İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTONOM ARAÇLAR İLE YAYALAR ARASI İLETİŞİM İÇİN LAZER TABANLI PROJEKTÖR BİLDİRİ SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış ÇETİN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Sistem Dinamiği Ve Kontrol Programı

Temmuz 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTONOM ARAÇLAR İLE YAYALAR ARASI İLETİŞİM İÇİN LAZER TABANLI PROJEKTÖR BİLDİRİ SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış ÇETİN
(503171626)

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Sistem Dinamiği Ve Kontrol Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erdinç ALTUĞ

Temmuz 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503171626 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Barış ÇETİN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "OTONOM ARAÇLAR İLE YAYALAR ARASI İLETİŞİM İÇİN LAZER TABANLI PROJEKTÖR BİLDİRİ SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Erdinç ALTUĞ** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Ayhan KURAL** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Haluk KÜÇÜK Marmara Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 15 Haziran 2020
Savunma Tarihi : 27 Temmuz 2020

Aileme,

ÖNSÖZ

Yakın gelecekte hayatımızın birer parçası olacak otonom araç teknolojileri üzerinde yürütülen çalışmalar devam etmektedir. Bu tez çalışması kapsamında otonom araçlar ile insanlar arasında interaktif ve görsel iletişimi sağlayacak lazer tabanlı projektör sistemi tasarımı ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu sistemin otonom araçlarda kullanılması ile otonom araçlara duyulan güven ve kabul edilebilirlik probleminin aşılması ve daha sağlıklı bir trafik ortamının oluşması hedeflenmektedir.

Öncelikle bu tez çalışması boyunca desteklerini esirgemeyen, tecrübeleriyle yol gösteren ve beyin fırtınaları ile yenilikçi düşünceler üretmekte bakış açımı genişleten danışman hocam Doç. Dr. Erdinç Altuğ'a teşekkürlerimi sunarım. MGA-2018-40801 kodu ile projeye maddi destek sağlayan İTÜ Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisansım boyunca bana destek olan tüm arkadaşlarım ve daimi destekçilerim olan Gözde Esenoğlu ile aileme sonsuz teşekkür ederim.

Haziran 2020

Barış ÇETİN
(Makina Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxiii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 2
1.2 Literatür Taraması 3
1.2.1 Otonom araçlara genel bakış 3
1.2.1.1 Otonom araçların gelişim süreci 4
1.2.1.2 Otonom araçların avantajları 8
1.2.1.3 Otonom araçların dezavantajları 9
1.2.2 Otonom Araçlarda Kullanılan Sistemler 9
1.2.2.1 LİDAR 10
1.2.2.2 Video kameralar 11
1.2.2.3 RADAR 11
1.2.2.4 GPS 12
1.2.2.5 Ultrasonik ve kızılötesi sensöreler 13
1.2.2.6 IMU 13
1.2.2.7 Odometre 14
1.2.3 Otonom araç insan etkileşimi 14
1.2.3.1 İnsan-robot etkileşimi 14
1.2.3.2 Otonom araç güvenilebilirliği ve kabul edilebilirliği 15
1.2.3.3 Otonom araç yaya iletişimi 17
2. YAYA BİLDİRİM SİSTEMİ TASARIMI **21**
2.1 Mekanik Tasarım 24
2.1.1 Sg90 9G servo motor ve ayna mekanizması 24
2.1.2 Kutu tasarımı ve sabitleme platformu 25
2.1.3 Araç entegrasyonu 26
2.2 Elektronik Tasarım 27
2.2.1 Lazer ve TTL modülü 28
2.2.2 İki eksenli X/Y galvo tarayıcısı ve sürücü kartları 30
2.2.3 Arduino UNO 31
2.2.4 Dijital analog dönüştürücü 31
2.2.5 Op-Amp devresi 32
2.2.6 Kamera 33
2.2.7 Mesafe sensörü 33

2.2.8 Güç kaynağı 34
2.3 Yazılım Ve Kontrol 34
2.3.1 Arduino IDE 35
2.3.2 Inkscape 35
2.3.3 OpenCV 36
2.3.4 Python 36
3. YAYA BİLDİRİM SİSTEMİ ÇALIŞMA PRENSİBİ 37
3.1 Donanımların Çalışma Prensibi 38
3.1.1 Lazerler çalışma prensibi 38
3.1.2 İki eksenli X/Y galvo tarayıcısı çalışma prensibi 39
3.2 Şekillerin Oluşturulması 40
3.2.1 Vektörel çizim 40
3.2.2 G-kodu 40
3.2.3 Heksadesimal kod 41
3.2.4 Şekil ve harf kütüphanesi 42
3.3 Yaya Tespiti Ve Araca Uzaklığı 42
3.3.1 Görüntü işleme 43
3.3.2 Mesafe bilgisi 44
4. SENARYOLAR VE DENEMELER 45
4.1 Senaryolar 45
4.1.1 Senaryo 1 46
4.1.2 Senaryo 2 46
4.1.3 Senaryo 3 47
4.1.4 Senaryo 4 48
4.2 Denemeler 48
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 51
5.1 Sonuçlar 51
5.2 Değerlendirme Ve Öneriler 52
5.3 Gelecek Çalışmalar 53
KAYNAKLAR 55
ÖZGEÇMİŞ 61

KISALTMALAR

GPS : Küresel Konumlama Sistemi
LIDAR : Işık Tespiti Ve Değişimi
RADAR : Radio Dalgası Tespiti Ve değişimi
IMU : Atalet ölçüm Ünitesi
INS : Ataletsel Navigasyon Sistemi
SAE : Otomotiv Mühendisleri Topluluğu
GM : General Motors
CMU : Carnegie Mellon Üniversitesi
DARPA : Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu
HRI : İnsan Robot Etkileşimi
LED : Işık Yayan Diyot
DAC : Dijital Analog Dönüştürücü
TTL : Transistör – Transistör Mantığı
KPPS : Saniyede Kilo Nokta (Paket) Yoğunluğu
Op-Amp : İşlemsel Yükselteç
IDE : Tümleşik Geliştirme Ortamı
İTÜ : İstanbul Teknik Üniversitesi
PWM : Darbe Genişlik Modülasyonu
USB : Evrensel Seri Veriyolu
CNC : Bilgisayar Nümerik Kontrolü
JPEG : Birleşik Fotoğraf Uzmanları Grubu
HEX : Heksadesimal
OpenCV : Açık Kaynak Bilgisayar Görüşü

SEMBOLLER

X/Y	**:** Eksen takımı
d	**:** Galvo tarama alanı genişliği
h	**:** Lazer tabanlı projektör sisteminin yerden yüksekliği

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Sistem donanımları. 22
Çizelge 2.2 : Servo motor SG90 9G teknik özellikleri. 25
Çizelge 2.3 : Lazer teknik özellikleri. 29
Çizelge 2.4 : İki eksenli X/Y galvo tarayıcısı teknik özellikleri. 30
Çizelge 2.5 : Ultrasonik mesafe sensörü teknik özellikleri. 34
Çizelge 4.1 : Senaryo çalışma aralıkları. 45

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Otonom araç geleceği simülasyonu. 1
Şekil 1.2 : Otonom sürüşün 6 seviyesi 4
Şekil 1.3 : Vamor dıştan ve içten görünüşü. 5
Şekil 1.4 : NAVLAB dıştan ve içten görünüşü. 6
Şekil 1.5 : Stanford'tan Stanley (solda), CMU'dan BOSS (sağda). 7
Şekil 1.6 : Google otonom aracı (solda), Uber otonom aracı (sağda). 7
Şekil 1.7 : Otonom araç teknolojileri. 10
Şekil 1.8 : LİDAR nokta bulutundan elde edilen 360˚ örnek çevre. 11
Şekil 1.9 : Otonom araç tavan donanımları (A: LİDAR, B: GPS, C: Renkli kamera, D: Kameralar). 13
Şekil 1.10 : Araştırmalarda kullanılan otonom araç (Pod-Zero) 16
Şekil 1.11 : Yayalar ile iletişim için mesaj gösteren bir sistem. 18
Şekil 1.12 : Araç ve insan etkileşimi simülasyonu. 19
Şekil 2.1 : Lazer tabanlı projektör bildiri sistemi. 21
Şekil 2.2 : Golf arabası (İTÜ Otonom Sistemler Araştırma Laboratuvarı). 21
Şekil 2.3 : Sistem deneme, geliştirme. 23
Şekil 2.4 : Sistem genel görünüş. 23
Şekil 2.5 : Servo motor ve ayna mekanizması. 25
Şekil 2.6 : Kutu tasarımı ve sabitleme platformu. 26
Şekil 2.7 : Tarama alanı ve yükseklik hesabı. 27
Şekil 2.8 : Elektronik devre tasarımı. 28
Şekil 2.9 : Lazer ve TTL modül. 29
Şekil 2.10 : İki eksenli X/Y galvo tarayıcısı ve sürücü kartları. 31
Şekil 2.11 : Dijital analog dönüştürücü. 32
Şekil 2.12 : Op-Amp entegresi. 33
Şekil 2.13 : Arduino IDE, Python, OpenCV ve Inskscape (soldan sağa). 35
Şekil 3.1 : Elektronik akış şeması. 37
Şekil 3.2 : Lazer işaretleyicisi çalışma prensibi. 38
Şekil 3.3 : İki eksenli X/Y galvo tarayıcısı çalışma prensibi. 39
Şekil 3.4 : Şekillerin oluşturulması (JPEG, vektörel, G-kod, hex). 40
Şekil 3.5 : G-kodu oluşturulan şekil. 41
Şekil 3.6 : Sistemin genel görünüşü ve araç üzerindeki konumlanması (A: Lazer tabanlı projeksiyon sistemi, B: Kamera, C: Mesafe sensörü). 43
Şekil 3.7 : Görüntü işleme ile yüz tespiti ve insan bedeni tespiti. 44
Şekil 4.1 : Senaryo 1 için yansıtılan şekil. 46
Şekil 4.2 : Senaryo 2 için yansıtılan şekil. 47
Şekil 4.3 : Senaryo 3 için yansıtılan şekil. 47
Şekil 4.4 : Senaryo 4 için yansıtılan şekil. 48
Şekil 4.5 : Kapalı mekan çalışma ortamında gerçekleştirilen denemeler. 49
Şekil 4.6 : Dış ortamda gerçekleştirilen denemeler. 50

OTONOM ARAÇLAR İLE YAYALAR ARASI İLETİŞİM İÇİN LAZER TABANLI PROJEKTÖR BİLDİRİ SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Sürücüsüz (insansız) araçlar olarak da adlandırılan otonom araçlar çeşitli kontrol algoritmaları, teknolojik donanımları ve tasarımları sayesinde özerk hareket etme kabiliyetine sahip olan araçlardır. Yakın gelecekte günlük hayatımızın birer parçası olacak otonom araçların yaygınlaşma hızı ve bu araçlar üzerinde yapılan araştırmalar, çalışmalar ve gelişmeler artarak devam etmektedir. 1950'li yıllardan günümüze kadar geçen süreçte önemli gelişmeler kat eden otonom araçlar, otonomluk kademelerine göre 5 seviye olarak değerlendirilmektedir. Otonom araçlar trafikte insan faktörünü ortadan kaldırarak önemli avantajlar elde etmiştir. Bunlardan bazıları trafik güvenliğini ve mobiliteyi artırmak; trafik sıkışıklığını, egzoz emisyonlarını ve seyahat masraflarını azaltmaktır. Bu avantajlarının yanı sıra otonom araçların hala geliştirme açık yönleri mevcuttur. Bu eksikliklerin başında otonom araçlara karşı duyulan güven eksikliği ve insanlar tarafından kabul edilmemeleri gelmektedir. Otonom araçlar her ne kadar yeterli donanıma sahip olmalarına ve hatta normal sürücülü araçlardan daha güvenli yolculuk imkanı sunmalarına rağmen oluşan bu güven eksikliğinin sebebi otonom araçların insan sürücüler gibi davranışlar sergileyememesinden kaynaklanmaktadır. Bu problemin temel kaynağı ise otonom araçlar ve yayalar arasındaki iletişim eksikliğinden doğmaktadır.

Bir araç ile yayanın karşılaşması esnasında sürücüler ile yayalar arasında iletişim kurulmaktadır. Kurulan bu iletişim sayesinde yayalar araçların hamleleri hakkında bilgiye sahip olmakta ve sürücüden gelen talimatları görebilmektedir. Karşılıklı gerçekleşen kısa süreli bu müzakerede insan sürücüler ve yayalar bir karar alarak uygulamaktadır. İnsan sürücüler ile yayalar arası iletişim genel olarak el işaretleri, yüz ifadesi, göz teması ile gerçekleştiği görülmektedir. Otonom araçlar ile birlikte, kabul gören bu mevcut yaklaşımların ortadan kalkması ile otonom araçların davranışlarının yayalar tarafından anlaşılması güçleşmiştir. Bu iletişim kopukluğu kazalara sebep olabilmekte, yolların verimli kullanımını sınırlayabilmekte ve yayaların otonom araçlara karşı güven hisleri zedelenebilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında otonom araçlara duyulan güven eksikliğini ortadan kaldırmak, kabul edilebilirliğini ve yaygınlaşma hızını artırmak adına otonom araçlar ile yayalar arasında iletişim bağı kuracak lazer tabanlı projektör sistemi geliştirilmiş ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Böylece otonom araçlar ile yayalar arasındaki iletişim faktörüne farklı bir çerçeveden bakılarak yenilikçi bir çözüm önerisi getirilmiştir.

Geliştirilen lazer tabanlı projektör sistemi mekanik, elektronik, yazılım ve görüntü işleme gibi disiplinlere sahiptir. Kontrol sistemi kamera ve sensörden gelen sayısal verileri girdi olarak kabul edip işleyerek nihai çıktı olan görsel mesajların yansıtılmasını sağlar. Sistemde kullanılan USB bağlantıya sahip kamera sayesinde

görüntü işleme algoritmasına anlık canlı olarak video kaynağı sağlanmaktadır. Açık kaynak OpenCV kütüphanesinin Python programlama dili kullanılarak koşulması ile görüntü işleme algoritması çalıştırılmaktadır. Böylece araç önünde bulunan yayaların insan bedeni ve insan yüz tespiti şablonlarından yararlanılarak 2 kademeli insan tespiti görüntü işleme algoritması ile gerçekleştirilmektedir. Görüntü işleme algoritmasının Arduino ile haberleşmesi Pyserial platformu ile gerçekleştirilmiş ve anlık veri akışı sağlanmıştır. Tespit edilen yayanın araca uzaklığı ise ultrasonik mesafe sensörü kullanılarak tayin edilir. Tayin edilen uzaklık, kontrol sisteminde tanımlı olan mesafe aralıklarına göre önceden belirlenmiş senaryolardan uygun mesaj içerikli olanının tetiklenmesini sağlar. Eğer araç önünde insan tespiti gerçekleştirilmez ise lazer tabanlı projektör sistemi yansıtma gerçekleştirmez.

Araçtan yayaları bilgilendirici veya uyarıcı mesajların içeriği ve hangi renk lazerin aktif olacağı kontrol sisteminde tanımlanmıştır. Yaya araca tehlike arz edecek yakınlıkta bulunduğunda yani ilk 2 senaryoda kırmızı renkli lazerler yardımı ile uyarıcı mesaj içerikleri yansıtılmakta ve yayanın otonom araca yol vermesi gerektiği belirtilmektedir. Yayanın araca uygun mesafede bulunması durumunda otonom araç yayaya yol verecek şekilde hamlesini düzenlemekte ve lazer tabanlı projektör sisteminden yeşil renkli lazer ile bilgilendirici görsel mesaj yansıtılmaktadır. Bu mesaj içeriğinden yaya rahatlıkla karşıdan karşıya geçebileceğini anlayabilmektedir.

Lazer tabanlı projektör sistemde önceden tanımlanmış ve kullanılan 4 adet senaryonun oluşturulması için jpeg formatında bulunan resimlerin bazı aşamalardan geçmesi gerekmektedir. Bunlardan ilki fotoğrafın vektörel formata dönüştürülmesidir. Vektörel formattaki fotoğraf GO ve G1 formatlarını içeren G-koduna dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu G-kodu lazer ışınlarının rotasını belirlemektedir. Aynı zamanda lazer ışınlarının anlamlı şekiller halinde gözün yakalayamayacağı hızlarda rotasını takip ederek görünür şekiller elde edilebilmesi için bazı atlamalar yapması gerekmektedir. Bu lazer ışınlarının atlaması G-kodunun başındaki 0 karakteri ile sağlanmakta ve lazere giden güç anlık olarak kapatılarak bir sonraki satırda tekrar açılmaktadır. Bu işlemler dizisindeki son adım ise G-kodu formatındaki verilerin Arduino kartında anlamlandırılabilmesi için hex formatına dönüştürülmesidir. Bu dönüşüm sırasında Python dilinde yazılmış bir kodlamadan yararlanılmakta ve 10'luk sayı tabanındaki veriler 16'lık sayı tabanı ile elde edilmek suretiyle Arduino senaryolar kütüphanesine gömülmüştür.

İletişim çevriminin karşılıklı sağlandığı bu sistem dahilinde yeşil ve kırmızı renkli lazerler, X/Y galvo tarayıcısı, sürücü kartları, dijital analog dönüştürücü ve Op-amp entegre mikroçipleri ile güç kaynağı başlıcaları olmak üzere çeşitli donanımlar kullanılmıştır. Bu donanımların kontrolünde Arduino sürücü kartından, Python programlama dilinden ve OpenCV açık kaynak kütüphanesinden yararlanılmıştır. Sistem elektronik tasarımında Fritzing, mekanik tasarımında Solidworks platformları kullanılmıştır.

Sistemin çalışma mantığı; lazer ışınlarının sürücü kartları tarafından kontrol edilen galvo motorları ucundaki iki eksende belirli limitler dahilinde dönen aynalar üzerine düşürülüp yansıması sonucu projeksiyon alanında anlamlı görsellerin oluşturulması ve bu görsellerin yayalar tarafından yorumlanmasına dayanmaktadır. Bu interaktif iletişimin iki yönü yaya ve araç arasındaki bilgi aktarımı ile gerçekleşmektedir. Görüntü işleme algoritması ve mesafe sensörü ile insandan araca, araç önünde bir yaya olduğu bilgisi ve ne kadar uzaklıkta olduğu bilgisi aktarılmaktadır. Görsel

mesajlar sayesinde araçtan insana aktarılan bilgi ise aracın bir sonraki hamlesi ve yayanın hangi tutumu sergilemesi gerektiği bilgisidir.

Sonuç olarak tez çalışması kapsamında güvenli trafik ortamının oluşturulması ve otonom araçların güvenilebilirliği ve kabul edilebilirliğini arttırılması adına otonom araçlar ile yayalar arasında iletişim ve etkileşim kurulmasına yönelik bilimsel çalışmalar sürdürülmüş. Otonom araçlarda, normal sürücüler ile yayalar arasındaki iletişim bağlarının yerini alacak nitelikteki lazer tabanlı projektör sistemi üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca uygulanabilirliği yüksek ve geliştirmeye açık prototip sistem laboratuvar ortamında elde edilmiştir.

DEVELOPING LASER BASED PROJECTOR NOTIFICATION SYSTEM FOR COMMUNICATION BETWEEN AUTONOMOUS VEHICLES AND PEDESTRIANS

SUMMARY

Autonomous vehicles, also called driverless (unmanned) vehicles, are vehicles that have the ability to act autonomously thanks to their various control algorithms, technological equipment and designs. The prevalence of autonomous vehicles that will be a part of our daily lives in the near future and the researches, studies and developments on these vehicles continue to increase. Autonomous vehicles, which have made significant improvements in the period from 1950s to the present, are evaluated as 5 levels according to their autonomy levels. Autonomous vehicles have gained important advantages by eliminating the human factor in traffic. Some of these are to increase traffic safety and mobility; to reduce traffic congestion, exhaust emissions and travel expenses. In addition to these advantages, autonomous vehicles still have aspects that are open to development. One of these shortcomings is the distrust of autonomous vehicles and the inability of people to accept these vehicles. Although autonomous vehicles have sufficient equipment and even offer safer travel than normal driver vehicles, the reason for this lack of trust is due to the inability of autonomous vehicles to behave like human drivers. The main source of this problem arises from the lack of communication between autonomous vehicles and pedestrians.

