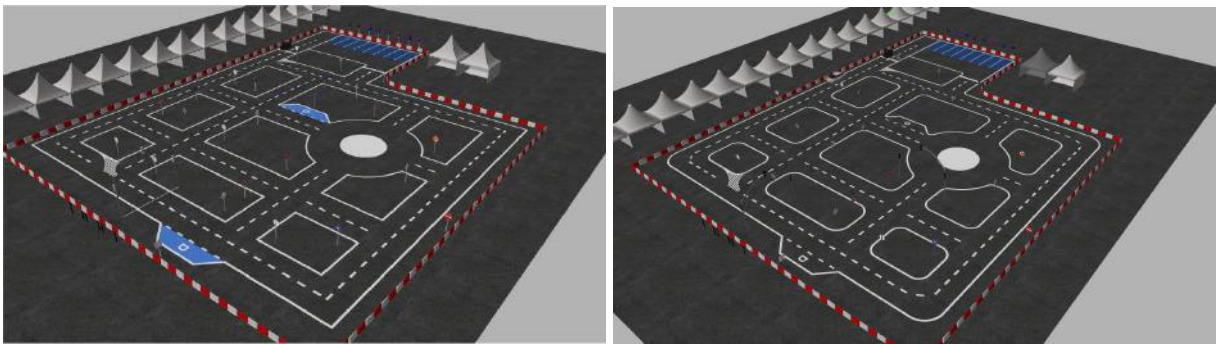
Şerit algılama ve tabela okuma işlemini Intel Realsense D455[1] derinlikli kamera ile yapıyorduk. Bu noktada şeritlerin algılanmasındaki verimliliği artırmak ve daha doğru kararlar verebilmek için aracın alt kısmına yalnızca renkli görüntü alabileceğimiz bir kamera entegre etme kararı aldık.

2.1.2 Şerit Tespit Algoritması

Şerit tespiti algoritmasında genel mantık açısından köklü bir değişikliğe gidilmemiş olsa da birtakım değişiklikler yapıldı. ÖTR'de bahsedilen "LaneNet" model omurgası yerine "DLA-34" omurgasını kullanan bir model ile yeni bir eğitim yapıldı ve sonuçlar daha iyi oldu. "LaneNet" omurgasının bir implementasyonu olan git reposunu kullanarak eğitim yapmaya başladığımızda "loss" değerlerinin çok yüksek değerlerde seyrettiği gözlemlendi ve modelin optimize olmayacağına karar verildi. Yeni model omurgası olan "DLA-34" e ilişkin detaylı bilgi bölüm **5.1.1**'de verilmiştir.

2.1.3 Simülasyon

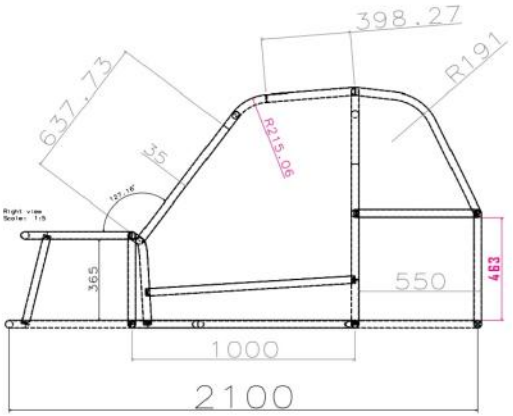
Parkur ortamında keskin dönüşlerdeki şeritlerin köşe kısımlarına Teknofestten gelen dönütler sonucu yumuşatma uyguladık.



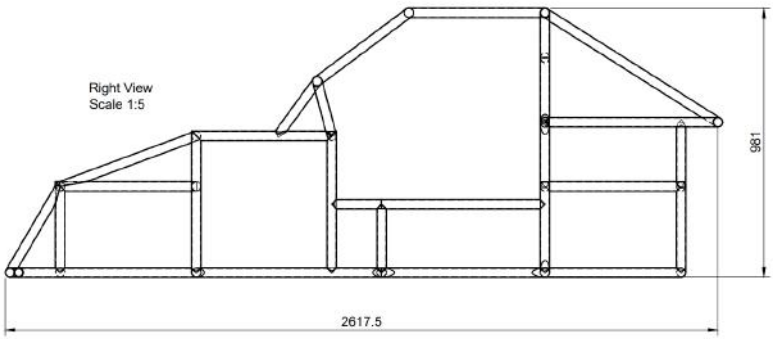
Şekil 3. Şeritlerin yumuşatma uygulanmadan önceki ve uygulandıktan sonraki görünümü

2.2 Mekanik Değerlendirmesi

ÖTR raporunda belirtilen aracın tasarım süreci rapor teslim edildikten sonra da devam etmiştir. Bu süreçte araç için dinamik ve kinematik simülasyonlar yapılmıştır. Aynı zamanda tasarım aşaması biten parçalar için piyasa araştırması yapılmıştır. Bu süreç içerisinde özellikle aracın dinamiğini yüksek oranda etkileyen süspansiyon sistemi parçalarında değişikliğe gidilmiştir. Bu değişiklik aracın temel dinamiğini etkileyeceği için aracın şasi ve iskelet tasarımında da yeni süspansiyon sistemine göre bir değişikliğe gidilmiştir. Aracın eski teknik çizimi Şekil 4'te ,yeni teknik çizimi Şekil 5'te görülebilir. Süspansiyon sistemi seçimlerinde ÖTR'de belirlenen seçimler doğrultusunda ilerlenmiş sadece sistem geometrisinde değişiklik yapılmıştır. Araçta yapılan bu değişiklikler araç ağırlığında fren ve direksiyon sistemini etkileyecek değişikliklere sebep olmamıştır. Buna bağlı olarak ÖTR'de yapılan fren, direksiyon ve tahrik motorlarından istenilen güç hesaplamaları geçerliliğini korumuş ve bu sistemlerde bir değişikliğe gidilmemiştir. Araç üretiminde tasarım aşamasını geçen ürünler ÖTR'de belirlenen materyal seçimlerine bağlı kalınarak üretime geçilmiş ve parçalar satın alınmıştır. Yapılan yenilikler raporda ilgili yerlerde detaylarıyla birlikte verilecektir.



Şekil 4. aracın eski teknik çizimi



Şekil 5. Aracın yeni teknik çizimi

2.3 Bütçe

Tablo 1. Satın alınacak malzemeler için tahmini bütçe

ALINACAK ÜRÜN	FİYAT
3 kw Hub Motor	4600
Hub Motor Sürücü	1700
DC Motor	1000
DC Motor Sürücü	150
STM32 Kartı	600
Batarya Şarj Aleti ve Portu	5500
2 adet Voltaj düşürücü (AC to DC)	800
1 adet Voltaj Yükseltici (DC to AC)	1650
1 adet Pensampermetre	720
Kompozit Kabuk ve Kalıp	40000
Şasi ve İskelet	6500
İç Mekan	10000
Jant ve Lastik	3300
Süspansiyon ve Direksiyon Sistemleri	9300
Fren Sistemi	2600
Bilgisayar	28000
TOPLAM	**116420**

Tablo 2. Satın alınan malzemeler için nihai bütçe ve tedarik şekilleri

ALINAN ÜRÜN	TEDARİK ŞEKLİ	FİYAT
3 kw Hub Motor	Takım Bütçesi	4500
Hub Motor Sürücü	Takım Bütçesi	1600
DC Motor	Takım Bütçesi	1000
DC Motor Sürücü	Takım Bütçesi	130
STM32 Kartı	Takım Bütçesi	600
Batarya Şarj Aleti ve Portu	Takım Bütçesi	5475
2 adet Voltaj düşürücü (AC to DC)	Takım Bütçesi	800
1 adet Voltaj Yükseltici (DC to AC)	Takım Bütçesi	1628
1 adet Pensampermetre	Takım Bütçesi	700
Kompozit Kabuk ve Kalıp	Sponsor	38000
Şasi ve İskelet	Sponsor	6000
İç Mekan	Takım Bütçesi	10000
Jant ve Lastik	Takım Bütçesi	3200
Süspansiyon ve Direksiyon Sistemleri	Takım Bütçesi	9250
Fren Sistemi	Takım Bütçesi	2500
Bilgisayar (Monster Tulpar T7 V25.1.2	Sponsor	27930
TOPLAM		**113313**

3. Araç Mekanik Özellikleri

Şekil 8'de aracın genel sistem sınıflandırması diyagramı verilmiştir. Araç fiziksel olarak yedi alt sistemden oluşmaktadır. Aracın genel özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Şekil 8. Genel Sistem Sınıflandırması

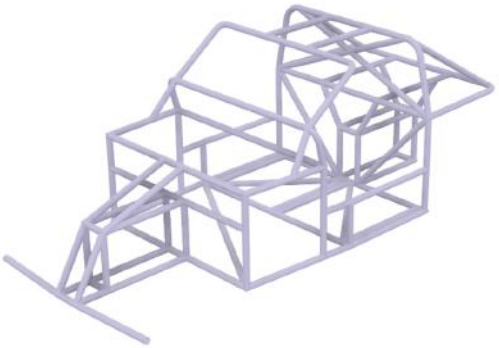
Tablo 3. Genel Araç Özellikleri

Özellik	Değer	Birim
Uzunluk	**2617.5**	**mm**
Genişlik	**1180**	**mm**
Şasi Yüksekliği	**981**	**mm**
Aracın Yerden Yüksekliği	**200**	**mm**
Teker Sayısı	**4**	**#**
Şasi Materyali	**Çelik**	**#**
Kabuk Materyali	**Kompozit**	**#**
Teker çapı	**466.8**	**mm**
Teker Genişliği	**90**	**mm**
İtki Motor Tipi	**Fırçasız DC**	**#**

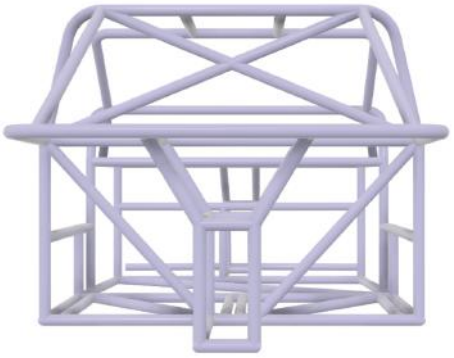
3.1 Şasi ve İskelet Sistemi

Şasi ve iskelet alt sistemi aracın temelini oluşturur ve bağlantı noktaları aracılığıyla tüm diğer sistemler şasi ve iskelete bağlanır. Aracın şasi ve iskelet üretiminde göz önünde bulundurulan ağırlık/dayanıklılık oranının asgari düzeyde olması için çalışılmış ve bu oran

gözetilirken estetik kaygılarından da taviz verilmemiştir. Şasiyi maliyet, üretim, dayanıklılık ve ağırlık gibi özellikler göz önünde bulundurularak takımımızın mekanik ekibi bir CAD programından özgün bir şekilde tasarlamıştır. 33.7 mm çapında 1.5 mm et kalınlığına sahip paslanmaz çelikten üretilen şasimizde toplamda 45242 mm uzunluğunda boru profil kullanılmıştır. Gerekli ölçülerdeki boru profiller temin edildikten sonra bu boruların birbiriyle bağlantısı kaynak işlemi ile yapılmıştır. Araç şasi ve iskeleti üretilirken Şekil 9 ve Şekil 10'te verilen genel CAD çizimi esas alınmıştır. Şasi ve iskelet sistemi Şekil 12'da görüldüğü gibidir.



Şekil 9. Şasi ve iskeletin yandan cad görüntüsü

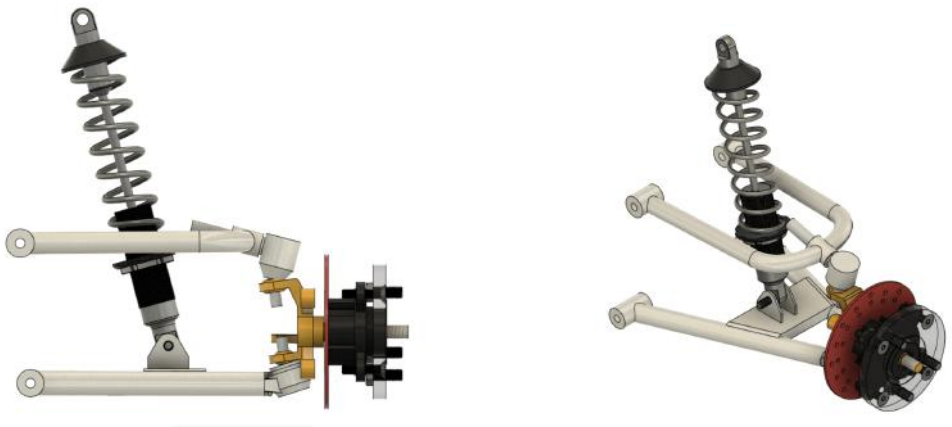


Şekil 10. Şasi ve iskeletin arkadan cad görüntüsü

Şekil 12. Aracın şasi ve iskeletinin bitmiş fotoğrafı

3.2 Tekerlek ve Süspansiyon Sistemi

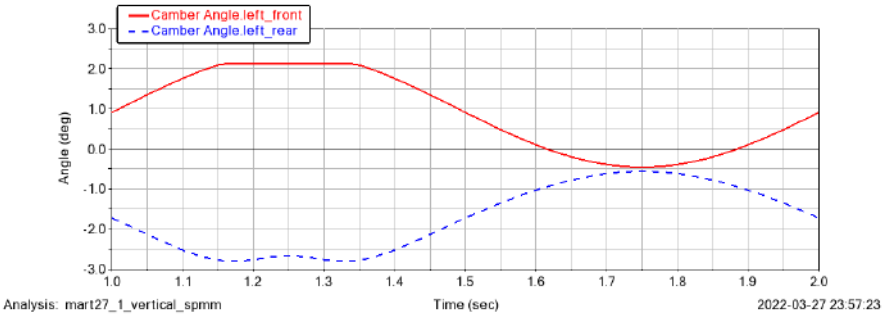
Bir diğer alt sistem olan tekerlek ve süspansiyon alt sistemi şasi ve iskelet ile yer arasındaki bağlantıyı oluşturur. Ek olarak yolcular için konforu da süspansiyon sistemi sağlamaktadır. Araçta double wishbone süspansiyon sistemi ön takım için kullanılırken arka takım için bağımlı cansız aks süspansiyon sistemi kullanılmıştır. Süspansiyon ve tekerlek sistemi tekerlekler, kontrol kolları, king pimi, yaylar, porya ve flanş içerir. Kontrol kolları, king pimi ve yaylar double wishbone süspansiyon sistemin ana parçalarıdır. Porya fren sistemi ve süspansiyon sistemi arasındaki bağlantıyı yaparken flanş süspansiyon ve tekerlekler arasındaki bağlantıyı yapar. Tekerlek ve fren sisteminin CAD çizimi Şekil 14'de görüldüğü gibidir. Bu şekillerdeki beyaz parçalar kontrol kolları, sarı parça kin pimi, kırmızı parça fren diski, siyah parça porya ve saydam parça flanştır. Bu parçalar yüksek miktarda kuvvete maruz kalacakları için yüksek dayanımda olmaları gerekmektedir. Bu yüzden malzeme seçimi yapılırken çelik ve döküm demir malzemeler tercih edilmiştir.



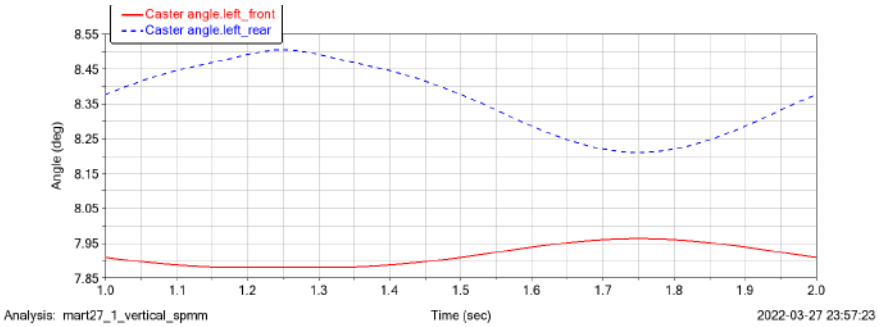
Şekil 14. Tekerlek ve fren sistemi

Araç süspansiyon sistemi araç dinamiği simülasyon programlarında yapılan simülasyon sonuçlarından alınan verilere göre tasarlanmıştır. Tasarım sonrası bir piyasa araştırmasına gidilmiş ve önceden tasarlanan sisteme en yakın süspansiyon sistemi parçaları satın alınmıştır. Bazı parçaların piyasada bulunmaması ve üretim zorluğundan ötürü ÖTR'de belirlenen parçalarda birtakım değişiklikler olmuştur. Bu değişiklikler de göz önünde bulundurularak yeni süspansiyon sistemi simülasyonları yapılmaya başlanmıştır. Aracın ağırlık, en, boy, yükseklik gibi özelliklerine uygun olan süspansiyon tasarımını bulmak için bir, çok gövdeli sistem dinamiği uygulaması üzerinden simülasyonlar oluşturulmuştur. Simülasyonlarda araç genişliği, uzunluğu, ağırlığı, ağırlık merkezi; yay sabiti ve ölçüleri, tekerlek çap, genişlik ve lastik-jant oranı gibi parametreler ayarlandıktan sonra süspansiyon sisteminin kontrol kollarının, yayların, king pimin, direksiyon kolunun, direksiyonun mimarisi başlangıç değerleri belirlenerek süspansiyon sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan sistemle yinelenen testler yapılarak birçok farklı süspansiyon geometrisi oluşturulmuştur. Araç simülasyonda çeşitli testlere tabi tutulmuştur. Bunlar; statik test, kinematik test, dinamik testtir. Statik test, araç yere

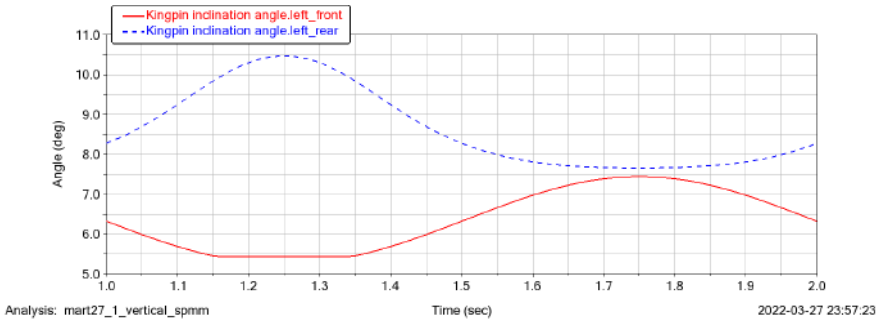
koyulduğunda süspansiyon sisteminin verdiği tepkilerinin ölçüldüğü testtir. Kinematik test, araçta sürüş esnasında konumu değişen parçaların araçtaki diğer parça ve açılarda oluşturduğu değişimin gözlemlendiği testtir. Dinamik test, araç hareket halindeyken süspansiyon ve direksiyon sistemi gibi sistemlerin ve aracın yol üzerindeki duruşunun incelendiği testtir. Yapılan bu testler sonucunda simülasyon uygulamasından aracın davranışı izlenmiş ve gerekli veriler alınmıştır. Süspansiyon sistemindeki etkili açılar için bu veriler incelenmiştir. Bu açılar kamber açısı, kaster açısı, king pim açısı ve toe açısıdır. Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18'de bu açıların aracın davranışlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Grafiklere baktığımızda bu açıların ortalama 1-2 derece civarında değiştiği ve maksimum 2,5 derece değiştiği görülebilir. Bu değişimler aracın hareketinde bir soruna yol açmayacak büyüklükte değişimlerdir.



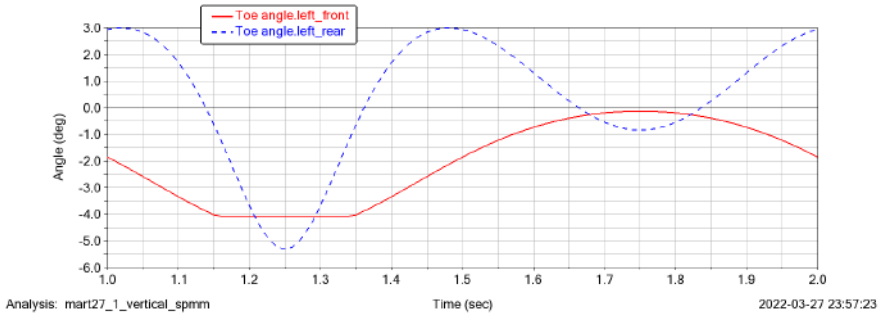
Şekil 15. Kamber açısı değişim grafiği



Şekil 16. Kaster açısı değişim grafiği



Şekil 17. King pimi eğim açısı değişim grafiği



Şekil 18. Toe açısı değişim grafiği

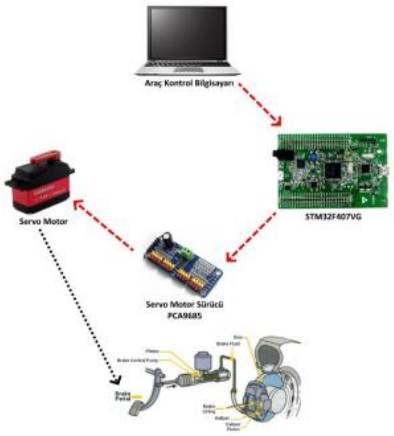
Sonuçlar incelenirken değişimlerdeki en yüksek değerler baz alınarak en yüksek değerlerin de araç dinamiğini bozmayacak nicelikte olması ayarlanmıştır. Simülasyon sonuçlarından alınan veriler de göz önünde bulundurularak süspansiyon sistemi tasarımında değişikliğe gidilmiş ve buna bağlı olarak araç şasi ve iskelet sistemi için de yeni bir tasarım yapılmıştır. Aracın yeni şasi ve iskelet sistemi Şekil 12'de görüldüğü gibidir.

3.3 Fren Sistemi

Fren sistemi tekerlek ve süspansiyon sistemine entegre olarak çalışan sistemdir. 3.3.2'de de gösterilen hesaplamalar sonrasında aracı istenilen ivme ile istenilen sürede durdurabilecek bir fren sistemi için piyasa araştırması yapılmıştır. Bu fren sisteminin aynı zamanda alınan süspansiyon sistemi ile uyumluluğu da göz önünde bulundurulmuştur. Tüm bu gereksinimler göz önünde bulundurularak araç için ön tekerleklerde bulunan double wishbone süspansiyon sistemine uygun iki tekerde birer adet olmak üzere iki disk fren alınmıştır. Süspansiyon ve fren sisteminin entegre bir şekildeki teknik çizimi Şekil 14'te görülebilir. Bu disk frenler hidrolik bir sistem üzerine bağlıdır. Hidrolik fren sistemini aktif etmek için bir kol bulunmaktadır ve bu kol brake-by-wire sistemi içerisinde bulunan bir motor sayesinde kontrol edilebilecektir. Fren motorunun detayları 3.3.1'de verilmiştir.

3.3.1 Brake-by-Wire

Araçta biri tahrik motorunun sürücüye gönderilen elektronik komutlarla yavaşlatıldığı diğeri de doğrudan tekerleklerin durdurulduğu hidrolik fren olmak üzere iki çeşit fren sistemi bulunmaktadır. Tahrik motorunun elektronik freni, sürücünün ilgili yerindeki devreyi röle aracılığıyla tamamlamasıyla kontrol edilmektedir. Hidrolik fren sistemi ise pedalın sertliği göz önünde bulundurularak tercih edilen 60 kg.cm servo motorun fren pedalına basması aracılığıyla kontrol edilmektedir. Servo motor sürücüsü olarak yaygınlıkla kullanılan uygun maliyetli PCA9685 tercih edilmiştir. Brake-by-wire sisteminin genel diyagramı Şekil 19'da gösterilmiştir.



Şekil 19. Brake-by-wire sistemi diyagramı

3.3.2 Fren Hesaplaması

Aracı durdurmak için ne kadar kuvvet gerektiğini hesaplayabilmek için öncelikle araca etki eden kuvvetlerin bilinmesi gerekir. Yolda seyreden bir araca etki eden kuvvetler araç motorundan gelen itki kuvveti, havanın direncinden kaynaklı sürtünme kuvveti, tekerleklerde yuvarlanma direncinden dolayı oluşan sürtünme kuvveti, eğimden kaynaklı yerçekimi kuvveti ve frenlerde oluşan kuvvettir.

Robotaksi yarışmasında yüksek hızlara çıkılmadığından dolayı havadan kaynaklı oluşan sürtünme kuvvetini ihmal edebiliriz. Tekerleklerle yol arasında oluşan sürtünme kuvveti de aracın hafif olduğu düşünüldüğünde ihmal edilebilir. Fren için gerekli kuvvet ise Newton'un ikinci denklemini kullanarak bulunabilir

$$M \times a_x = -F_b - W \times sin\theta$$

Bu denklemde M aracın kütlesi, a_x aracın ivmesi, F_b fren kuvveti, W aracın ağırlığı, θ yolun eğimidir. Düz bir yolda aracımızın 68 km/h ya da 19 m/s maksimuma hıza çıktığı 4.1 bölümünde hesaplanmıştır. Araç maksimum hızda seyrederken 6 saniyede durmasının yeterli olacağı düşünüldüğünde;

$$a_x = \frac{19\frac{m}{s}}{6\,s} = 3.17\frac{m}{s^2}$$

$$(400\,kg) \times \left(-\,3.17\frac{m}{s^2}\right) = -F_b - (400\,kg) \times (9.81\frac{m}{s^2}) \times sin0$$

Bu denklemden fren için gereken kuvvetin 1267 N olduğu bulunur. Bu kuvveti bize sağlayabilecek bir fren sistemi satın alınıp araçta kullanılacaktır.