Communication between drivers and pedestrians is established during the encounter of a pedestrian with a vehicle. Thanks to this communication, pedestrians have information about the moves of the vehicles and can see the instructions from the driver. In this mutual short-term negotiation, human drivers and pedestrians take a decision and implement it. Within the scope of this thesis, a laser based projector system has been developed and prototype production has been developed in order to eliminate the lack of trust in autonomous vehicles and to increase its acceptability and speed of spread. Thus, an innovative solution proposal was introduced by looking at the communication factor between autonomous vehicles and pedestrians from a different perspective.

The developed laser based projector system has disciplines such as mechanical design, electrical design, software and image processing. The control system accepts and processes the numerical data from the camera and sensor as input, to ensure that the final output visual messages are reflected. Thanks to the camera with a USB connection used in the system, a video source is provided instantly to the image processing algorithm. By processing the open source OpenCV library using the Python programming language, the image processing algorithm is run. Thus, 2-stage human detection is performed with an image processing algorithm by making use of the human body and human face detection templates of pedestrians in front of the vehicle. Communication of the image processing algorithm with Arduino was

realized with the Pyserial platform and instant data flow was provided. The distance of the detected pedestrian to the vehicle is determined using an ultrasonic distance sensor. The determined distance ensures that one of the pre-determined scenarios with the appropriate message content is triggered according to the distance intervals defined in the control system. If human detection is not performed in front of the vehicle, the laser based projector system does not reflect.

The content of informative or warning messages from pedestrians and which color laser will be active are defined in the control system. When the pedestrian is close enough to the vehicle, that is, in the first 2 scenarios, the warning message contents are reflected with the help of red lasers and it is stated that the pedestrian should give way to the autonomous vehicle. If the pedestrian is located at a suitable distance from the vehicle, the autonomous vehicle organizes its move to give way to the pedestrian and an informative visual message is reflected from the laser based projector system with a green laser. From this message, the pedestrian can easily understand that he can cross the street.

In order to create 4 predefined and used scenarios in the laser based projector system, the pictures in jpeg format must go through some stages. The first is the conversion of the photograph into a vectorial format. The photo in vectorial format needs to be converted to G-code containing GO and G1 formats. This G-code determines the route of the laser beams. At the same time, it is necessary to make some jumps in order to obtain visible shapes by following the route of the laser beams in meaningful shapes at speeds that the eye can not catch. The jump of these laser beams is provided with the 0 characters at the beginning of the G-code, and the power to the laser is momentarily turned off and turned on in the next line. The last step in this series of operations is to convert the G-code format data to hex format so that it can be interpreted in the Arduino board. During this conversion, a coding written in Python language is used and the data in the 10-number base is obtained with the 16-number base and is embedded in the Arduino scenarios library.

Within this system, where communication cycle is provided mutually, various equipment including green and red lasers, X/Y galvo scanner, driver cards, digital-analog converter, and Op-amp integrated microchips and power supply are used. Arduino driver board, Python programming language, and OpenCV open-source library were used to control this hardware. Fritzing platforms are used in the electronic design of the system and Solidworks platforms are used in mechanical design.

Working logic of the system; It is based on the creation of meaningful visuals in the projection area and their interpretation by pedestrians as a result of the laser beams being dropped and reflected on the rotating mirrors within certain limits on the two axes at the end of the galvo engines controlled by the driver cards. Two aspects of this interactive communication are realized by the transfer of information between the pedestrian and the vehicle. With the image processing algorithm and distance sensor, the information from the person to the vehicle is transmitted to the vehicle in front of the vehicle and how far it is. The information conveyed from person to person through visual messages is the next move of the vehicle and the attitude of the pedestrian.

As a result, within the scope of the thesis, scientific studies have been carried out to establish communication and interaction between autonomous vehicles and pedestrians in order to create a safe traffic environment and increase the reliability

and acceptability of autonomous vehicles. In autonomous vehicles, a laser based projector system has been studied to replace communication links between pedestrians and pedestrians. In addition, the prototype system with high applicability and open for development was obtained in a laboratory environment.

1. GİRİŞ

Sürücüsüz araçlar olarak da bilinen otonom araçlar, insan müdahalesinden bağımsız özerk sürüş kabiliyetine sahip araçlardır. Otonom araçlar üzerlerinde bulunan sensörler ile çevreden aldığı girdileri otomatik kontrol sistemleri ve algoritmalar ile yorumlayarak başlangıç noktasından hedeflenen noktaya güvenli şekilde varabilmektedir. Özerklik miktarlarına göre çeşitli seviyelerde bulunan otonom araçların ilk seviyeleri karayollarında kullanılır iken üst seviye otonom araçlar prototip aşamasında ve otonom araç geleceğine yön vermek üzere geliştirilmeye devam etmektedir. Yakın gelecekte mobilite çözümlerinin lideri konumuna gelecek otonom araçlar insanların yaşam standartlarını arttırmaktadır.

1950'lerden beri otonom araçlar üzerinde yürütülen ciddi çalışmalar, 1980'lerde hız kazanmış ve günümüzde ivmeyle devam etmektedir. Yakın gelecekte üst seviye otonom araçlar da hayatımızın bir parçası halini almaya başlayacaktır [1]. Şekil 1.1'de bir otonom aracın iç görünüşü simülasyon olarak çalışılmıştır. Otonom araçların yolcularla ve çevresiyle sürekli interaktif bağlam içinde olduğu ve yolculuk sırasında harcanan zamanı farklı şekillerde değerlendirme olanağı sağlandığı görülmektedir [2].



Şekil 1.1 : Otonom araç geleceği simülasyonu [2].

GPS, RADAR, LİDAR, kameralar, nesnelerin interneti ve görüntü işleme gibi pek çok teknolojiyi barındıran otonom araçlar; çevrelerindeki diğer araçları, engelleri, yayaları, trafik ışık ve levhalarını saptayarak anlamlandırmakta ve rotası boyunca bir sonraki hamlesinin ne olacağına karar vermektedir. Sensörlerden gelen bilgiler merkezi bilgisayarda işlenerek; ivmelenme, frenleme ve manevra gibi araç kontrolü için mekanik aksamlar tahriklenmektedir.

Otonom araçların yaygınlaşması ile beraber yüksek derecelerdeki otonom araçların hayatımıza girmesi ile birçok avantajı da beraberinde getireceği aşikardır. Bu avantajların başında yüksek oranda insan faktöründen kaynaklanan trafik kazalarının azaltılması gelmektedir. İnsan faktörünün ortadan kalkması ile güvenli ve belirlenen hedefler doğrultusunda bir yolculuğun gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Aynı zamanda trafik sıkışıklığı, egzoz emisyonunu ve seyahat masrafları gibi etkenleri de azaltırlar. Otonom araçların avantajlarının yanında bazı dezavantajları ve gelişiminin sürmesi gereken konular da bulunmaktadır. Otonom araçların en büyük dezavantajı otonom araçlara insan sürücülü araçlar gibi kabul ve güven duygusunun yetersiz olmasıdır [3].

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışma otonom araçların, normal sürücülü araçlar gibi kabul görmemesi ve güvenilmemesi problemine farklı bir boyuttan yaklaşarak çözüm getirmeyi amaçlamıştır. Otonom araçların şehir merkezleri gibi insan yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde yoluna güvenli bir şekilde devam edebilmesi, yayalar ile olan iletişimine bağlıdır. Otonom araçlar ile yayalar arasındaki bu iletişimi sağlayacak olan sistem bu çalışmada geliştirilmiştir. Geliştirilen lazer tabanlı projektör sistemi sayesinde; otonom araçların mevcut trafiğe adaptasyonu, otonom araçların kabul edilebilirliği ve güvenilirliğinin arttırılması, otonom araçların yaygınlaşma hızının arttırılması, otonom araçların daha insancıl yapıya bürünmeleri ve yaşam standartlarımızı yükseltmeleri hedeflenmektedir.

Otonom araçlar ile yayalar arasında iletişim kurmaya yardımcı olan sistem bu iletişimi görsel olarak sağlamaktadır. İletişimde kullanılan mesajların iletilmesinde kullanılan görsel iletişim kanalı sayesinde daha sağlıklı ve anlaşılır bir iletişim kurulması hedeflenmiştir. İletişimde kullanılan görsel şekil ve yazıların kapalı ve açık ortamlarda, gece ve gündüz şartlarında, her türlü iklim koşulunda görülebilir

olması için doğru sistem elemanları seçilmiştir. Seçilen sistem elemanları ile yansıtılan şekillerin dikkat çekici olması ve mesajların yayaların görüş alanları içerisine yansıtılması ile acil durumlarda dahi iletişim kopukluğunun önüne geçilmesi sağlanmaktadır.

Geliştirilen lazer tabanlı projektör sisteminde yaratılan senaryolar sayesinde, otonom araçların öncelik vermeye yönelik şekilde kodlanmış olmalarının suistimal edilmesinin de önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Böylece otonom araçların daha verimli şekilde trafikte var olmaları sağlanacaktır.

Geliştirilen sistemin, otonom araçların var olmaları için kullandıkları sistemlere ek olarak kullanılması ve yaygınlaştırılması ile güvenli ve insancıl bir trafik ortamı oluşturulması ve otonom araçların insan sürücülü araçlar gibi kabul ve güven görmesinin sağlanması çalışmanın nihai amacıdır.

1.2 Literatür Taraması

Araçların otonomlaşması hakkında çok kapsamlı literatür birikimi vardır. Literatür araştırmaları otonom araçlara genel bakış, otonom araçlarda kullanılan sistemler ve otonom araç ile yaya iletişimi başlıkları altında özetlenerek farklı açılardan değerlendirilecektir.

1.2.1 Otonom araçlara genel bakış

Otonom araçların tarihsel gelişim süreci ile beraberinde getirdiği avantaj ve dezavantajlara devam eden bölümlerde detaylı olarak değinilecektir. Onun öncesinde otonom araçları daha iyi kavrayabilmek için araçların otonomluk seviyelerine ve bu seviyelerdeki kabiliyetlerine değinmek doğru olacaktır. Otomotiv Mühendisleri Topluluğu'na (SAE) göre otonom araçlar kabiliyetlerine göre 0'dan 5'e kadar 6 farklı seviyede değerlendirilmektedir (Şekil 1.2) [4]. Seviye arttıkça otonom araçların gelişmiş sürücü destek sistemleri ve özerk hareket etme kabiliyetleri de artmaktadır. İnsan sürücüsüne yardımcı olan sistemlerden bazıları; otomatik şanzıman, hız sabitleme, şerit ve araç takibidir. Bu sistemler mevcutta kullanmakta olduğumuz 2. ve 3. seviye otonom araçlarda mevcuttur. Böylece insan sürücülerine sürüş ve park sırasında destekte bulunan bu sistemler yüksek seviyeli araçlarda geliştirilerek insan üzerinden daha büyük sorumluluklar almaktadır.



Şekil 1.2 : Otonom sürüşün 6 seviyesi [5].

Seviye 0 (Otonom olmayan): Aracın sürüşe hiçbir şekilde katkısı olmadığı; direksiyon, fren ve gaz kontrolünün tamamen sürücüde olduğu seviyedir.

Seviye 1 (Sürücü asistanı): Sürücülerin aracı kontrol etmesini kolaylaştıracak bazı eklentiler bu araçlarda mevcuttur. Örneğin elektronik kilitlenme önleyici fren sistemi gibi. Fakat bu seviyedeki araçlarda sorumluluk tamamen sürüye aittir.

Seviye 2 (Kısmi otonom): Bu seviyede araçlar direksiyon kontrolü, hız ve frenleme gibi birkaç fonksiyonu yerine getirebilmektedir. Hız sabitleme sistemleri bu seviyedeki araçların donanımlarına örnek verilebilir.

Seviye 3 (Koşullu otonom): Araçlar sensörler yardımıyla çevreden aldığı bilgiler sayesinde direksiyon kontrolü, hız ayarı ve mesafe yönetimi gibi kritik işlevlerin hepsini yönetebilir. Fakat gerekli durumlarda bir insan sürücüsüne ihtiyaç duymaktadır.

Seviye 4 (Yüksek otonom): İnsan müdahalesine için pedal ve direksiyon aksamları bulunduran bu araçlar, insan müdahalesi olmadan da karar vererek varış noktasına ulaşabilirler. Bu araçlar henüz seri üretime girmemiş ve yasal olarak da kullanımı henüz serbest değildir.

Seviye 5 (Tam otonom): Son seviye olarak tanımlanan otomlar araçlar rotanın hiçbir aşamasında sürücüye ihtiyaç duymazlar. Bu araçlarda pedal ve direksiyon gibi aksamlar da bulunmamaktadır. 5. Seviye otonom araçlar alt başlıklarda bahsedilen firmaların üzerinde çalıştığı henüz prototip aşamasındaki araçlardır [6,7].

1.2.1.1 Otonom araçların gelişim süreci

Günümüzde akıllı ulaşım ve otonom araçlara olan ihtiyaç her geçen gün artmakta ve bu bağlamda yürütülen çalışmalar ve gelişmeler uzun yıllardan beri sürmektedir [8]. Leanardo da Vinci'nin 15. Yüzyılda tasarladığı programlanabilir el arabası isminin verildiği, dişli ve yayların kullanıldığı araç kendi kendine hareket eden araçların atası olarak görülse de; günümüz otonom araç teknolojileri 1950'li yıllarda gelişmeye

başlamıştır. 1950'lerden beri araçları otonomlaştırmaya yönelik yapılan çalışmaların her biri otonom araçların bugünkü hallerini almasına katkı sağlamıştır [9].

İlk kez 1958 yılında GM firması "Otomatik güdümlü otomobil" adını verdiği insan müdahalesi olmadan sürmenin mümkün olduğu aracı tanıtmıştır. Araç direksiyon simidi ve pedalların olmadığı, bunun yerine küçük bir kumanda kolu ve acil durum frenin bulunduğu şekilde tasarlanmıştır. Karayoluna gömülü mıknatıslanmış metallerin oluşturduğu elektromanyetik alanda radyo frekansları ile dışarıdan kontrol edilerek; aracın kendi kendine hareket etmesi üzerine kurulu konsept gerçekleşmiş olmuştur. Aracın ön kısmına eklenen harici iki ekran ile aracın hız bilgisi ve öndeki araca olan uzaklık bilgisi araç içirişindeki kişilere aktarılmıştır [10].

İlerleyen yıllarda gelişen bilgisayar teknolojisi ve algılayıcılar ile teknolojik bir ilerleme sarf eden dünya bu teknolojileri savunma, uzay ve denizcilik gibi alanların dışında araçlar üzerinde kullanmaya başladı. 1980'li yıllarda Alman mühendis Ernst Dickmanns yüzlerce kilometre yolu otonom bir şekilde sürebilmeyi hedefledikleri Mercedes marka bir minibüs üzerinde çalışmaya başladı. Ernst Dickmanns ve ekibi, 1980'lerin sonunda 5 tonluk minibüsü kendi kendini sürebilecek şekilde inşa etmeyi başardı. Böylece VaMoRs Mercedes van otonom araçların gelişim serüveninde önemli bir adım taşı olarak yer almayı başarmıştır [11].

Ekibin VaMoRs'u otonomlaştırmaya yönelik yaptığı çalışmaların başında; gerçek zamanlı yol tespiti için geliştirdikleri algoritma gelmektedir. Yol taraması yapmak için iki adet aktif kamera ve yol eğriliğinin tahmini için kalman filtresi kullanılmıştır. VaMoRs'lar karayollarında 100 km/s hıza ve bölgesel yollarda 50 km/s hıza çıkabilmiştir. Araç aynı zamanda temel şerit değiştirme manevraları yapabilmiş ve tespit edilen engellere karşı 40 km/s hıza kadar güvenli bir şekilde durabilmiştir.



Şekil 1.3 : Vamor dıştan ve içten görünüşü.

Aynı yıllarda otonom araçlar üzerine yapılan bir başka çalışma ise Carnegie Melon Üniversitesi (CMU) tarafından geliştirilen NAVLAB otonom araç projesidir. NAVLAB farklı yol tiplerini ve engelleri öğrenmek ve tespit etmek için bir sinir ağı algoritması kullanmıştır. Algoritma, pasif kamera sensörlerinin yanı sıra, daha sağlam bir algılama elde etmek için lazer mesafe buluculara ve lazer yansıtma sensörlerine (yüzey malzemesi değerlendirmesi için) dayalıdır. NAVLAB engebeli arazilerde 28 km/s ve normal yollarda 88 km/s hızlarda otonom sürüş ve engellerden kaçınma yeteneğine sahiptir [12,13].



Şekil 1.4 : NAVLAB dıştan ve içten görünüşü [14].

2000'li yıllarda Amerika Savunma Bakanlığına bağlı savunma ileri araştırma projeleri ajansı (DARPA) otonom araçlara yönelik çeşitli yarışmalar düzenlemiştir [15]. Bu yarışmanın ilk yılında parkuru tamamlayarak bitiren araç çıkmamıştır. 2005 yılında California ile Nevada arasındaki 212 kilometrelik çöl arazisinde yapılan zorlu yarışı 23 araçtan 5 tanesi tamamlayabilmiş ve yarışın kazananı Stanford'dan katılan Stanley adındaki araç olmuştur (Şekil 1.5) [16]. Stanley'in yarışı kazanmasında; yol tespiti için kamera, konum tespiti için GPS, yol bilgisi için RADAR ve lazer sensörleri kullanması etkili olmuştur. Ayrıca farklı zeminlerde sürüş için öğrenme algoritması kullanması yarışı tamamlamasında büyük etkendir [17].

2007 yılında DARPA farklı bir konsept ile tekrar bir yarışma düzenlemiştir. Bu kez yarışmada araçların şehir sokaklarında 96 kilometrelik bir parkurda trafik kurallarına uyarak yapacakları sürüş yeteneklerini test edilmiştir. Yarışmayı Carnegie Mellon Üniversitesinin BOSS adındaki aracı kazanmıştır (Şekil 1.5). Araç Stanley gibi çevreden bilgi alabileceği çeşitli sensörlerden faydalanmıştır ve 48 km/s hıza kadar rotasında diğer araçlarında bulunduğu parkuru güvenli bir şekilde tamamlamıştır [18]. DARPA düzenlediği yarışmalar ile otonom araç teknolojilerinin gelişmesine

önemli katkılar sağlamıştır. Yüksek çözünürlüklü ve doğru haritalama ile trafik davranışını tahmin edip yanıtlayabilen karmaşık kontrol algoritmalarında sürekli iyileştirmeler sergilenmiştir [19].



Şekil 1.5 : Stanford'tan Stanley (solda), CMU'dan BOSS (sağda).

Şimdiye kadar değinilen çalışmaların hepsi otonom araçların gelişmesine katkı sağlamış, günümüz gelişen teknolojilerine dönüşmüş ve gelişmeye devam etmektedir. Günümüzde 40'tan fazla şirket otonom araçlar üzerinde çalışmaktadır [20]. Otonom araçlar GPS, kameralar, lazer sensörler, ultrasonik sensörler, radar sistemleri, LİDAR sistemleri gibi teknolojik donanımlar sayesinde özerk hareket etme kabiliyeti kazanırlar. Bu donanımlara bölüm 1.2.2' de detaylı olarak değinilecektir. Otonom araç teknolojisi geliştiren firmaların araçlarında kullandığı ve rekabette elini güçlendirdiği donanımsal özellikleri vardır [21,22]. Tesla, BMW, Mercedes, Uber ve Google otonom araçlar üzerinde çalışan başlıca şirketlerdendir. Bu şirketler tarafından yürütülen projelerin çoğu araştırma aşamasında olsa da, bazıları şu anda gerçek yollarda kullanılmaktadır (Şekil 1.6). Tesla firması 2. Ve 3. seviye otonom araç olarak ticari satışını yaptığı araçlarının tamamen otonom sürüş için gerekli donanıma sahip olduğunu savunmaktadır [23].



Şekil 1.6 : Google otonom aracı (solda) [24], Uber otonom aracı (sağda) [25].