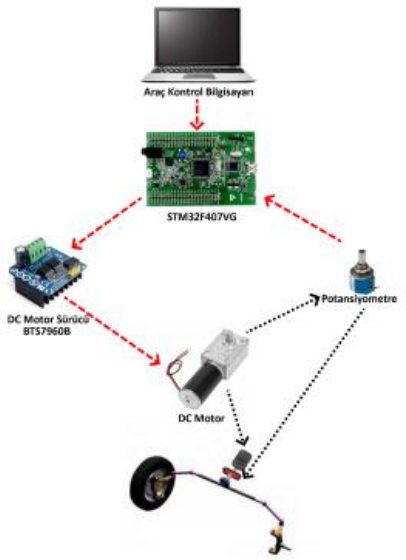
3.4 Direksiyon Sistemi

Direksiyon sistemi direksiyon simidi, direksiyon kutusu, rot kolları, Ackermann kolları, direksiyon motoru ve potansiyometreden oluşur. Direksiyon simidinden elde edilen tork verisi direksiyon kutusuna direksiyon motoru ile aktarılarak tekerleklerde bir dönme elde edilir. Direksiyon motoru için kullanılan DC motorun ne kadar döndüğünü anlamak için de bir fiziksel arayüz ile motora potansiyometre bağlanmıştır. 3.4.2'de yapılan direksiyon dönüşü için gerekli tork hesaplaması sonucuna göre gerekli torku verebilecek bir direksiyon motoru satın alınmıştır. Direksiyon motoru bilgileri 3.4.1 verilmiştir. Aracın minimum tekerlek kaymasıyla dönüşünü sağlamak amacıyla Ackermann geometrisi kullanılmıştır. Bu geometri sayesinde iki tekerlek farklı açılarda dönecek ve tekerleklerde kayma olmaması sağlanacaktır.

3.4.1 Steer-by-Wire

Tekerlekleri istenilen açıda döndürebilmek için direksiyon kutusuna 24V 60Rpm Redüktörlü L DC motor bağlanmıştır. DC motor sürücüsü olarak BTS7960B 40 Amper Motor Sürücü Modülü tercih edilmiştir. Araç bilgisayarı kameradan gelen verileri işleyerek gerekli manevraları hesaplayıp ilgili komutları DC motor sürücüsüne iletir.

Steer-by-wire sisteminin genel diyagramı Şekil 20'de gösterilmiştir.



Şekil 20. Steer-by-wire sistemi diyagramı

3.4.2 Direksiyon Sistemi Tork Hesaplaması

Aracın dönüşünü sağlamak için direksiyona bir tork uygulanır. Steering-by-wire sisteminde bu tork bir elektrik motoru aracılığıyla tekerleklere yönlendirilir. Kullanılacak bu motor için yeterli gücü hesaplayabilmek için tekerlekleri döndüren torkun büyüklüğünün bilinmesi gerekir.

Araç lastiklerinin esneklik özelliğinden kaynaklı dönüş esnasında sürtünme kuvveti

dağılımında değişme yaşanır. Normalde tekerleğin merkezinden geçmesi beklenen bileşke sürtünme kuvveti merkezden kayar. Tekerleğin yere temas noktasının merkezinden yeni sürtünme kuvveti merkezine olan mesafe pneumatic trail olarak adlandırılır. Pneumatic trail kullanılarak tekerleklerin dönmesine diren gösteren sürtünme kuvveti ve dolayısıyla tekerleri döndürmek için gerekli olan tork hesaplanabilir.

Tekerlerde oluşan sürtünme kuvveti;

$$F_s = \mu_s \times R$$

Bu denklemde F_s statik sürtünme kuvveti, μ_s tekerlek ve yer arasındaki statik sürtünme kuvveti katsayısı, R ön tek bir tekerlekteki dikey kuvvettir ve araçta R araç kütlesinin dörtte birine karşılık gelen ağırlıktır.

$$F_s = 0.8 \times (100\ kg) \times \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) = 784.8\ N$$

Sürtünmeden dolayı oluşan moment;

$$M_f = F_s \times t_p$$

Bu denklemde M_f sürtünmeden dolayı oluşan moment, F_s statik sürtünme kuvveti, t_p pneumatic traildir.

$$M_f = (784.8\ N) \times (0.1\ m) = 78.4\ N \times m$$

Statik sürtünme kuvvetinin çok az bir miktar aşılması tekerleklerin dönmesi için yeterli olacaktır. Tekerlekleri döndürecek olan motorun tekerleklerde 80 Nm tork oluşturması yeterli olacaktır. Tekerlek merkezinde bu torkun oluşması için direksiyon kutusunun rack dişlisinden uygulanması gereken kuvvet;

$$F_r = \frac{M_s}{x_r}$$

Bu denklemde F_r rack dişlisinin uygulaması gereken kuvvet, M_s tekerleklerin dönmesi için gerekli moment, x_r rack dişlisi ve tekerlek merkezi arasındaki mesafedir.

$$F_r = \frac{80N \times m}{0.22m} = 363.64\ N$$

Pinion dişlisinin uygulaması gereken tork;

$$M_p = \frac{F_r \times r_p}{2}$$

Bu denklemde M_p pinion dişlisinin uygulaması gereken tork, F_r rack dişlisinde oluşan teğet kuvvet, r_p pinion dişlisinin yarı çapı, 2 ise güvenlik katsayısıdır.

$$M_p = \frac{(363.64\ N)\times(0.012\ m)}{2} = 2.2\ N\times m$$

Bu denklemden elde ettiğimiz sonuca göre 2.2 Nm tork sağlayabilen bir motor istenilen dönüşü tekerlerde sağlamaya yetecektir.

3.5 Gövde

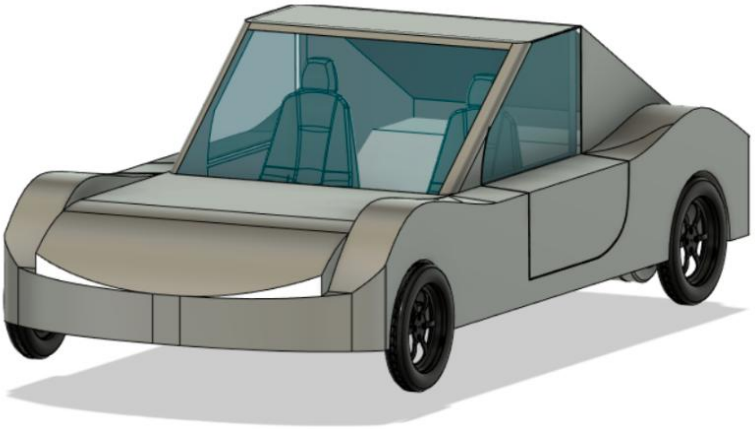
Araç gövdesi ve dışta görünen kısımları için malzeme seçiminde kullanılacak malzemenin şekil verilebilirliği, dayanıklılığı ve araca entegresinin kolaylığı baz alınmıştır. Bu özelliklere sahip olurken aynı zamanda da aracın hareket kapasitesinin maksimum verimliliğinde olması için ağırlığının minimumda tutulması ve aracın tasarımında elde edilmek istenen fütüristik çizgileri üretime dökerken kolaylık sağlayacak bir malzemenin seçilmesi kararlaştırılmıştır. Geçen sene takım tarafından yapılan araçta kabuk materyali olarak yüksek alaşımlı hafifleştirilmiş çelik sac kullanılmıştı. Bu aracın çok ağır olmasına sebep olduğu için bu sene çelik saç kullanılmaması kararlaştırıldı. Tüm bu istenilen özellikler göz önünde bulundurularak yapılan literatür taraması ve edinilen tecrübeler ışığında aracın kabuk materyali için kompozit malzemelerin kullanılmasına karar verildi.

Kullanılacak kompozit malzemenin özellikleri kararlaştırılırken aracın maruz kaldığı dinamik ve statik yükler göz önüne alındı. Kompozit kumaş olarak T700 karbon elyaf kullanılması kararlaştırıdı. Yapılan araştırmalar sonucunda T700 karbon elyafın yüksek performans, rijitlik ve yüksek mukavemet açısından uygun olduğu görüldü. Kullanılan kumaşın mekanik özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

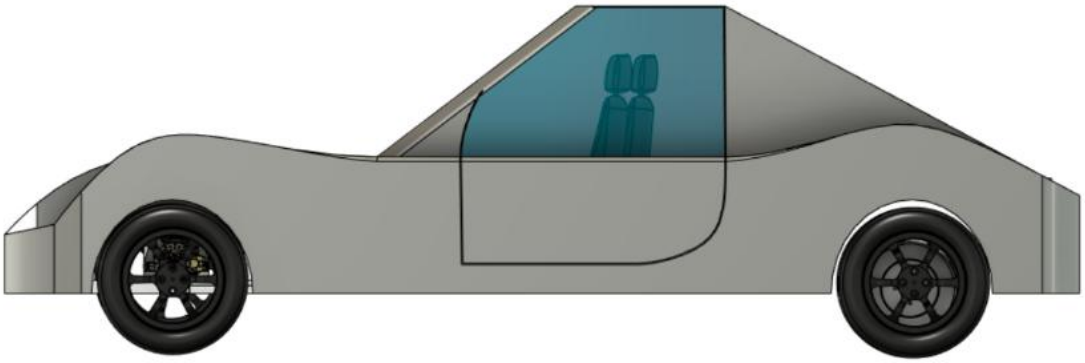
Tablo 4. Kompozit kumaşı özellikleri

T700 12K Karbon Elyaf Mekanik Özellikleri	
Özellik	**Boyut**
Çekme Mukavemeti	4,900 Mpa
Elastiklik modülü	230 Gpa
Reçine Tüketimi	723 gr / m2
Laminant ağırlığı	1323gr/m2

Kabuk üretiminin kompozit serme yöntemlerinden elle yatırma tekniğiyle yapılması planlanmaktadır. Aracın kabuk tasarımı Şekil 22 ve Şekil 23'te gösterilmiştir.



Şekil 22.



Şekil 23.

3.6 İç Mekân

Aracın iç mekan boyutları, içine iki insan ve ve bütün alt elektronik-mekanik sistemlerin sığabileceği bir boyutta tasarlandı. Aracın iç mekanında iki adet yarış koltuğu ve iki koltuğun ortasında bir bilgi ekranı bulunmaktadır. Aracın iç mekanı elektroniklerin olumsuz dış etkenlerden zarar görmemesi için iç taraflardan izolasyon malzemesi ile kaplanmıştır. Elektroniklerin hepsinin yerleri ayrı ayrı oluşturulmuş ve sabitlenmiştir.

3.7 Güç Sistemi

3.7.1 Maksimum Hız Hesaplaması

Maksimum hıza ulaşmış bir aracın ivmelenmesi durmuş ve araç sabit hızda seyretmeye başlamıştır. Bu durumda araç tahrik motorundan gelen tüm güç yol yüküne aktarılır. Yol yükü tekerleklerin yuvarlanmasından kaynaklı ve hava direncinden kaynaklı sürtünmelerden kaynaklı oluşan kuvvetlerin toplamıdır. Aracın eğimli bir yolda gitmesi halinde yol yüküne yerçekimi kuvvetinin yola paralel bileşen kuvveti de eklenir. Bu durumda yol kuvveti;

$$R_{RL} = f_r \times W + \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times C_D \times A + W \times sin\theta$$

Bu denklemde R_{RL} yol yükü, f_r yuvarlanma direnci katsayısı, W ağırlık, ρ hava yoğunluğu, V aracın maksimum hızı, C_D hava direnci katsayısı, A aracın hava direncine karşı gelen alanı, θ yolun eğimidir.

Bu kuvvetler için gerekli olan güç ise yol yükünün aracın hızıyla çarpılması ile elde edilir. Aracın gücü;

$$P_{RL} = R_{RL} \times V = (f_r \times W + \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times C_D \times A + W \times sin\theta) \times V$$

$$3\,kW = \left[\left(0.01 \times \left(1 + \frac{V}{44}\right)\right) \times (400\,kg) \times \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) + \frac{1}{2} \times \left(1.225 \frac{kg}{m^3}\right) \times V^2 \times 0.35 \times \left(1.298 m^2\right) + (400\,kg) \times (9.81 \frac{m}{s^2}) \times sin0\right] \times V$$

Bu denkleme göre aracın eğimsiz bir yoldaki maksimum hızı 68 km/s olarak bulunur. Bu hızın Robotaksi yarışması için yeterli olduğu düşünülmüştür.

3.7.2 Eğimli Yolda Güç Hesaplaması

Eğimli yolda güç hesaplaması yapılırken yol yüküne yerçekiminde kaynaklı kuvvet eklenir. 4.1'de yapılan denklemde sıfır derece olarak kabul edilen yol eğimi, yüzde on derece eğime sahip bir yolda 5,71 derece olarak alınmalıdır.

$$3\,kW = \left[\left(0.01 \times \left(1 + \frac{V}{44}\right)\right) \times (400\,kg) \times \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) + \frac{1}{2} \times \left(1.225 \frac{kg}{m^3}\right) \times V^2 * 0.35 \times \left(1.298 m^2\right) + (400\,kg) \times \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) \times sin5.71\right] \times V$$

Bu denkleme göre aracın yüzde on eğimli yoldaki maksimum hızı 24 km/s olarak hesaplanır.

3.7.3 Tekerlere Aktarılan Güç ve Patinaj Hesaplamaları

Araçların hareket edebilmesi yer ile araç sürtünme kuvvetine bağlıdır. Tahrik motoru tarafından araca yer ile tekerlekler arasındaki sürtünme kuvvetinden fazla kuvvet iletilmesi durumunda araç patinaj yapmaya başlar. 4.1 ve 4.2 de yapılan hesaplamalar sonucunda tahrik motorumuzun araç için yeterli olduğunu gördük. Aracın patinaj yapmayacağı da hesaplandığı takdirde motorun araç için yeterince uygun olduğu görülebilir.

Aracın patinaj yapmaması için;

$$F_s \geq F$$

Bu denklemde F_s tekerlekler ve yer arasındaki sürtünme kuvveti ve F tekerleğin yere değdiği noktadaki motor tarafından iletilen kuvvettir.

Tekerlekler ve yer arasındaki sürtünme kuvveti;

$$F_s = \mu_s * W$$

Bu denklemde μ_s statik sürtünme katsayısı, W ağırlıktır.

$$F_s = 0.8 \times (400\ kg) \times \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) = 784.8\ N$$

Tekerleklere yer ile temas eden noktaya motor tarafından iletilen kuvvet;

$$F = \frac{P}{\omega} \times r$$

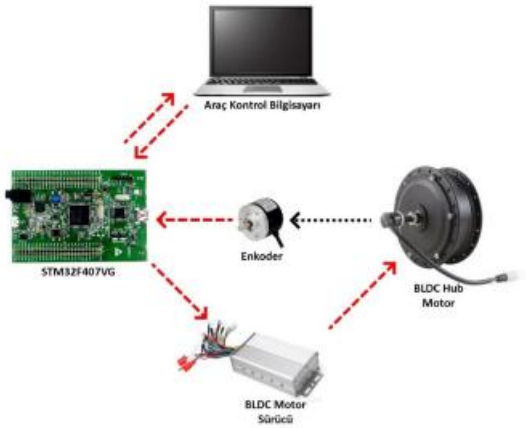
Bu denklemde P tahrik motorunun gücü, ω motorun açısal hızı ve r tekerlek yarı çapıdır.

$$F = \frac{3\ kW}{33.51 \frac{rad}{s}} \times (0.2334\ m) = 383.57\ N$$

Yukarıda yapılan hesaplamalar sonucunda tekerleğe iletilen kuvvetin sürtünme kuvvetini geçmediği görülmüştür. 3.7.1, 3.7.2 ve 3.7.3 bölümlerinde yapılan hesaplamaların sonucuna bakıldığında motorun aracımız için uygun olduğu görülmüştür.

3.7.4 Pedal by Wire

Tahrik motorunun hızı sürücüye gelen 0-5V arası referans analog sinyale bağlıdır. Bu sinyalin voltaj değeri yükseldikçe motor daha hızlı dönmektedir. Analog sinyali STM32F407'nin DAC (Dijital Analog Dönüştürücü)¨ modülünü kullanarak elde etmekteyiz. Araç bilgisayarı, STM32F407 ile USART üzerinden iletişimini gerçekleştirmektedir. STM32F407'ye bağlı olan enkoderlerden gelen veriler USART aracılığıyla araç bilgisayarına aktarılır. Bu verileri m/sn cinsine getirerek, istenilen hızla karşılaştırılır. Buna göre sürücüye gönderilen referans voltajı değiştirilir. Pedal-by-wire sisteminin genel diyagramı Şekil 24'te gösterilmiştir.



Şekil 24. Pedal-by-wire sistemi diyagramı

3.8 Alt Sistem ve Temel Birleşenler Arası Arayüzler

3.8.1 Fren Kolu ve Fren Motoru Arası Bağlantı

Araçta kullanılabilecek fren sistemleri araştırılıp hangi fren sisteminin nasıl avantajları ve dezavantajları olduğu belirlenmiştir. Araştırmaların sonucunda araç için en uygun sistemin hidrolik disk fren sistemi olduğuna karar verilmiştir. Araçta ön sağ ve ön sol tekerde olacak şekilde hidrolik disk fren sistemi kullanılmıştır. Sistemi çalıştırmak için bir adet fren motoru olacaktır. Fren motoru ile fren kolu arasında tel bağlantısı kurulmuştur. Fren motoru çalışıp döndükçe bağlantıyı sağlayan tel, motorun ucuna eklenen mile sarılarak fren kolunu çekmeyi sağlamaktadır. Fren kolu sıkıldıktan sonra hidrolik sıvı disk frenlerinde bulunan kaliperlere iletilerek diskleri sıkıştırmaktadır. Otonom sistemlerden alınan fren bilgisi motora iletilmiş ve bu fren motoru ile mekanik fren sistemi arasındaki fiziksel arayüz bu şekilde ayarlanmıştır.

3.8.2 Enkoder Bağlantısı

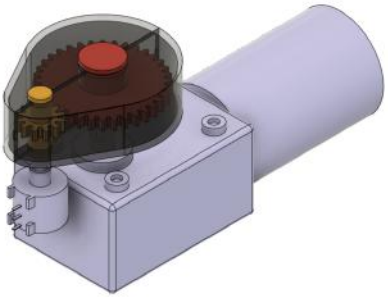
Aracın konum ve hız bilgisinin alınmasına yardımcı bir sensör olan enkoderler direkt olarak otonom sistemlere bilgi aktarmaktadır. Araçta biri sağ biri sol arka tekerde olmak üzere 2 adet enkoder bulunmaktadır. Bu enkoderlerin tekerlerin dönüş verisini almaları gerekmektedir. Enkoder milinin teker tarafından döndürülmesi ve enkoderin diğer kısmının araçta dönmeyen bir yere bağlanması gerekmektedir. Bu sistem Şekil 25'te gösterilen dişli sistemi ile kurulmuştur. Bu dişli sisteminde 2 adet dişli vardı. Bir tanesi tekerlekle eş merkez ve tekerlekle dönebilen bir dişlidir. Diğeri ise enkoder milinin ucuna bağlıdır. Bu iki dişliler birbirine entegre şekilde dönmekte ve tekerleklerin dönüş bilgisi enkodere iletilmektedir.

Şekil 25. Enkoder bağlantısı

3.8.3 Direksiyon Motoru ve Potansiyometre

Direksiyon motoru için gerekli görülen özellikleri karşılayan bir DC motor tercih edilmiştir. Bu motorun ne kadar döndüğünü anlayabilmek için bir de potansiyometreye ihtiyaç vardır. Potansiyometrenin DC motora bağlantısı da enkoder bağlantısına benzer bir şekilde yapılmıştır. Yine iki dişli bulunduran bir dişli sistemi bu bağlantı için kullanılmıştır. Şekil 26'dan de görülebileceği gibi bir dişli DC motorun miline diğer dişli de potansiyometrenin miline gelecek ve birbirlerini döndürecek şekilde bir dişli sistemi kurulmuştur. Bu dişli sistemi sayesinde motordan alınan dönüş hareketi potansiyometreden değerlendirilir ve tekerlerin ne

kadar döndüğü anlaşılabilir.



Şekil 26. DC motor-potansiyometre bağlantısı

4. Donanım Mimarisi

Aracın donanım mimarisini anlatmaya tümden gelim şeklinde anlatmak daha sağlıklı olacaktır. Araç bilgisayarı olarak i7 işlemcili, 6GB RTX 3060, 16 GB Ddr4, 1 TB M2 NVME[16] özelliklerinde notebook kullanıyoruz. Aracın kontrolü için pedal by wire, steer by wire, brake by wire sistemlerini işlevsel ve sürdürülebilir şekilde kullanmak için araç bilgisayarının elektronik arayüzlere bağlanmasına yardımcı olacak STM32 kullanımına karar verilmiştir. ARM Cortex M4 işlemcisine, dahili DAC'a ve fazla sayıda pine sahip olan STM32F407VG[17], özellikleri bakımından bu sistemlerin birbiriyle entegre çalışmasına olanak sağlayacaktır. Sensör olarak araçta tabela ve şeritlerin tespiti için bir adet derinlikli kamera; aracın konumunun tespiti için wheel encoder, IMU ve takip kamerası kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıntıları alt başlıkta açıklanmıştır. Aracın anlamlandırılmış¸ sensor bilgilerini ve kararlarını görseller¸ getirmek amacıyla bir ekran ve ekranı surecek bir mikrobilgisayar kullanılacaktır. Mikrobilgisayar ile ana arac¸ bilgisayarı ethernet kablosu aracılığıyla yerel ağda haberleşme¸ecektir. Kısa mesafeli haberleşme için yerel ağ bir router aracılığıyla Wi-Fi üzerinden kablosuz şekilde haberleştirilebilecektir. Uzun mesafeli haberleşme içinde 4G özellikli bir modemin yerel ağa dahil edilmesi ve ekran mikro bilgisayarı içinde çalışacak Wire Guard gibi bir VPN sunucusunun kurulması. Tünelleme sayesinde güvenli bağlantı kurulmuş¸ olacak, böylelikle erişimin yanlış taraflarca kullanılmasına engel olunmuş olacaktır. Haberleşme kısmında kullanılan modem ve komponentler alt başlıkta açıklanmıştır. Araçta bulunan iki bataryanın kendi batarya yönetim sistemi olacaktır. Bataryaların güvenli işletim sınırları içerisinde çalışmasını sağlayan batarya yönetim sistemleri her bir batarya hücresini ayrı ayrı kontrol edecek. Batarya yönetim sistemi her bir pilin akımını, gerilimini, sıcaklığını, şarj durumunu izleyerek herhangi bir pilin güvenli işletim sınırından çıkması durumunda ilgili pilin devre ile olan bağlantısını güvenli bir şekilde kesilecektir.

4.1 Sensörler

4.1.1 Kamera

Araçta derinlik, takip ve web kamerası olmak üzere toplamda üç adet kamera kullanılacaktır. Kamera modellerinin Intel Realsense D455[1] , Intel Realsense T265[2] ve

Logitech BRIO olması uygun görülmüştür. Bu kameraların üretici firma Intel tarafından birlikte kullanılması tavsiye edilmiştir. Sebebi ise şu şekilde ifade edilmiştir: Derinlikli kameralar etrafındaki nesnelerin yerinin tespit edilmesinde kullanılmaktadır ancak aracın konumunun tespitinde yeterli sonuç vermemektedir, takip kameraları ise aracın konumunun tespitinde kullanılmaktadır. Bu nedenle iki kameranın birlikte kullanılmasının etraftaki nesnelerin konumunun tespit edilmesiyle birlikte aracın konumunun da elde edilmesini sağlaması SLAM[3] algoritması için ciddi avantajlar sağlamaktadır. Kameraların birlikte kullanımını sağlayan Intel'in paylaştığı paketler mevcuttur. Bu aşamada bu paketlerden faydalanılacaktır. Kamera modellerinin detaylı özellikleri aşağıda anlatılmıştır.

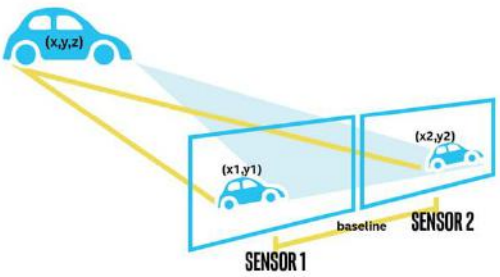
Şekil 27. Intel Realsense D455 ve T265

4.1.1.1 Derinlikli Kamera

Standart kameralarda görüntüler 2 boyutlu piksel matrisleri olarak elde edilir. Bu pikseller RGB (Red, Green, Blue) değerlerine sahiptir. Her nicelik 0-255 arasında değerler alır. Örneğin siyah (0,0,0), yeşil (0,255,0). Derinlik kameralarında ise bu RGB değerlerine bağlantılı olarak üçüncü sayısal değerler vardır. Bu değerler görüntünün kameradan uzaklığıyla alakalı derinlik bilgisidir. Görüntü işleme ile derinlik değerleri de ölçülerek gerçek hayattaki 3 boyutlu resimler elde edilir. Sonuç olarak standart kameralar X-Y düzleminde görüntüler verir. Derinlik kameralarında ise bunlara derinlik bilgisi de eklenerek X-Y-Z düzleminde görüntüler elde ederiz.