Otonomlaşma sadece yolcu taşımak için kullanılan araçlarda değil yük taşımak için kullanılan kamyon ve benzeri araçlar için de geliştirilen bir alandır. Uber firması Otto ismini verdiği kamyon ile başarılı denemeler ve teslimatlar gerçekleştirmiştir [26]. Yine aynı firma Pittsburgh şehrinde 46 dönüm üzerine Almono ismini verdiği otonom araçları test etmek için sahte bir şehir inşa etmiştir. Böylece trafiğe kapalı alanlarda fakat gerçek dünya ile birebir senaryolar ile araçların performansları test edilmekte ve gelişimleri sağlanmaktadır [25].

1.2.1.2 Otonom araçların avantajları

Otonom araç teknolojisinin gelişim sebebinin merkezinde insan faktörü bulunmaktadır. Çok çeşitli faydaları barındıran otonom araçlar trafikte yaygınlaşması sonucu bu etkilerini net olarak gösterecektir. Otonom araçların başlıca hedefi insan konforu ve trafikte insandan kaynaklanan hataları azaltmak yani insan faktörünü en aza indirmek ve kaldırmaktır. TÜİK verilerine göre gerçekleşen trafik kazalarının %90 gibi büyük bir oranı sürücülerde kaynaklanmaktadır, yani insan faktörlüdür [27]. Sürüşte insan aktivitelerinin azaltılması ile dikkatsizlik, yorgunluk, dalgınlık, yanlış karar verme ve duyguların ortadan kaldırılacak olması; trafiği daha güvenli hale getirecektir [28].

Trafik güvenliğinin yanı sıra otonom araçlar, trafik sıkışıklığını, egzoz emisyonlarını ve seyahat masraflarını azaltırken, mobiliteyi ve yol güvenliğini arttırma potansiyeline sahiptir. Otonom araçların bir diğer avantajı ise yolculuk esnasında geçirilen zamanın araç içerisinde dilendiği gibi geçirme fırsatı vermesidir. Zaman verimliliği sağlayan araçlar konforlu ve güvenli ulaşım vadetmektedir. Park alanı bulma ve en kısa rotayı hesaplama yetileriyle de donatılmış olan otonom araçlar kullanıcıların yardımcıları halini alacaktır [28,29].

Otonom araçlar bu genel avantajlarının yanı sıra yaşlı ve engelliler için özgürlük ve bağımsızlık sunmaktadır. Bireysel olarak yardım almadan istedikleri konuma ulaşama imkanı sağlayan araçlar sayesinde kişisel hareketlilikleri artacaktır [30]. Otonom araç teknolojisi sadece otomobiller için değil otobüs, kamyon, tır ve kapalı alan yük taşıma sistemleri için de çokça çalışılan bir alandır. Taşımacılık alanında yüksek derecede ekonomi sağlayacak otonom araçlar konvoy oluşturma kabiliyetine de sahiptir [31].

1.2.1.3 Otonom araçların dezavantajları

Çoğu yeni teknolojide olduğu gibi otonom araçların kullanıma başlanması da avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları beraberinde getirecektir. Bunların başında maliyet gelmektedir. Otonom araçlar üzerinde kullanılan yazılım ve donanımlar insan sürücülü araçlardan çok daha gelişmiş olacağından araçların ürerimi sırasında daha yüksek standartlar uygulanmalıdır. Ayrıca servis ve bakım maliyetleri de yüksek olacaktır [1].

Otonom araçların maliyetleri dışında bazı etik ve hukuksal problemleri oluşturabileceği düşünülmektedir. Araçlarda kullanılan yazılımların kötü niyetli kişiler tarafından ele geçirilmesi ve araçların suç aleti olarak kullanılmak üzere kontrol edilmesi potansiyel bir risk oluşturmaktadır [32]. Kaza riskinin olduğu durumlarda otonom araçların bir karar vermesi ve bu karara göre hareket etmesi gerekecektir. Karar aşamasında otonom araçların insani değerleri ve etik kuralları değerlendirmesi otonom araç teknolojisini zorlayacak alandır [33]. İnsanlar şu ana kadar geleneksel araçlara aşikar olduğu için otonom araçların kabul edilebilirliği daha zordur. Otonom araçlara olan güvensizlik hem yolcular hem de yayalar tarafından aşılması gereken bir engel teşkil etmektedir. Otonom araç üreticileri bu sorunların üstesinden gelebilmek için prototip çalışmalarını normal sürücülü araçların sürüşlerinden ve iletişiminden faydalanarak sürdürmelidir [34].

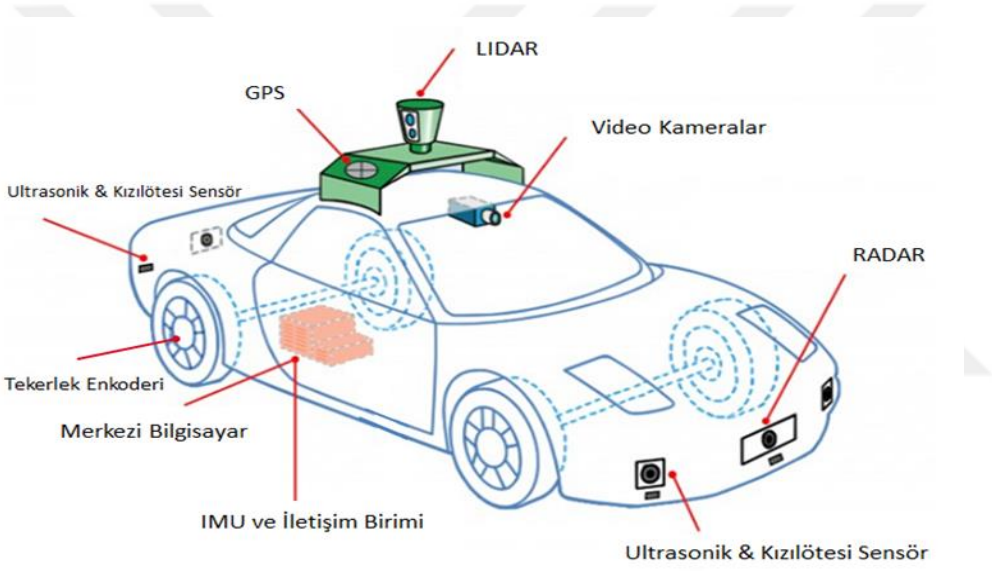
Araçlarda otonomlaşma bir süreç olarak gerçekleşecektir. Bu sebeple belirli bir süre yollarda otonom ve otonom olmayan araçlar beraber yol alacaktır. Otonom araçların mevcut trafiğe adaptasyonu ve mevcut kara yolu altyapısını kullanacak olması bir dezavantaj oluşturmaktadır. Otonom araçlar kazaya ihtimal vermemek adına öncelik vermek üzere programlanmış algoritmalara sahiptir. Bu pozitif yaklaşımın suistimal edilmesi muhtemeldir [21].

Otonom araçlar tüm bu dezavantajlar değerlendirilerek geliştirilmeye devam etmektedir. Araçların gelişime katkı sağlayacak ve eksilerini azaltacak çözümler sunan bilimsel çalışmaların da katkılarıyla; ilk seviyelerini yollarda gördüğümüz otonom araçları yüksek seviyedeki otonom araçlar takip edecektir.

1.2.2 Otonom Araçlarda Kullanılan Sistemler

Otonom araçlar özerk sürüş kabiliyetlerini üzerlerinde barındırdıkları çeşitli teknolojilere borçludur. Birbirleriyle uyum içerisinde çalışan bu teknolojiler otonom

aracın güvenli şekilde hareket etmesine olanak sağlamaktadır. İnsanlar duyu organları ile çevreden bilgi toplayarak buna göre reaksiyon verirken; otonom araçların bu görevi yerine getirecek sensörleri aracın dört bir etrafına donatılmıştır. Bu sensörlerin başında kamera, LİDAR, RADAR, kızılötesi ve ultrasonik sensörler gelmektedir. Otonom araçların çevreden bilgi toplayan gözleri olarak nitelendirilen bu sensörler sayesinde, yoldaki engeller tespit edilebilmekte, yakınındaki nesneler belirlenebilmektedir [35]. Bu sensörlerin haricinde otonom araçlar GPS, IMU ve enkoder gibi sistemlerden yararlanmaktadır. Bu sayede araç dünya üzerindeki konumunu doğru şekilde tayin edebilmekte ve varacağı konumu saptayabilmektedir. Bir otonom aracın donatılmış olduğu teknolojileri ve araç üzerindeki pozisyonları Şekil 1,7'de görüldüğü gibidir [36].



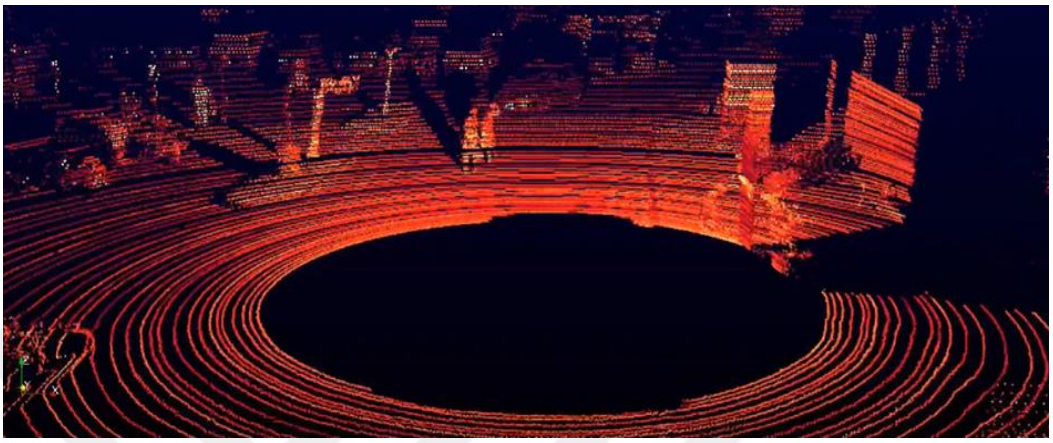
Şekil 1.7 : Otonom araç teknolojileri [36].

1.2.2.1 LİDAR

LİDAR'lar otonom araçların üst tavanlarına monte edilerek kullanılan en yeni ve yüksek teknolojili donanımlardan biridir. Araç üzerindeki görevi; araç çevresini nokta bulutları ile 3 boyutlu ve 360° olarak haritalamaktır (Şekil 8). İnsan gözü tarafından görülemeyecek frekanstaki lazer ışınları kullanarak, bu ışınların bir engel veya nesneye çarpması ile oluşan milyonlarca bilgiyi kullanarak otonom araçların etrafında olup bitenleri algılamasına olanak sağlamaktadır [37].

LİDAR'ları diğer sensörlerden ayıran üstün özellikleri radyo dalgaları yerine lazer ışınları kullanıyor olması, ışık yoğunluğunun az olduğu ortamlarda da verimli çalışabilmesi ve içerisinde yüksek hızla dönen aynaları sayesinde araç etrafını tam

tarama yaparak elde ettiği bilgileri birleştirmesidir. Bu üstün özelliklerinin yanı sıra olumsuz hava koşullarından etkilenmesi ve menzilinin kısıtlı olması LİDAR teknolojisini zorlamaktadır. Otonom araç maliyetlerinde önemli kalemlerden birini oluşturan bu sistem, maliyet olarak düşüş trendine girmesi ile daha ucuz ve verimli hale gelmektedir [21].



Şekil 1.8 : LİDAR nokta bulutundan elde edilen 360˚ örnek çevre [38].

1.2.2.2 Video kameralar

Otonom araçların ön camlarına ya da tavanlarına sabitlenen yüksek teknolojili kameralar RADAR, LİDAR ve diğer sensörler ile birlikte çalışmaktadır (Şekil 1.9). Kameralar aracın çevredeki nesneleri, trafik levhalarını, trafik ışıklarını ve şeritleri tespit etmesi için kullanılan yüksek çözünürlüklü görüntüler sunan donanımlardır. LİDAR ile karşılaştırıldığında kullanım amaçlarının farkı ve birlikte kullanılmalarının amacı daha net anlaşılmaktadır. LİDAR'lar çevredeki varlıkların konumunu boyutunu ve araca uzaklığını tespit ederken, kameralar ise araç çevresinden renkli görüntüler alarak araç merkezi bilgisayarındaki görüntü işleme algoritmalarına sunmaktadırlar.

Kameraların en önemli özelliği renkli görüntülerin elde edilebiliyor olmasıdır. Bu sayede kameralar aracın çevresini görmesinin en iyi şeklidir. Kameraların dezavantajı ise diğer donanımlar gibi sayısal veriler sağlamazlar ve olumsuz hava koşullarından etkilenebilirler [35].

1.2.2.3 RADAR

Otonom araçların çevre dünyadan bilgi almasında kullanılan bir diğer sensör ise RADAR'dır. RADAR radyo dalgaları kullanarak, bu dalgaların karşılaştığı ilk

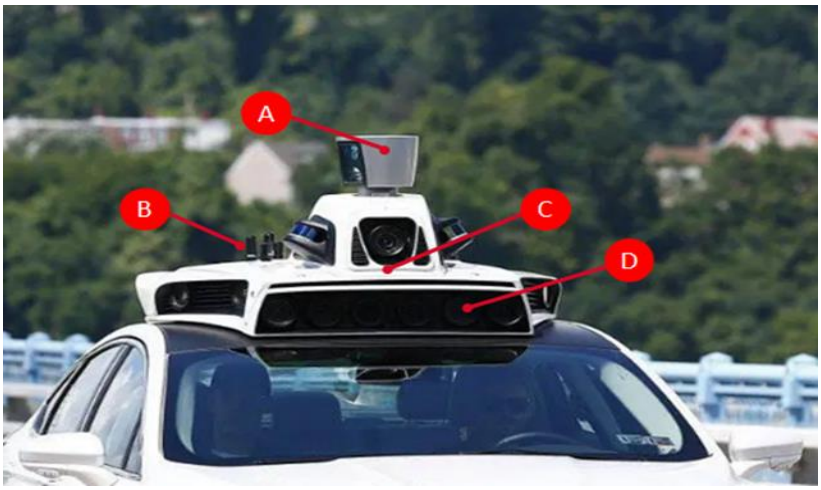
engele çarpıp geri dönüşüne kadar olan süreden yola çıkarak mesafe ve hız bilgisi elde eder. RADAR'lar düşük seviyedeki otonom araçlarda da kullanılan, otonom araç dünyasındaki temel teknolojilerdendir. Adaptif hız sabitleme, araç takip ve ani fren desteği gibi uygulamalarda rol alır.

RADAR teknolojisi uzun menzilli olması ve olumsuz hava şartlarında dahi diğer sensörlere göre daha verimli çalışması ile otonom araçlarda bulunan önemli donanımlardandır. Fakat bu sensörler metal yüzeyler dışındaki cisimleri algılamakta zorluk çekerler bu sebeple insan ve diğer canlıları tespit etme kabiliyetleri yoktur. Ayrıca tespit ettikleri cisimlerin ne olduğu hakkında bilgi vermezler. Bu sebeplerden dolayı RADAR'lar diğer sensörler gibi bir arada kullanılmalı ve sistem bütünü oluşturulmalıdır [35].

1.2.2.4 GPS

GPS dünya yörüngesindeki uydudan aldığı sinyalleri birleştirerek otonom aracın dünya üzerindeki konumunu belirlemeye yarayan radyo sinyalleri ile çalışan bir sensördür (Şekil 1.9). Küresel konumlandırma sistemi olarak adlandırılan GPS gündelik yaşamda, ulaşımda ve diğer endüstrilerde de kullanılan bir sistemdir. Birden fazla uydudan aldığı sinyalleri üçgen geometri kullanarak aracın yeryüzündeki konumunu 1 metrelik sapmalar ile belirleyebilmektedir. Küresel konumlandırma sisteminin, her hava koşulunda istikrarlı çalışabilmesi ve küresel kapsama alanının olması büyük avantaj sağlamaktadır. Hiçbir yol işareti, tabelanın ve şeritlerin tespit edilemediği durumlarda araca hayati destek sağlamaktadır. GPS Aracın konum bilgisi dışında varılacak konum tespiti ve araç rotası için harita oluşturulmasına da yardımcı olmaktadır [39].

Küresel konumlandırma sisteminin de diğer sensörlerde olduğu gibi eksik kaldığı noktalar mevcuttur. Örneğin uydu sinyallerinin kesildiği tünel, derin vadi, su altı veya bina yoğunluğunun fazla olduğu şehir merkezleri GPS'in çalışmasını olumsuz etkilemektedir. Bu durumlarda araç içsel konumlandırma sistemi olan INS araç konumunun belirlenmesine yardımcı olur. Atalet navigasyon sistemi (INS) aracın konum, hız ve ivme bilgilerini sürekli olarak kullandığı ivmeölçer ve jiroskoplar sayesinde tayin etmede GPS ile beraber kullanılarak daha doğru araç pozisyon bilgisi elde edilmesini sağlar [40].



Şekil 1.9 : Otonom araç tavan donanımları (A: LİDAR, B: GPS, C: Renkli kamera, D: Kameralar) [41].

1.2.2.5 Ultrasonik ve kızılötesi sensöreler

Ultrasonik ve kızılötesi sensörler RADAR'ların çalışma mantığı ile benzerlik göstermektedir. Fakat kullandıkları kaynaklar ve kullanım amaçları nispeten farklıdır. İnsan işitme aralığının dışında kalan akustik ses dalgaları kullanılarak, bu ses dalgalarının uçuş sürelerinden yola çıkarak mesafe saptaması yapan ultrasonik sensörler otonom araçların park sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzak mesafeler için kullanımı kısıtlı olsa da yakın mesafe ölçümleri için hassas veriler elde edilmektedir.

Kızılötesi sensörler ise aracın şerit takibi kabiliyetini sağlayan önemli donanımıdır. Yol durumu ve şerit çizgileri tespitinde kullanılan kızılötesi sensörler hava şartlarından etkilenmez ve gün ışığına ihtiyaç duymazlar. Özellikle gece şartlarında yayaların tespit edilmesine olanak sağlarlar.

1.2.2.6 IMU

Atalet ölçüm birimi olarak adlandırılan IMU çevreden sensörler tarafından alınan bilgileri insan beyni gibi yorumlayıp karar vermeye yarayan işlemcilere sahiptir. Aracın hareketindeki dinamik değişimleri izleyerek güvenli sürüş sağlayan atalet ölçüm birimi INS, GPS ve LİDAR ile ilintilidir [42]. Atalet ölçüm birimi atalet navigasyon sistemi ile aracın tutumunu, hızını ve konumunu bağımsız olarak belirleyebilir. Böylece özerk sürüş yeteneğine doğrudan katkı sağlar. IMU'lar

gelişmesi ve yaygınlaşmasıyla beraber ucuzlamaya başlamıştır ve otonom araçların hayati donanımsal parçalarıdır.

1.2.2.7 Odometre

Kilometre sayacı ve tekerlek enkoderi olarak da bilinen odometre belirli bir zaman içerisindeki konum değişikliğini hesaplama için kullanılır. Otonom araç tekerleğine yerleştirilen sensör araç üstü sensörler ile birlikte çalışarakarak konum tayininde görev alır. Tekerlek enkoderinin diğer sensörlere göre avantajı aracın içsel verilerini elde etmesi dolayısıyla veri kesintisine uğramamasıdır. Bu yüzden diğer sensör verilerinin sağlanamadığı durumlarda ilk başvurulan adres olmaktadır ve her aracın otonomlaşmasındaki ilk adımlardan biridir. Tekerlek enkoderi aynı zamanda belirlenen bir rota üzerinde hareket eden aracın rotanın hangi aşasında olduğu ve anlık hız bilgisini doğrulamak için kullanılır [43].

1.2.3 Otonom araç insan etkileşimi

Otonom araç insan etkileşimi başlığı; insan-robot etkileşimi, otonom araç güvenilebilirliği ve kabul edilebilirliği ve otonom araç yaya iletişimi başlıkları kapsamında değerlendirilecektir.