Stereo derinlik kameraları, aralarında küçük bir mesafe bulunan iki sensöre sahiptir. Kamera, bu iki sensörden gelen görüntüleri alır ve karşılaştırır. Sensörler arasındaki mesafe bilindiği için bu karşılaştırmalar derinlik bilgisi vermektedir. Stereo kameralar, derinlik algısı için insanların iki gözü kullanmasına benzer şekilde çalışır. Beyin her bir göz arasındaki farkı hesaplar.

Stereo kameralar derinliği ölçmek için herhangi bir görüntüyü kullandığından, dış mekan dahil çoğu aydınlatma koşulunda iyi çalışırlar. Kızılötesi projektörün eklenmesi, düşük aydınlatma koşullarında kameranın derinlik ayrıntılarını algılamaya devam edebileceği anlamına gelir. Intel RealSense D400 serisi kameralar, stereo derinlik kameralarıdır.



Şekil 28. Stereo kamera çalışma prensibi

Şerit ve tabela tespiti yapabilmek için yüksek çözünürlüklü ve geniş açılı bir kamera kullanılması gerekmektedir. Aracın gördüğü engelleri haritalaması, tespit edilen tabelaların bu haritada konumlandırılması için bu kameranın derinlikli kamera olması tercih edilmiştir. Aracın bu yetileri kazanması duraklarda durma, yol takibi ve park algoritmasında oldukça fayda sağlamaktadır.

ÖTR'de de bahsedildiği gibi seçilen derinlikli kamera modeli Intel Realsense D455'tir. Bu modelin seçilmesinde D435 modelinden farklı olarak içerisinde IMU bulundurması, D435i modeline göre ise daha sağlıklı derinlik verileri elde etmesi etkili olmuştur.

Şekil 29. Intel D455

Kameranın özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5. Intel D455 Özellikleri

Kamera Bağlantı Tipi	USB 3.1
İdeal Çalışma Aralığı	0.6 m - 6 m
Maksimum Çalışma Aralığı	20 m
RGB Frame Rate	30 fps
RGB FOV (Yatay x Dikey)	90 × 65° (±3)
RGB Görüntü Çözünürlüğü	1280 x 800

Derinlik Frame Rate	90 fps
Derinlik FOV	86° × 57° (±3°)
Derinlik Çıktısı Çözünürlüğü	1280 × 720
Derinlik Hata Payı	4 m'de <%2

Kameranın görüş açısı test edilmiş, bariyerleri ve tabelaları belirlenen mesafelerde görebileceği anlaşılmıştır. 10 metre mesafede derinlik görüntüsü test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca düşük ve yüksek seviye ışıklı ortamlarda test edilen renkli ve derinlikli görüntülerde kameranın görevini yapmasını engelleyen bir durumla karşılaşılmamıştır. Görüntülerin kare hızları beklenen seviyededir. Sonuç olarak yapılan testlerde kameranın kullanım maksadına uygun olduğu görülmüştür.

Kameranın derinlik görüntülerini filtrelemek amacıyla Intel'in paketlerinde sunmuş olduğu hole filling, spatial, disparity, temporal ve decimation filtreleri denendi. Yapılan testler sonucunda elde edilen lazer verilerinin çok daha stabil hale geldiği görüldü.

4.1.1.2 Takip Kamerası

Daha önceden enkoder ve IMU sensörleriyle hesaplanması planlanan odometriyi daha güvenilir hale getirmek amacıyla takip kamerası kullanımına karar verilmiştir. Takip kamerasından odometri verisi elde etmek için üretici firma Intel'in paketlerinden faydalanılacaktır.

Intel Realsense T265 içerisinde IMU sensörü ve iki adet fisheye lensleri barındıran takip kamerasıdır. Kameranın sağladığı görüş alanı (FOV) 163°'dir. Bu değer alternatif kameralardan çok daha fazladır. Ek olarak T265 kamera içerisinde VPU(Visual Processing Unit) bulundurur. Tüm V-SLAM[4] (görsel SLAM) algoritmaları, VPU üzerinde çalışarak çok düşük gecikme süresi ve son derece verimli güç tüketimi sağlar. Bu birim, kameranın IMU ve lensler tarafından sağlanan bilgileri gerçek zamanlı olarak senkronize eder. İşlemci, ortam tanıma ve yörünge hesaplamaları için V-SLAM algoritmalarını çalıştırır.

T265 kamera, çeşitli robotik görsel denetim uygulamaları geliştirmek için D400 serisindeki diğer kameralarla aynı anda kullanılabilir yapıdadır. Örneğin; 3B haritalama, SLAM ve engelden kaçma uygulamalarında bu iki kamera birlikte kullanılabilir.

Şekil 30. Intel Realsense T265

Kameranın teknik özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 6. Intel T265 Özellikleri

Kamera Bağlantı Tipi	USB 2.0 & USB 3.1
Görüş Açısı (FOV)	163±5°
IMU Modeli	BMI055
Visual Processing Unit	Intel® Movidius™ Myriad™ 2.0 VPU
Takip Doğruluk Oranı	%1'in altında kapalı döngü kayması

4.1.1.3 WEB Kamera

Şerit algılama ve tabela okuma işlemini Intel Realsense D455 derinlikli kamera ile yapıyorduk. Bu noktada şeritlerin algılanmasındaki verimliliği artırmak ve daha doğru kararlar verebilmek için aracın alt kısmına yalnızca renkli görüntü alabileceğimiz bir WEB kamerası entegre etme kararı aldık. Geniş açılı kameralarda oluşan bir miktar eğilmeler (balık gözü etkisi) algoritmanın sağlıklı çalışmasına engel teşkil ettiğinden maksimum 90 derecelik yanal görüş açısına sahip olmasına dikkat ettik. Logitech BRIO WEB kamerasını RightLight™ 3 with HDR özelliği sayesinde doğrudan güneş ışığında ve düşük ışıkta yüksek performansa sahip olmasından dolayı tercih ettik.

Şekil 31. Logitech Brio WebCam

Kameranın teknik özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 7. Logitech Brio WebCam Özellikleri

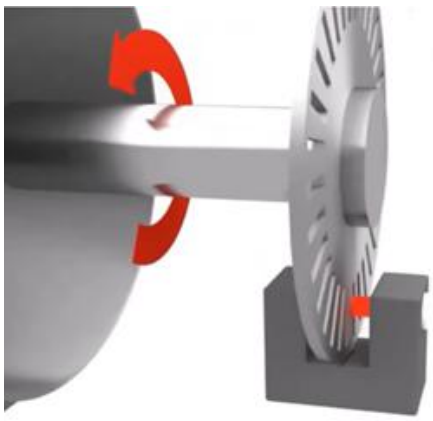
Kamera Bağlantı Tipleri	USB 2.0 (1080p ye kadar)

	USB 3.1 Gen 1 (4K ya kadar)
RGB Görüntü Çözünürlüğü ve Frame Rate	3840x2160 @30 FPS 1920x1080 @60 FPS 1280x720 @90 FPS
RGB FOV Seçenekleri	65°, 78° ve 90°

4.1.2 Enkoder

Enkoder, fiziksel hareketlere bağlı bildirimleri algılayan elektromekanik bir cihazdır. Belli bir dönme eksenindeki hareketi bir kontrol merkezi tarafından okunabilecek elektrik sinyallerine çevirir. Enkoderlerin bu dijital elektrik sinyallerini üretebilmesine olanak sağlayan farklı teknolojiler mevcuttur. Dönme hareketi ile doğru orantılı olarak puls[8] üreten bu teknolojilerden bazıları manyetik enkoder, dirençli enkoder, optik enkoder olarak sıralanabilir. Bu alanda en sık kullanılan teknoloji "optik enkoder" teknolojisidir.[10] Optik enkoderlerin ise iki farklı türü vardır ki bunlar artımlı enkoderler ve mutlak enkoderlerdir. Aracımızda enkoderleri kullanma nedenimiz araç pozisyon değişikliklerini hassas olarak ölçebilmek olduğu için bu amaca uygun optik enkoder türü olan "artımlı enkoder" türlerini tercih ettik.

Temelde artımlı enkoderlerin çalışma mekanizması özetlenecek olursa, artımlı enkoderlerin içerisinde Şekil 32'de yer alan tarzda yarıklı bir disk bulunur. Yarıklı diskin bir tarafında bir led yer alırken diskin hemen karşı tarafında, ledin hizasında bir ışık sensörü bulunur. Diskin dönmesi ile ışık sensörü analog bir sinyal olan sinüzoidal bir sinyal üretir. Bu sinyal squaring devreler tarafından kare dalgalara çevrilir. Böylece dijital sinyallere çevrilen bu bildirim işlemciler üzerinden okunabilir hale gelir.[5]



Şekil 32. Artımlı Optik Enkoder İç Yapısı[9]

Araçta kullanılması üzere satın alınabilecek artımlı optik enkoderler araştırıldı. Türkiye'de tedariği mümkün, aracımız için yeterli hassasiyete sahip ve 2021 Teknofest Robotaksi Şartnamesi uyarınca gerekli IP koruma kriterlerine sahip olan enkoderin, Omron

Şirketi'nin E6C2-CWZ5B modeli enkoderi olduğuna karar verildi. Bu model, devir başına 2000 darbe sinyali (puls) üretebilecek hassasiyettedir. IP 64 korumaya sahiptir.[7]

Odometri aracın başlangıç noktasını referans alarak o anki yön ve konumunun hesaplanmasına denir. Aracın odometrisini hesaplamak için enkoder sensörler kullanılacaktır. Enkoderler aracın iki arka tekerine bağlanacak ve bu sayede tekerleklerin ayrı ayrı hızları hesaplanacaktır. Tekerlerin ayrı ayrı hızının hesaplanması aracın çizgisel ve açısal hızlarının hesaplanmasını sağlayacaktır. Hesaplanan hızlar kullanılarak aracın başlangıç noktasından hangi yönde ne kadar uzaklaştığı hesaplanacaktır. Daha sonra elde edilen verilerin takip kamerası ve IMU verileri ile füzyonu yapılacaktır.

4.1.3 IMU

IMU, ana işlemciye gönderilen açısal hız ve doğrusal ivme verisini tek bir modülde toplayan elektronik birimdir. IMU temelde iki ayrı sensör içerir. Bunlardan biri ivmeölçer, diğeri ise jiroskoptur. İvmeölçer üç eksende üç ayrı analog sinyal üretir. İtici sistemden ve fiziksel limitlerinden dolayı, ivme ölçen bu sensörlerdeki en önemli durum yerçekiminden etkilenmelidir. Sensör sürekli olarak yerçekiminin etkisinde kalır. Ölçü skalası olarak bir, iki veya üç eksende ölçüm yapabilen türevleri vardır. Bunlar ± 1g, ± 2g, ± 4g vb. gibi değerler ile ifade edilmektedir.

IMU'nun içinde bulunan ikinci sensör ise jiroskoptur. Basitçe anlatmak gerekirse bir tekerleğin ekseni etrafında hızla döndürülmesi ile oluşur. Tekerleğin etrafındaki çembere dik açıyla tutturulan başka bir çember vardır. Bu çemberlere dik açıyla tutturulmuş başka bir çember jiroskobu temsil eder. Jiroskobun temelde iki özelliği vardır. Yatay eksende dönmekte olan bir jiroskoba yatay eksende bir kuvvet uygulandığında eksen etrafında dönmeye başlar. Diğer özelliği ise jiroskobun dönüş eksenine sabit kalmasıdır. Bu özellik sayesinde uydular sürekli dünyaya dönük kalır veya otopilot uygulamalarda işe yarar.

Jiroskop ve ivmeölçer tek başlarına güvenli ve stabil veriler sağlayamazlar. Bu yüzden birbirlerini referans alarak iki sensör birleştirilir ve hız, pozisyon gibi bilgiler tek bir birimden yani IMU'dan alınır. Degrees of Freedom (DOF) terimi IMU'nun serbestlik derecesini niteler. 3 eksen gyro ve 3 eksen ivme ölçerli bir IMU 6DOF olarak ifade edilir.

Jiroskop ve ivmeölçer tek başlarına kullanıldığında belirli bir süre sonra kayma yaparlar. Örneğin ölçümler 5 saniye sonra 1 derece kayabilir, bu nedenle hassas ölçümlerde kullanılamazlar. En ufak titreşimlerde çok yüksek gürültü oluşturan ivmeölçerler ile birlikte jiroskop kullanıldığında bu gürültüler filtrelenir. IMU'da ise jiroskoplar referans olarak ivmeölçerler ile birlikte kullanılırlar.

Jiroskopun matematiksel modeli aşağıda verilmiştir.

$$\omega = \hat{\omega} + \mathbf{b}_g + \mathbf{n}_g$$

Yukarıdaki modelde, ω jiroskoptan ölçülen açısal hızını, $\hat{\omega}$ kurtarmak istediğimiz gizli ideal açısal hızını, b_g zamanla ve sıcaklık gibi diğer faktörlerle değişen jiroskop sapmasını, n_g beyaz gauss jiroskop gürültüsünü temsil eder.

Jiroskop sapması modellemesi aşağıdaki gibidir. Q_g jiroskop gürültüsünü modelleyen kovaryans matristir.

$$\dot{\mathbf{b}}_g = \mathbf{b}_{bg}(t) \sim \mathcal{N}(0, Q_g)$$

İvmeölçerin matematiksel modeli ise aşağıda verildiği gibidir.

$$\mathbf{a} = R^T(\hat{\mathbf{a}} - \mathbf{g}) + \mathbf{b}_a + \mathbf{n}_a$$

Burada $\mathbf{a}$ ivmeölçer tarafından ölçülen ivmeyi, $\hat{\mathbf{a}}$ kurtarmak istediğimiz gizli ideal ivmeyi, R sensörün dünya çerçevesindeki yönünü, $\mathbf{g}$ yerçekimi ivmesini, $\mathbf{b}_a$ zaman ve sıcaklık gibi farklı faktörlerle değişen ivme sapmasını, $\mathbf{n}_a$ beyaz gauss ivme gürültüsünü temsil eder.

IMU'dan gelen verileri filtrelemek için Madgwick filtresi kullanılacaktır. Madgwick filtresinin tercih edilme nedenlerinin başında hesaplama yükünün daha az olması ve optimize edilmiş gradyan iniş algoritması ile düşük örnekleme oranlarında dahi iyi performans alınması gelmektedir. Ayrıca bu filtre 3 boyutta oryantasyonu quaternion gösterimi ile ifade etmektedir. Madgwick filtresi hazır bir paket aracılığıyla uygulanmaktadır.

4.2 Haberleşme

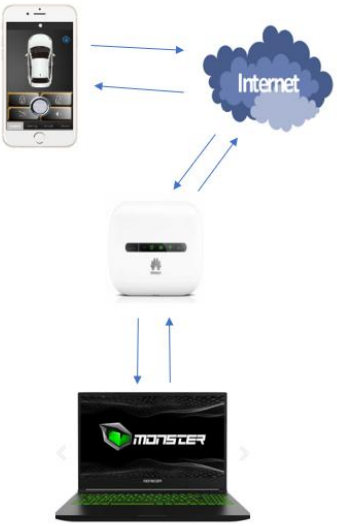
Tasarlanan haberleşme sistemi internet alt yapısını esas almaktadır. Bu haberleşme kapsamında araç kontrol bilgisayarı sadece ADKM ile haberleşecektir. Araç kontrol bilgisayarının ADKM ile haberleşmesini sağlayabilmesi için araçta bir modem bulunacaktır. Araca müdahale gerektiği takdirde en hızlı şekilde müdahale edebilmek için modemin teknik özelliklerinin yeterli olması çok önemlidir. İnternet hızı, şarj süresi, fiyatı vb. özellikler değerlendirilerek nihayetinde Huawei markasının Vınn Mobile Wifi E5576-320 modelindeki modemin araç için uygun olan cihaz olduğuna karar verilmiştir. Tablo 8'de modemin detaylı teknik özellikleri yer almaktadır.

Tablo 8. Huawei Vınn Mobile Wifi E5576-320 Özellikleri

Wi-Fi Standardı	Wi-Fi 4 (802.11n)
Wi-Fi Yayını	1 Band
Çalışma Frekansı	2.4 GHz
Anten Tipi	Dahili Anten
Hücresel Veri Ağı Tipi	4.5G
Hücresel Ağ Hızı (İndirme)	150 Mbps
Hücresel Ağ Hızı (Yükleme)	50 Mbps

4.2.1 Araç Bilgisayarının ADKM ile Haberleşmesi

Motor, batarya ve sürücüler üzerine yerleştirdiğimiz sıcaklık sensörlerinden gelen bilgiler kablosuz haberleşme sistemimiz üzerinden ADKM'ye iletilmektedir. Uzaktan görev başlatma/durdurma, acil güç kesme ve fren yapma komutları da kablosuz haberleşme sistemimiz üzerinden araç kontrol bilgisayarımız olan notebooka iletebilmekteyiz.



Şekil 34. Uzaktan Haberleşme Şeması

4.2.2 Göreve Başlatma Komutunun Verilmesi ve Acil Komutların İletimi

Araçta tarafımızca geliştirilmiş IoT (Internet of Things) teknolojisi temelli bir UMS (Uzaktan Müdahale Sistemi) bulunmaktadır. Diğer bir deyişle Nesnelerin İnterneti Teknolojisi olarak bilinen bu teknolojik altyapı üzerinden hızlı ve güvenli bir uzaktan müdahale sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem ADKM üzerinden aktive edilecektir. Tarafımızca özgün olarak tasarlanan IoT temelli uzaktan müdahale sisteminin iki fonksiyonu vardır. Bu fonksiyonlar altta UMS-1 ve UMS-2 olarak özellikleri ile beraber sıralanmıştır.

UMS-1: Uzaktan acil durma butonuna basıldığında araç acil kapanış yapar. Bu kapanış önce aracın ani fren yapması ve araçtaki tüm gücün kesilmesi olarak sırayla gerçekleşir. Gücün kesilmesi aşamasında uzaktan ESP8266 üzerinden ilgili röle vasıtasıyla ana gücü kontrol eden kontaktörün kapatılmasıyla ana güç akışı da hızlı ve güvenli bir şekilde kesilmiş olur.

UMS-2: Git (Go) butonuna basıldığında araç görevine başlar. Bu buton, basıldığında internet üzerinden ilgili komutun ESP8266 vasıtasıyla Araç bilgisayarına iletilmesine sebep olacak şekilde dizayn edilmiştir.

4.3 Kontrol Yazılımı

Aracın uzaktan göreve başlatılması için dizayn edilen elektronik sistemin kontrol yazılımı hakkında değinilmesi gereken ilk husus bu kontrol yazılımı sadece tek bir komut vermek üzerine yazılmıştır. Aracın göreve başlamasını tetiklemek üzere yazılmış olan kontrol yazılımı ve kullandığı elektronik sistem ekip üyeleri tarafından özgün olarak düşünülmüş ve tasarlanmıştır. Uzaktan aracın kontrol bilgisayarına verilen sinyal ile çalıştırılan kontrol yazılımı

bu sinyalin başkaları tarafından verilememesi için veya bir karışıklık olmaması için gerekli güvenlik protokolleri kullanılarak korunacaktır.

Parkuru yarışma kurallarına uygun bir şekilde tamamlamak için haritalama ve şerit takibi yöntemleri kullanılmaktadır. Kameranın tespit ettiği tabelalara göre aracın takip etmesi gereken rota çizilir, bu rotayı takip etmesi için gerekli açısal ve çizgisel hızlar paylaşılır. Daha sonra motor kontrol yazılımı aracın istenilen hızlara gelmesi için motoru ve direksiyonu kontrol eder.

4.4 Bataryalar ile ilgili Güvenlik Önlemleri

Aracımızda LiPo piller kullanıldı. Tahrik motoru 70V 23ah lipo batarya ile beslenecek. Diğer direksiyon, fren sistemi ve bilgisayarı 24V 69ah batarya ile beslenecek. Toplamda altı adet lipo batarya kullanılacaktır. Bu bataryaların aşırı ısınmaya ve fiziksel darbelere karşı korunması gerekmektedir. Ayrıca bataryalarla doğrudan temastan kaçınmak, bataryaların bağlantı noktalarında herhangi bir sürtünme oluşmasına fırsat vermemek ve bakımlarını düzenli olarak yaptırmak büyük önem arz etmektedir. Ayrıca iki batarya türünün de gereğinden uzun süre ve yüksek amper değerleri ile şarj edilmesi olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Bataryaların fiziksel darbelere karşı korunması; ark, kıvılcım vb. oluşumunun engellenmesi ve her türlü su, toz vb. yabancı maddelerden bataryaların korunması için geliştirilen güvenlik önlemlerine "Batarya Koruma Kabı" başlığı altında yer verilmiştir. Bataryaların gereğinden uzun ve gereğinden yüksek amper değerlerinde şarj ve deşarj olmaması, güvenli sıcaklık değerleri arasında çalışmaları için geliştirilen güvenlik önlemlerine ise "Batarya Yönetim Sistemi" başlığı altında yer verilmiştir.

4.4.1 Batarya Koruma Kabı

Batarya grubunu yerleştirmek üzere aracın arka bölümünde sağlam, güvenilir bir bölüm tasarlanmıştır. Bu bölümde yer alacak olan batarya grubunu Li-Po piller oluşturmaktadır. Pillerin içerisinde bulunacakları bir koruma kabı tasarlanmıştır. Özgün olarak tasarlanan bu koruma kabının, aracın tabanına sağlam bir şekilde sabitlenmesi uygun görülmüştür. Sabitleme işlemi, sabitleme aparatı ve sabitleme noktaları sert bir kaza halinde bile yerlerinden oynamayacak şekilde dizayn edilecektir. Ayrıca tarafımızca tasarlanan koruma kabı, bataryaları dışarıdan gelebilecek tüm toz ve tazyikli suya karşı korurken çıkış kanalının başına entegre edilecek fanlar sayesinde bataryaların havalandırılmasına ve yeteri miktarda soğutulmasına da olanak sağlayacaktır. Koruma kapları bataryaları kaplamakta ve bataryalarda ortaya çıkabilecek kısa devre durumu, ark oluşumu gibi kaza durumlarını engellemektedir. Koruma kabı, üstüne civatalarla sıkıca kapatılacak olan kapağın hiçbir zaman açılmasına gerek kalmayacak şekilde tasarlanmıştır. Koruma kabının kapağı açılmadan batarya paketindeki tüm cam sigortalar değiştirilebilecek, gerekli voltaj ve akım ölçümleri yapılabilecektir. Bataryalar şarj edileceği zaman, şarj aleti kabın bir noktasına sabitlenmiş olan sokete takılacak, ardından şarj aleti de prize takılacaktır. Böylece sürtünme, ark oluşumu gibi olumsuz durumlar büyük oranda engellenmiş olacaktır.

4.4.2 Batarya Yönetim Sistemi

Batarya yönetim sistemi kapsamında bataryaların şarj/deşarj esasları ve otonom/manuel batarya sıcaklık kontrolü ele alınacaktır.

4.4.2.1 Batarya Şarj/Deşarj Esasları

Araçta bulunan altı adet lipo batarya paketinin her birinin içinde aktif dengeleyici özelliği bulunan gelişmiş batarya yönetim sistemleri bulunmaktadır. Batarya yönetim sistemleri her bir hücrenin akımını, gerilimini, sıcaklığını, şarj durumunu izleyerek herhangi bir hücrenin güvenli işletim sınırından çıkması durumunda ilgili hücre grubunun devre ile olan bağlantısını kesebilmektedir. Lipo piller kapasitesinin en fazla 1/10'u kadar amper ile şarj edilecektir. Şarj sırasında lipo piller ayrı ayrı olarak şarj aletleri ile güvenli akım sınırları içerisinde, sigortalı şarj portları üzerinden dikkatli şekilde şarj edilecektir. Bataryalar dolduktan sonra şarj sistemi enerji akışını kesmektedir. Batarya grubu sayımızın az olması nedeniyle lipo piller arası gerilimin eşit seviyede olup olmadığı tarafımızca ölçüm aletleri ile tasarladığımız batarya yönetim sistemine ek olarak manuel olarak da kontrol edilecektir. Bir gerilim dengesizliği oluşması durumunda piller tekli olarak şarj veya deşarj edilip aynı gerilim seviyesine getirilecektir. Aküleri normalde birbirine bağlı olduğu şekilde sigortalı, güvenli paralel şarj portları ile toplu şarj etme imkanının yanı sıra tekli olarak şarj ve deşarj etme imkanı sağlayan şarj sistemlerine de sahibiz.

4.4.2.2 Sıcaklık Kontrol Mekanizması

Batarya paketinin en çok ısınan bölgelerine yerleştirilecek olan sıcaklık sensörlerinin maksimum ölçebileceği güvenli sıcaklık değerleri tespit edilecektir ve araştırılacaktır. Bu değerlerle güvenli sıcaklık aralıkları belirlenecektir. Sıcaklık sensörlerinin sağladığı analog sıcaklık verileri araç kontrol ünitesine iletilecektir. Kontrol ünitesi okuduğu değerlerin güvenli sınırları aşması durumunda ilgili tedbirlerin aktive olması için gerekli komutları verecektir. Ayrıca araç kontrol ünitesi bağlı olduğu modem üzerinden, sıcaklık verilerini ADKM'ye devamlı iletiyor olacaktır. Böylece, sıcaklık verilerinin güvenli sınırları aşması durumunda güvenlik tedbirleri otomatik olarak devreye girmezse araç güvenliğinin ekip üyeleri tarafından sağlanması mümkün olacaktır. Bu güvenlik önlemleri, batarya koruma kabındaki çalışan fan sayısının uzaktan arttırılması, aşırı ısınma varsa ilgili hücrenin devreyle bağlantısının uzaktan güvenli bir şekilde kesilmesi, araç bilgisayarına uzaktan dur komutunun verilmesi ve tüm batarya hücrelerinin devreyle bağlantısının uzaktan kesilmesi olarak sıralanmaktadır.

4.5 Kablosuz Acil Durum Kontrol Merkezi

Kablosuz Acil Durum Kontrol Merkezi ekip üyelerinin bulunduğu, bir kontrol panelinin yer aldığı, jürilerin kontrolünden geçecek olan, 2022 Robotaksi Şartnamesi'nde belirtilen Uzaktan Müdahale Sistemi (UMS) gereği geliştirilmiştir bir merkezdir. Acil durumlar için geliştirilen Acil Durum Kontrol Merkezi (ADKM), aracın frenlerinin uzaktan aktive edilebilmesine ve gerektiğinde aracın farklı noktalarındaki gücün ayrı ayrı veya toplu olarak kesilebilmesine imkan sağlayacaktır. Acil durumlarda gerekli komutlar internet aracılığıyla ADKM üzerinden araca iletilecektir. Araç bilgisayarı, araçta bulunan 4G modem vasıtasıyla internete bağlı olacaktır. ADKM'de bulunacak olan ekip üyeleri yarış esnasında herkesin görebileceği açık bir alanda, parkurun yanında olacaktır. ADKM'nin görevi yaşanabilecek bir kaza durumunu öngörüp en hızlı şekilde uzaktan etkin bir şekilde müdahale ederek yaşanabilecek hasarı en aza indirmektir.

4.6 Uzaktan Durdurma

Aracı uzaktan iki farklı sistemle güvenli ve hızlı bir şekilde durdurma kabiliyeti olan bir uzaktan durdurma sistemi üzerinde çalışılmaktadır. Bunlardan ilki tahrik motorunun elektriksel güçle kilitlenmesini sağlarken ikinci sistem de arabanın arka tekerleklerinin hidrolik fren sistemi ile durdurulmasını sağlamaktır. Bu sistemler, ADKM'nin internet üzerinden araç kontrol bilgisayarına verdiği komut uyarınca ilgili fren sisteminin araç kontrol bilgisayarı üzerinden aktive edilmesi işleyişine dayanmaktadır. Otonom sistem kameradan aldığı verilere göre durması gereken zamanı belirleyerek fren sistemlerini aktive eder ancak bunların herhangi bir sebeple gerçekleşmemesi durumunda araç kontrol bilgisayarında bulunan başka bir birim üzerinden frenleme mekanizmaları uzaktan aktive edilir. Araç durduktan sonra yine uzaktan tüm güç kesilir. Ardından aracın yanına gidilerek acil stop butonuna basılır ve tüm gücün kesildiğine emin olunur.

Birinci uzaktan durdurma sistemi olan tahrik motorunun kilitlenmesi araçtaki tahrik motor sürücüsünün kendi içerisinde hazır bulunan frenleme özelliğinden yararlanılarak geliştirilmiştir. Tarafımızca tasarlanan pcb üzerinden araç bilgisayarı motorun frenleme özelliğini anında aktive edebilmektedir. Ayrıca acil durumlarda ADKM'den de bu frenleme özelliği hızlıca gerçekleştirilebilmektedir.

İkinci uzaktan durdurma sistemi olan hidrolik fren sistemi ise tahrik motorumuzun güç aktarımı yaptığı arka tekerleri doğrudan sıkıştırarak güvenli ve sıkı bir şekilde aracın durmasını sağlamaktadır. Tamamen araç kontrol bilgisayarı kontrolünde olan bu sistem yalnızca acil durumlarda ADKM üzerinden aktive edilecektir.

4.7 Aşırı Akım Kesiciler

Bataryaların her birinden çekilecek akım miktarı hesaplanmıştır ve bu akım değerlerini güvenli bir şekilde sağlayabilecek bataryalar tercih edilmiştir. Hesaplanan güvenli akım değerlerinin sınırının aşılması durumunda ilgili kablodan geçen akımın durdurulması gerekmektedir. Bunu sigortalar kullanılarak yapılmasına karar verilmiştir. Sigorta tipi olarak ise bıçak sigortaların kullanımı uygun görülmüştür. Bıçak sigortalar otomobillerde tercih edilen, aracımız için uygun olan sigorta tipidir. Elektrik gücü taşıyan tüm kabloların taşımaları gerekebilecek azami akım değeri hesaplanmıştır ve buna uygun değerlerde bıçak sigortalar hepsine takılmıştır. Araçta bıçak sigortalar tek bir yerde toplanacak şekilde kablaj işlemi gerçekleştirilmiştir. Sigortalar burada IP54 tipi korumaya sahip bıçak sigorta kutusunda muhafaza edilmektedir.

4.8 Acil Durumlar İçin Durdurma Butonu

Araçtaki tüm akım taşıyan kabloların tek bir butonla açık devre olmasını sağlayacak olan acil durdurma butonu gerektiğinde basit ve pratik bir fiziksel müdahaleyle araçtaki tüm elektronik sistemlerin gücünü güvenli ve ani bir şekilde kesebilecektir. Acil stop butonu kontaktörün bobinine giden akımı keserek batarya ve motor arasındaki bağlantıyı kesmiş olur.

4.9 Otonom Güvenli Sürüş Mekanizması

Aracın güvenli sürüş algoritmalarına sahip olması büyük bir öneme sahiptir. Aracın karşısına çıkan herhangi bir engele çarpmadan ilerleyebilmesi, gerekirse güvenli bir şekilde yavaşlayarak durup engelin ortadan kalkmasını beklemesi, engelin ortadan kalkmaması durumunda geri giderek başka bir yoldan rotasına devam etmesi, çevresini görerek önüne çıkabilecek hareketli cisimlerin önüne çıkmasını beklemeden aracın durmasını sağlayabilmesi gibi gelişmiş güvenlik algoritmaları geliştirilmektedir. Yarışma gününe kadar, yarış güvenliği için kritik öneme sahip olan bu algoritmalar sürekli olarak test edilecek, testleri başarıyla geçen algoritmalar otonom sürüş yazılımına entegre edilecektir. Güvenlik algoritmalarının temelini derinlikli kameradan alınan veriler oluşturmaktadır. Seçilen kameranın öne çıkan özelliklerinden biri de hassas bir şekilde mesafe ölçümü yapabilmesidir, en önemlisi de bu verileri SLAM yapabilmek için doğru bir şekilde üretebilmesidir. Bu kamera sayesinde aracın rotasında bulunan ve engel teşkil eden tüm cisimlerin mesafeleri tespit edilecek ve otonom sürüş için güvenli yazılımsal çözümler geliştirilecektir. Bu çözümü sağlamak için kamera sensörünün seçilmesinin nedeni, kameranın yol ve çevresini araç bilgisayarına detaylı bir şekilde tanıtma imkanının olmasıdır. Bu sayede görüntüler işlenerek hangi durumda nasıl tepki verileceğine en doğru şekilde karar verilebilir. Fakat ani çıkabilecek engellere karşı ek bir güvenlik sisteminin daha geliştirilmesi öngörülmektedir. Bu güvenlik sistemi, temelinde ultrasonik sensörlerin kullanıldığı bir mekanizma olacaktır. Aracın ön kısmına yerleştirilmesi planlanan ultrasonik sensörlerin ürettikleri verilerin en hızlı şekilde işlenmesi sağlanacak ve olası beklenmedik durumlarda aracın en güvenli tepkiyi olabildiğince kısa sürede vermesi sağlanmış olacaktır. Ayrıca bu şekilde kameranın ışık yansımaları veya kör noktalar sebebiyle göremediği herhangi küçük engeller ultrasonik sensörlerin algılamasıyla problem olmaktan çıkacaktır.

4.10 Montaj ve Kablaj Hakkındaki Güvenlik Önlemleri

Araç içi aktarım organları yapısal ve kimyasal anlamda görevine uygun ve ortam bakımından güvenilir olarak dizayn edilmiştir. Bunun için montaj ve kablaj yapılırken *2022 Robotaksi Şartnamesi, Montaj ve Kablaj Unsurları* maddesi dikkate alınmıştır. Bu konu hakkında alınan önlemlere bu maddede değinilmiştir.

Elektronik aksamların montajı birden fazla potansiyel hareketli parçaya temas etmeyecek şekilde yapılmıştır. Vidalama işlemlerinde somunların tamamen sıkıldığı kontrol edilmiştir.

Tüm elektrik bağlantıları için kullanılan kablolar görevine göre seçilmiştir ve taşıyacağı akım aralığı hesaplanarak yeterli çapa sahip kablolar seçilmiştir. Bu çap uzunluğu şartnamenin belirttiği sınırlara göre hesaplanmıştır. Ayrıca kablolar delinme, kesilme ve yontulma gibi durumlara karşı korunmuştur. Basma, çekme gibi durumlarda kabloların zarar görmemesi, plastik içi bakırın kopmaması, plastiğin kopmaması, konnektörlerden çıkmaması veya konnektörü kırmaması vb. için çeşitli tedbirler alınmıştır. Bu tedbirler kapsamında kablolar sabitlenmiş, etrafı koruyucu kılıf ile kapatılmış, makaron ve elektrik bantları ile birleştirilmiş, pabuçlar ve vidalar yardımıyla ilgili bağlantılar yapılmıştır. Kablo demetleri kablo çorabı gibi demetleyici gereçler yardımıyla toplanmıştır. Tüm kabloların sıcak bölgelerden uzakta olması

sağlanmaya çalışılmıştır. Sıcak bölgelere temas eden kablolar ısıdan yalıtılmıştır. Kabloların her biri yarışma anında zaman kazanmak ve olası kazaların önüne geçmek adına görev türlerine göre etiketlenmiştir. Güç aktarım organları hiçbir zaman direkt aktarılmamıştır, her zaman konnektör kullanılmıştır.

Kabloların renk seçimi standartlara oldukça yakındır. Güç kablolarının renk seçiminde (+, artı) hattın kırmızı, (-, eksi) hattın siyah renk olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca data ve sinyal kablolarının kolay anlaşılabilir olmasına özen gösterilmiştir.

Kablolar, kablo demetleri ve aktarım yapan tüm ekipmanlar hareketli yüzeylerden olabildiğince uzağa konumlandırılmıştır ve sabitlenmiştir. Ark ihtimali olan bölgeler yanmaya karşı dizayn edilmiştir ve ark oluşma ihtimalini en aza indirecek şekilde elektrik bağlantılarının takılma sırasına, bağlantı yerlerinin yeteri kadar sıkı olmasına dikkat edilmiştir. Tüm aktif iletkenler kapalı haldedir.

4.11 Otonom Fren Sistemi

Aracın fren sistemleri otonom sisteme uygun hale getirilmiştir. Araç kontrol bilgisayarı aracın hızını ve yönünü enkoder ve imu sensörleri sayesinde hesaplayabilir duruma gelmiştir. Bununla beraber haritalandırma yaptığı ve önündeki ultrasonik mesafe sensörlerini de devamlı işlediği için çarpma olasılığını devamlı kontrol edebilen bir sistem geliştirilmiştir. Çarpma olasılığının derecesine göre aracı en uygun şekilde yavaşlatma kabiliyetine sahip bir kontrol mekanizması dizayn edilmiştir. Araç düşük çarpma olasılıkları durumunda önce hızını keser. Çarpma olasılığının artması durumunda motorları elektriksel güçle kilitler. Bunlar yeterli olmazsa aracın hızlı ve kesin bir şekilde durmasını sağlamak üzere kampana frenleri aktive eder.

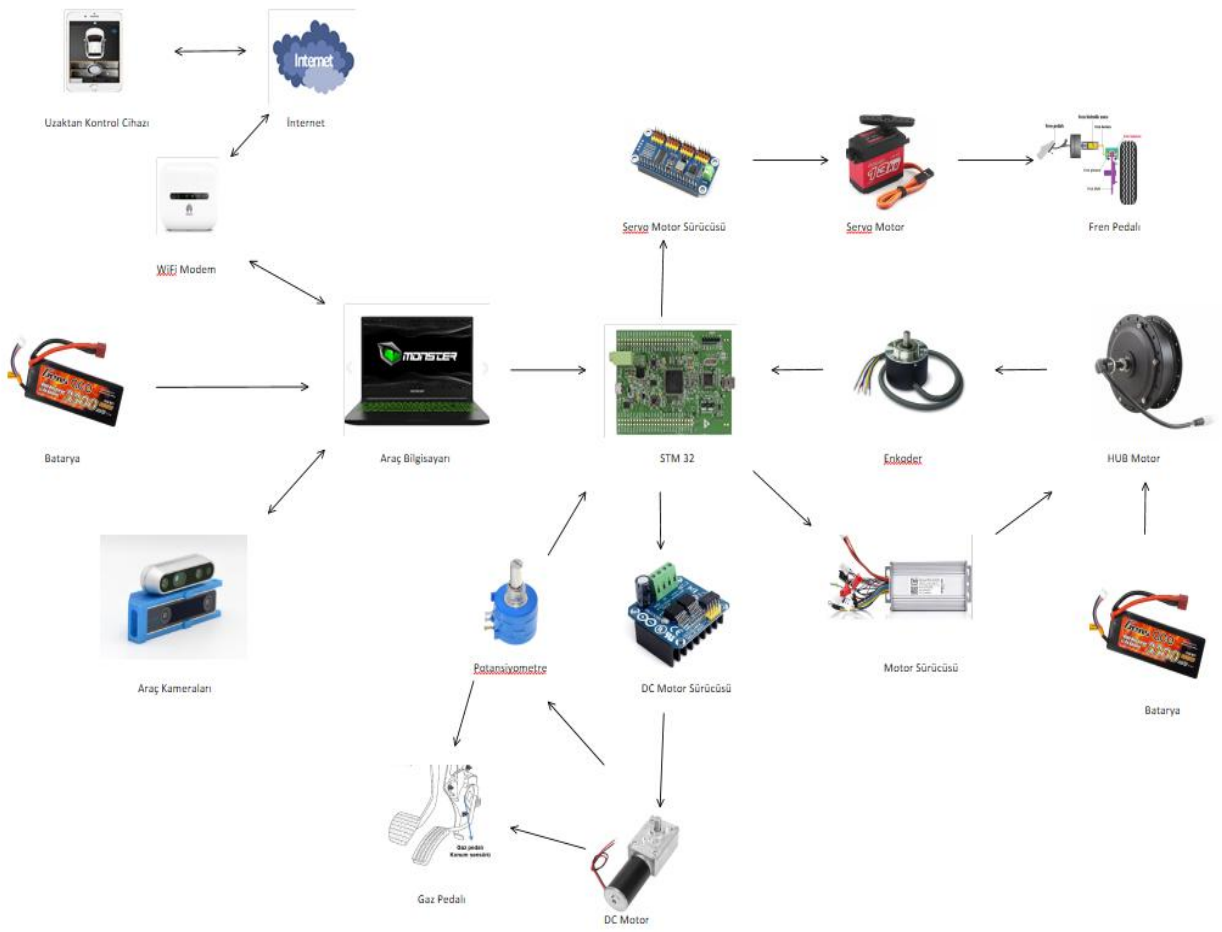
Araç görevi (kırmızı ışık, durak tabelaları yanı) gereği duracağı vakit konforlu bir sürüş sağlamak için yumuşak frenleme yapar. Bunun için araçta bulunan derinlik algılayıcılı kamera D455 üzerinden araç kontrol bilgisayarı hızını yavaşlatması gereken mesafede hızını kademeli olarak azaltmaya başlar ve ardından motor frenlerini aktive eder. En son kampana frenlerini de aktive ederek yolcuların araçtan en güvenli şekilde inmesine olanak sağlar. Kampana frenleri, aracı arkadan iki kişinin kuvvetli bir şekilde ittirmesi durumunda aracın tekerlerinin dönmemesi için yeterli direnci uygulayabilecek güçtedir.

4.12 Işıklandırma

Aracın frenleme mekanizmalarından herhangi birinin aktive olması aracın arkasında bulunan stop lambalarının yanmasını tetikler. Bu işaret aracın arkasında bulunan diğer araçlar ve yayalar için önemli bir uyarıdır. Bu uyarının daha çabuk fark edilebilmesi için kırmızı renk ışık tercih edilmiştir. Arka stop lambalarında bulunan ledlerin sayısı ve ışık şiddetleri, gün ışığında şartnamede de belirtildiği üzere 25 metreden rahatlıkla görülebilecek şekilde seçilmiştir.

4.13 Harness Diyagramı

Tüm sistemlerin tek diyagramda gösterimi. Harness diyagramı Şekil 35’te verilmiştir.



Şekil 35. Harness diyagramı

5. Yazılım Mimarisi

5.1 Şerit Tespit Algoritması

Şerit tespiti için kodladığımız iki farklı şerit tespit algoritmamız bulunmaktadır. Bunlardan biri yapay zeka (derin öğrenme) ile, diğeri ise computer vision algoritmaları ile kodlanmıştır. Yarışmaya kadarki süreçte bu iki algoritma sürekli test edilecek, parkurdaki çeşitli görevlerde hangisinin daha başarılı olduğuna bakılacak, görev bazında kullanılacak algoritma seçilecek (örneğin düz yolda ilk algoritma kullanılırken kavşaklarda ikinci algoritma kullanılacak) veya iki algoritma uygun bir biçimde birleştirilerek kullanılacaktır. Bu iki algoritmanın kodlama detayları **5.1.1** ve **5.2.2** bölümlerinde anlatılmıştır.

5.1.1 Derin Öğrenme ile Şerit Tespiti

Şerit tespiti, temelde detaylı bir filtreleme işlemini gerektiren, bu ihtiyaca çözüm üreten bir görevdir. Filtreleme oldukça yaygın olarak kullanılan özellikle geleneksel görüntü işleme görevlerinde çokça tercih edilen bir yöntemdir. Derin öğrenme ise bir resmin tamamına aynı filtreyi uygulayan bir geleneksel modele göre çok daha efektif sonuçlar vermektedir. Geleneksel

yaklaşım içerisinde de “adaptive threshold” olarak bilinen yaklaşım, nispeten iyi sonuçlar vermektedir. Bizim derin öğrenmeyi tercih etmemizin en temel sebebi, renk ayrımlarına dayalı bir tespitten ziyade fotoğrafın genelinden bir anlam çıkararak “şerit” kavramından ziyade “yol” kavramına odaklanan semantik segmentasyon modelleridir. Bu minvalde tarafımızca hem geleneksel OpenCV yöntemleri hem de Derin Öğrenme modelleri test edildi.

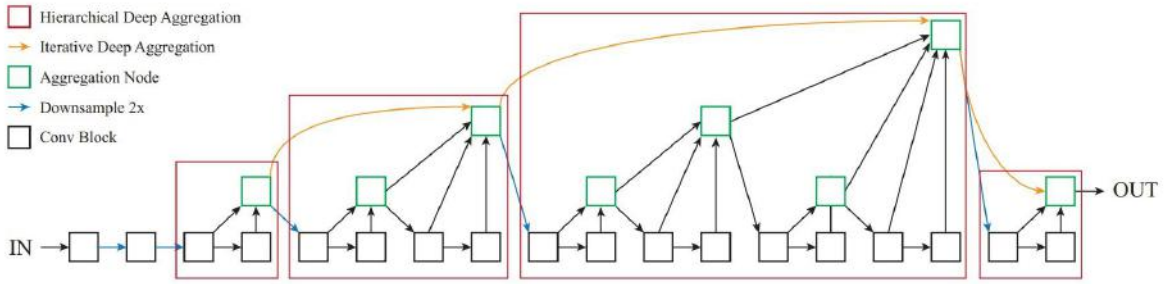
Derin öğrenme tabanlı şerit tespiti çok yaygın bir görevdir ve her geçen gün ilerlemeler kaydedilmekte, farklı yaklaşımlar ortaya çıkmaktadır. Bu yaklaşımların birçoğu Konvolüsyonel Sinir Ağları yani CNN tabanlı yaklaşımlardır. Peki bir modeli diğerinden ayıran şey nedir?

Şerit tespiti görevi başlı başına bir “feature extraction” yani nitelik çıkarımı işlemidir. Başka bir deyişle, bir fotoğrafın bir sinir ağına nasıl verileceği konusu zaten ağır bir konu iken bir de tahmin edilen fotoğraftaki piksellerden hangilerinin şerit, hangilerinin gürültü olduğu konusu ise ayrı bir çözümlemedir. Bu çözümlemeleri makine öğrenmesi makalelerinde “post-process” ve “pre-process” olarak kolayca gözlemleyebiliriz. Ekibimiz tarafından tercih edilen “Robust Multi-Lane Detection with Affinity Fields” #check# makalesinde tanıtılan modeli farklı kılan şey ise bu “post ve pre” processing işlemleridir. Model detaylarına genel manada bakılırsa, model omurgası olarak “dla-34” kullanılmış, eğitim sürecinde “binary segmentation” denilen siyah beyaz fotoğraflar ground-truth olarak alınmış ve farklı yerler için farklı “loss” yani “kayıp” fonksiyonları kullanılmıştır. Tüm bu kullanımlar bir sonraki bölümde detaylı olarak incelenecektir.

5.1.1.1 Model Omurgasının Detayları: DLA-34

Derin öğrenme modelleri temelde 1 giriş katmanı, n adet gizli katman ve son olarak da bir çıktı katmanı içeren ve derinliği ‘n’ye bağlı modellerdir. DLA yani “Deep Layer Aggregation” ise bu yaklaşıma bambaşka bir bakış katar. DLA-34, DLA ailesinden herhangi bir omurgadır. DLA’ ya daha yakından bakarsak, şekil 36’da görüleceği gibi katmanlar arası bazı bağlantılar normal sinir ağı yaklaşımından oldukça farklıdır.

DLA temelde “Iterative Deep Aggregation”, “Hierarchial Deep Aggregation” basamaklarından oluşmaktadır. Bu basamakların yanında bir de “Aggregation Node”leri yani “birleşme düğümleri” vardır. Yine şekil 36’da görülebileceği üzere “HDA” diye adlandırılan birleştirme işlemi birden fazla katmanın sonuçlarını bir araya getirerek birleştirme işlemini yapar. Bu işlemleri simgeleyen düğümler ise yeşil renkle görüntülenebilmektedir. “IDA” şeklinde adlandırılan turuncu bağlantılar ise hiyerarşik olarak uygun olan birleşme düğümünden bir diğerine aktarımı sağlamaktadır.



Şekil 36. Deep layer aggregation, modelin 'semantic' ve 'uzaysal' bilgileri çıkarma yetisini artırıyor[11]

DLA' nın yayınlandığı makalede de ifade edildiği üzere nesne tespiti gibi görevlerin yanı sıra "segmentasyon" görevlerinde de oldukça kullanışlı bir omurgadır. Şekil 36'da görüleceği üzere DLA'nın kullanımı segmentasyon görevlerindeki doğruluk oranlarını yüksek oranda arttırmaktadır.

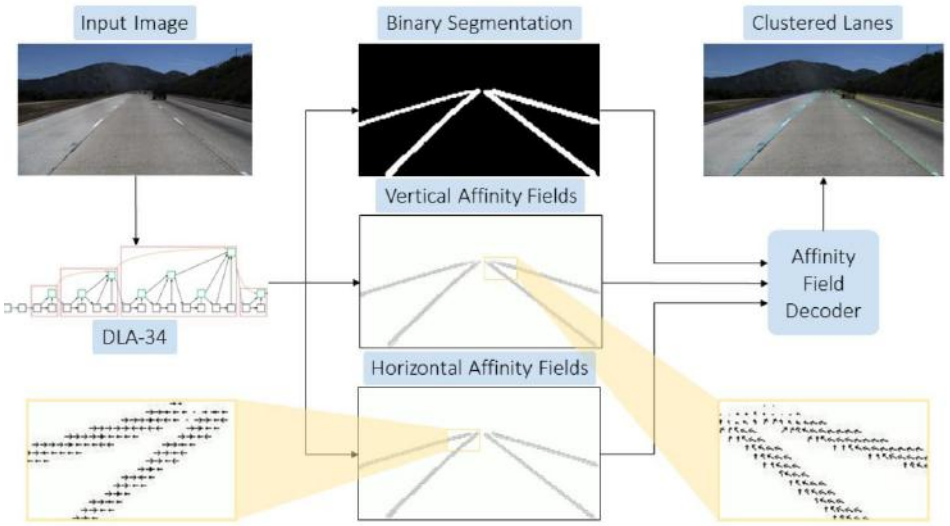
Tablo 9. Evaluation on CamVid. Higher depth and resolution help. DLA is state-of-the-art[11]

Method	mIoU
SegNet [2]	46.4
DeepLab-LFOV [7]	61.6
Dilation8 [45]	65.3
FSO [24]	66.1
DLA-34 8s	66.7
DLA-34 2s	68.6
DLA-102 2s	**71.0**

Değerlendirmeler ve bulgular ışığında, modeli tercih etmemizin sebeplerinden birisi olan model omurgası açıklanmıştır.

5.1.1.2 Ön ve Arka İşleme (Pre and Post Process) Basamakları

Yukarıda da bahsedildiği üzere, derin öğrenme modelleri temel itibariyle benzerdir. Önemli olan, tahmin sonuçlarını görev isterlerine uygun manipüle edebilmek ve bu sayede model başarısını arttırmaktır. Rehber olarak aldığımız model bu konuda diğer modellerden çok daha farklı bir yaklaşım uygulamıştır.