1.2.3.1 İnsan-robot etkileşimi

İnsanlar otonom araçlardan önce çeşitli makinalar ile tanışmış ve bunlarla birlikte yaşamaya, iş yükünü bu makinalar üzerinden yönetmeye başlamıştır. Bu makinalar ile iletişim programlanabilir bilgisayarlar, ekranlar gibi çeşitli insan-robot etkileşimi (HRI) denilen sistemler ile gerçekleştirilmiştir. 20. yüzyılın ikinci yarısı itibarıyla insanlar karmaşık ve yüksek kritiklikteki alanlarda verimlilik ve güvenlik için yeni bilgi teknolojilerine başvurmuştur. Makinalarla iletişim dil, jest, ses tonu ve yüz ifadesi gibi daha insansı etkileşimler halini almaya başlamıştır [44].

İnsan-robot etkileşimlerini daha doğal hale getirmenin bir yolu, insan benzeri özellikleri veya davranışları teknolojiye bağlayarak kullanmaktır. Robotlar hareketler veya bakışlarla davranış sergileyebilir, bu da insanlar tarafından diğerlerine göre daha doğal ve yetkin olarak algılanır [45]. Kullanıcılar üzerinde yapılan testler ve araştırmalar, güvenin en çok antropomorfizm, şeffaflık, nezaket ve kullanım kolaylığı gibi robotun özelliklerinden etkilendiğini göstermektedir [46]. Ayrıca

insanların hızlı ve etkili bir şekilde tepki verebilmek veya yanıt verebilmek için robotlardan sezgisel ve etkili sinyaller ve mesajlar almaları gerektiğine karar kılınmıştır. Çalışmalar, kullanıcıların vokal bilgi alışverişi ve insan benzeri proaktif yardım gibi basit ve doğal etkileşimleri tercih ettiğini göstermektedir [47].

İnsanlar otonom araçlarla da etkileşim içinde olmak zorundadır. Bu etkileşim çeşitli makinalarda olduğu gibi arayüzlerle sağlanmaktadır. İletişimin daha sağlıklı olması için çeşitli çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Bu iletişim araç ile yolcular, araç ile yayalar, araçlar arası veya daha düşük otonom seviyesine sahip araçlardaki insan sürücüler arasında olmaktadır.

1.2.3.2 Otonom araç güvenilebilirliği ve kabul edilebilirliği

Otonom araçların bölüm 1.2.2'de bahsedilen teknolojiler ile donatılmış olması araçları özerk sürüş konusunda yetkin kılmaktadır. Bu donanımlar sayesinde dış dünyadan ve çevresinden haberdar olan otonom araçlar, yüksek işlemcilerinin de sayesinde makina öğrenmesi, nesnelerin interneti ve yapay zeka teknolojilerini kullanarak tam donanımlı hale getirilmek üzere çalışılmaktadır. Fakat yapılan araştırmalar otonom araçlara olan güven sorununu açıkça ortaya koymaktadır. Çalışmalar, büyük ölçekli anketlerden [7] etnografik araştırmalara ve bire bir görüşmelere kadar [48], son yıllarda otonom araçlara duyulan güveni [49] ölçmek veya geliştirmek için sürmektedir. Örnekler, bir bireyin otonom sistemlere olan güvenini, araçların gerçek yetenekleriyle eşleşecek şekilde kalibre etme yöntemlerine ilişkin araştırmaları içerir [50]. Çalışmalar katılımcıların otonom araçların kabiliyetlerini bilmeden eşit güvensizliğe sahipken, bilinçlenmeleri neticesinde bu güvenin artacağını göstermektedir [51]. Otonom araçlarla etkileşim süreci, öğrenme için bir fırsat sunabilir ve ayrıca kendi düşüncesinin doğrulanmasını sağlayabilir. Kullanıcılar deneyimlerde bulunarak etkileşime aşina hale gelirler [52]. Güvenin öğrenilebileceğine ve uygun güveni teşvik eden prosedürler tasarlamanın mümkün olduğuna dair kanıtlar vardır, güvenilir teknoloji kapsamında etkileşimlerin tekrarlanması ile güven artmaktadır [46,53].

Otonom araçlara karşı hem yolcular hem de yayalar tarafından sorun teşkil eden güven ve kabul edilebilirlik problemini ortadan kaldırılmalıdır. Bunun için otonom araçların programlanmış birer makinalar halinde tasarlamasından ziyade; insan

yanlısı ve aramızdan biriymiş gibi iletişime katılan araçlar olarak tasarlanmalıdır [54]. İnsanlar aşina oldukları sürüş teknikleri ve kendilerine yakın hissettikleri araçların sosyal varlık duygularını uyandırdığı ve otonom araçların daha güvenli, daha akıllı ve güvenilir olarak algılanmasına izin verdiği gösterilmiştir [55].

Yayaların otonom araca duydukları güven seviyelerini ölçmeye yönelik yapılan bir çalışmada çeşitli bulgular elde edilmiştir. Pedalları ve direksiyonu bulunmayan sadece acil durdurma butonu bulunan Pod-Zero isimli otonom araç (Şekil 1.10) ile oluşturulan farklı rotalarda ve farklı iletişim yöntemleriyle 3 seyehat planlanmıştır. Otonom araç her 3 seyahati güvenli bir şekilde tamamlama kabiliyetine sahip olsa da deneye katılan bireyler seyehatlerin iletişim açısından olumlu ve olumsuz yanlarına dikkat çekmişlerdir. Yere yansıtılan animasyon çizgilerinin ve okların olduğu olduğu seyehat araç üzerinde sinyal benzeri ışıkların olduğu seheyate kıyasla daha güvenilir bulunmuştur. Fakay yine de bu uygulamaya karşı olumsuz oylamalarda bulunan katılımcılar da olmuştur. Buna sebep olarak ise otonom araca değil de yere bakma konusunda endişe duymaları ve hava koşullarında yeterli görünürlükte olamamasından kaynaklı endişelerini dile getirmişlerdir. Çalışma nihayetinde otonom araç ve yayalar arasında hem etkili hem de güvenilir olarak algılanan ideal iletişim yöntemlerini tanımlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır [3]. Otonom araçların insan sürücülü araçlar gibi sürüş yeteneğine sahip olacak şekilde programlanması ve iletişim kabliyetlerinin artırılması otonom araçların insanlar tarafından güvenilebilirliğini arttıracaktır.



Şekil 1.10 : Araştırmalarda kullanılan otonom araç (Pod-Zero)

Otonom araçların insan sürücülü araçlar gibi davranmalarına yönelik derin pekiştirici öğrenme ve makina öğrenmesi kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışma sayesinde toplanan veri setlerinin işlenmesi ve araçlarda denenmesi ile insan benzeri otonom sürüş algoritmalarının ve trafik akışı modellerinin geliştirilmesine katkıda bulunabileceğini gösterilmiştir [54].

1.2.3.3 Otonom araç yaya iletişimi

Otonom araçlar her ne kadar çevreden donatılmış olduğu sistemler sayesinde bilgiye erişip yol alabilse de çevreye kendisinin bir sonraki davranışı ve çevreden beklediği davranışlar hakkında basit sinyal ve korna gibi sistemler dışında bilgi verememektedir. Bu eksiklik ise otonom araçların bilinmez makinalar haline gelmesine ve kabul edilebilirliğinin azalmasına sebep olmaktadır. Otonom araçların biz insanlar ile bir uyum içerisinde hareket edebilmesi ve kullandığı teknolojilerin doğru çalıştığını insanlara göstererek, rotası boyunca karşılaştığı insanlara yapacağı hamleleri iletmesi ve bilgilendirmesi, insanların otonom araçlara olan güvenini arttıracaktır. Otonom araçlara duyulan güvenin artması araçların kabul edilebilirliğini ve yaygınlaşmasını kolaylaştıracaktır.

Literatürde otonom araçların yayalar ile olan iletişimine çeşitli çözüm önerileri sunulmuştur. Örneğin geliştirilen bir çalışmada geleneksel araç sürücülerinin sürüş sırasında kullandıkları yüz ifadeleri otonom araçların ön camlarına veya radyatör ızgarasına yansıtılarak otonom araçların geleneksel sürücüler gibi yayalara duygusal mesaj göndermeleri sağlanmaktadır. Ayrıca bir diğer düşünülen çözüm ise otonom araçların sürücü koltuklarına sosyal robotlar yerleştirmektir. Robotlara geleneksel sürücüler gibi davranılması öğretilerek (yüz ve el hareketleri) yaya ve araçlar arasındaki iletişim güçlendirilmesi hedeflenmiştir [56].

Diğer bir çalışmada ise; yayalara yönelik mesaj gösteren bir ekranın araca monte edildiği bir uygulama Şekil 1.11'de görülmektedir. Bu çalışmada mevcut literatürde bulunan, araç üstü ekranda mesaj gösterme, yayaları gözle takip etme gibi yaklaşımlar yerine yayaların hareket ettikleri alana yansıtılacak mesajlar ve resimler ile iletişim yolu açılmasına imkân tanıyacak geliştirilen sistem anlatılmıştır. Bu sayede otonom araç üzerindeki kontrol sistemi, yayalara, aracın hareketleri hakkında güvenilir bilgi iletebilecektir [57].



Şekil 1.11 : Yayalar ile iletişim için mesaj gösteren bir sistem [58].

Başka bir çözüm olarak otonom araçların ön cam ve kaputuna LED ve hoparlör sistemi kurularak çeşitli renklerde mesajlar sunulmuş ve bu renklere göre mesajlara anlamlar yüklenmiştir Yine aynı çalışmada araçlara mobil telefonlarla etkileşim kurmalarına yardımcı olan bir uygulama yüklenerek yayaların cep telefonlarına "seni görebiliyorum" , "durma" ve "başlangıç" gibi sesli ve yazılı mesajlar göndermelerini sağlamaktadır [59].

Trafikte otonom araç ile yaya arasındaki iletişimi değerli kılan bir diğer unsur ise yayaların farklı yaş gruplarına, cinsiyetlere, karakterlere ve çeşitli diğer etkenlere göre çok farklı davranışlar sergilemesi dolayısıyla otonom araçların yaşayacağı zorluklardır. Otonom aracın karar vermesinde ve öncelik vermeye yönelik programlanmasının suistimal edilmesinin önüne geçilmesi açısından otonom araçların yayalarla iletişimi önem kazanmaktadır. Yayaların davranışlarını analiz eden bazı çalışmalar yürütülmüştür. Yaş grubu, cinsiyet, hava koşulları ve yol durumu gibi birçok farklı etken yayaların davranışları üzerinde etkili olmaktadır [60,61]. Otonom araçların gelişiminde bu etkenler göz önünde bulundurulmalı ve her insana hitap edecek etkileşimle oluşturulmalıdır.

Sanal gerçeklik yöntemiyle 4 farklı senaryoda gerçekleşen Nguyen T. ve diğerlerinin çalışması projektör sistemli interaktif iletişim biçimini simüle etmiştir. Mevcut trafik ışıklarını yenilikçi tasarım ile yayalara sunan çalışma projeksiyon tabanlı iletişim önerilerini sanal ortamda sunmaktadır [62]. Sanal gerçeklik gözlükleri kullanılarak 18 katılımcı ile farklı senaryolarda gerçekleştirilen çalışma sayesinde otonom araç

yaya iletişimine dair öneriler çıkarılmıştır. Otonom araçların niyetini yayalara görselleştirilmiş mesajlar ile olabildiğince erkenden göstermesi gereği ortaya konmuştur. Çalışma sanal ortamda gerçekleştirilen deneyler ile projeksiyon tabanlı görsel iletişimin insanlar üzerinde nasıl bir etki yarattığına dair ön bir çalışma niteliğindedir.

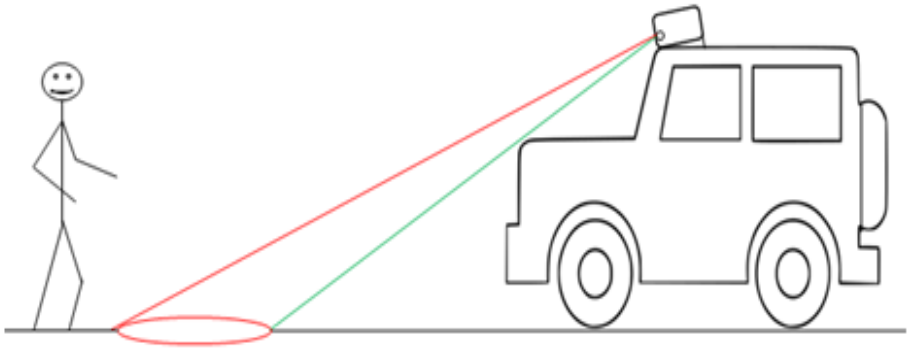
Literatürdeki çalışmalardaki etkili iletişim eksikliğini gidermek adına simüle edilmiş bu çalışmada, aracın yayanın bulunduğu alana mesaj yansıtılmasının daha uygun olabileceği değerlendirilmiştir. Bu duruma bir örnek Şekil 1.12' de gösterilmiştir. Bu interaktif iletişim biçimi yürütülen tez çalışması kapsamında bölüm 2 ve bölüm 3'te tasarımı ve çalışma prensibi anlatılan sistemin yaratacağı iletişim biçimini ifade etmektedir. Araç ve yaya arasında bilgi alışverişinden sonra bölüm 4'te anlatılan senaryolara göre araç mesajını yayaya iletebilmektedir. Etkili görsel iletişim sonucunda yaya aracın hamlelerini önceden öğrenebilmekte; araca güvenebilmekte ve kendini güvende hissedebilmektedir. Araç ise güvenli şekilde aksaklığa uğramadan yoluna devam edebilmekte veya yayalara yol önceliği verebilmektedir.



Şekil 1.12 : Araç ve insan etkileşimi simülasyonu.

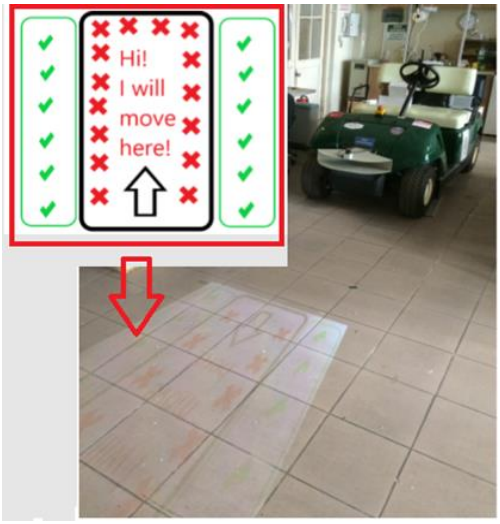
2. YAYA BİLDİRİM SİSTEMİ TASARIMI

Bu tez kapsamında görsel olarak yayaları uyarmak ve bilgilendirici mesajlar iletmek için her seviyedeki otonom araçlarda ve yük taşıma sistemlerinde kullanılmak üzere lazer tabanlı projeksiyon sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem Şekil 2.1'de görüldüğü gibi araç üzerine veya önüne monte edilerek yayanın görüş alanı içerisine şekiller yansıtılması sağlanmaktadır. Sistemin araç üzerindeki yerleşimi düşünülerek boyutları optimum düzeyde tasarlanmıştır. Lazer tabanlı projektör sistemi çok hızlı çalışma kabiliyetine sahip donanımları içerisinde barındırmaktadır.



Şekil 2.1 : Lazer tabanlı projektör bildiri sistemi.

Şekil 2.2'de ise laboratuvar ortamında kullanılan golf arabası ve mini projektör yardımı ile gerçekleştirilen yansıtma işlemi görülmektedir.



Şekil 2.2 : Golf arabası (İTÜ Otonom Sistemler Araştırma Laboratuvarı).

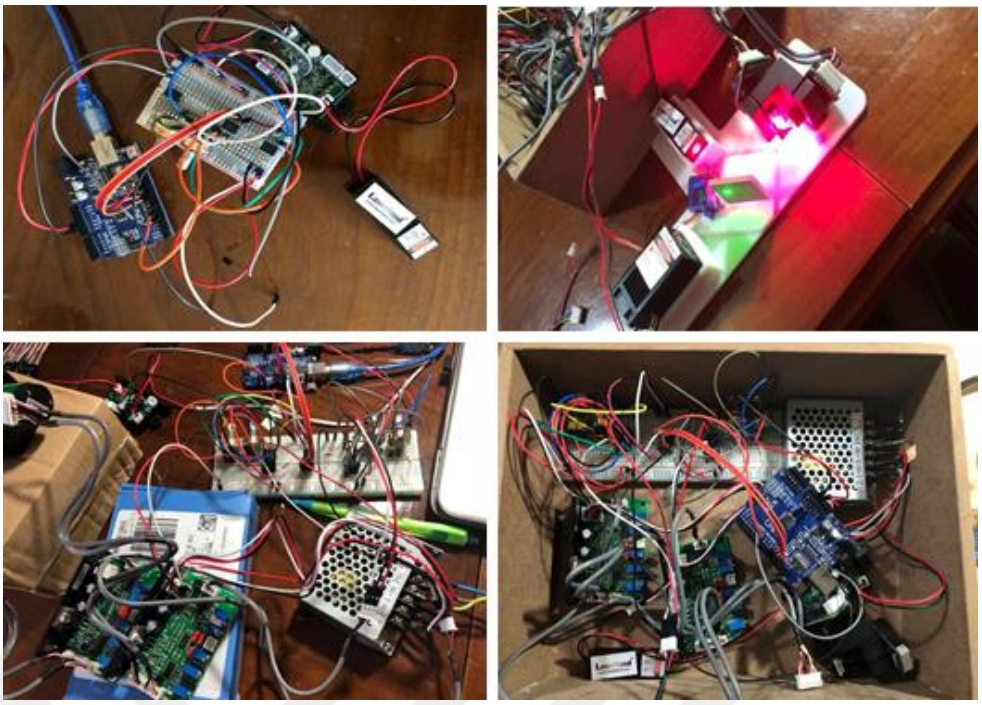
Mini projektör, daha görünür şekiller elde edilmesi adına, lazer tabanlı projektör sisteminin kurulmasının zorunlu olduğunu göstermiştir. Işık yoğunluğunun yeterli miktarda olması, yansıtılan şekillerin çeşitli koşul ve ortamlarda verimli olabilmesi için önem arz etmektedir.

Lazer tabanlı projeksiyon sistemi tasarımı yapılırken ilk önce uygun güce sahip lazer ve iki eksenli X/Y ayna setine sahip galvo tarayıcısı seçimi yapılmıştır. Seçimler yapılırken lazerin gücü ve lazer ışınlarını yönlendiren galvo tarayıcısının tarama performansı dikkate alınmıştır. Daha sonra sistemde kullanılan mekanik ve elektronik donanım ve devrelerin yerleşim planı düşünülerek mekanik tasarım yapılmıştır. Paralelinde Op-Amp ve dijital analog dönüştürücü (DAC) devreleri ile sistemlerin birleştirilmesi için elektronik tasarım yapılmıştır. Yapılan tasarımların hepsi bu bölüm altında açıklanacaktır. Otonom araçlar için tasarlanan lazer tabanlı yaya uyarı projeksiyon sisteminde kullanılan mekanik ve elektronik donanımlar Çizelge 2.1'de sıralandığı gibidir.

Çizelge 2.1 : Sistem donanımları.