Şekil 37. Ön ve arka işleme basamakları

Şekil 37'de görüldüğü üzere model input olarak normal fotoğrafı almakta ve daha sonra bu fotoğrafı bir önceki başlıkta model omurgası olarak anlatılan "DLA-34"e girdi olarak vermektedir. Daha sonraki adımda modelden çıktı olarak gelen 3 şey, yani "ikili segmentasyon fotoğrafı", "dikey benzeşme bölgeleri" ve "yatay benzeşme bölgeleri" modeli özel yapan başka bir noktadır.

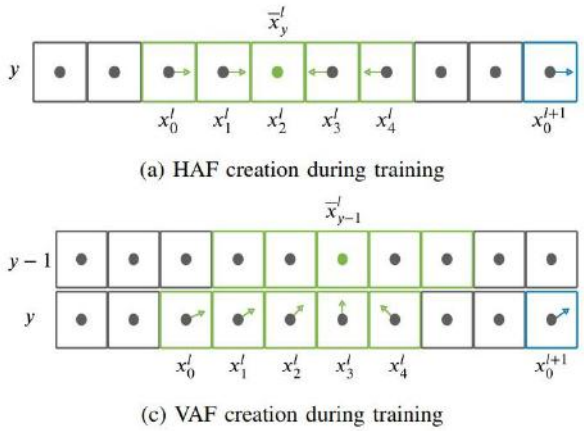
Benzeşme bölgesi yaklaşımını detaylandırmak gerekirse, model makalesinde anlatıldığı biçiminden yola çıkarak "birim yön vektörü" olduğunu söyleyebiliriz. Her bir piksel için ayrı ayrı tahminlemesi yapılan bu vektörler, bir sonraki komşu şeridin nerede yoğunlaşacağını belirlemeyi amaçlar. Bu vektörlerin nasıl tespit edildiğini ise orijinal makalesinden alarak açıklayalım.

Eğitim sürecinde "vertical ve horizontal affinity fields" yani VAF ve HAF'lar şeritlerin beyaz, diğer alanların siyah olduğu segmentasyon maskeleri kullanılarak üretilir. Örneğin, her bir beyaz piksel için (şerit barındıran kare) HAF vektörü şöyle hesaplanabilir:

$$\begin{aligned}\vec{H}_{gt}(x_i^l, y) &= \left(\frac{\overline{x}_y^l - x_i^l}{|\overline{x}_y^l - x_i^l|}, \frac{y - y}{|y - y|}\right)^{\mathsf{T}} \\ &= \left(\frac{\overline{x}_y^l - x_i^l}{|\overline{x}_y^l - x_i^l|}, 0\right)^{\mathsf{T}},\end{aligned}$$

Şekil 38. HAF vektörünün formülü[13]

Burada bahsi geçen *'l'* pikselin bulunduğu satırdaki her bir şeridi simgeler. ifadesi ise pikselin ait olduğu şeridin, pikselin bulunduğu satırdaki sağ ve sol komşu piksellerinin x değerlerinin ortalamasıdır. Şekil 39'a bakılarak açıklama daha iyi anlaşılabilir. Yeşil sınırlı pikseller "l" şeridini ifade ederken en sağdaki mavi sınırlı pikseller "l+1" şeridini ifade etmektedir.



Şekil 39. HAF ve VAF vektörlerinin belirlenmesini sağlayan komşu pikseller[13]

HAF ve VAF vektörlerinin işlevini tekrar hatırlatmak gerekirse; fotoğrafa basit binary segmentation uygulandıktan sonra "post processing" aşamasında şerit olarak ilan edilen piksellerden mantıksız yahut bir şerit kümesine ait olmayanları elemektedir. Bu yüzden diğer yöntemlerden olan "polynomial fit" gibi regresyon yöntemlerinden ziyade böyle bir kümeleme yaklaşımı çok daha kuvvetli sonuçlar vermektedir. Durum şöyle açıklanabilir, 90 derece kadar dik keskin ve yarıçapı küçük virajlarda polynomial regresyon algoritmaları fit etmekte zorlanmaktadır. Ancak bu model bir pikselin "şerit mi değil mi" olduğuna karar vereceğinde yalnızca bu piksele değil, aynı zamanda diğer piksellere de baktığı ve herhangi bir regresyon algoritmasını fit etmediği için daha başarılı sonuçlar verebilmektedir.

5.1.1.3 Model Değerlendirme Şekilleri ve Sonuçları

Bu modeli eğitmek için her tahminde farklı bir loss fonksiyonu kullanıldı. Binary segmentation kısmı için "weighted binary cross-entropy" adlı kayıp fonksiyonu kullanıldı. Model tarafından üretilen satır çıktılarını normalize etmek için "sigmoid activation" kayıp fonksiyonu kullanıldı ve kayıp şu şekilde hesaplandı:

$$L_{BCE} = -\frac{1}{N}\sum_{i}\left[w \cdot t_i \cdot log(o_i) + (1-t_i) \cdot log(1-o_i)\right]$$

Bu formülde 't_i' o an hesaplanan piksel (i) için tahminlenerek ulaşılmaya çalışılan değerdir ve 'o_i' ise sigmoid fonksiyonunun çıktısıdır. 'w' ağırlığı ise hata oranına biraz daha ekleme yaparak tahminlemenin nihai başarısını daha da arttırmak için kullanıldı. Ancak

alışılmadık/ekstrem durumları daha fazla hesaba katabilmek için ek bir "intersection over union" kayıp fonksiyonu kullanıldı:

$$L_{IoU} = \frac{1}{N} \sum_i \left[1 - \frac{t_i \cdot o_i}{t_i + o_i - t_i \cdot o_i} \right].$$

Daha önce bahsedilen yatay ve dikey benzeşme bölgeleri için de basit bir "L1 regresyon" kayıp fonksiyonu uygulandı:

$$L_{AF} = \frac{1}{N_{fg}} \sum_i \left[|t_i^{haf} - o_i^{haf}| + |t_i^{vaf} - o_i^{vaf}| \right].$$

Toplam kayıp ise tüm bu bahsi geçen kayıp fonksiyonlarının toplamı olarak ifade edilir:

$$L_{total} = L_{BCE} + L_{IoU} + L_{AF}.$$

Modelin koda geçirilmiş, eğitim yapmak için kullanılan "github" reposunda verilen başarı oranları Tablo 10'da açıkça görülebilir. Özgün bileşenler kısmında ayrıca bahsedilmiş olsa da hatırlatmak gerekirse, söz konusu repoda eğitilmiş modeli bireysel olarak geliştirilen projelere entegre etmek için bir araç bulunmuyordu. Bu sorun tarafımızca, "python" dilinde yazılan bir araç ile aşıldı. Bu araç sayesinde, eğitilmiş model "ros" tan gelen fotoğraflardaki şeritleri tespit etmek için kullanılabilir hale getirildi.

Tablo 10. LaneAF makalesinin koda geçirilmiş bir örneğinin TuSimple dataseti ile yapılan train ve test sonuçları [12]

Backbone	F1-score	Accuracy	FP	FN
DLA-34	96.4891	95.6172	0.0280	0.0418
ERFNet	94.9465	95.2978	0.0550	0.0465
ENet	92.8905	94.7271	0.0885	0.0560

5.1.2 OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision) açık kaynak kodlu görüntü işleme

kütüphanesidir[14]. Algoritmamız OpenCV algoritmalarının Python'da kullanılabilmesini sağlayan opencv-python[15] kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiştir. Algoritmamızın adımları basitçe şu şekildedir:

5.1.2.1 Görüntünün ilgili yerinin kırpılması

Kamera yol dışında birçok yeri görmektedir. Bu sebeple girdi görüntüsünün ilgi odağımız olmayan gökyüzü gibi kısımları kırpılarak atıldı.

Şekil 42. Girdi görseli ve ilgili yerin kırpılmış hali

5.1.2.2 Adaptive Threshold:

Asıl amacımız olan şeritlerin tespiti için şeritlere ait pikselleri diğer piksellerden ayıran özelliklerden biri olan parlaklık bilgisi kullanıldı. Öncelikle kameradan alınan görsel "grayscale" denilen sadece grinin tonlarından oluşan görsele çevrildi. Daha sonra bu grayscale görsele "adaptive threshold" fonksiyonu uygulandı.

Adaptive threshold yani "uyarlanabilir eşik", eşik uygulamak istediğimiz görsele tek bir eşik değeri vermek istemediğimiz durumlarda kullanılan yöntemdir. Bunun yerine her bir piksel için ayrı bir eşik değeri hesaplayarak uygulanmaktadır. Her piksel için eşik değeri hesaplama yöntemi olarak gaussian ağırlıklı toplam algoritması kullanıldı. Şekil 43'te 2 boyutlu gaussian

fonksiyonunu görebilirsiniz.

$$f(x,y) = A\exp\left(-\left(\frac{(x-x_o)^2}{2\sigma_X^2} + \frac{(y-y_o)^2}{2\sigma_Y^2}\right)\right)$$

Şekil 43. 2 Boyutlu gaussian fonksiyonu

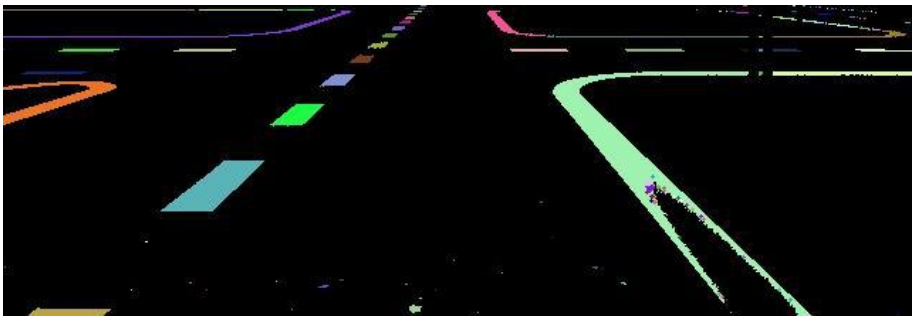
Fonksiyonun ne kadar uzağa baktığını belirleyen "blok boyutu" değişkeni 101 olarak, pikselin çevresinden ne kadar aydınlık olması gerektiğini belirten "C" değişkeni de -61 olarak belirlendi. Bu değerler kullanım durumuna uygun olarak değiştirilip ince ayar çekildi.

Şekil 44. Girdinin adaptive threshold alınmış hali

Bu kısımda binary görüntü elde etmek için kullanılan yöntemlerden biri olan "canny edge detection" yöntemi tercih edilmedi. Canny edge detection, görseldeki sert geçişleri tespit eden bir kenar belirleme fonksiyonudur. Şeritlerin zeminden keskin bir çizgiyle ayrılmasından faydalanarak bu yöntemin kullanılması yaygındır. Ancak görüntünün biraz soluk olduğu durumlarda veya güneş parlaması durumlarında kötü sonuçlar vermektedir. Diğer taraftan adaptive threshold yöntemi her durumda sağlam sonuçlar vermektedir. Kenar belirleme fonksiyonunun diğer bir kötü yanı da geniş şeritli durumlarda iki farklı çizgi oluşturmasıdır. Adaptive threshold yönteminde bu durum da yoktur. Bu sebeplerle adaptive threshold yöntemi tercih edilmiştir.

5.1.2.3 Konturların Bulunması

OpenCV kütüphanesinin sağladığı fonksiyonlardan biri olan *findContours,* threshold aldığımız siyah-beyaz görüntünün beyaz kümelerini ayırmaya yaramaktadır. Her bir kümeyi kontur olarak algılar ve sınırlarını kaydeder. Daha sonra elde edilen konturlar diğer fonksiyonlara verilerek işe yarar bilgiler elde edilebilir. Bu adımda elde edilen konturlar da bu amaçla kaydedilmiş, izleyen aşamalarda kullanılmıştır.



Şekil 45. Konturlar, her renk farklı bir konturu belirtmektedir.

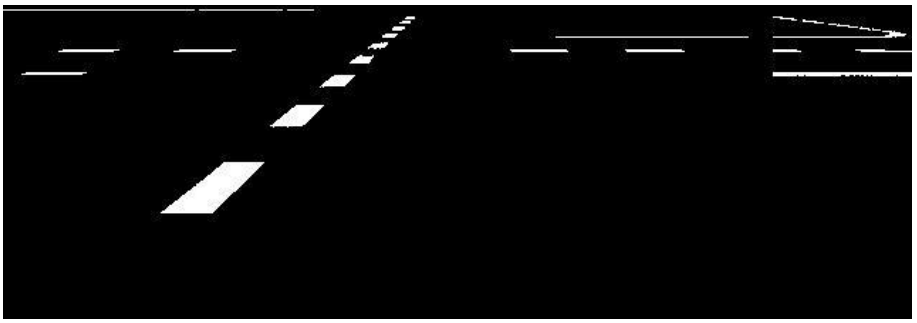
5.1.2.4 Konturların Filtrelenmesi

Elde edilen konturlardan bazıları yolun kenarındaki düz şeritlere, bazısı ise yolun ortasındaki kesikli şeritlere aittir. Bunları ayırt edebilmek için konturlar üzerinde bir filtre uygulanmıştır. Uygulanan filtre şu şekildedir:

$$(b \cdot y^3)_{duz} > 5 \cdot 10^9 > (b \cdot y^3)_{kesik} > 10^8$$

Bu formülde b konturun çevrel dikdörtgeninin alanı (bounding box), y ise bu dikdörtgenin merkezinin görüntüdeki yerden yüksekliğidir. Bu koşulu sağlayan konturlar düz şerit ve kesik şerit olarak, sağlamayan konturlar ise gürültü olarak sınıflandırılmışlardır.

Şekil 46. Düz şeritlerin filtrelenmiş hali



Şekil 47. Kesik şeritlerin filtrelenmiş hali

Şekil 48. Gürültünün filtrelenmiş hali

5.1.3 Haritaya Eklenmesi

5.11 ve 5.12'de anlatılan algoritmalar ile iki boyutlu kamera görüntüsünde şeritlere ait pikseller belirlendikten sonra bu piksellerin haritadaki konumları, kameranın konumu, görüş açısı ve yerden yükseklik bilgileri kullanılarak hesaplanmıştır. Kameranın bakış açısı yere paraleldir. Bu sebeple görüntünün tam ortası haritada sonsuza denk gelmektedir. İlk olarak kamera görüntüsünün üst yarısı kesilerek atılmıştır. Kalan görüntünün üst kenarının yer ile açısı 0 derece, alt kenarının yer ile açısı ise 26.025 derecedir. Pikselin haritadaki konumunun aracın kaç metre önünde olduğunu bulmak için

$$x_r = h \cdot tan(90 - 26.025 \cdot \frac{row}{rows} \cdot \frac{\pi}{180})$$

formülü kullanılmıştır. Buradaki h kamera yüksekliği, row pikselin görüntüdeki satır sayısı, $rows$ görüntüdeki toplam satır sayısıdır.

Kameranın sağ ve sol kenarlarının kameranın baktığı düzlem ile olan açısı ±34.7 derecedir. Pikselin kameraya göre sağa veya sola doğru kaç metre olduğunu bulmak için ise

$$y_r = h \cdot tan(-(34.7 \cdot \frac{2 \cdot col}{cols}) - 34.7) \cdot \frac{\pi}{180})/cos(90 - 26.025 \cdot \frac{row}{rows} \cdot \frac{\pi}{180})$$

formülü kullanılmıştır. col pikselin görüntüdeki sütun sayısı, $cols$ görüntüdeki toplam sütun sayısıdır. Arabaya göre elde edilen konum, arabanın konumu kullanılarak tam konum elde edilmiştir. Bunun için de

$$x = x_a + x_r \cdot cos(yaw) - y_r \cdot sin(yaw)$$
$$y = y_a + x_r \cdot sin(yaw) + y_r \cdot cos(yaw)$$

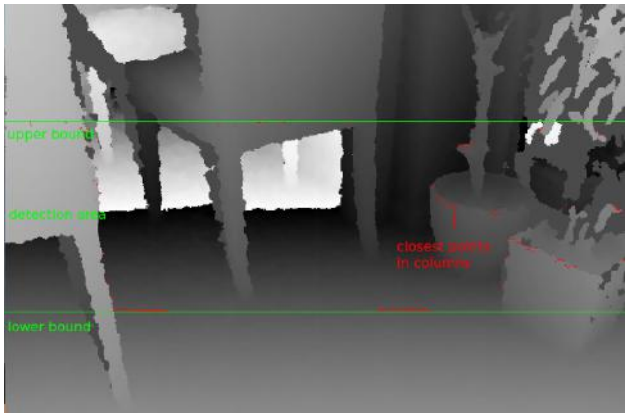
formülleri kullanılmıştır. Burada x_a ve y_a aracın tam konumu, yaw ise aracın başlangıç konumuna göre açısıdır.

5.2 Engel Tespit Algoritması

Parkur görevi sırasında yoldaki engelleri tespit etmek için Intel D455 derinlik algılayıcı kamera kullanıldı. Engel bilgisi şerit değiştirmek ve engele çarpmamak için kullanıldı.

5.2.1 Tespit

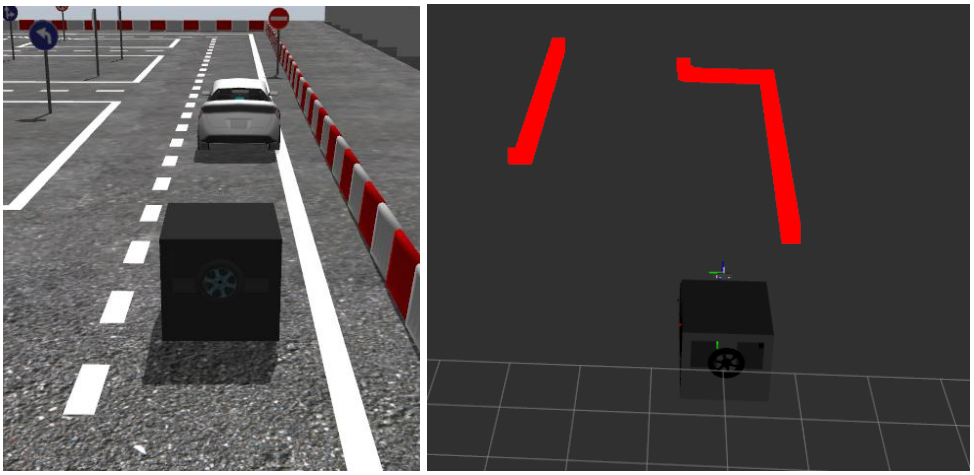
Derinlik kamerasından alınan derinlik görüntüleri üst ve alt kısımdan sınırlandırılır. Bu şekilde trafik lambası gibi yüksek cisimlerin haritaya eklenmesi engellenir.



Şekil 49. Lazer Belirleme Sınırları

Şekil 49'da görülen yeşil çizgiler derinlik görüntüsünü sınırlar. Yalnızca iki çizgi arasında kalan görüntü lazer verisine çevrilir.

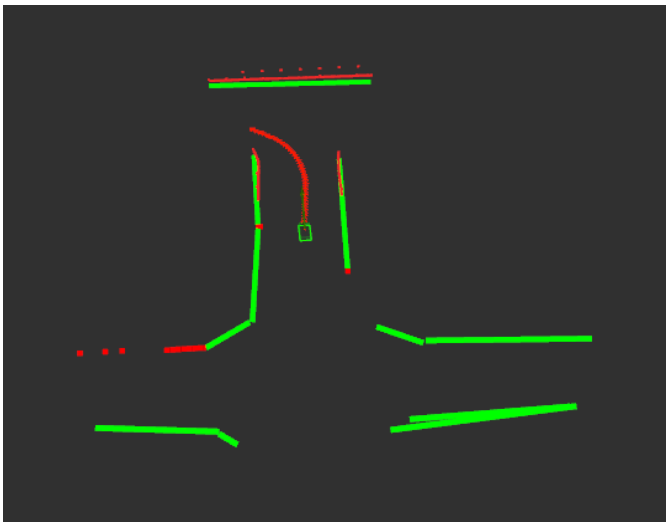
Lazer verisine çevrilecek engelin maksimum ve minimum mesafesi belirlenir. Yeni görüntüdeki maksimum ve minimum uzaklık sınırına uyan engeller lazer verisine çevrilir. Kameranın yerden yüksekliği ve açısı kullanılarak gördüğü engelin zemin mi yoksa farklı bir engel mi olduğu tespit edilir, görülen engel zemin ise haritaya eklenmez. Son olarak tespit edilen engeller araç odometrisi referans alınarak haritaya eklenir.



Şekil 51. Engel tespiti ve görselleştirilmesi

5.2.2 Haritaya Eklenmesi

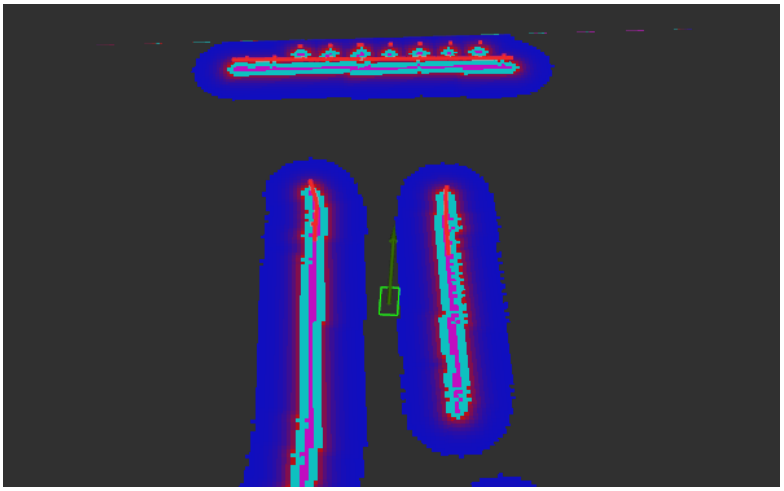
Öncelikli olarak elde edilen lazer noktalarının birbirine yakın olanları birleştirilir, harita oluştururken bu noktalar tek engel olarak gözükür. Bu durum aracın etrafındaki engel sayısını azaltarak yol planlamasında performans artışı sağlar.



Şekil 52. Birleştirilmiş Lazer Noktaları

Yukarıdaki fotoğrafta görülen kırmızı çizgiler lazer verileridir. Yeşil çizgiler ise birbirine yakın olan lazer noktalarının birleştirilmiş halidir.

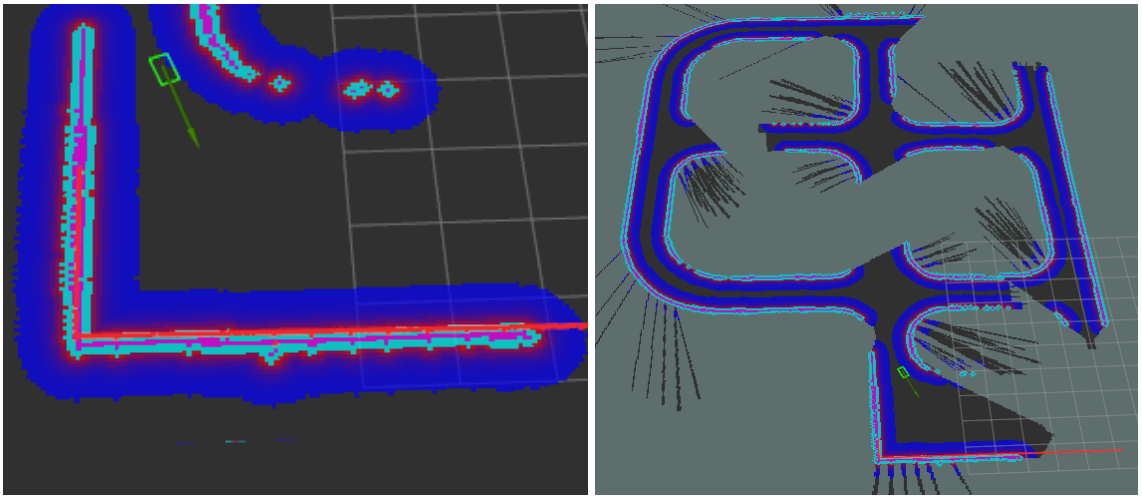
Daha sonra lokal haritada tespit edilen engeller etrafına iki kademeli cost oluşturulur. Bu cost alanının büyüklüğü, araç bariyerlere çarpmayacak şekilde ayarlanır. Aracın cost alanına girmesi halinde alacağı ceza hareketlerini kısıtlamayacak ancak şeritleri de geçmeyecek şekilde ayarlanır.



Şekil 53. Costmap

Oluşturulan lokal harita, genel haritaya geçirilir. Lokal harita yalnızca aracın o esnada görebildiği engellerden oluşurken genel harita aracın o zamana dek gördüğü tüm engelleri

kapsar. Araç hareket ederken hem lokal hem genel haritaya göre hareket eder.



Şekil 55. Lokal Harita ve Global Harita

Soldaki resim lokal haritayı gösterir. Lokal haritada yalnızca aracın o esnada gördüğü engeller bulunur. Sağdaki resim ise genel haritadır. Araç parkurda ilerledikçe lokal haritada gördüğü tüm engelleri genel haritaya ekler.

Genel harita dinamik yapıdadır, lokal haritada daha önceden görülmüş engeller sonraki verilerde görülmezse haritadan silinir. Bu durum gürültüden kaynaklı yanlış görülebilecek engellerin haritadan silinmesini sağlar. Oluşturulan haritalar "global_map" ve "local_map" isimli topic'lere paylaşılır. Yol planlaması paketleri bu topic'lerden haritaya ulaşır.

5.3 Tabela Tespit Algoritması

Parkur görevi sırasında rota çizme algoritması, ışıkta durma algoritması, durak ve park algoritmalarında kullanılmak amacıyla trafik tabelası ve trafik ışığı tespit algoritması yazıldı.

5.3.1 YOLO

YOLO sinir ağları kullanarak nesne tespiti yapan bir algoritmadır. YOLO algoritmasını önemli yapan özellikler; hızlı çalışması, yüksek doğruluk oranı, öğrenme yeteneğidir. YOLO, gerçek zamanlı nesne tespiti yapabilmek için Evrişimli Sinir Ağlarını (CNN) kullanır. Trafik tabelası ve trafik ışığı tespiti için YOLO algoritmasının kullanılmasına karar verildi.

YoloV4, YoloV3'ün epey gelişmiş bir versiyonu olması ve backbone yani modelin omurgasında yeni bir mimarinin uygulanması modelin ortalama doğruluk değerini %10, FPS (saniyedeki kare sayısı) değerini ise %12 oranında arttırmıştır. Bu gelişmelere ek olarak, tek grafik kart ile eğitim yapılması daha kolay olduğu için seçilen versiyon YoloV4 olmuştur.

Eğitim süreci için gerekli olanlar; veri seti, güçlü bir grafik işlemci, gerekli kütüphanelerin kurulması… Tüm bu gereksinimler çeşitli yöntemlerle yerine getirildi.

5.3.1.1 Datasetin hazırlanması ve elde edilişi

TTVS isimli, Türkiye Trafik Veri Setinden istifade edildi. Söz konusu veri seti İstanbul

Teknik üniversitesinin girişimi ile oluşturulmuş olup görselleri elde edebilmek için görsel katkısında bulunmak gerektiğinden doğal olarak büyümektedir. Toplamda 25.000'in üzerinde etiketli görselin olduğu veri setinden 16 bine yakın görsel eğitim için kullanıldı. Görseller 19 farklı kategoriye ayrılıp bu kategorilere göre model eğitildi. Tüm kategorilerde aynı başarı oranına ulaşılamamış olsa da belirli bir doğruluk oranına ulaşıldı. Google'ın bulut bilgisayarlarında eğitime başlandı. "Google Colabs" yapay sinir ağı modellerini eğitmek isteyenler için kullanılan bir platform olup bünyesinde kuvvetli ekran kartları bulundurur. Bu platformda Nvidia Tesla T4 GPU ile çalışıldı. Söz konusu platformda gerçekleştirilen eğitim 24-26 saat kadar sürdü ve sonuç olarak yer yer %97'lere çıkan başarı oranına ulaşıldı.

5.3.1.2 Nvidia TensorRT ile Optimizasyon Yapılması

YOLO algoritmasının aynı zamanda hızlı da çalışan bir algoritma olduğundan bahsedilmişti. Araç bilgisayarı olarak belirlenen RTX 3060 grafik işlemcide yaklaşık 60 FPS (saniyede işlenebilen kare sayısı) sonuç alındı. Bu kare hızının arttırılması için Nvidia'nın geliştiriciler için sağlamış olduğu TensorRT platformu kullanıldı. TensorRT bir nevi optimizasyon programı olup, eğitilmiş model ağırlıklarını işletim sistemi mimarisine ve grafik kartın modeline bakarak optimize eder. Böylece doğruluk oranından fazla bir taviz vermeden saniye başına işlenen kare sayısı arttırılabilir.

5.3.1.2.1 Neden Nvidia TensorRT

- Inference result'tan minimum hata payı (%1'den daha az) taviz vererek yüzlerce kat FPS oranı artırabildiği.
- CUDA ile çok kolay entegrasyonu.
- Birçok çalışma ortamı (pytorch-tensorflow) veya farklı veri saklama tipine (onnx gibi) sahip modellerle kolay çalışabilmesi.

5.3.1.2.2 Ağırlık ve aktivasyon doğruluk kalibrasyonu:

FP32 veri saklamalarının fp16 ve int8'e kıyasla daha doğru olduğunu kanıtlanmıştır. Bu sebeple eğitim sırasında fp32 tipinde verileri saklayarak yüksek doğruluktan ödün verilmeyerek elde edilen sonucu fp16/int8 olarak inference, kullandığımız durumlarda doğruluk oranından çok daha az kayıp verildiği görülmüştür. Bu veri dönüşümlerine verilen modele bağlı olarak gereken bir scaling oranı hesaplanıp sonucu çok da iyileştirmeyecek veri saklamaları silinmektedir. Bu sayede gereksiz operasyonları kod ilgisi şerit değiştirmek ve engele çarpmamak için kullanıldı.

5.3.1.2.3 Katman ve Tensör Füzyonu

Kalibrasyonlara ek olarak her modelin kendine özgü katman düzeni bulunmaktadır. Fakat bu katman düzenlerinde aynı operasyonlar tekrar tekrar uygulanabilir. Kodu çalıştırmadan önce, derleme aşamasında bu optimizasyonlar tespit edilip yeniden uygulanacak operasyonlar yeniden daha efektif şekilde planlanabilir. TensorRT, bunu katman ve tensör füzyonu uygulayarak sağlamaktadır.

5.3.1.2.4 Otomatik Çekirdek Ayarlama

Modelleri optimize ederken, işlem sırasında gerçekleştirilebilecek bazı çekirdeğe özgü

optimizasyonlar vardır. Bu, hedef GPU platformuna dayalı olarak en iyi katmanları, algoritmaları ve en uygun toplu iş boyutunu seçer. Örneğin, evrişim işlemini gerçekleştirmenin birden çok yolu vardır ancak bu seçilen platformda hangisinin en uygun yol olduğunu TensorRT otomatik olarak seçer.

5.3.1.2.5 Dinamik Tensör Hafızası

TensorRT, yalnızca kullanım süresi boyunca tensöre bellek ayırarak belleğin yeniden kullanımını iyileştirir. Hızlı ve verimli yürütme için bellek ayak izlerinin azaltılmasına ve ayırma ek yükünün önlenmesine yardımcı olur.

5.3.1.2.6 Çoklu Akış Yürütme

TensorRT, birden çok giriş akışını paralel olarak işlemek için tasarlanmıştır. Bu temelde Nvidia'nın CUDA akışıdır.

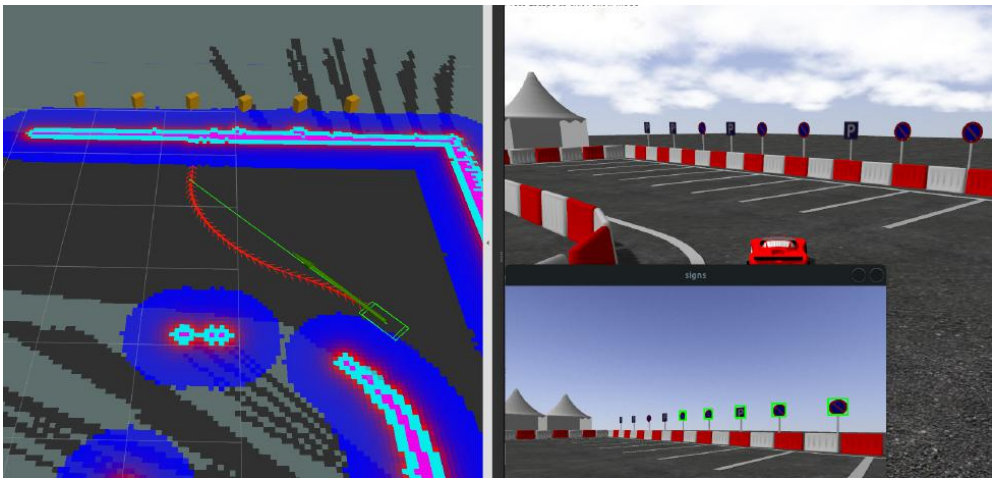
5.3.1.2.7 Sonuç

Mevcut eğitilmiş modele uygulandığında zaten gözle görülebilir düzeyde hızlanma oldu. Saniye başına işlenen kare sayısı 1,5 katına kadar çıkarıldı. YOLO'yu algoritmaya entegre edebilmek için tarafımızca yazılan bir Python modülü kullanıldı. Bu modül sayesinde hazır YOLO kodunun sağladığı tabela cinsi, ekrandaki konumu ve doğruluk değeri bilgileri derlenerek tek bir fonksiyonun çıktısı haline getirildi. Karar mekanizmalarının da bu çıktıya göre çalışması sağlandı.

5.3.2 Haritaya Eklenmesi

Öncelikli olarak kameradan alınan point cloud verileri tabela konumlandırma paketine gönderildi. Daha sonra tespit edilen tabelalar **BoundingBoxes** mesaj tipinde **/signs** topic'ine paylaşıldı. Bu mesaj tespit edilen tabelanın tipini ve iki boyutlu renkli görüntüde hangi pikseller arasında olduğunu içerir. Tabela konumlandırma paketi tespit edilen tabelaların bilgisini **/signs** topic'inden çeker. Renkli görüntüdeki piksellerin point cloudda hangi noktalara geldiği tespit eder. Bu noktaların konumlarına bakarak tabelaların üç boyutlu haritada nerede olduğunu bulur. Daha sonra tabelaların üç boyutlu konumlarını farklı bir topic'e paylaşır.

Tabelaların haritaya eklenmesi duraklarda, kırmızı ışıkta ve park modunda ciddi avantajlar sağlamaktadır. Araç duraklarda durması gereken noktayı tabelanın konumunu referans alarak tespit eder, daha sonra yol planlama algoritmasına bu noktayı hedef olarak verir. Park modunda ise araç park tabelasının nerede olduğunu bildiği için park edeceği noktayı da kolayca tespit edebilir. Bu yöntemin bir diğer avantajı ise durmak veya park etmek için referans alınacak tabelanın yalnızca bir kere tespit edilmesinin yeterli olmasıdır. Varılacak nokta tespit edildikten sonra sıra yol planlamasına gelir.



Şekil 56. Haritaya eklenmiş park ve park edilmez tabelaları

5.4 Odometri Verisinin Elde Edilmesi

Odometri aracın başlangıç noktasını referans alarak o anki yönünü ve konumunu hesaplamaya denir. Haritalama algoritmasında tespit edilen cisimler aracın konumunu referans alarak haritaya eklenir. Araç ilerledikçe tespit edilen engellerin haritaya doğru bir şekilde çizilmesi için aracın konumu sürekli güncellenmelidir. Bu sebeple aracın odometri verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Odometri hesaplamak için takip kamerası, enkoder ve IMU sensörleri kullanılacaktır. Bu aşamada farklı sensörlerin kullanılması odometri verisinin çok daha sağlıklı hale gelmesini sağlayacaktır.

Araçta kullanılacak olan takip kamerası Realsense T265, fisheye denilen lensleri ve içerisinde barındırdığı IMU sensörünü kullanarak odometri çıktısı verecektir. Daha sonrasında aracın arka tekerleklerine takılan enkoder sensörler kullanılarak odometri hesaplanacaktır. Elde edilen iki odometri verisinin Kalman filtresi kullanılarak füzyonu yapılacak, çok daha sağlıklı odometri verileri elde edilecektir.

Enkoder sensörlerden odometri verisi elde edilmesi Ackermann Steering modeline uygun olarak yapılacaktır. Bu modele göre dönüş esnasında aracın arka tekerlekleri birbirinden farklı hızlarda dönmektedir. Aracın açısal ve çizgisel hızlarını elde etmek için iki arka tekerin hızlarından faydalanılacaktır. Bu sebeple aracın arka iki tekerleğine enkoder sensörler bağlanacaktır. Böylece iki tekerin hızı ayrı ayrı hesaplanabilecektir.

Arka tekerleklere bağlı enkoder sensörlerden odometri elde etme aşamaları aşağıda verildiği gibidir.

$$dpc = (2 * \pi * r)/600$$
$$v_r = \Delta r * dpc/\Delta t$$
$$v_l = \Delta l * dpc/\Delta t$$
$$v_x = (v_r + v_l)/2$$
$$v_\theta = (v_r - v_l)/l$$

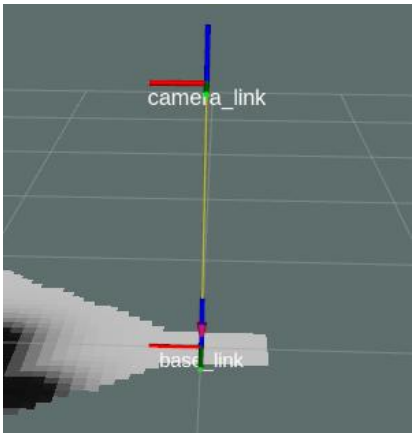
Yukarıda dpc her enkoder adımında alınan mesafeyi, 600 bir tam turda enkoderin gönderdiği pulse sayısını, Δr, Δl sağ ve sol tekerlerdeki enkoderlerin gönderdiği pulse sayısını, v_r ve v_l sağ ve sol tekerlerin hızlarını, Δt geçen süreyi, v_x aracın çizgisel hızını, v_Θ ise aracın açısal hızını ifade eder.

IMU sensöründen elde edilen veriler filtrelenir. Raporun **4.1.3 IMU**. bölümünde anlatıldığı üzere elde edilen odometri verisi, IMU verileri ile füzyon yapılarak son hale getirilir.

5.5 Araç Sensör Transformasyonu

Haritalandırma algoritmasında etrafta görülen tüm engellerin ve şeritlerin aracı referans alarak haritaya eklenmesi gerekmektedir. Kameralardan alınan lazer ve şerit verilerinin araca göre hangi pozisyonda olduğunu bilmek için kameralar ile araç arasında transformasyon bilgisi gereklidir. Bu bilgi sağlandığı takdirde tespit edilen engel ve şeritlerinengellerin araca göre hangi konumda olduğunu bilmek mümkündür. Bu sebeple tüm sensörler, araç ve oluşturulan harita arasında transformasyon vardır.

Transformasyon bilgisi ROS TF programını kullanarak sağlanmaktadır. Sensörlerin mekanik olarak araca bağlandıkları nokta sabittir. Sensörler ile aracın birbirine göre konumları belirlenir, TF ile paylaşılır. Bu sayede sensörlerden alınan veriler istenilen şekilde kullanılabilmektedir.



Şekil 58. Sensör transformasyonu

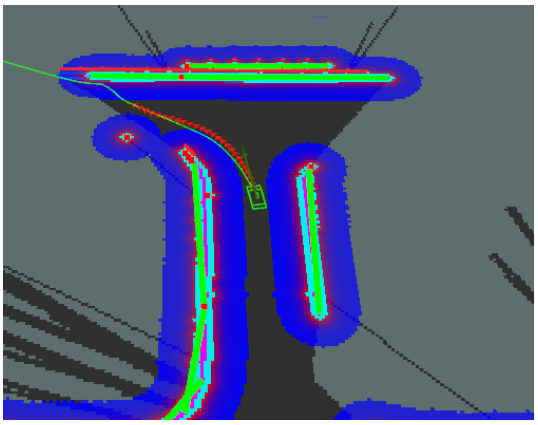
5.6 Yol Planlama Algoritması

Robotik alanda kullanılan robotların bir çoğu olduğu yerde dönebilme yetisine sahiptir. Yol planlama algoritmaları genellikle bu tip robotlar için tasarlanmıştır. Robot verilen hedefe vardıktan sonra yönünü istenilen şekilde ayarlayabilmektedir. Ancak bu durum Ackermann Steering modelindeki araçlar için uygun değildir. Bu tip araçlar varılacak noktaya istenilen yönde ulaşmalıdır. Aksi takdirde yönünü istenen şekilde ayarlayamaz.

Araçta kullanılan yol planlama algoritması Ackermann Steering modeline uygun olan araçlara yöneliktir. Program aracın yön değiştirme kapasitesini bilmekte, rotayı buna uygun şekilde çizmektedir.

Araçta iki tip yol planlama algoritması kullanılmaktadır. Bunlardan birisi rotayı genel haritaya bakarak, bir diğeri ise lokal haritaya bakarak çizmektedir. Bu şekilde iki algoritmanın kullanılma sebebi; genel rotanın haritanın henüz bilinmeyen kısımlarına çizilebilmesi, lokal

rotanın ise aracın yalnızca o konumda görebildiği engellere bakılarak çizilmesidir. Lokal rota genel rotaya uyacak şekilde çizilir ancak genel rota çizildikten sonra haritaya yeni engeller eklenmesi halinde lokal rota dinamik olarak değişebilir. Araç ilerledikçe haritanın boş kısımları çizilmeye başlar, lokal rota yeni eklenmiş engellere göre yeniden çizilir, araç lokal rotayı kullanarak ilerler.



Şekil 59. Rota

Yukarıdaki görselde görülen yeşil kutu aracı temsil etmektedir. Yeşil çizgi genel rotayı, kırmızı çizgi ise lokal rotayı ifade etmektedir.

Yol takibinde araca tabelalara uygun şekilde hedefler verilmektedir. Araç tabela görmediği takdirde yolu takip etmekte, durak ve kırmızı ışıkta duracağı nokta hedef verilmektedir. Dönüş tabelalarında ise gitmesi gereken yöne kısa hedefler verilmektedir. Verilen hedefe rota çizilirken şeritler ve varsa aracın etrafındaki engeller dikkate alınır. Bu şekilde araç şeritleri ezmeden yoluna devam eder. Seyir esnasında yolunu kapatan bir engel ile karşılaşırsa şerit değiştirerek sollama yapar.

Rota çizildikten sonra araca hangi hızlarda gitmesi gerektiği "cmd_vel" topic'inden iletilir. **5.7 Kontrol Yazılımı** bölümünde anlatıldığı şekilde araç hızını ve yönünü istenen düzeye getirmektedir.

5.7 Kontrol Yazılımı

Parkur görevi sırasında aracın, **5.6** bölümünde anlatılan algoritmaların istediği çizgisel ve açısal hız değerlerine getirilebilmesi için ROS ortamında çalışan, **cmd_vel** topic'ini dinleyen ve buradan aldığı emirlerle tahrik ve direksiyon motorlarını kontrol eden bir program yazıldı. İstenen hız değerleri **geometry_msgs** paketinin içinde gelen **Twist** türü mesajlar kullanılarak paylaşıldı.

Motorun dönüş hızı 0-5V analog sinyal ile kontrol edilmektedir. Odometriden gelen geri bildirime göre hız farkına bakılarak motor sürücüsüne verilen analog sinyalin voltaj değeri ayarlandı.

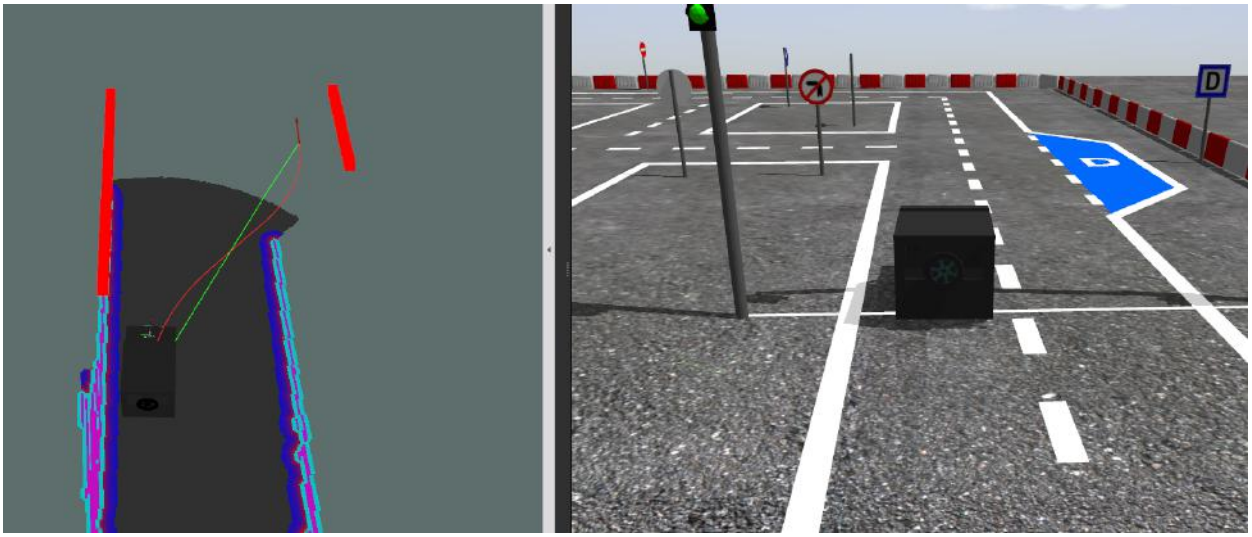
Araç hızı ile istenen hız farkı sabit bir çarpanla çarpılarak önceki voltaj değerine eklendi. Böylece hız değerlerinin salınımsal davranış göstermesi engellenmiş oldu.

Aracı istenen açısal hıza getirmek için odometriden gelen geri bildirime göre tekerleğin hangi açıya gelmesi gerektiği hesaplanıp kapalı çevrim kontrol sisteminin kontrolcüsüne **UART** üzerinden iletmektedir. Motor miline bağlı olan potansiyometre aracılığıyla istenilen açı ve

gerçekte oluşan açı arasındaki fark sürekli ölçülerek motor sürücüsüne gerekli **PWM** sinyali gönderilmektedir. Böylece istenilen açısal hız elde edilmektedir. Kontrol algoritması olarak **PID** kullanıldı.

5.8 Durak Algoritması

Araç durak tabelası tespit ettiğinde durak moduna geçmektedir. Tespit edilen durak tabelasının haritadaki konumu ve şerit kıvrımları kullanılarak durak alanı saptanmaktadır. Durak tabelasının haritadaki konumunun bulunması **5.3.2** bölümünde anlatılmıştır. Durak tabelasının şeritlerin içinde kalacak şekilde 2 metre yan tarafı park noktası olarak belirlenmiştir. Park noktası harita üzerinde belirlendikten sonra yol planlama algoritmasına hedef verilmektedir. Aracın durak alanının içinde kalması için hedef toleransı parametresi durak moduna özel olarak yeniden düzenlenmektedir. Yol planlama algoritmasının dinamik değişkenlere sahip olması bu artıyı sağlamaktadır. Araç durağa geldikten sonra 30 saniye boyunca durak alanında beklemekte, sonrasında parkura devam etmektedir.



Şekil 60. Araç durak modundayken

5.9 Park Algoritması

Park algoritmamızı özgün tasarım raporunda anlatılan algoritmadan farklı olarak SLAM ile yaptık. Park algoritmamızı değiştirmemizin sebebi yeni yöntemin daha dinamik ve değişikliklere daha kolay ayak uydurabilir olmasındandır.

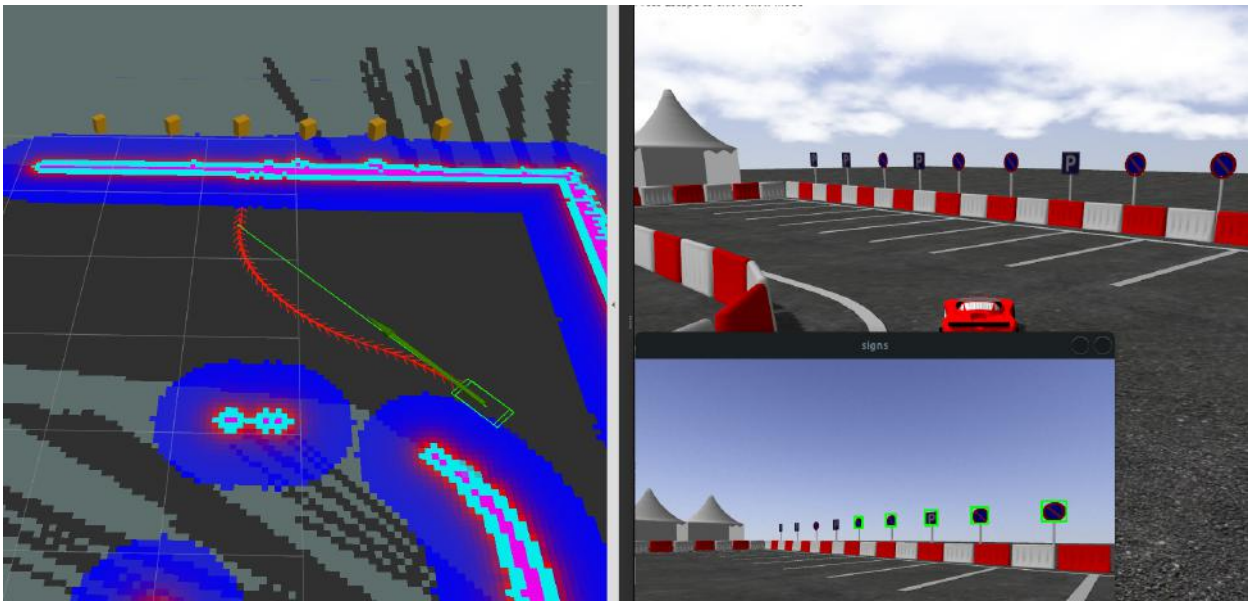
Aracın park etmesi gereken yerde "park yeri" ve "park edilemez" tabelaları bulunmaktadır. Biz de aracın park yerine geldiğini bu tabelalardan anlamaktayız. Park algoritmamız bu tabelaların tespitinden sonra başlatılmaktadır.