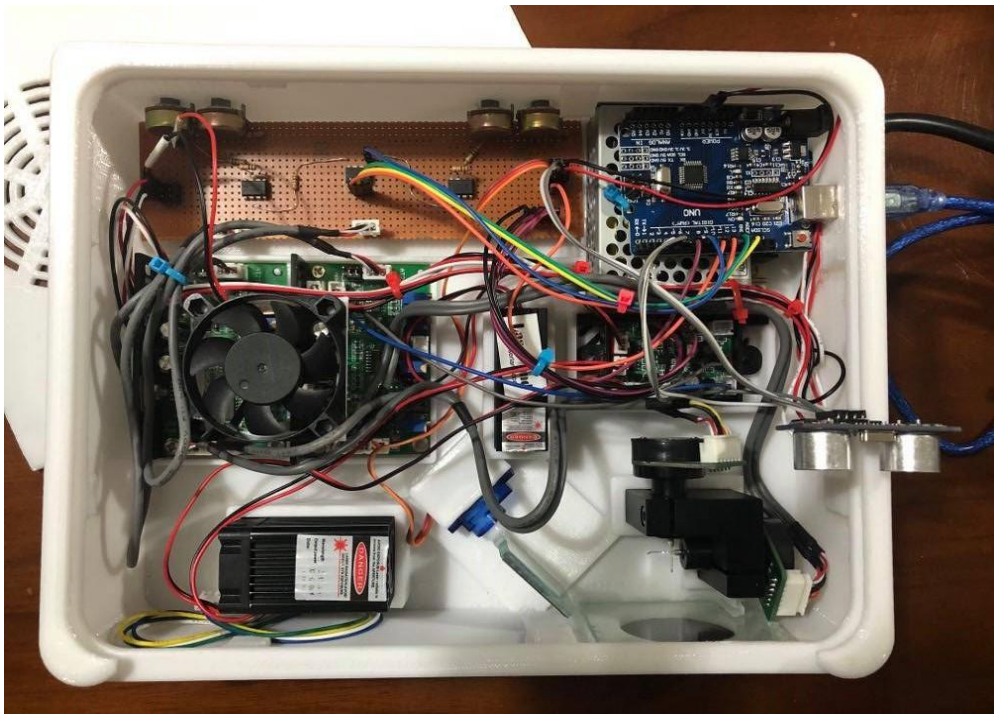
Parça Adı
X/Y Galvo Tarayıcı
Galvo Sürücüleri
Lazer İşaretleyici
Lazer TTL Modül
Arduino UNO
HC-SR04 Ultrasonik sensör
SG90 9G Servo Motor
15 Volt fan
Microchip MCP4822-E/P DAC Entegresi
TL082CP DIP-8 Op-Amp Entegresi
Potansiyometre
15 Volt güç kaynağı

Tasarlanan lazer tabanlı projektör sistemde kullanılan donanımlar birleştirilmeden önce ayrı olarak test edilmiş, bağlantı ve gereksinimleri karşılanmıştır. İlk olarak ahşap kutu içerisinde tek bir yeşil renkli lazer kaynağı kullanılarak çalıştırılan sistem ile sadece yazı projekte edilmiştir. Sistemin deneme ve gelişim aşamalarından bazı görseller Şekil 2.3'teki gibidir.



Şekil 2.3 : Sistem deneme, geliştirme.

Sistemdeki denemelerden sonra G-kod ve heksadesimal sayı tabanlı şekil oluşturma yazılımının geliştirilmesi ile arzu edilen şekiller yansıtılmıştır. Sisteme kırmızı renkte olan ikinci lazer işaretleyicisi ve ayna pozisyonlandırıcısı olarak kullanılan servo motorun dahil edilmesiyle son halini almıştır. Sistemin sabitleme platformuna montajlanmış üstten açık görünüşü Şekil 2.4'te görüldüğü gibidir.



Şekil 2.4 : Sistem genel görünüş.

2.1 Mekanik Tasarım

Lazer tabanlı projektör sistemi mekanik tasarımı Şekil 2.4'te görülen donanımların boyutları ve özellikleri düşünülerek yerleşim planına göre yapılmıştır. Sistemde kullanılan kablolamaların ve ulaşılabilirliğin kolaylığı açısından potansiyometrelerin bulunduğu devre kartı, Arduino UNO ve güç kaynağı yan duvarlara yakın olarak konumlandırılmıştır. Bunun yanında sürücü kartlarının aşırı ısınmasından dolayı sistem çalıştığında devreye giren fan eklemesi yapılmıştır.

Mekanik tasarımda en önemli hassasiyet içeren nokta lazerlerin X/Y galvo tarayışına göre pozisyonlarıdır. Her iki lazer işaretleyicisinin de ürettiği ışınlar X/Y galvo tarayıcısının aynalarına 90°'lik dik açı ile vurması gerekmektedir. Aksi takdirde yansıtılan şekiller istenilen görünürlükte ve konumda olmayacaktır. Bunun için lazerlerden birisi galvo tarayıcısının karşısında bulunurken, diğeri ona dik şekilde konumlandırılmıştır. Dik olan lazerden gelen ışınları galvo tarayıcısı aynaları üzerine düşürebilmek için servo motor tarafından yönlendirilen bir başka aynadan yararlanılmaktadır.

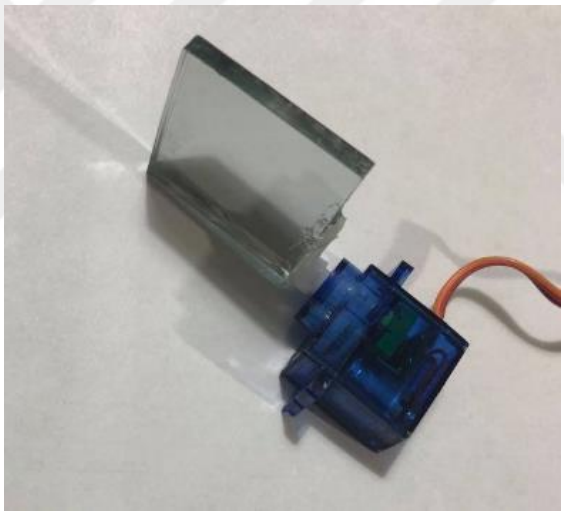
2.1.1 Sg90 9G servo motor ve ayna mekanizması

Lazer tabanlı projektör sisteminde bir adet servo motor kullanılmıştır. Kullanılan servo motoru Arduino ile uyumlu SG90 9G modelidir. Teknik özellikleri Çizelge 2.2'de verilen servo motor 3x3x0,3 boyutlarındaki aynayı yük olarak taşıyacağı için güç olarak yeterlidir. PWM sinyalleriyle kontrol ediliyor olması ve çalışma voltajı dolayısıyla bu model tercih edilmiş ve sistem gereksinimlerini açısal konum olarak rahatlıkla yerine getirmektedir. Servo motor gücünü ve çalışma sinyallerini doğrudan Arduino UNO'dan alarak kontrol edilmektedir. 0° ve 90° çalışma pozisyonları tanımlanan servo motor ucundaki aynayı 0° ve 90° pozisyonlarına sürerek istenilen renkteki lazer ışınlarını X/Y galvo tarayıcısı üzerine 90°'lik açıyla düşürülmesini sağlamaktadır. Böylece Bölüm 4'de açıklanan senaryoların gerektirdiği lazer renk (kırmızı veya yeşil) kullanımına göre servo motor kontrol edilerek istenilen renkteki lazer aktif hale getirilmektedir.

Çizelge 2.2 : Servo motor SG90 9G teknik özellikleri.

Teknik Özellik	Değer - Birim
Çalışma voltajı	4.8 V (~5V)
Çalışma hızı	0.1 s/60 derece
Dönüş açısı	0° - 180°
Çalışma PWM sinyali	500-2400 µs
Yüklü tork	1,8 kg x cm
Ağırlık	9 gram
Boyut	22,2 x 11,8 x 31 mm
Çalışma sıcaklığı	0° C - 50° C

Servo motor ve ayna mekanizması Şekil 2.5'te görüldüğü gibi birleştirilmiştir. Mekanizma koruyucu kutu içerisindeki platformda her iki lazerin ortasına ve X/Y galvo tarayıcısının karşısına yerleştirilmiştir.



Şekil 2.5 : Servo motor ve ayna mekanizması.

2.1.2 Kutu tasarımı ve sabitleme platformu

Lazer tabanlı projektör sisteminde kullanılan donanımlar hassas ve kırılgan parçalar içermektedir. Donanımların çevre şartlarından korunması ve hizalanması için sabitleme platformunun dahil olduğu kutu tasarımı yapılmıştır. Tasarım SolidWork ortamında gerçekleştirilmiş ve 3 boyutlu yazıcı yardımıyla üretilmiştir. Tasarım kutu ve kapağı olmak üzere 2 parçadan oluşmakta ve 258x203x72 mm boyutlarındadır. Kutunun tasarım programı ortamındaki ve üretimden sonraki görünüşü Şekil 2.6'da görülmektedir.



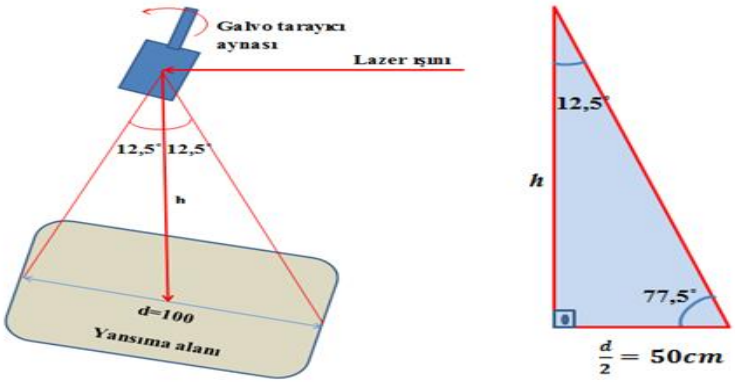
Şekil 2.6 : Kutu tasarımı ve sabitleme platformu.

Kutu tasarımı yapılırken sürücü kartlarında bulunan elektronik donanımların ısınacağı göz önünde bulundurularak; sürücüler ve fan pozisyonuna göre kutu taban ve tavanında soğutma kanalları tasarlanmıştır. Lazer ışınlarının dışarıya yansıyacağı deliğin çapı ise X/Y galvo tarayıcısının maksimum tarama açısına göre hesaplanmıştır. Güç kaynağına şehir voltajı taşıyan kablo ile Arduino UNO veri aktarım ve güç kablosu boşlukları kutu içerisindeki yerleşime göre açılmıştır.

Kutu tasarımındaki en önemli noktalardan birisi lazerlerin, servo motorun ve X/Y galvo tarayıcısının konumudur. Bu ekipmanların doğrultuları ve yükseklikleri lazer ışınlarının düzgün yönlendirilebilmesi için hassas çalışma gerektirmektedir. Bunun için kutu tabanında özel yuvalar ile platform tasarlanmıştır. Böylece lazerler, galvo tarayıcı aynasına 90° dik açıyla ve aynaların bulunduğu yükseklikte çarpmaktadır.

2.1.3 Araç entegrasyonu

Lazer tabanlı projektör sisteminden yansıyan lazer ışınlarının yol üzerinde görülebilir şekiller oluşturabilmesi için sistemin araç üzerinde belirli bir yükseklikte çalışması gerekmektedir. Bu yükseklik sistemde kullanılan 2 eksenli galvo ayna mekanizması özellikleri baz alınarak ve $1\,m^2$ tarama alanı yani şekillerin oluşturulacağı alan düşünülerek hesaplanmıştır. Sistemde kullanılan galvo ayna mekanizmasının tarama açısı ortalama 25°'dir. Galvoların sıfır pozisyonundan negatif ve pozitif yöne $12{,}5^{\circ}$'lik sapma açısıyla çalıştığı anlaşılmaktadır. Bu tarama alanının elde edilmesi için sistemin ne kadar yükseklikte bulunması yani Şekil 2.7'de belirtilen h mesafesi hesaplanmalıdır.



Şekil 2.7 : Tarama alanı ve yükseklik hesabı.

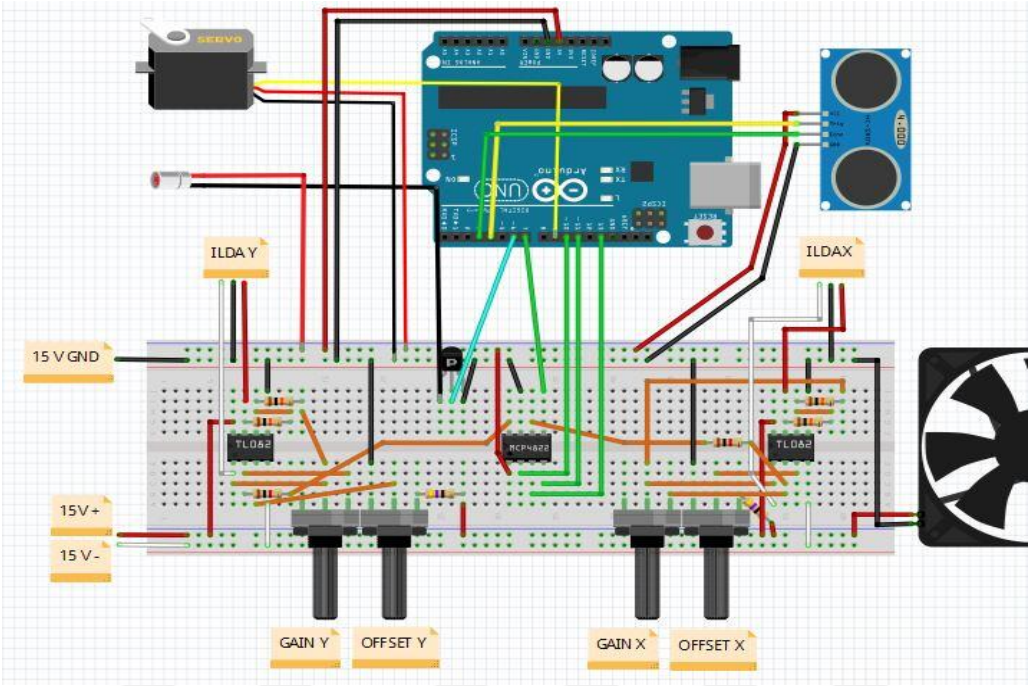
Yükseklik mesafesi h tarama alnının tam ortasından ve uç noktasından geçecek lazer ışınlarının oluşturacağı Şekil 2.7'de belirtilen dik üçgende sinüs teoremi uygulanarak hesaplanır.

$$\frac{50}{sin12{,}5^{\circ}} = \frac{h}{sin77{,}5^{\circ}} \tag{2.1}$$

Yapılan işlem ile formül 2.1'in sonucu olarak h yüksekliği 225 cm olarak hesaplanır. 1 m^2 bir alan içerisinde şekiller oluşturabilmek için lazer tabanlı projektör sisteminin yaklaşık olarak aracın 2 metre üzerinde konumlanması gerekmektedir. Yapılan bu hesaplamalar X/Y galvo tarayıcısının yere tam dik pozisyonda kullanılması düşünülerek yapılmıştır. Eğer 2 metrelik yükseklik mesafesi azaltılmak istenir ise sistem araç üzerinde yere açılı pozisyonda monte edilmelidir. Sistem araç üzerine 45°'lik açıyla monte edildiğinde yine aynı formülasyonlar uygulanarak 1 metre yükseklik ile 1,5 m^2 tarama alanı elde edildiği görülmektedir. Lazer tabanlı projektör sistemi İTÜ Otonom Sistemler Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan golf arabası üzerine monte edilerek kullanılacaktır.

2.2 Elektronik Tasarım

Lazer tabanlı projektör sistemi elektronik tasarımı iki eksenli X/Y galvo tarayıcısını ve lazerleri kontrol etmek üzere yapılmıştır. Elektronik tasarımda Arduino UNO, galvo tarayıcı sürücüleri, lazer işaretleyici TTL modülü, dijital analog dönüştürücü ve Op-Amp devresi kullanılmıştır. Sistemin Fritzing ortamında oluşturulmuş elektronik devre şeması Şekil 2.8'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.8 : Elektronik devre tasarımı.

Arduino UNO tarafından üretilen dijital PWM sinyalleri DAC devresi sayesinde analog sinyallere çevrilmektedir. Üretilen analog sinyaller X/Y galvo tarayıcısı sürücü kartlarına aktarılmaktadır. Bu sürücü kartları sayesinde galvo tarayıcısında bulunan, çok küçük titreşimler ile dönüşler yapan aynaların sabitlendiği, yüksek hızda hareket eden iki adet servo motor kontrol edilmektedir.

Arduino UNO'nun bir diğer görevi lazerleri uygun atlama zamanlarında açıp kapatmaktır. Bunun için 5 volt PWM sinyalleri ile 15 volt çalışma gerilimine sahip lazerlerin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu kontrolün sağlanması için güç kaynağı tarafından beslenen TTL modülü kullanılmıştır. Ayrıca sistemde birer adet ultrasonik mesafe sensörü, servo motor ve soğutma amaçlı fan kullanılmıştır ve elektronik tasarıma dahil edilmiştir. Elektronik tasarım baskı devre kartı üzerinde lehimlenerek kurulmuş ve elektronik donanımların kablolaması yapılmıştır.

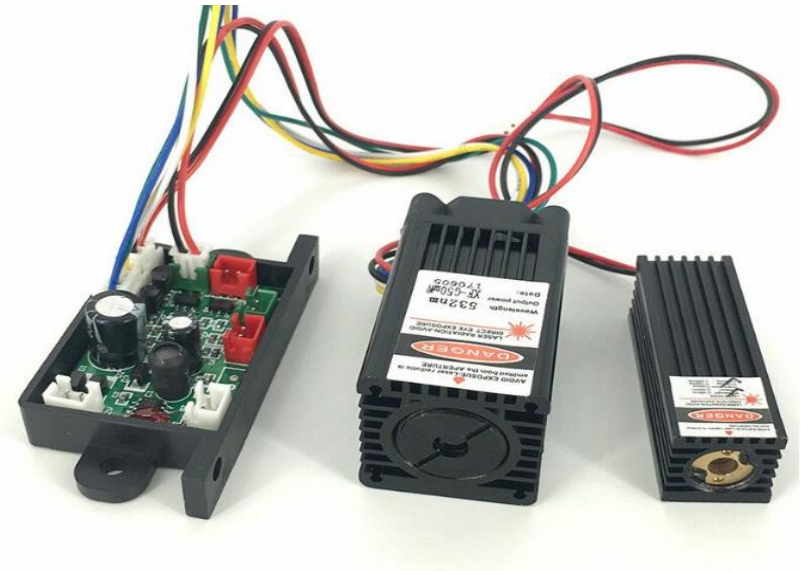
2.2.1 Lazer ve TTL modülü

Sistemde verilen mesajların içeriğine göre tercih edilmek üzere yeşil ve kırmızı renkte iki adet lazer kullanılmıştır. Lazerler gece ve gündüz görülebilir ışın üretebilecek ve aynı zamanda insan gözü için zararlı olmayacak güçte seçilmiştir [63,64]. Teknik özellikleri Çizelge 2.3'te gösterilen lazerler 150 mW ve 650 mW gücünde ve renk karakteristiğini oluşturan 532 µm ve 650 µm dalga boyundadır.

Çizelge 2.3 : Lazer teknik özellikleri.

Teknik Özellik	Değer – Birim (kırmızı)	Değer – Birim (yeşil)
Güç	150 mW	650 mW
Dalga boyu	650 µm	532 µm
Çalışma gerilimi	12 - 15 V	12 - 15 V
Kararlılık	±5%	±5%
TTL modül	0-20 khz 5V	0-20 khz 5V
Çalışma sıcaklığı	12° C - 32° C	12° C - 32° C
Boyut	18 x 18 x 50 mm	30 x 30 x 38 mm
Çalışma ömrü	5000 sa	5000 sa

Lazerler ortak güç kaynağı sayesinde TTL (transistör – transistör mantığı) modül üzerinden 15 volt ile beslenmektedir. İstenilen şekillerin yansıtılması için lazerlerin uygun zamanlarda anlık olarak açılıp kapanmaları gerekmektedir. Bu açılıp kapanma işlemi Arduino UNO ile kontrol edilmektedir. Arduino tarafından üretilen PWM sinyalleri TLL modül yardımı ile lazerleri kontrol etmektedir. Lazerlerin direkt Arduino üzerine bağlanamamasının sebebi Arduino'nun karşılayamayacağı düzeyde yüksek akım ve voltaj gereksinimidir. Lazerler ve TTL modülü Şekil 2.9'da görülmektedir.



Şekil 2.9 : Lazer ve TTL modül.

2.2.2 İki eksenli X/Y galvo tarayıcısı ve sürücü kartları

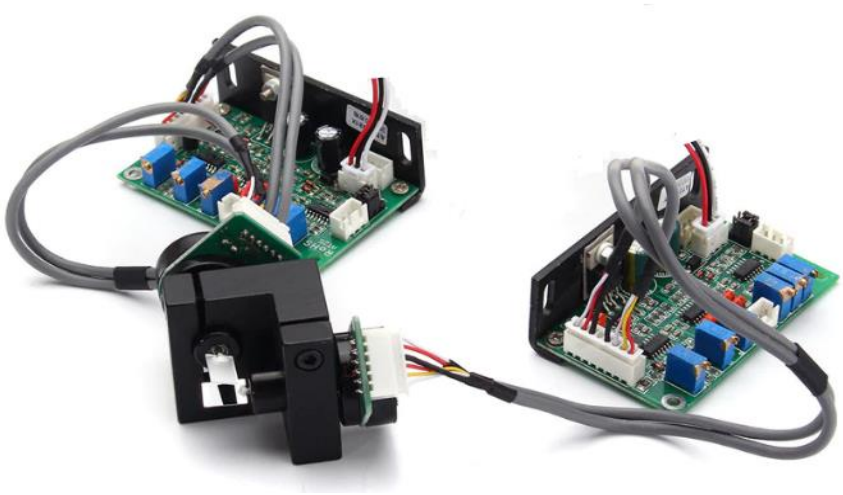
Lazer tabanlı projektör sisteminin en önemli bileşenlerinden birisi iki eksenli X/Y galvo tarayıcısıdır. Markalama, barkod okuma, tıbbi görüntüleme, kesme, yakma ve lazer projeksiyon sistemleri gibi birçok farklı alan ve sektörde kullanılan galvo tarayıcılar üzerine gelen ışınları yönlendirmektedir. Yönlendirme işlemini iki eksende çalışan servo motorları üzerindeki aynalar sayesinde gerçekleştirir. Servo motorların matematiksel modelleri yardımı ile galvo tarayıcılarının kalibrasyonları yapılabilmektedir [65].

Sistemde kullanılan iki eksenli galvo tarayıcısı ortalama 25° tarama açısına ve saniyede 20000 değişim hızı ile yüksek tarama kabiliyetine sahiptir. Tarama hızı ve tarama açısı uygun olan bu model istenilen şekillerin yansıtılmasında yeterlidir. 15 volt ile çalışan tarayıcının detaylı teknik özellikleri Çizelge 2.4'te verildiği gibidir.

Çizelge 2.4 : İki eksenli X/Y galvo tarayıcısı teknik özellikleri.

Teknik Özellik	Değer - Birim
Çalışma voltajı	15 V
Tarama hızı	20 Kpps
Anma tarama açısı	± 20°
Maksimum tarama açısı	± 30°
Tepe akımı	1 A
Anma akımı	0,5 A
Analog sinyal giriş empedansı	200 K ± 1% Ω
Analog konum giriş aralığı	± 5 V
Lens yansıtma	> 98%
Çalışma sıcaklığı	0° C - 50° C

İki eksenli X/Y galvo tarayıcısı her iki servo motor için sürücü kartına sahiptir (Şekil 2.10). Sürücü kartlarına sinyaller Arduino UNO tarafından üretilmektedir. Fakat sürücü kartların direkt olarak Arduino ile bağlantılı değildir, sebebi ise galvo tarayıcısının analog sinyaller ile çalışması; Arduino'nun ise dijital PWM sinyalleri üretmesidir. İki elektronik kart arasında bağlantıyı oluşturmak için MCP4822 mikroçipi sayesinde dijital analog dönüştürücü (DAC) devresi kurulmuştur.



Şekil 2.10 : İki eksenli X/Y galvo tarayıcısı ve sürücü kartları.

2.2.3 Arduino UNO

Arduino çeşitli sensörler ile aldığı girdileri işleyerek çıktılar üreten ve processing ile wiring dillerinin uygulamasını içeren fiziksel bir geliştirme platformudur. Arduino kartları dahilinde bir mikro denetleyici ile programlama ve diğer devrelere bağlantı için gerekli yan elemanlar bulundurur. Arduino'nun kullanılacak alana göre farklı çeşitleri ve eklentiler için katmanları bulunur. Lazer tabanlı projektör sisteminde en yaygın kullanılan model olan Arduino UNO barındırdığı özellikleri neticesinde yeterli bulunmuş ve tercih edilmiştir.

Lazer tabanlı projektör sisteminde kullanılan Arduino UNO veri aktarım kablosu ile USB üzerinden bilgisayar tarafından beslenmektedir. Aynı zamanda 9-12 volt arası güç kaynağı ile harici olarak beslenebilmektedir. Arduino UNO üzerinde 6 adet analog 14 adet ise dijital pine sahiptir, bu sayede farklı ekipmanları direkt olarak üzerine bağlama imkanı sağlar. Sistemde Şekil 2.8'de görüldüğü gibi 8 adet dijital pin aktif olarak kullanılmaktadır. Çalışma gerilimi +5 volt olan Arduino UNO'nun giriş çıkış pinleri başına düşen akım miktarı ise 40 mA'dir. Bu akım değeri genelde yeterli olurken bazı yüksek akım çeken donanımlar için yetersiz kalabilmektedir.

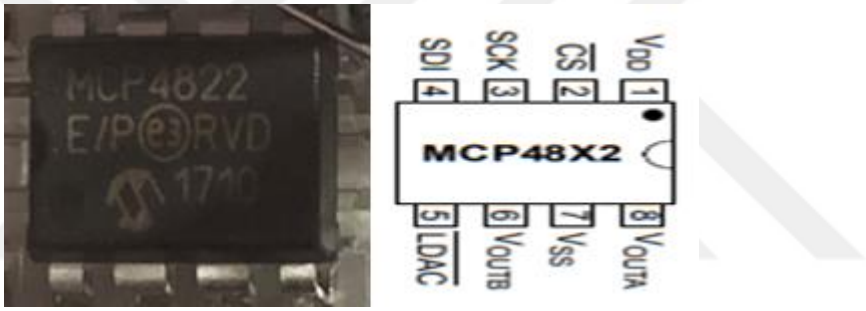
2.2.4 Dijital analog dönüştürücü

Bilgisayar ve dijital sistemler lojik değerler olan 1 ve 0 değerleri ile çalışmaktadır. İkilik sistemin basamakları olan bu değerler analog sistemler için anlamlı değildir. Dijital değerlerin analog sistemler için anlamlı hale getirilebilmesi için dijital analog

dönüştürücüler kullanılmalıdır. DAC'ler 1 ve 0 gibi dijital bilgileri giriş olarak alır ve giriş değerlerindeki değişime göre farklı değerlerde akım veya gerilim üretirler [66].

Lazer tabanlı projektör sisteminde Arduino UNO tarafından üretilen dijital sinyallerin analog sinyaller ile çalışan iki eksenli X/Y galvo tarayıcısı sürücüleri tarafından anlamlandırılabilmesi için MCP4822 E/P model dijital analog dönüştürücü kullanılmıştır. Kullanılan mikroçip tasarlanan elektronik devre kartı üzerinde kablolanarak elektronik bağlantıları yapılmıştır.

Şekil 2.11'de görülen MCP4822 E/P 8 kılıflı ve 12 bit çözünürlüktedir. 2 adet galvo tarayıcısı sürücüleri için seçilen model sayesinde tek bir dönüştürücü üzerinden analog çıkış alınmaktadır. 2,7-5,5 volt çalışma gerilimi sayesinde Arduino kütüphanesi yüklendikten sonra Arduino ile uyumlu çalışmaktadır. 1 ve 0 sıfır dijital sinyalleri 0 - 4.096 volt arasında herhangi bir sinyal değerine dönüştürülür.



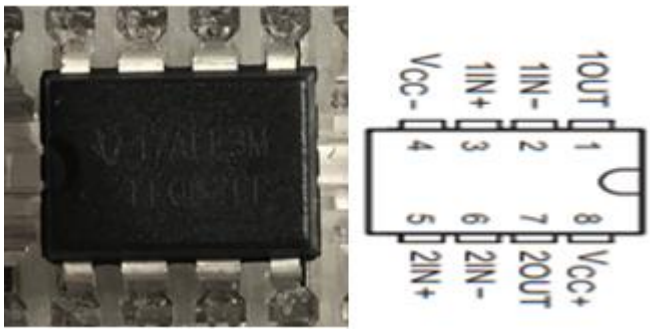
Şekil 2.11 : Dijital analog dönüştürücü.

2.2.5 Op-Amp devresi

Op-Amplar işlevsel yükseltici anlamına gelen elektronik devrelerin işlevselliklerini artırmak amacıyla kullanılan entegre devrelerdir. Op-Amplar doğru akım ile beslenirler, akım ve gerilim kazancı sağlar, güç yükseltir ve empedans dönüştürürler. Op-Ampların dönüştürücü özelliklerinden yararlanarak DAC devresinin üretmiş olduğu 0 ile 4.096 volt arası analog sinyal değişimi -5 ile +5 volt arasında değişen bipolar sinyallere yükseltilmiş olur. Bu değişimin gereksinimi iki eksenli X/Y galvo tarayıcısının bipolar sinyaller ile daha verimli ve geniş açılarda çalıştırılması amacı ile doğmuştur.

Lazer tabanlı projektör sisteminde X ve Y eksenlerinde çalışan tarayıcı servo motorları için 2 adet amplifikatör devresi kullanılmıştır. Bu devrelerde TL082CP model Op-Amp entegresi tercih edilmiştir. Şekil 2.12'de görülen mikroçip 8 kılıflı ve

13V/µs voltaj tepki hızına sahiptir. Ayrıca içinde 2 adet amplifikatör birimi bulundurması dolayısıyla tercih edilmiştir.



Şekil 2.12 : Op-Amp entegresi.

Op-Amp devresine direnç yerine potansiyometreler dahil edilerek sisteme ince ayar olarak manuel kısma ve çoğaltma kabiliyeti kazandırılmıştır. Kullanılan toplam 4 adet potansiyometre sayesinde yansıtılan şekiller X/Y galvo aynalarının tarama açıları dahilinde manuel olarak 2 eksende büyültülüp küçültülebilmekte ve her 4 yönde hareket ettirilebilmektedir.

2.2.6 Kamera

Lazer tabanlı projektör sisteminde görüntü işleme uygulamasında kullanılmak üzere 1 adet kamera görev almaktadır. Bu sayede otonom araç gerçek zamanlı olarak karşısındaki insan varlığı hakkında bilgi sahibi olabilmektedir. Sistem geliştirmeleri sırasında bilgisayar dahili kamerası yardımıyla dış ortamdan canlı video görüntüsü alınmıştır. Daha sonra sistemin İTÜ Otonom Sistemler Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan otonom golf aracına entegrasyonu ile araç üzerinde bulunan harici USB bağlantılı kamera devreye alınmıştır. Sistemde kullanılan kamera 12 megapixel çözünürlükte ve yaklaşık 8 metreye kadar insan tespiti yapabilmektedir. Kameradan elde edilen canlı video görüntüler OpenCV kütüphanesi yardımıyla Python üzerinde işlenerek araç önündeki insan tespit bilgisi gerçek zamanlı olarak Arduino UNO sürücü kartına veri girdisi sağlamaktadır.

2.2.7 Mesafe sensörü

Lazer tabanlı projeksiyon sisteminin kontrolü için gerçek dünyadan veri girişi sağlayan diğer donanım ise ultrasonik mesafe sensörüdür. Ultrasonik mesafe sensörleri ses dalgaları kullanarak karşılarında bulunan cisimlerin uzaklıklarını tespit ederler. Sensörden gönderilen ses dalgası bir engele çarpıp geri gelmesine kadar

geçen süre üzerinden yapılan hesaplama ile mesafe saptanmış olur. Kontrol sistemimizde Arduino UNO ile uyumlu, özellikleri Çizelge 2.5'te verilen Hc-Sr04 model ultrasonik mesafe sensörü kullanılmıştır.

Çizelge 2.5 : Ultrasonik mesafe sensörü teknik özellikleri.

Teknik Özellik	Değer - Birim
Çalışma voltajı	5 V
Çalışma frekansı	40kHz
Çektiği akım	15 mA
Menzili	2 – 400 cm
Görme açısı	15°

Ultrasonik mesafe sensörü Arduino UNO ile beslenmektedir. Sinyal giriş çıkışı ise sensör üzerinde bulunan echo ve trigger pinleri ile Arduino dijital pinleri arasında sağlanmaktadır. Santimetre cinsinden insanın otonom araca olan uzak bilgisini anlık olarak sağlayan sensör, lazer tabanlı projektör sisteminin doğru çalışması için gereken bilgileri kamera ile birlikte entegre çalışarak edilmektedir. Böylece otonom araç ile yaya arasındaki iletişimin insandan araca gelen kanalı sağlanmış olur.

2.2.8 Güç kaynağı

Sistemde kullanılan elektriksel donanımlar 5 volt ve 15 volt beslenme gerilimine sahiptir. 15 volt güce sahip donanımların beslenmesi için bir adet güç kaynağına ihtiyaç duyulmuş ve sisteme dahil edilmiştir. Giriş olarak doğrudan 220 volt ve alternatif akıma sahip şehir elektriği ile çalışan trafo tarzı güç kaynağı çıkışından ± 15 volt ve 1 amper güç alınmaktadır. Lazerlerin, iki eksenli galvo tarayıcısının ve soğutma fanının beslenmesi bu güç kaynağı ile sağlanmaktadır. Servo motor ve ultrasonik sensör gibi diğer donanımlar ise Arduino UNO üzerinden 5 volt ile beslenmektedir. Kamera ve Arduino'nun güç ihtiyacı ise USB port üzerinden bağlı oldukları bilgisayar tarafından sağlanmaktadır.

2.3 Yazılım Ve Kontrol

Lazer tabanlı projektör sisteminde mekanik ve elektronik tasarım ile paralel olarak yazılımlar, kütüphaneler ve programlar kullanılmıştır. Kontrol sisteminin oluşturulmasında farklı amaçlar ile kullanılan bu platformların başlıcaları Arduino

IDE, Inskscape, OpenCV ve Python'dur (Şekil 2.13). Bu alt başlık altında kullanılan platformlar hakkında bilgi verilecektir.



Şekil 2.13 : Arduino IDE, Python, OpenCV ve Inskscape (soldan sağa).

2.3.1 Arduino IDE

Arduino IDE, Arduino uyumlu kartlara program yazmak ve yüklemek için kullanılan C ve C ++ dillerini destekleyen bir platformdur. Açık kaynaklı bir platform olan Arduino IDE entegre çalışan araçlar için birçok yazılım kütüphanesini de barındırır. Aynı zamanda üzerinde çalışılan komutların yazılmasına ve derleme işleminin yapılmasına imkan veren ara yüzü vardır. Arduino IDE çalıştırılacak kodları heksadesimal formatta metin dosyasına dönüştürür ve Arduino kartı içerisine komutları bu formatta gönderir.

Kontrol sisteminde temelde Arduino vardır. Arduino'ya USB port üzerinden görüntü işleme sonucu elde edilen veriler canlı olarak aktarılmaktadır. Arduino sayesinde yazılan komutların çevreden alınan girdilere göre işlenmesi ile mekanik ve elektriksel donanımlar tahrik edilerek çıktı alınması sağlanmaktadır.

2.3.2 Inkscape

Inkscape çeşitli grafik işlemlerine olanak sağlayan vektörel grafik düzenleme programıdır. Var olan resimleri düzenlemek ve tasarımlar oluşturmak için en sık kullanılan profesyonel bir programdır. Program sayesinde lazer tabanlı projektör sisteminden yansıtılacak şekillerin oluşturulması için ilk düzenleme adımı gerçekleştirilir. Birçok farklı formattaki resim dosyalarını açabilmesi ve oluşturabilmesi sayesinde büyük avantaja sahiptir. Inkscape programı sistem çalışırken kullanılmamaktadır, sistemin çalışması için gerekli olan şekiller kütüphanesini oluşturmak için öncesinde kullanılan bir yardımcı araçtır.

2.3.3 OpenCV

OpenCV gerçek zamanlı olarak görüntü işlemeye, video işlemeye ve nesne algılamaya yönelik programlama fonksiyonları kütüphanesidir. OpenCV'nin kullandığı birçok yazılım dili vardır ve isminden de anlaşıldığı gibi açık kaynaklıdır. Kütüphaneler geliştirmeye, düzenlemeye ve değiştirmeye açıktır. Görüntü işleme prosesinin girdisi fotoğraflardır, bu sayede video üzerinden nesnelerin algılanması ve izlenmesi gibi işlemleri başarı ile gerçekleştirmektedir. Lazer tabanlı projektör sisteminin kontrolünde en önemli girdinin sağlanmasında rol oynamaktadır. Kamera yardımıyla canlı olarak insan tespitnin yapılması Python tabanlı OpenCV kütüphanesinin kullanılması ile mümkün olmaktadır.

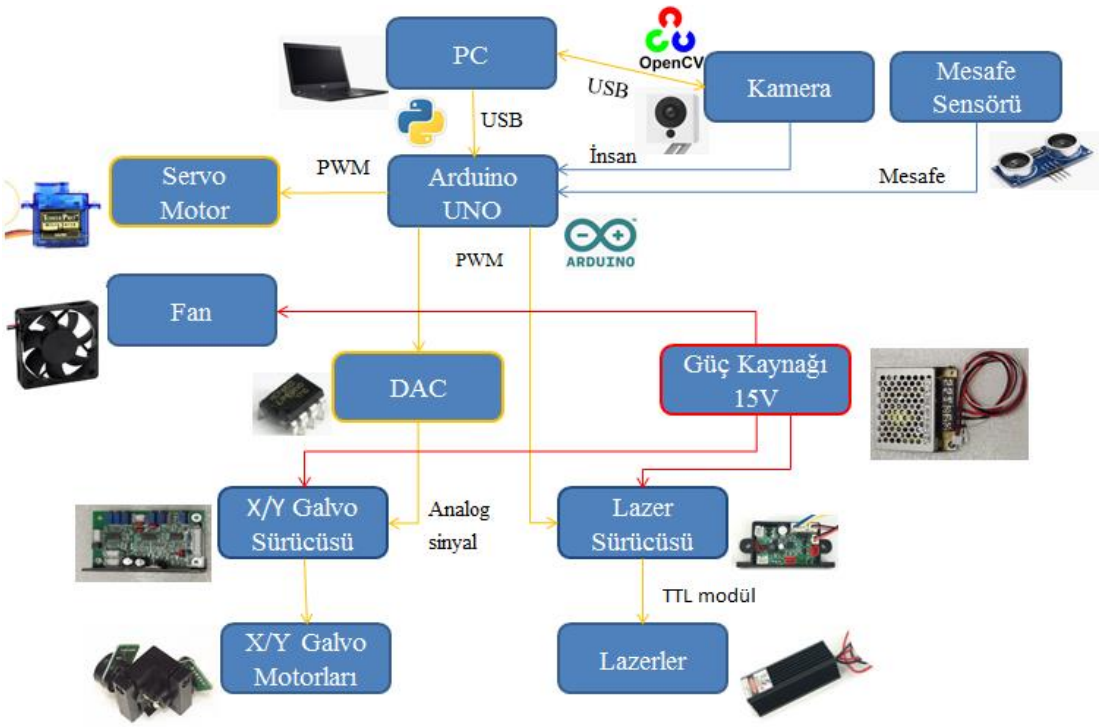
2.3.4 Python

Python açık kaynaklı ve ücretsiz bir programlama dilidir. Birçok şirket tarafından kullanılmakta ve uygulamalar geliştirilmektedir. Python modüler, yorumlanabilir, etkileşimli, ve nesne odaklı bir programlama dilidir. Birçok sistem kütüphanesine ve çağrısına uygun olan birden fazla arayüze sahiptir. Ayrıca Python'nun birçok versiyonu bulunmaktadır ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Lazer tabanlı projektör kontrol sisteminde versiyon 3.7 kullanılmıştır.

Python lazer tabanlı projektör sisteminde iki farklı amaç için kullanılmıştır. Birincisi şekillerin oluşturulması için yardımcı araç olarak kullanılmasıdır. Python üzerinde yazılmış kod sayesinde G-kod satırları hex satırlarına dönüştürülmektedir. Diğer ve kontrol sisteminin çalışmasında doğrudan aldığı görev ise görüntü işleme uygulamasının çalıştırılması ve seri port üzerinden Arduino ile haberleşme sağlamasıdır.