İlk olarak aracımız park yerinde yatay ilerleyecek şekilde hedef veriyoruz. Bu sırada aracımızın "park yeri" tabelasını tespit etmesini bekliyoruz. Daha sonra tespit ettiğimiz tabelayı tespit ettiğimiz nesneleri 3 boyutlu olarak haritalandıran bir paket kullanarak haritamızda yerini belirliyoruz. Bu pakete kameradan gelen görüntü üzerinde bir dikdörtgen veriyoruz, derinlik bilgisinden gelen "point cloud" bilgisini veriyoruz. Paket bu iki bilgiden verdiğimiz dikdörtgenin 3 boyutlu haritada nereye denk geldiğini buluyor. Bulunan bu konumun 1 metre

önüne hedef koyarak aracımızı oraya doğru ilerletiyoruz. Araç ilerlerken tespit edilerek haritaya eklenen şeritlerden kaçınmasını sağlıyoruz. Bu sayede aracın şerit ezmeden park yapmasını sağlıyoruz.

Bu algoritma tek bir "park yeri" tabelası ile düzgün çalışmaktadır. Ancak simülasyonda yaptığımız testler sonucunda birden fazla "park yeri" tabelası görmesi durumunda birine park edecekken diğerine yönelme gibi bir durum tespit ettik. Bunu engellemek için de bir tabela izleme sistemi geliştirdik. Bu sistemle beraber ilk tespit ettiğimiz "park yeri" tabelasını takip edip, başka bir "park yeri" tabelasını algıladığımızda görmezden gelebiliyoruz.

Yol planlaması paketinin sağladığı tolerans parametresi ile araç, verilen hedefe belirli bir mesafe kadar yaklaştığında hedefe varmış sayılır. Bu parametre yol takibi ve park modları için değiştirilebilir. Araç park moduna geçtiğinde bu parametre park çizgilerini ezmeyecek şekilde ayarlanır. Bu sayede daha hassas park etmesi sağlanır.



Şekil 61. Park Algoritması

6. Özgün Bileşenler

6.1 Yazılım Alanındaki Özgün Bileşenler

6.1.1 Nesne Tespitinde Derin Öğrenmeye Ek Olarak SVM Katmanı Eklenmesi

Bölüm **5.3.1**'de daha detaylı belirtildiği üzere nesne tespiti için YOLOv4 adlı bir derin öğrenme algoritması kullanıldı. YOLO'nun sıkça karıştırdığı bazı sınıflar "karmaşıklık matrisi-confusion matrix" sayesinde tespit edildi. Söz konusu sınıfların tahminlenmesi esnasında doğruluk oranı düşük olduğu için ekstra bir tespit katmanı eklendi.

YOLO her ne kadar yüksek doğruluk oranlarında sonuçlar verse de bazı sınıflar arasında karışıklıklar ortaya çıktı. Bu karışıklığı ortadan kaldırmak adına Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine-SVM) tabanlı bir makine öğrenmesi modeli eğitildi. Böylece yüksek

doğruluk değerine sahip, “ikili tahmin-binary prediction” yapan bir model edinilmiş oldu. Daha sonra YOLO’nun tespit ettiği tabelaların içerisinde karıştırılan sınıflardan en az 1 tanesi mevcut ise tespit edilmiş olan tabela görselden kırpılarak SVM modeline tahminleme için girer ve model tahmin sonucunu verir. Bu sayede yalnızca YOLO’nun doğruluk oranı olan %78’ler, SVM ile %95’lere kadar yükseltildi. Sağ, sol; park durak gibi yakın tabelaların benzerliğinden doğan “False” tahminlerin ortadan kalktığı görüldü.

6.1.2 Şerit Tespiti Veri Seti ve Eğitim Kodunun Uyarlanması

Şerit tespiti görevinin icrası için tercih edilen derin öğrenme modeline bölüm 5.1.1’de daha detaylı değinildi. Bu modelin eğitilmesi için uluslararası veri setlerinin yanında bizzat tarafımızca da oluşturulan “segmentasyon” tabanlı şerit veri seti de kullanıldı.

Ayrıca söz konusu model makalesinin koda geçirilmiş hali olan github reposu[12] modeli direkt olarak kendi projelerimize entegre etmeye uygun değildi. Yalnızca belirli datasetler üzerinde testler yapılabiliyor ve metrikler ölçülüyordu. Yine tarafımızca yazılan bir tool ile “pytorch” ile yazılmış olan sinir ağının, yalnızca dataset testleri için değil, tek bir fotoğrafın işlenmesinde kullanılmasına olanak sağlandı.

6.1.3 TensorRT ile GPU Hızlandırma

TensorRT NVIDIA[18] programı bir “sinir ağı” optimizasyon aracıdır. Derin öğrenme modellerini grafik kart ve sistem mimarisini dikkate alarak optimize eder ve tahminleme süresini düşürür. Bu noktada takımımızca daha önce de deneyimlenen TensorRT tabanlı bir optimizasyon çözümü tabela tespit algoritmasının hızı yaklaşık 1,5 katına çıkarılmıştı. ÖTR’de bahsedilen bu sonuca ek bir gelişme olarak, yeni temin edilen araç bilgisayarında da testler yapıldı ve bu bilgisayarda da (RTX3060) benzer sonuçlar alındı.

6.2 Mekanik Özgün Bileşenler

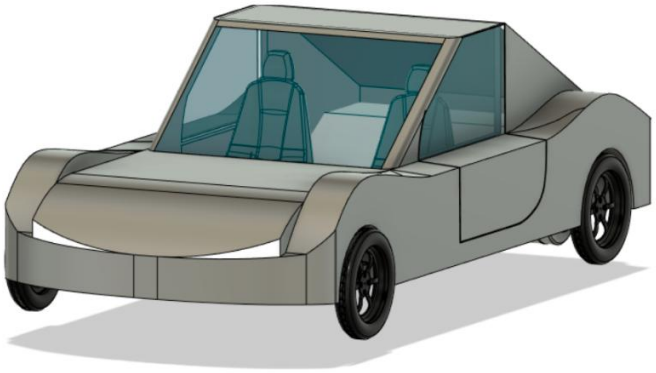
6.2.1 Şasi ve İskelet

Aracın şasi, iskelet ve kabuk tasarımları tamamen bilgisayar ortamında mekanik ekibi tarafından tasarlanmaktadır. Şasi tasarlanmaya başlamadan önce dünya üzerindeki birçok araç modeli incelendi ve üretilecek elektrikli araç¸ için en uygun model üzerine araştırma yapıldı. Araştırmaların yanı sıra gecen sene yarışma için üretilen aracın şasisi incelenip güçlü ve zayıf yönleri ortaya çıkarıldı. Araştırmalar ve tecrübeler doğrultusunda bu seneki araç için geçen sene kullanılan geleneksel şasi tasarımı yerine, uzay kafes şasi tasarımı uygun görüldü. Bu tasarıma gidilmesindeki en büyük etkenlerden biri aracın şasisine entegre bir iskelet sitemiyle birlikte tasarlanacak olmasıydı. Böylece daha rijit bir şasi-iskelet tasarımı elde edildi. Yapılan testler doğrultusunda aracın yük ve darbelere karşı mukavemeti geçtiğimiz sene yarışmada kullanılan araca göre arttı. Kafes tasarımının seçilmesindeki bir diğer önemli unsur aracın kabuk mimarisinin bu iskelet ile daha verimli ve pratik bir şekilde araca entegre kolaylığı sağlamasıydı. Araç tasarımında tamamen özgünlüğün elde edilebilmesi için aracın kabuk materyali kompozit

malzemeler olarak belirlendi. Böylece araç kabuğu tamamen özgün bir şekilde tasarlandı. ÖTR'de tasarlanan şasi ve iskelet yerine yine uzay kafes şasi tür fakat borun kalınlıklarının, araç ölçülerinin değiştirildiği yeni bir şasi tasarlandı. Yeni şasi diğer araç alt sistemlerine entegre edilebilirlik açısından daha uygun bir şasi olmakla birlikte estetik olarak da daha güzel bir görünüme kavuştu.

6.2.2 Kabuk

Araç kabuğu tasarımı için araştırmalar yapılırken estetik açıdan güzel bulunan araçların tasarımları incelenmiştir. Aynı zamanda şartnamede yer alan araç uzunluk kısıtlamaları da göz önünde bulundurulmuştur. Tasarımında tamamen özgürlüğün elde edilebilmesi için aracın kabuk materyali kompozit malzemeler olarak belirlenmiştir. Böylelikle aracın dış görüntüsünde istenilen fütüristik çizgiler yakalanmıştır. Aracın kabuğu takım üyeleri tarafından özgün olarak tasarlanmıştır. Kabuğun dış görünüşü Şekil 62'deki gibidir.



Şekil 62.

6.2.3 Süspansiyon Sistemi Geometrisi

Aracın şartname gereksinimlerini karşılayabilmesi ve aynı zamanda araca özgün bir süspansiyon sistemi geometrisi elde edilmesi öncelikle hedeflerden biri olarak görülmüştür. Süspansiyon sistemi parçaları hazır alınmış parçalar olsa da bu parçaların istenen geometride birleştirilip entegre bir sistem haline getirilmesi araca özgünlük kazandırmıştır. Bu geometriye bir, çok gövdeli dinamik simülasyon uygulaması kullanılarak aracın hareket kabiliyetlerinin de yüksek düzeyde olması kaygısı güdülerek ulaşılmıştır. Alınan parçalar öncelikle CAD uygulamasında çizilmiş ve simülasyonda kullanılacak önemli noktalar belirlenmiştir. Bu noktalar simülasyon ortamına aktarılmış ve aracın hareketlerinde iyi bir noktaya gelinceye kadar yapılmıştır. Bu noktadan sonra tasarım sonlanmış ve araca özgü bir süspansiyon geometrisi oluşturulmuştur.

7. Test

Aracın gelişim sürecinde, yapılan çalışmaların doğruluğunu ve istenilen hedef ile uyumluluğunu analiz etmek için çeşitli test çalışmaları yapılmıştır. Bu test çalışmaları gerek

aracın üzerindeki sensörlerin, mekanik ve elektronik parçaların doğru çalışıp çalışmadığı gibi parçacık düzeyinde testler gerekse aracın karar verme sistemi, davranış sistemi gibi daha fonksiyonel düzeyde testler içermektedir. Bu testlere ek olarak simülasyon ve gerçek dünya üzerinde aracın karşılaştırması yapılıp simülasyon modelinin fiziksel dünya ne düzeyde uyumlu olduğu bulunmuştur.

7.1 Sensör Testleri

7.1.1 D455

Derinlik kamerasının simülasyondaki kameradan ne tür farklılıklarının olduğunu test edebilmek için yarışma parkuruna benzer ölçülerde bariyerlerden oluşan bir parkur hazırlandı. Kameranın derinlik görüntüsünün görebileceği maksimum mesafe test edildi. Elde edilen derinlik

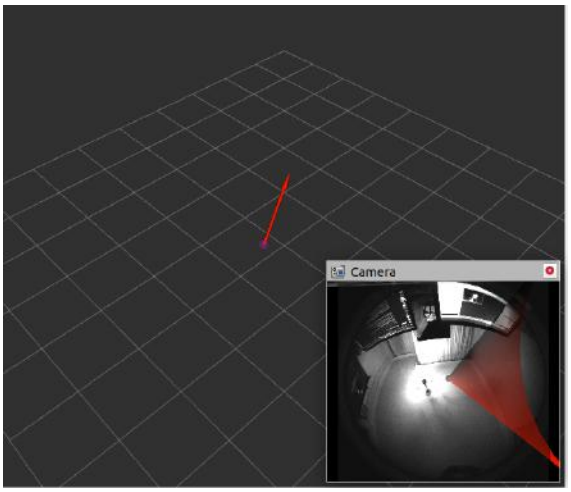
görüntüsü lazer verisine dönüştürüldü, lazer verileriyle ortamın haritası çıkartıldı. Simülasyonda haritaya maksimum 6 metreye kadar uzaklıkta olan engeller eklenmekteydi. Bu sebeple gerçekteki kameranın en az 6 metrelik mesafeyi görebilmesi bekleniyordu. Elde edilen test sonuçlarına göre kamera en az 10 metreye kadar rahat bir şekilde görebilmekte. Bunun dışında kamera yüksek ve düşük ışık seviyelerinde test edildi. Renkli ve derinlikli görüntünün yüksek ve düşük ışıklı ortamlarda beklenenin üstünde bir performans sergilediği görüldü. Sonuç olarak kameranın tabela ve engel tespiti için yeterince iyi olduğu anlaşıldı.

Şekil 64. Kameranın akşam saatlerindeki renkli görüntüsü ve gerçek derinlik görüntüsünden çıkarılan harita

Şekil 65. Gündüz vakti derinlik görüntüsünden çıkan harita

7.1.2 T265

Intel Realsense T265 Tracking(Takip) kamerası çeşitli çevre koşullarında, açık ve kapalı ortamlarda test edilmiştir. Yapılan testler kamera girdilerini değiştirerek tekrar edilmiş ve istenilen koşullarda odometri verisinin hata payının minimum olduğu girdiler bulunmuştur. Bu girdiler ile tekrarlanan testler sonucu kameranın 1 metrede ±2 cm hata payı olduğu saptanmıştır. Bunun yanı sıra kameranın engel olmayan düz alanlarda iyi çalışmadığı gözlemlenmiş, bu engeli aşmak için de kameranın araç üzerindeki en uygun pozisyonu bulunmaya çalışılmıştır.



Şekil 66. T265 test ekranı

7.1.3 D455 ve T265

Derinlik ve takip kamerasının birlikte çalışması ve uyumu test edildi. Şekil 67'de iki kamera birlikte çalışırken görülmektedir. T265 konum bilgisi verirken D455 konum bilgisini kullanarak point cloud çıktısı vermektedir. İki kamerayı birlikte oynatınca görüntü (point cloud) da çevreyle uyumlu olarak hareket etmektedir.

Şekil 67. T265 ve D455 birlikte çalışırken

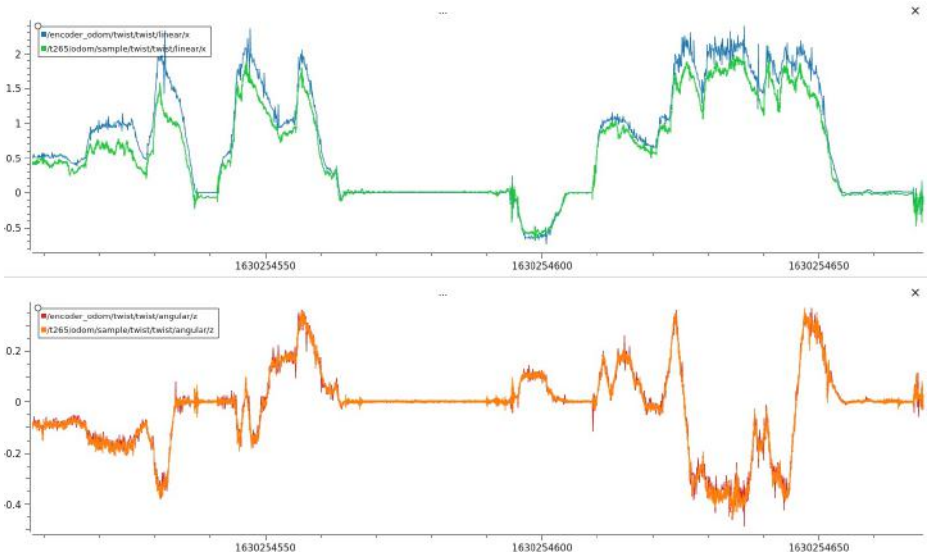
7.1.4 Enkoder

Tekerleklere takılan enkoderlerin doğru şekilde çalışıp çalışmadığı çeşitli yöntemlerle test edildi. Tekerin bir turunda 4200 adım (pulse) vermesi gerektiği hesaplanıp tekere 10 tur attırıldı ve enkoderin 42000 ±20 adım attığı görüldü. %99.95 doğruluk oranı saptandı.

Şekil 68. Enkoder testi

Enkoder verisinden elde edilen odometri bilgisinin de doğruluğunun testi yapıldı. Araç direksiyonu kırmadan 20 metre ilerletildi ve odometri verisinden de 20 ±0.3 metre ilerlediği görüldü. Ayrıca araç başladığı yerden en az 20 metre dolandırılarak başladığı yere getirildi ve odometri verisinden de başladığı yere en fazla 1 metre uzaklıkta olduğu görüldü.

Şekil 69'da enkoderlerden elde edilen odometri bilgisi ile T265 takip kamerasından elde edilen odometri bilgisinin karşılaştırması görülmektedir. Üstteki grafik çizgisel hız, alttaki ise açısal hızları karşılaştırmaktadır. Grafiklerin birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 69. İki odometri grafiğinin karşılaştırılması

7.2 Karar Verme Testleri

7.2.1 Şerit Tespit OpenCV

OpenCV kullanılarak yapılan algoritma daha önce kaydedilmiş parkur videolarında test edilmiştir. Parkurun farklı bölgelerinde ve farklı hava koşullarında kaydedilmiş görüntülerde testler yapılmıştır. %95 oranında başarı elde edilmiştir. Yapılan testlerden alınan görüntüler Şekil 71'de görülebilir.

Şekil 71. OpenCV şerit tespit algoritmasının testi

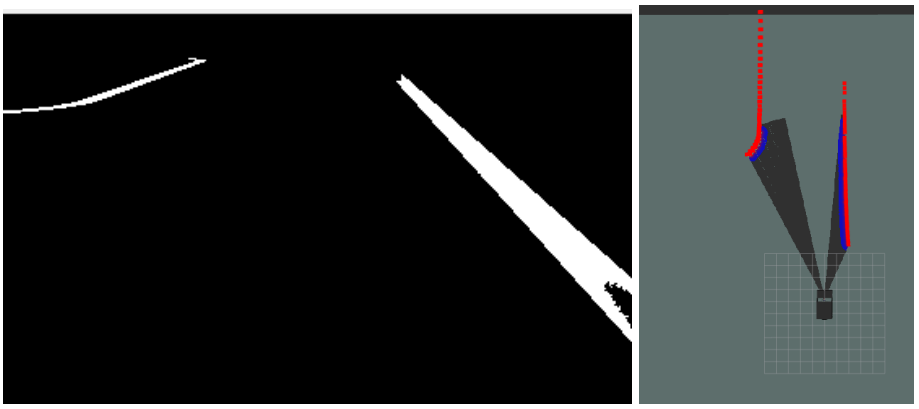
7.2.2 Şerit Tespit Derin Öğrenme

Derin öğrenme ile şerit tespiti algoritması OpenCV metodunda olduğu gibi parkurdan derlenen videolar üzerinde denendi. Buna ek olarak Tusimple dataseti üzerinde bir test yapıldı. Bu test sonuçlarına göre yaklaşık olarak %97 doğruluk oranına ulaşıldı.

Şekil 73. Testten bir görüntü

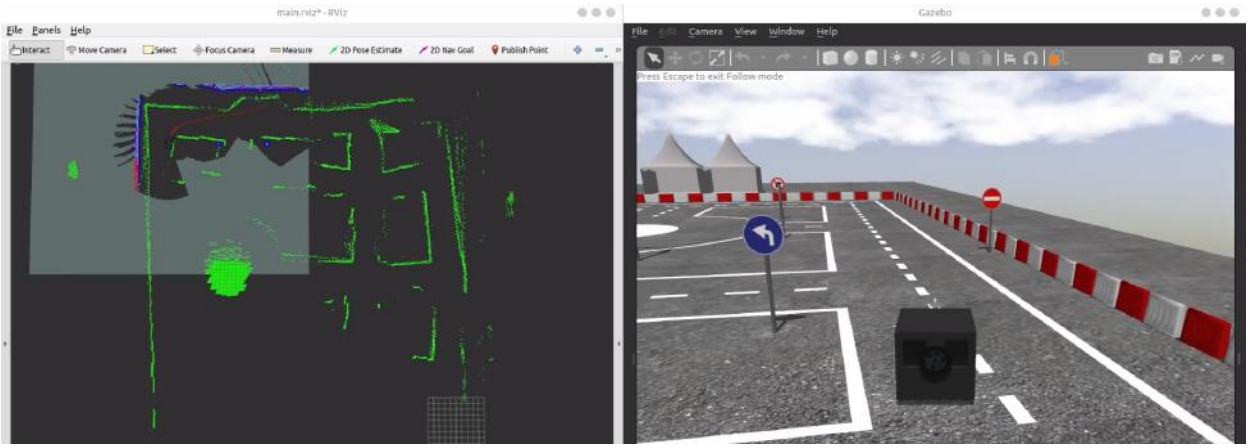
7.2.3 Şeritlerin Haritaya Eklenmesi

OpenCV ve YOLO ile elde edilen şeritlerin haritaya doğru eklenip eklenmediği test edilmiştir. İlk olarak tek bir görüntünün doğru aktarılıp aktarılmadığı kontrol edilmiştir.



Şekil 75. Şeritlerin haritaya eklenme testi

Daha sonra odometri bilgisinin de yardımıyla haritada dolaşıp bütün şeritler haritaya eklenmiştir. Bunun testi ise Şekil 76'da görülebilir.



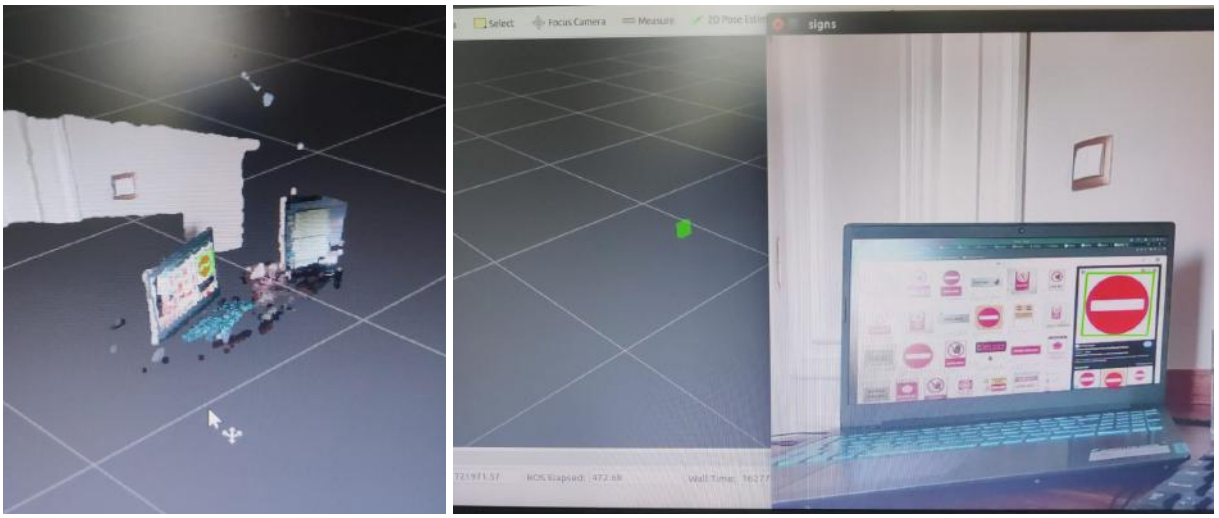
Şekil 76. Şeritlerin global haritaya eklenme testi

7.2.4 Tabela

Elde edilen model farklı parkur ve şehir içi videoları ile test edildi. Varılan sonuçlar 5.3.1 bölümünde sunulmuştur.

Şekil 77. Tabela tespit testi

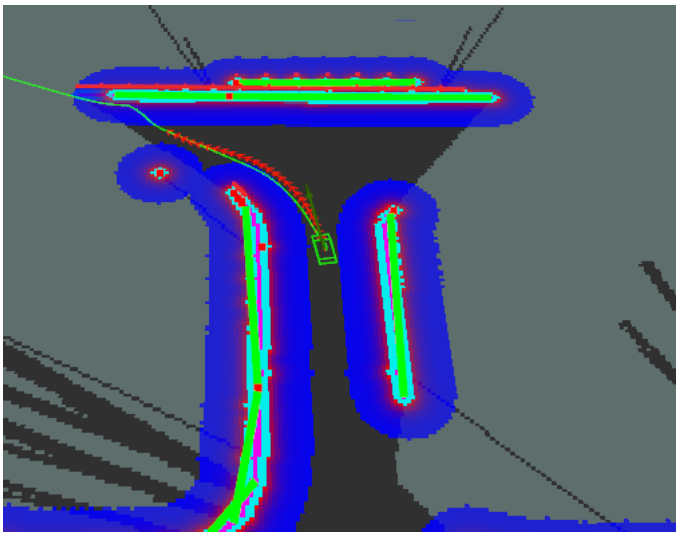
Algılanan tabelaların haritaya eklenmesini test etmek için kameraya bir tabela fotoğrafı gösterildi ve simülasyonda point cloud verisinin de yardımıyla doğru yerde algılanıp algılanmadığına bakıldı. Şekil 79'da tabela fotoğrafının olduğu yerdeki yeşil kutu, algılanan ver haritada konumlandırılan tabelayı göstermektedir. Yine Şekil 79'da point cloud verisi gösterilmeden sadece konumlandırılan tabela gösterilmiştir. Konumlandırılan tabelaların doğru yerde olduğu görülmüştür.



Şekil 79. Tabela konumlandırma testi

7.2.5 Path planning

Kullanılan path planning algoritması önce simülasyonda, daha sonra da gerçek test ortamında test edildi. Simülasyondaki test sonuçlarından alınan dönütlere göre algoritma geliştirildi. Gerçek test ortamında amacımıza uygun olduğu görüldü.