3. YAYA BİLDİRİM SİSTEMİ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bu bölümde önceki bölümde açıklanan tüm donanımların bir araya gelerek oluşturduğu lazer tabanlı projektör sisteminin çalışma prensibi hakkında bilgi verilecektir. Sistemin çalışması için gerekli elektronik akış diagramı ve donanımların birbirleriyle olan etkileşimleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bir bilgisayar üzerinde koşulan Arduino kontrol kodu ve OpenCV görüntü işleme algoritması seri port üzerinden pyserial ile haberleşmektedir. Bu haberleşmeden sonra mesafe sensöründen alınan girdi yardımı ile de Arduino tarafından mevcut senaryolara göre servo motor ile lazerler ve iki eksenli X/Y galvo tarayıcısı sürücülerne dijital ve analog sinyaller ile komutlar gönderilmektedir. Gelen komutlara göre aksiyon gösteren donanımlar hedeflenen görselleri yansıtarak senaryoları oluşturmakta ve araç ile yaya arasındaki iletişimin temellerini atmaktadır. Şekil 3.1'de görülen etkileşimlerde kırmızı renkli oklar ile gösterilen bağlantılar güç hatlarını, mavi renk ile gösterilen oklar girdileri ve sarı oklar ile gösterilen bağlantılar ise komutları taşıyan sinyal hatlarını ifade etmektedir.



Şekil 3.1 : Elektronik akış şeması.

Sistemin çalıştırılması iki aşama olarak değerlendirilecektir; bunlardan ilki sistemin çalışması için oluşturulacak kütüphane ve kontrol sistemi için yapılan hazırlıklar, diğeri ise sistem çalışıyor iken sürülen algoritmalar ve kontrol sistemleridir.

3.1 Donanımların Çalışma Prensibi

Lazer tabanlı projektör sisteminde kullanılan 2 adet ana donanım vardır. Bunlardan bir tanesi lazerler diğeri 2 eksenli galvo tarayıcısıdır. Bu donanımların çalışma prensipleri kontrol sistemini anlamak adına önemlidir. Temel olarak Arduino tarafından kontrol edilen bu donanımlardan elde edilen çıktılar sayesinde hedeflenen şekilerin ve yazıların yansıtılması sağlanmaktadır.

3.1.1 Lazerler çalışma prensibi

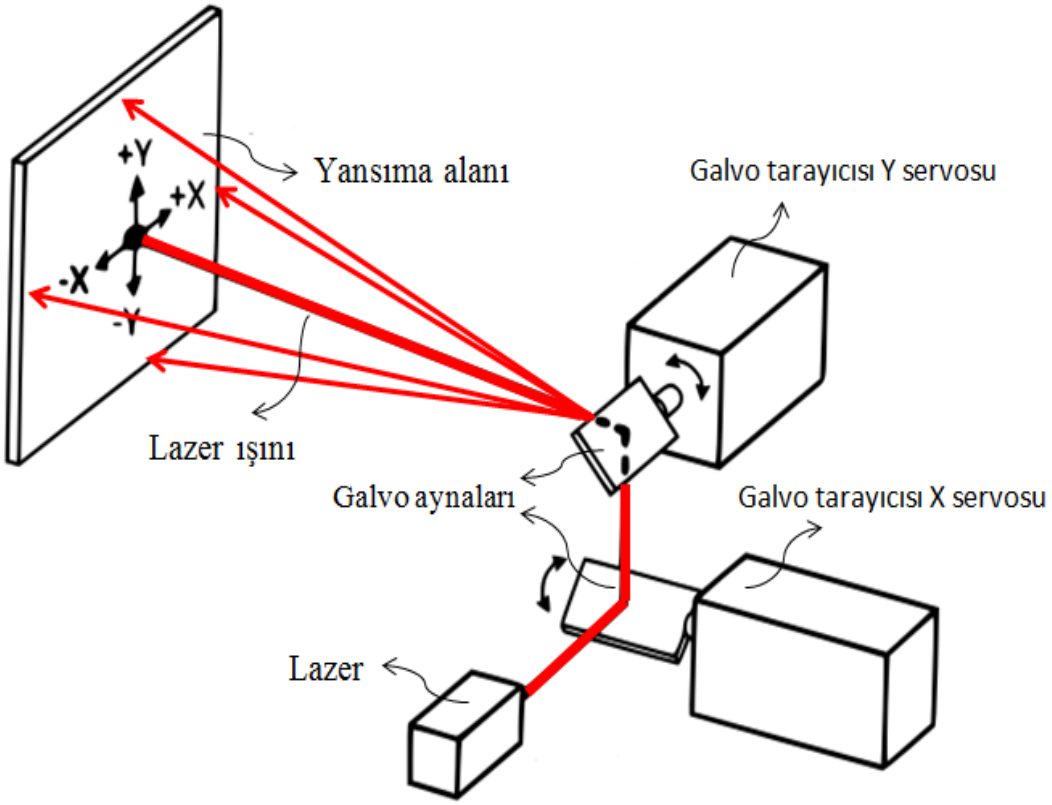
Sistemde kullanılan 2 adet lazer senaryolardaki renk ihtiyacına göre tercih edilerek kullanılmaktadır. Lazerler noktasal ışık kaynağı üretmektedir. Bu ışın aynalar sayesinde yönlendirilerek gözün yakalayamayacağı hızda her şekil için oluşturulan G-kod rotasını takip ederek görselleri oluşturur. Görseller oluşturulurken lazerin bazı noktalarda kapanarak atlamalar yapması gerekmektedir. Örneğin Şekil 3.2 de görülen "CETIN" yazısının noktasal lazer ışın kaynağından çıkan ışınların yönlendirilerek yazılabilmesi için lazer harfler üzerinden geçerken açık kalırken harf aralarındaki atlamalar için lazer kaynağının anlık olarak kapanması gerekmektedir. Kesik çizgi ile gösterilen bu yardımcı kılavuz rotalar yansıtılacak şekillerin oluşturulması sırasında G-kod ile tanımlanmaktadır. Bu kural aynı mantık ile oluşturalacak şekiller için de geçerlidir. Böylece anlamlı içeriklerin oluşması noktasal lazer ışınlarının hızlı şekilde titreşen aynalar ile yönlendirilmesi ve lazerin anlık olarak açılıp kapanması ise mümkün olmaktadır [67]. Arduino tarafından kontrol edilen lazer açılıp kapanmaları şekiller kütüphanesi oluşturulması sırasında her şekil için tanımlanan hex satırlarının başında belirlenmektedir.



Şekil 3.2 : Lazer işaretleyicisi çalışma prensibi.

3.1.2 İki eksenli X/Y galvo tarayıcısı çalışma prensibi

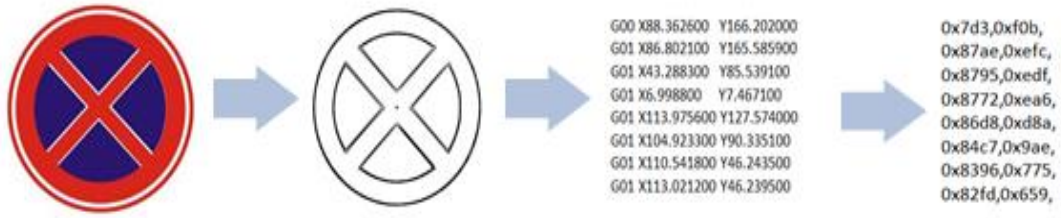
İki eksenli galvo tarayıcıları sınırlı derecede dönüş kabiliyetine sahip servo motorlarından ve bu motorların ucunda bağlı bulunan aynalardan oluşur. Analog sinyallerle kontrol edilen servo motorlar o anda olması istenilen açısal konumda bulunması için uygun akım değerlerini çekmektedir. Yani kontrol sisteminde transfer fonksiyonun girdisi akım çıktısı ise açısal konumdur. Bu sistemin modellenmesi klasik elektrik motorlarının matematiksel modeli ile aynıdır [68]. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi noktasal lazer kaynağından çıkan ışın o anda istenilen konumda bulunan aynalardan önce X eksenindeki aynaya daha sonra Y eksenindeki aynaya çarparak sistemi terk etmekte ve yansıma alanında karşılık gelen konuma ulaşmaktadır. Anlık olarak aynaların pozisyonları Arduino hex satırlarından gelen bilgiye göre sürücü kartları tarafından tahrik edilerek değişmesi neticesinde ışınların yönleri saptırılarak yansıyacağı konumları değiştirilmektedir. Böylece gözün yakalayamayacağı hızda yansıma alanını tanımlanan rotaya göre tarayan lazer ışınları bu döngüyü tekrarlayarak neticesinde hedeflenen harf ve şekilleri alanda oluşturmaktadır.



Şekil 3.3 : İki eksenli X/Y galvo tarayıcısı çalışma prensibi.

3.2 Şekillerin Oluşturulması

Lazer tabanlı projektör sistemi tarafından yansıtılacak şekillerin oluşturulması ve Arduino tarafından anlaşılır girdilere dönüştürülmesi sistemin çalışması için gerekli olan kütüphanenin hazırlanmasında gereklidir. Şekillerin oluşumu JPEG fotoğraf formatından başlayıp hex satırlarına kadar süren bir dizi işlem adımlarını içermektedir. Şekil 3.4'te bir örnek olarak birbirini takip eden bu adımlar gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : Şekillerin oluşturulması (JPEG, vektörel, G-kod, hex).

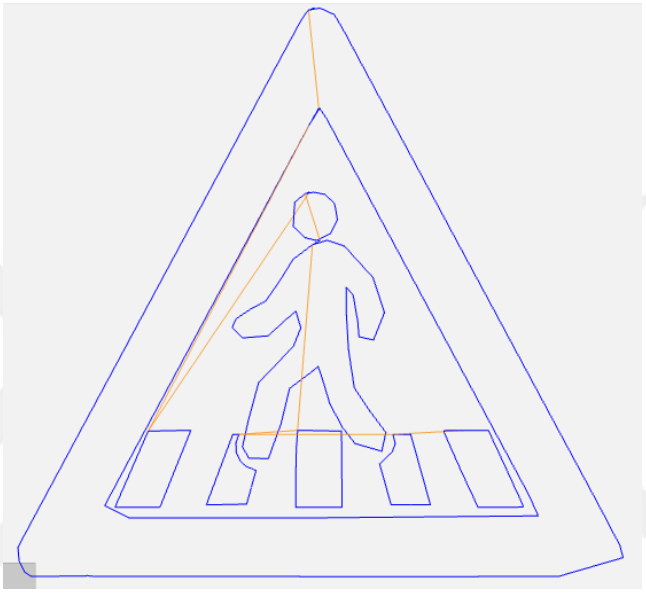
3.2.1 Vektörel çizim

Şekil kütüphanesinin oluşturulması için izlenilen adımlardan ilki yansıtılmak istenilen şekli içeren JPEG formatındaki bir fotoğrafın Inkscape fotoğraf düzenleme platformu yardımıyla işlenerek siyah beyaz vektörel çiziminin elde edilmesidir. Vektörel çizimin elde edilmesinin amacı lazer ışınlarının takip edeceği rotayı oluşturmaktır. Bu rotadan yararlanılarak daha sonra G-kodu elde edilecektir. Şekil 3.4'ün ikinci adımında görüldüğü gibi fotoğraf sadeleştirilmiş, lazer ışınlarının geçeceği rota haline getirilmiştir. Vektörel çizimin düzgün oluşturulması ve rotayı temsil eden çizgilerin birbirlerini tekrarlamaması hedeflenen şeklin doğru yansıtılması adına önemli ve ilk adımlardan biridir.

3.2.2 G-kodu

G-kodu üç boyutlu yazıcılar ve CNC makinaları gibi otomatik makina parçalarını kontrol etmek için bilgisayar destekli alanlarda kullanılan 3 boyutlu bir dildir. Bu çalışmada G-kodundan iki boyutta yararlanılmakta ve şekiller için oluşturulan rota üzerindeki iki eksenli noktasal konumlardan G-kodu elde edilmektedir. Her bir konum için atanan X ve Y eksenlerindeki sayısal değerler Inkscape platformu üzerinde vektörel çizimden yararlanılarak hesaplanmakta ve .nc uzantılı dosya çıktısı olarak alınmaktadır.

Bir sonraki adımda işlenmek üzere elde edilen G-kodu G0 ve G1 formatındadır. Bu çalışmada G0 ve G1 basamakları lazerin kontrolü için kullanılmaktadır. G-kodu hazırlanmış bir vektörel çizim örneği Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Burada turuncu ile görülen çizgiler yardımcı kılavuz rotaları temsil etmektedir ve G-kodundaki karşılığı G0'dır. Lazer G0 ile başlayan kodlu satırlarda kapalı konuma geçer. G1 kodu ile başlayan satırlar ise mavi çizgilere tekabül etmekte ve lazerin açık konumda olduğu anları temsil etmektedir.



Şekil 3.5 : G-kodu oluşturulan şekil.

3.2.3 Heksadesimal kod

Heksadesimal (hex), 16 benzersiz sembolden oluşan ve bir veriyi temsil etmek için kullanılan 16 tabanlı sayı sistemidir. Bu 16 sayı 0-1-2-3-4-5-6-7-8-9 rakamını ve A, B, C, D, E, F harflerini içermektedir. Bilgi teknolojisi ve programlama alanlarında faydalanılan bir sayı sistemidir. Arduino UNO'nun da oluşturulan rotalardan elde edilen G-kodu okuyabilmesi için her bir satırdaki X ve Y koordinatlarının hex formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. 10'luk sayı sisteminde tanımlanmış G-kodu python platformunda yazılmış kod satırları ile hex formatına dönüştürülmektedir. Böylece Arduino şekiller kütüphanesine gömülmek üzere .cpp formatındaki koordinat satırları elde edilmektedir. G-kodundaki G0 ve G1 basamakları ise bu dönüşüm sırasında hex satırlarının başında karakter ile tanımlanmaktadır.

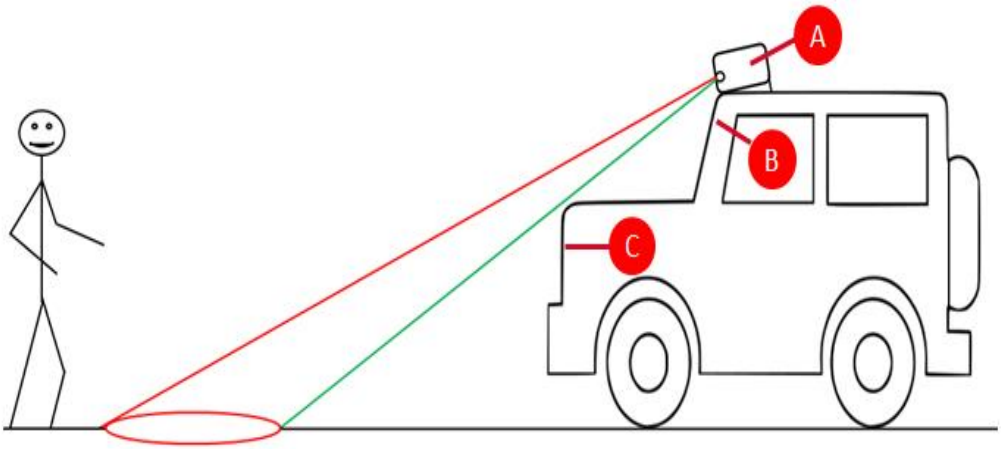
3.2.4 Şekil ve harf kütüphanesi

JPEG formatından başlayarak G-kodu ve heksadesimal sayı tabanından sonra, son adım her şekil için ayrı ayrı elde edilen hex satırlarını Arduino kütüphanesine dahil etmektir. Bu süreçte deneme amaçlı birçok şekil üzerinde çalışılmış ve hex dosyaları elde edilmiştir. Şu anki mevcut senaryolar dahilinde 4 adet şekil kütüphaneye eklenmiştir, bu sayı arzu edildiği taktirde arttırılabilmektedir. Arduino UNO kütüphanesindeki 4 adet şekil Arduino kodu içerisindeki döngüye dahildir ve senaryoların gerektirdiği döngüye göre gerekli şeklin satırları kütüphaneden okunarak donanımlar tahrik edilmektedir ve nihayetinde görsel şekiller yansıtılmaktadır. Böylece kontrol sistemi dışarıdan kamera ve mesafe sensöründen aldığı bilgilere göre aktif olarak çalışmaya hazır hale getirilmiştir.

3.3 Yaya Tespiti Ve Araca Uzaklığı

Lazer tabanlı projektör sisteminde kontrol algoritmasının çalışabilmesi için gerçek dünyadan sistemi besleyecek girdilere ihtiyaç vardır. Bu girdiler kamera ve ultrasonik mesafe sensörü ile sağlanmaktadır. Kullanılan mesafe sensörü kamera ile birlikte çalışmaktadır. Öncelikle kamera ile otonom araç önünde insan varlığı kontrol edilmektedir. Eğer araç önünde insan varsa OpenCV kütüphanesi tabanlı görüntü işleme algoritması ile tespit edilmektedir. İnsan yani yaya tespit edildikten sonra mesafe sensörü devreye girmekte ve tespit edilen yayanın araca olan uzaklığı saptanmaktadır. Bu uzaklığa göre farklı mesajlar içeren senaryolar projeksiyon sistemi tarafından yol üzerine yansıtılmaktadır.

Şekil 3.6'da sistemin genel görünüşü ve çalışma prensibi hakkında simülasyon görüntüsü verilmiştir. Araca belirli bir mesafede bulunan yaya aracın ön kısmında bulunan kamera ile tespit edilmekte ve aracın ön tamponuna yerleştirilen mesafe sensörü ile uzaklığı saptanmaktadır. Bu girdilere göre aracın tavanına monte edilen lazer tabanlı projeksiyon sistemi çalışmakta ve yayanın görüş alanı içerisine görsel mesajlar yansıtmaktadır. Yayanın pozisyonu değiştiğinde uzaklığına göre başka bir senaryo devreye girmektedir. Böylece yaya ve otonom araç arasında interaktif etkileşim gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.6 : Sistemin genel görünüşü ve araç üzerindeki konumlanması (A: Lazer tabanlı projeksiyon sistemi, B: Kamera, C: Mesafe sensörü).

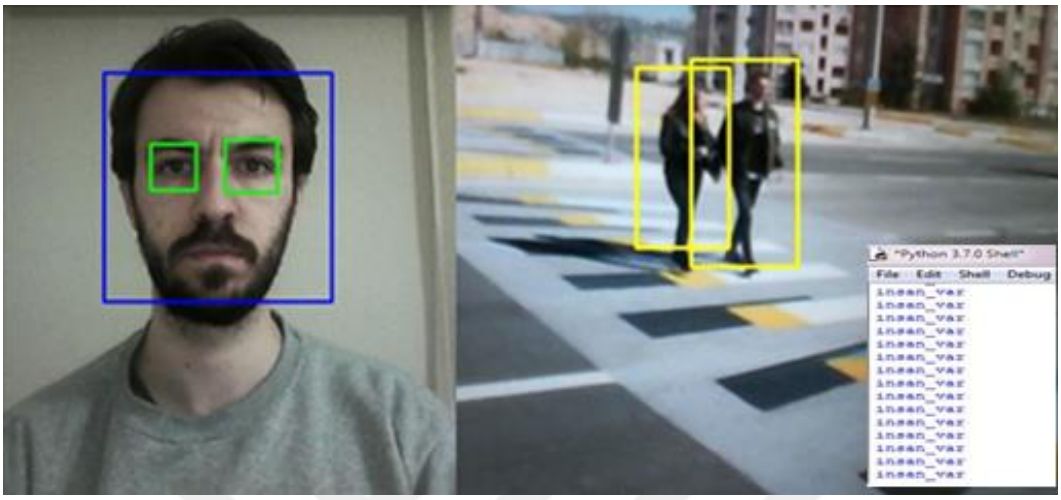
3.3.1 Görüntü işleme

Girdisi video veya fotoğraf olan görüntü işleme, görüntüyü dijital form haline getirmekte ve bazı işlemler uygulamaktadır. Spesifik görüntü elde etmek veya ondan bazı yararlı bilgiler çıkarmak için kullanılan bir yöntem olan görüntü işleme bu çalışmada insan tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Görüntü işleme prosesi 3 aşamada gerçekleşir. Bunlardan ilki bir kamera yardımıyla görüntünün alınmasıdır. Bu işlem bölüm 2'de açıklanan araç üzeri kamerası yardımı ile gerçekleşmektedir. Anlık canlı video kaydı sunan ve doğrudan görüntü işleme algoritmada işlenen video, görüntü işleme prosesinin ikinci aşamasıdır. Son aşama ise çıktıdır, sonuçların görüntü analizine dayalı olarak değiştirilmiş ve kullanıma hazır bilgiler hale getirilmesidir. Böylece araç önünde insan var ise tespiti yapılmakta ve Arduino UNO kartına bu bilgi gönderilmektedir.