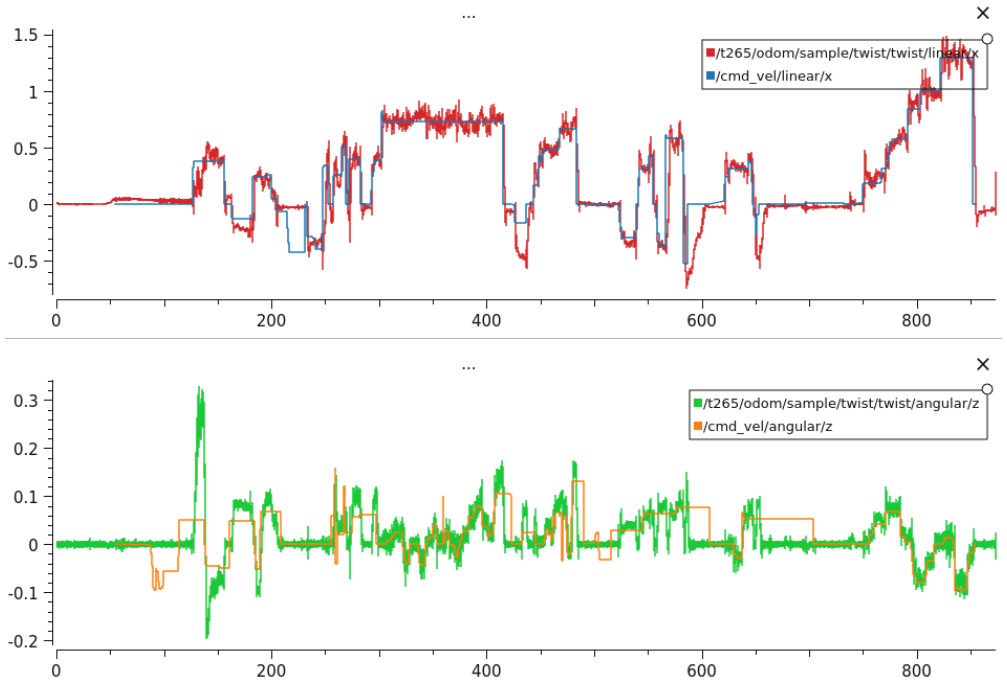


Şekil 80. Yol planlama testi

7.3 Davranış Testleri

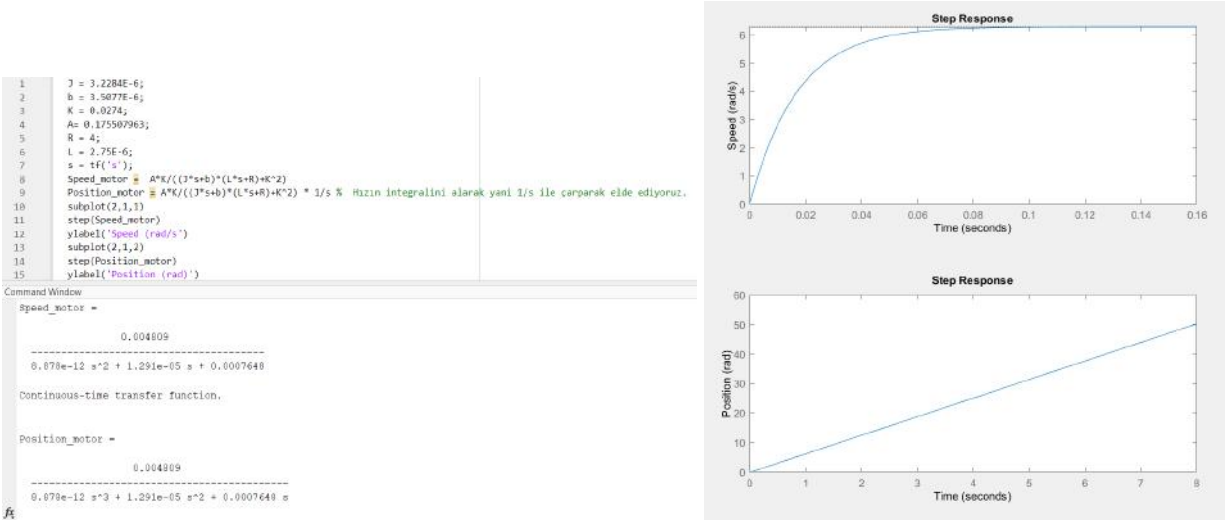
7.3.1 Kontrol Testi

Araca verdiğimiz ilerleme ve dönme emirlerinin isteğimize uygun şekilde uygulandığı test edildi. Boş bir arazide rastgele emirler verilerek verilen emirler ve aracın davranışları grafiğe döküldü. Şekil 81'de araca verilen emirler (cmd_vel) ve aracın odometri verisi görülebilmektedir. Üstteki grafik çizgisel hız, alttaki grafik ise açısal hızı göstermektedir. Aracın emirlere uygun şekilde hareket ettiği görüldü. Açısal hız grafiğindeki sapmanın sebebinin çizgisel hızın 0 olduğu yerlerde araç hareket etmediği için aracın açısal hızının ayarlanamaması olarak belirlendi. Bu durumun doğal olduğu ve testin başarılı olduğu sonucuna varıldı.



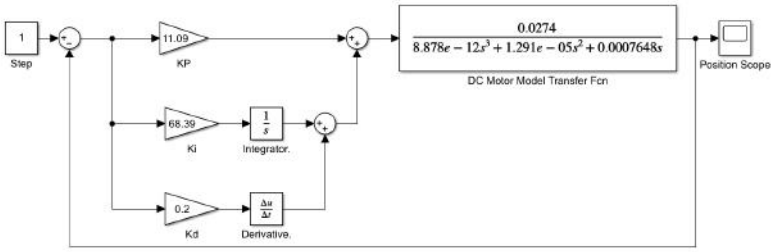
Şekil 81. Hedef ve davranış grafikleri karşılaştırması

Aracın direksiyon kutusuna bağlı olan DC motorunu Şekil 82'de olduğu gibi MATLAB üzerinde modelledik. Motorun hız ve konum davranışları Şekil 83'te görülmektedir. hız grafiğinde modellediğimiz motorun hızı 6.3 rad/s gözükmektedir. Bu, motorumuzun gerçek hızı olan 60 RPM 'e denk gelmektedir. Kontrolsüz bir DC motor sonsuza kadar döneceğinden konum grafiğinde ise beklendiği gibi pozisyon değeri bir doğru şeklinde artmaktadır.

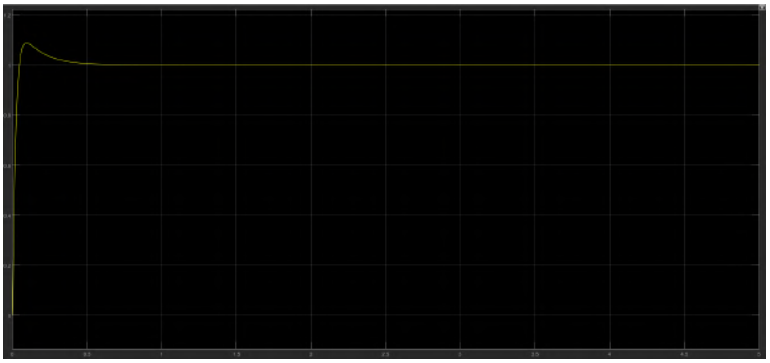


Şekil 83. Motorun Matlab modeli

Bu sisteme uygun PID parametrelerini hesapladıktan sonra kapalı çevrim sistemi Şekil 84'te görüldüğü üzere SIMULINK'te tasarladık. Bu sistemin davranışı Şekil 85'te verilmiştir. Kontrolsüz motorun aksine kontrollü motorun verilen pozisyon değerine yerleştiği görülmektedir.



Şekil 84. Motorun Simulink modeli



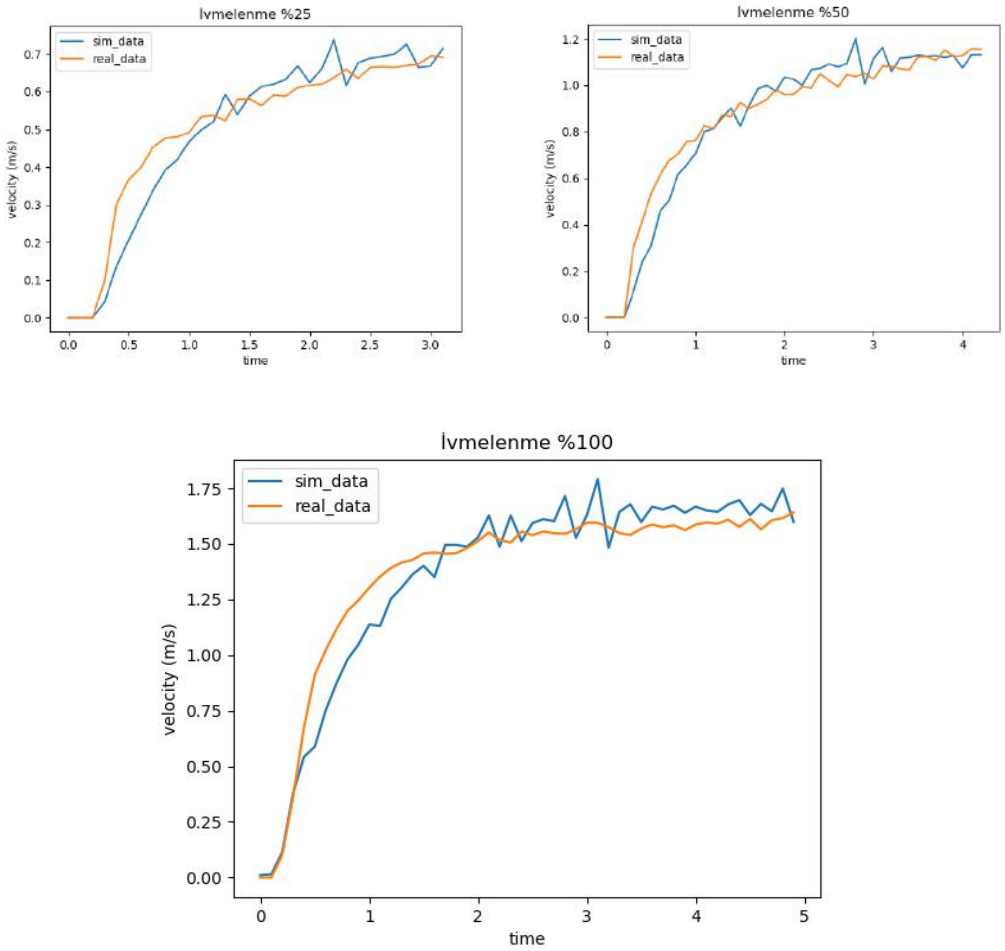
Şekil 85. Motorun Simulink davranışı

7.4 Simülasyon Modeli Testi

Simülasyonda yapmış olduğumuz araba modelinin gerçekteki arabayı ne kadar iyi temsil ettiğini test etmek için çeşitli kriterler belirlendi ve simülasyona ve gerçek araca birtakım girdiler verildi. Verilen girdiler sonucu bazı veriler kaydedildi ve karşılaştırıldı. Birbirleri ile uyuşmayan verilerin neden uyuşmadığı araştırıldı ve tartışıldı. Sorunların çözümü için yol haritası belirlendi.

7.4.1 İvmelenme

Simülasyondaki araba modeli ile gerçekteki arabaya sırasıyla %25, %50 ve %100 tahrik verildi ve odometrinin lineer hız verisi kaydedilerek karşılaştırıldı. Sonuçlar Şekil 88'de görülmektedir.

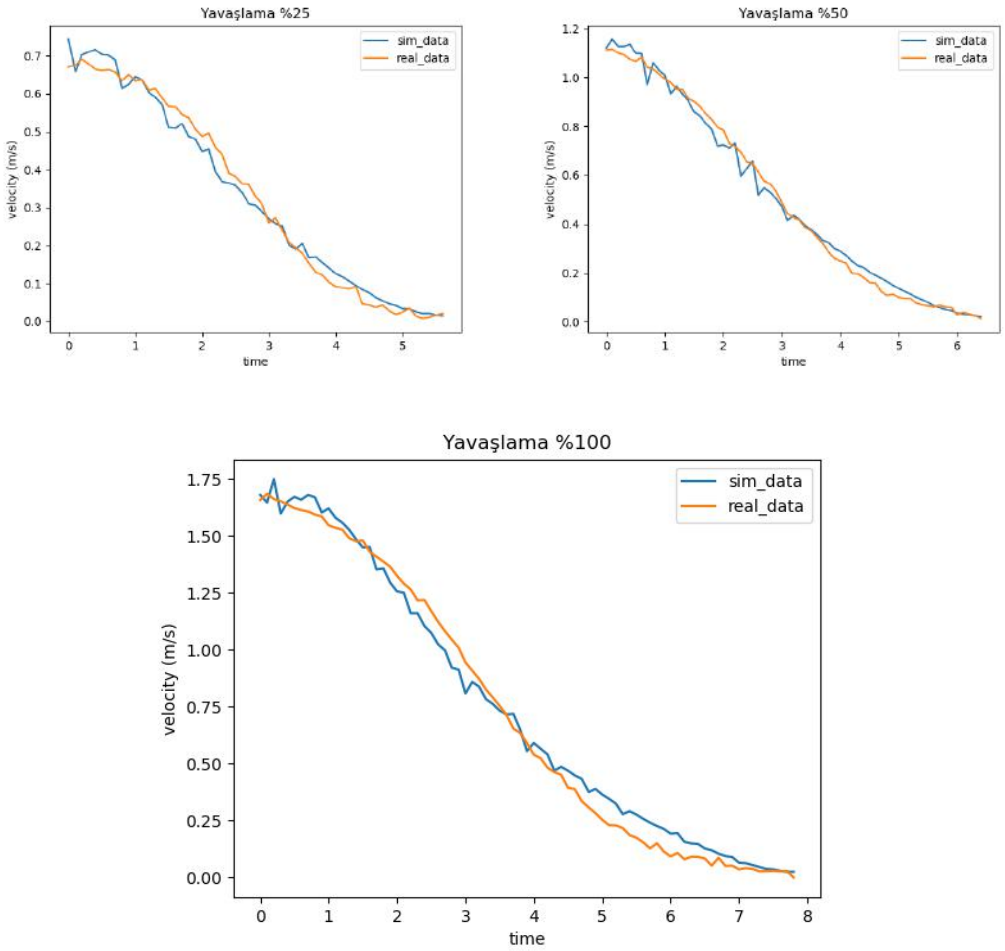


Şekil 88. İvmelenme testleri

Grafiklerin genel olarak uyumlu olduğu fakat bazı farklılıkların olduğu görüldü. Bu farklılıkların sebeplerinin lastik yol tutuşu, araç ağırlığındaki farklılıklar, bataryaların doluluk oranı (bataryanın dolu olması daha yüksek ivmelenmeye sebep olur) ve diğer küçük gerçek hayat etmenlerinin birikerek ivmelenmeye etki etmesi olarak tespit edildi. Çözüm olarak farklı batarya doluluk oranlarında aracın ivmelenme grafikleri toplanarak ortalamasının elde edilmesi ve simülasyondaki modelin parametreleri değiştirilerek gerçekteki grafiğe yakın bir grafik elde edilmeye çalışılması olarak kararlaştırıldı.

7.4.2 Yavaşlama

Simülasyondaki araç modeline ve gerçekteki araca sırasıyla %25, %50 ve %100 hızlar verildikten sonra fren sıkmadan sürtünme etkisiyle durmaya bırakıldı ve odometrinin lineer hız verisi kaydedildi. Verilerin grafikleri Şekil 89'da görülebilmektedir.

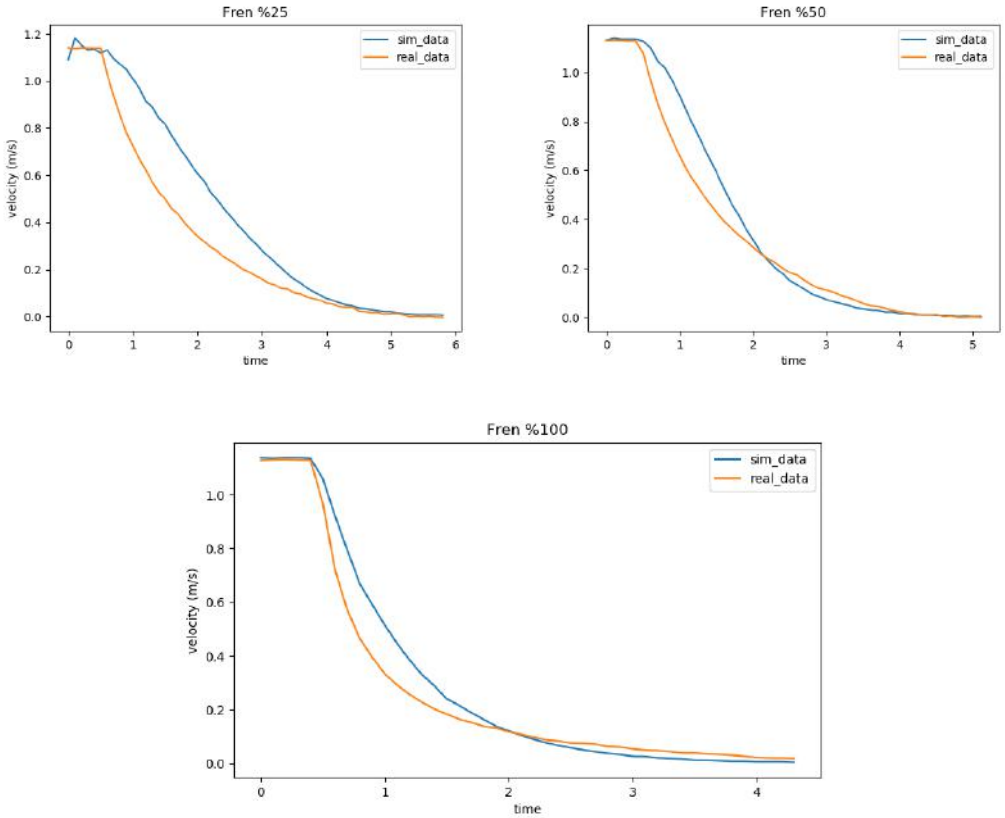


Şekil 89. Yavaşlama testleri

Yavaşlama grafiklerinin çoğunlukla aynı olmasının yanında gerçek aracın biraz daha yavaş yavaşlamaya başlayıp hızlı bitirdiği görüldü. Bunun sebebinin motor freni olduğu saptandı. Çözüm olarak ise simülasyona motor frenini simüle edecek ek bir kuvvet eklenmesi planlandı.

7.4.3 Frenleme

Simülasyondaki araç modeline ve gerçek araca %50 hız verildi ve durması için sırasıyla %25, %50 ve %100 fren sıkıldı. Odometrilerinden lineer hız verileri kaydedilerek karşılaştırdı. Veriler Şekil 90'da görülebilmektedir.

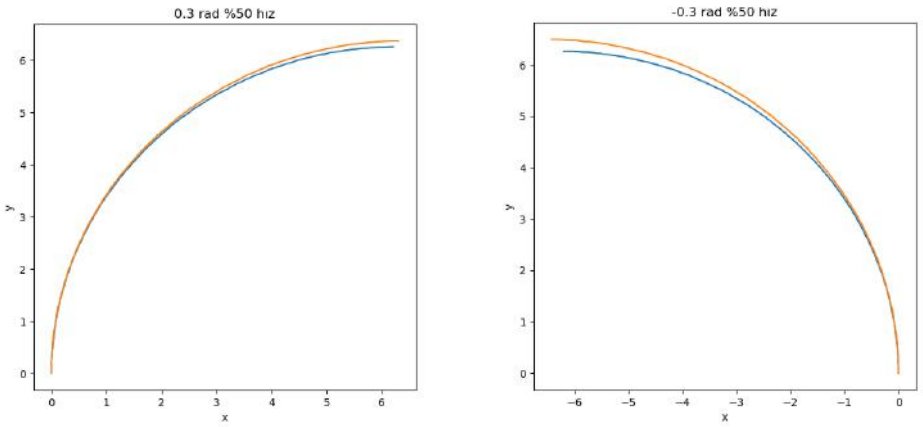


Şekil 90. Fren testleri

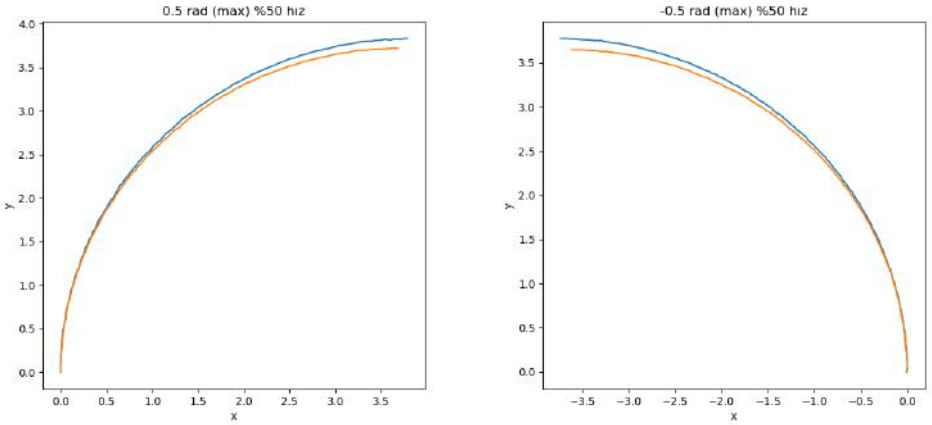
Fren modelinin gerçekteki ile çok iyi uyuşmadığı, gerçek aracın daha hızlı durmaya başladığı görüldü. Bunun sebebi olarak simülasyonda kullanılan fren modelinin düşük hızlarda çok isabetli olmadığı kararına varıldı. Parkur görevi bağlamında araç yüksek hızlarda kullanılmadığı için düşük hızlarda daha isabetli çalışan bir fren modeli kullanılmasına karar verildi.

7.4.4 Yönlendirme

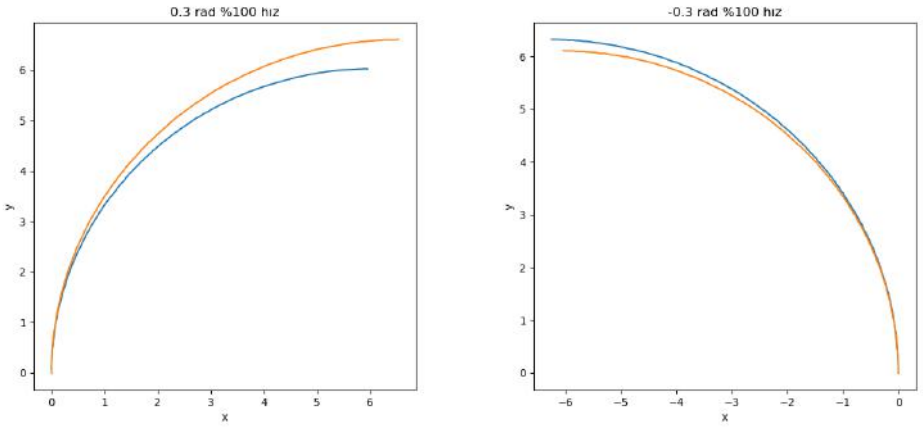
Simülasyondaki araç modeline ve gerçekteki araca 0.3 ve 0.5 rad direksiyon açısı verilerek %50 ve %100 hızlarda sürüldü. Odometri verilerinden aracın x ve y koordinatları kaydedilerek karşılaştırıldı. Şekil 91, Şekil 92 ve Şekil 93'te çeşitli açı ve hız değerleri ile alınan verilerin karşılaştırmaları görülebilir.



Şekil 91. 0.3 rad açı ile yarım hız testleri



Şekil 92. 0.5 rad açı ile tam hız testleri



Şekil 93. 0.3 rad ile tam hız testleri

Elde edilen grafiklerin büyük oranda uyuştuğu görüldü. Direksiyon açılarının hassas ayarlanamaması sonucu ileri noktadaki verilerde sapma görüldü. Fakat bunun modelleme hatası olmadığı sonucuna varıldı.

8. Referanslar

[1] *Intel Realsense D455* (n.d.). Retrieved from
https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d455/

[2] *Intel Realsense T265* (n.d.). Retrieved from
https://www.intelrealsense.com/tracking-camera-t265/

[3] *SLAM* (n.d.). Retrieved from
https://www.mathworks.com/discovery/slam.html

[4] *V-SLAM* (n.d.). Retrieved from
https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/visual-slam-(vslam)-nedir-/22621#ad-image-0

[5] *What Is an Encoder?*. (n.d.). Retrieved from
https://www.encoder.com/article-what-is-an-encoder

[6] *Ackerman Steering*. (n.d.). Retrieved from

https://datagenetics.com/blog/december12016/index.html

[7] *Slim Incremental 50-mm-dia. Rotary Encoder E6C2-C*. (n.d.). Retrieved from
https://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/e6c2-c_ds_e_6_2_csm493.pdf

[8] *Pulse Train Signal Conditioning* (n.d.). Retrieved from
https://www.mccdaq.com/handbook/chapt_11.aspx

[9] *Artımsal Bir Enkoderin İşleyişi (2017)*. Retrieved from
https://www.youtube.com[4]/watch?v=zzHcsJDV3_o&feature=emb_imp_woyt

[10] *Enkoder Nedir? (2018)*. Retrieved from
https://otomasyonadair.com/2018/04/17/enkoder-nedir/

[11] https://ieeexplore.ieee.org/document/8578353

[12] https://github.com/sel118/LaneAF

[13] https://arxiv.org/abs/2103.12040v4

[14] https://opencv.org/

[15] https://pypi.org/project/opencv-python/

[16] https://www.monsternotebook.com.tr/tulpar/monster-tulpar-t7-v25-1-2/

[17] https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f407vg.html

[18] https://developer.nvidia.com/tensorr