Görüntü işleme uygulamasında OpenCV açık kaynak kütüphanesi kullanılmaktadır. Python programlama dili ile görüntü işleme uygulaması koşulmaktadır. Python ve Arduino arasındaki haberleşme ise seri port üzerinden pyserial eklentisi yardımı ile gerçekleşmektedir. Haberleşmenin sağlanması için bilgisayar ile Arduino ve Python ile Arduino aynı seri port üzerinde olmalıdır. Python ile Arduino kartına byte birimi olarak insan tespit edildiğinde 1 ve insan tespit edilmediğinde 0 olarak sinyal gönderilmektedir. Bu sayede Arduino IDE içerisinde koşulan döngülerden uygun olan tetiklenmektedir.

İnsan tespitinin daha doğru olması ve insanın farklı pozisyonlarda olsa dahi tespit edilebilmesi için iki farklı tespit kullanılmaktadır. Bunlar insan yüz tespiti ve insan

tam beden tespitidir (Şekil 3.7). Herhangi birinin tespit edilmesi durumunda araç önünde insan var bilgisi elde edilmektedir. İnsan yüzü veya insan bedeninin her ikisi de tespit edilmediği durumlarda insan yok bilgisi elde edilir ve projeksiyon sisteminde herhangi bir senaryo çalıştırılmaz ve yansıtma yapılmaz.



Şekil 3.7 : Görüntü işleme ile yüz tespiti ve insan bedeni tespiti.

3.3.2 Mesafe bilgisi

Görüntü işleme algoritması tarafından insan tespit edildiğine dair bilgi Arduino UNO'ya ulaştığında ultrasonik mesafe sensörü ile anlık ölçümler gerçekleştirilmektedir. Bu ölçüm sonuçlarına göre 4. bölümde aktarılacak olan senaryolar Arduino kodu içerisindeki uzaklık tanımlarına göre çalıştırılmaktadır.

Görüntü işleme sonuçları ve mesafe bilgileri ile lazer tabanlı projektör sistemine dış dünyadan girdiler tanımlanmıştır. Bu girdilere göre kontrol algoritmaları koşulmakta ve donanımlar tahriklenmektedir. Donanımların çalışması ile görsel şekiller yol üzerine yansıtılmaktadır. Otonom araç mesafe sensörü ve kamera ile yayalar arasındaki iletişim kanalını kurarken; yayalar ise otonom araçlardan yansıyan görsel şekillerle iletişim kanalını kurmaktadır. Nihayetinde otonom araçlar ile yayalar arasında karşılıklı görsel iletişimi kuracak kanalları tamamlanmıştır.

4. SENARYOLAR VE DENEMELER

Bu bölümde lazer tabanlı projeksiyon sisteminde koşulan senaryolardan ve sistem denemelerinden bahsedilecektir. Kontrol sistemi araç önünde bir yaya tespiti yapmadığı takdirde (araç önünde insan olmadığı anlarda) herhangi bir senaryo çalışmamakta ve sistem yansıtma yapmamaktadır. Sistem denemeleri laboratuvar ortamında otonom golf aracı üzerinde ve trafiğe kapalı alanda otomobil üzerinde gerçekleştirilmiştir.

4.1 Senaryolar

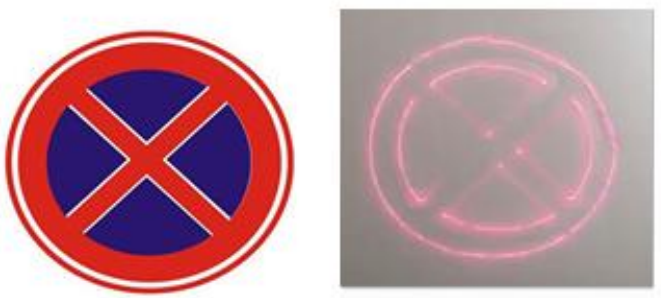
Sistemde tanımlanmış 4 adet senaryo mevcuttur. Bu senaryolar yayanın araç önündeki uzaklığına bağlı olarak değişmektedir. Sistem öncelikle görüntü işleme tekniği ile yaya tespit yapmakta daha sonra yayanın araca uzaklığının saptamakta ve son olarak da uzaklığa göre tanımlanmış olan uygun senaryoyu koşarak görsel mesajların yol üzerine yansıtılmasını sağlamaktadır. Otonom araçlar, insan sürücülerin yayalara ilettikleri mesajları yola yansıtılan bu görsel şekiller aracılığı ile iletmektedir. İnsan sürücülerin yayalardan aldığı mesajların yerini ise otonom araçlarda görüntü işleme algoritması almaktadır. Senaryoların çalışma aralıkları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Yayanın araca göre uzaklığı değiştiğinde otomatik olarak uygun senaryo koşulmaya devam etmektedir ta ki araç önünde yaya tespiti yapılmamasına kadar. Araç önünde yaya tespiti ve uzaklığı anlık olarak güncellenmekte ve buna karşılık gelen senaryolar anlık olarak değişmektedir. Böylece karşılıklı olarak doğru zamanda, doğru görsel iletişim kurulmaktadır.

Çizelge 4.1 : Senaryo çalışma aralıkları.

Senaryolar	Çalışma aralığı
1. senaryo	0-1 metre
2. senaryo	1-2,5 metre
3. senaryo	2,5-4 metre
4. senaryo	4-∞ metre

4.1.1 Senaryo 1

Tespit edilen yayanın araca en yakın mesafede olduğu durumlarda koşulan senaryodur. Yaya araca 1 metreden daha az uzaklıkta bulunduğu durumlarda lazer tabanlı projektör sistemi tarafından yol üzerine uyarı mesajı yansıtılmaktadır. Uyarı mesaj içeriği Şekil 4.1'de görüldüğü üzere yuvarlak içerisinde çarpı bulunan görseldir. Bu senaryoda otonom araç ile yaya arasındaki mesafe oldukça kısa olduğu için otonom araç yayaya yol önceliği vermemekte ve yoluna devam edecek şekilde planlanmıştır. En tehlikeli durumu içeren bu senaryo için uyarı mesajı niteliğinde olan görselin yansıtılmasında kırmızı renkli lazer kaynağı tercih edilmiştir. Böylece otonom araca oldukça yakın bölgede bulunan yayaya daha etkili şekilde uyarı mesajı aktarılmaktadır.



Şekil 4.1 : Senaryo 1 için yansıtılan şekil.

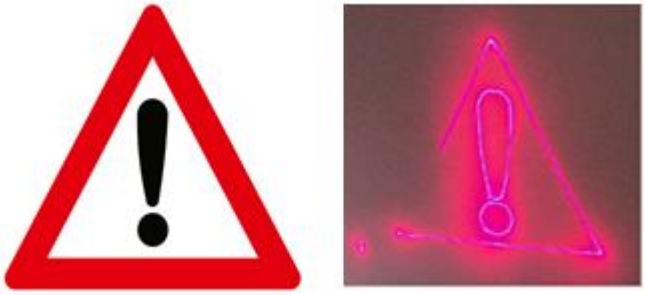
Yansıtılan görselin yanı sıra iletişimin güçlendirilmesi adına metinsel ifadeler de kullanılmaktadır. Görsel ile senkronize olarak yansıyan metnin içeriği "YOL VER!" ifadesini içermektedir.

4.1.2 Senaryo 2

Tespit edilen yayanın otonom araçtan 1 ile 2,5 metre uzaklıkta bulunması durumunda koşulan senaryo 2. senaryodur. Bu senaryoda da birinci senaryoda olduğu gibi mesafenin az olmasından dolayı tehlike içeren bir senaryodur. Bu sebeple tehlike anının ve otonom aracın yayaya öncelik vermeyeceğinin anlaşılabilmesi için Şekil 4.2'de görülen üçgen içerisinde ünlem işareti kırmızı renkli lazer yardımı ile yansıtılmaktadır. Bu mesajı alan yaya araç yoluna girişimde bulunmamakta ve kaldırımdaki konumunu koruma pozisyonuna geçmesi gerekmektedir.

Bu senaryoda metinsel ifade olarak ise "DIKKAT!" ifadesi görsel mesaj ile birlikte senkronize olarak yol üzerine yaya görüş açısı içerisinde yansıtılmaktadır. Böylece

otonom araç ile yaya arasında etkileşim sağlanmış olacaktır. Yaya ile otonom araç arasındaki mesafe 1 metrenin altına düştüğü anda ise ikinci senaryo devreden çıkarak birinci senaryo devreye girmektedir.



Şekil 4.2 : Senaryo 2 için yansıtılan şekil.

4.1.3 Senaryo 3

3. senaryo otonom araçtan 2,5 ile 4 metre uzaklıkta bir yayanın tespit edilmesi durumunda koşulmaktadır. Bu senaryo 1. ve 2. senaryolara göre yayanın nispeten daha güvenli uzaklıkta bulunduğu bir senaryodur. Bu sebeple yeşil renkli lazer kullanımı tercih edilmiş ve Şekil 4.3'te görülen üçgen içerisinde hareketsiz pozisyonda duran insan figürü görsel iletişimde kullanılan şekildir. Uyarı mesajından daha çok bilgilendirici mesaj içeriği taşıyan bu senaryo "BEKLEYINIZ!" metinsel ifadesi ile zenginleştirilerek senkronizasyon sağlanmıştır.



Şekil 4.3 : Senaryo 3 için yansıtılan şekil.

Bu senaryoda yaya otonom araçtan, karşıdan karşıya geçebilecek kadar, uzaklıkta olsa da tehlike arz etmemek adına otonom araca öncelik vermesi gerekmektedir. Böylece otonom araçların daha kolay karar vermesine ve öncelik vermek üzere programlanmış algoritmalarının suistimal edilmesinin önlenmesine katkı sağlanmış olacaktır.

4.1.4 Senaryo 4

4. senaryo kontrol sisteminde tanımlı olan son senaryodur. Yayanın otonom araçtan en az 4 metre uzaklıkta bulunduğu durumlarda konuşur. Bu senaryo otonom araç yayaya yol verecek şekilde planlanmıştır. Şekil 4.4'te görülen yaya şeridi üzerindeki insan figürü yeşil lazer kullanılarak yol üzerine yansıtılmaktadır. Senaryonun bir ikaz mesajından daha çok bilgi mesajı içermesi dolayısıyla görselin yeşil renkte yansıtılması tercih edilmiştir. Senaryoya metinsel ifade olarak ise "GECEBILIRSINIZ" metni senkronize edilmiştir.

Bu senaryoda otonom araç güvenli duruş mesafesinde frenleme yaparak trafik içerisinde tehlikeli ortam oluşturmadan ve yayayla görsel iletişim kurarak normal sürücülü araçlar konforu içerisinde bu karşılaşmayı tamamlamaktadır. Yaya ise otonom araçtan aldığı bildirimler ile otonom aracın nasıl davranacağını hakkında bilgi sahibi olmakta ve bir sonraki hamlesini tahmin edebilmektedir. Bu sayede güven çerçevesi içerisinde otonom araç önünden karşıya geçişini tamamlamaktadır.



Şekil 4.4 : Senaryo 4 için yansıtılan şekil.

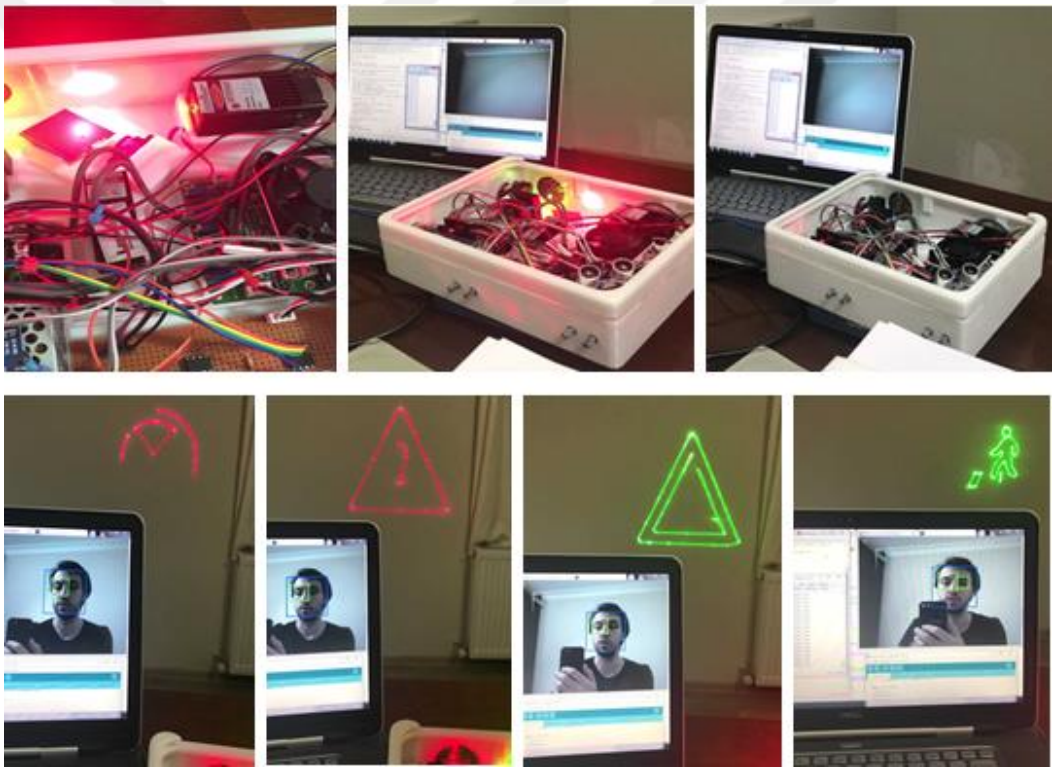
4.2 Denemeler

Bu bölümde sistem, inşa aşamasında iken yapılan test ve denemeler ile tamamen kurulduktan sonra yapılan çalıştırma denemelerinden bahsedilecektir. Sistem inşası aşama aşama olarak gerçekleştirilmiştir. Bu sayede üzerinde ek geliştirmeler yapılan sistem araç üzerinde testleri yapılabilecek nihai halini almıştır. Sisteme ek özellikler eklemeden önce yapılan denemelerde başarılı olan sisteme sırası ile geliştirmeler uygulanmıştır.

Öncelikle sistem senaryolar dahil edilmeden tek bir mesaj içeriği olarak çalıştırılmıştır. Daha sonra görsel mesajların çeşitlendirilmesi ve mesafe sensörü

adaptasyonu ile sistem başarı ile çalıştırılmış ve denemeler gerçekleştirilmiştir. Tüm bunlara ek olarak kontrol sistemine görüntü işleme algoritması da dahil edilerek lazer tabanlı projektör sistemi daha doğru sonuçlar almak üzere güçlendirilmiştir.

Lazer tabanlı projektör sistemi kapalı mekan çalışma ortamında yapılan denemeler, laboratuvar ortamında yapılan denemeler ve trafiğe kapalı ortamda gerçek araç üzerinde yapılan denemeler ile test edilmiştir. Kapalı mekan çalışma ortamında gerçekleştirilen denemelerden bazı kesit görüntünler örnek teşkil etmesi adına Şekil 4.5'te verildiği gibidir. Görüntülerde sistem çalışır iken görüntü işleme algoritmasının sunduğu anlık olarak işlenen görüntüler ve arka planda çalışan farklı senaryo örneklerinden kesitler mevcuttur. Ayrıca sistemin iç görünüşünden bir kesitte Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : Kapalı mekan çalışma ortamında gerçekleştirilen denemeler.

Lazer tabanlı projektör sistemi dış ortamda bir araç üzerine geçici olarak monte edilerek çalıştırılmıştır. Bu çalıştırma sırasında, görüntü işleme algoritması ile yapılan insan tespiti, tespit edilen insanın ultrasonik mesafe sensörü ile ölçülen araca olan uzaklığı, yansıtılan şekillerin konum ve görünürlüğü ile genel sistem işleyişi test edilmiş ve gözlemlenmiştir. Bu denemelerden elde edilen bazı görüntü kesitleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 : Dış ortamda gerçekleştirilen denemeler.

Açık ortam koşullarında yapılan bu denemelerde sistem başarı ile test edilmiştir. Yaya tespit edilmesi ve araca uzaklığının hesaplanmasından sonra araç önüne yansıtılacak şekillerin pozisyonlanması ve ince ayarları sistem araç üzerine belirli açı ile sabitlendikten sonra potansiyometreler sayesinde yapılmıştır. Doğru mesaj içeriğinin görünür, doğru pozisyon ve konumda yansıtılması sistem çalışma koşul gereksinimlerinin temelleri olarak yerine getirilmiştir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu bölüm altında tüm tez çalışması boyunca elde edilen sonuçlardan, önerilerden ve gelecek çalışmalardan bahsedilecektir.

5.1 Sonuçlar

Otonom araçların yaygınlaşması ve üzerinde yürütülen çalışmalar artarak devam etmektedir. Araçların otonomlaşmasına yönelik yürütülen çalışmaların yanında, araçların insanlarla olan etkileşimleri gibi sosyal etkileri de barındıran çalışmalar da yürütülmektedir. Otonomlaşmanın getirdiği olumsuz etkilerin üstesinden gelinebilmesi adına yürütülen bu çalışmalar otonom araçların geleceği adına oldukça önemli yere sahiptir.

Otonom araçların bir insan ile karşılaştığında normal sürücüler gibi yaya ile etkileşime girmesi ve insan sürücülü araçlar gibi davranışlar sergilemesi otonom araçların kabul edilebilirliğini ve güvenilebilirliğini arttırmaktadır. İletişim sayesinde bir yaya ile karşılaşan otonom aracın vermesi gereken kararlar kolaylaşacak; yayanın ise otonom aracın hamleleri hakkında bilgi sahibi olması ve güven içinde kalması sağlanacaktır.

Bu tez kapsamında otonom araç ile insan etkileşimi adına yapılan çalışmalara bir katkıda bulunmak üzere çalışma yürütülmüştür. Çalışmalar neticesinde otonom araç ile insanlar arasında görsel iletişimi sağlayacak lazer tabanlı projektör sistemi tasarlanmış ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Sistem sayesinde görüntü işleme algoritması yardımı ile tespit edilen insanın araca olan konumunun uzaklığına göre uygun uyarıcı ve bilgilendirici görsel mesajlar içeren senaryolar çalıştırılmakta ve yayanın görüş alanı içerisine yol üzerine yansıtma yapılmaktadır. Böylece insandan araca, araç önünde bir yaya olduğu bilgisi ve ne kadar uzaklıkta olduğu bilgisi aktarılmaktadır. Araçtan insana aktarılan bilgi ise aracın bir sonraki hamlesi ve yayanın hangi tutumu sergilemesi gerektiği bilgisidir.

İletişim çevriminin karşılıklı sağlandığı bu sistem dahilinde lazerler, X/Y galvo tarayıcısı, sürücü kartları, dijital analog dönüştürücü ve Op-amp entegre mikroçipleri ile güç kaynağı başlıcaları olmak üzere çeşitli donanımlar kullanılmıştır. Bu donanımların kontrolünde Arduino sürücü kartından, Python programlama dilinden ve OpenCV açık kaynak kütüphanesinden yararlanılmıştır. Sistem elektronik tasarımında Fritzing, mekanik tasarımında Solidworks platformları kullanılmıştır. Sistemin çalışma prensibi, lazer kaynağından çıkar ışınların iki eksende belirli limitler dahilinde dönme hareketi yapan aynalar sayesinden yönlendirilerek zemin üzerinde anlamlı şekiller elde edilmesine dayanmaktadır.

Çalışmalar neticesinde laboratuvar ortamında elde edilen prototip sistemin uygulanabilirliği yüksek ve geliştirmeye açıktır. Güvenli trafik ortamının oluşturulması, otonom araçların yaygınlaştırılması ve kabul görmesi adına yürütülen tez çalışması sayesinde otonom araçlar ile yayalar arasında etkileşim kurulmasına yönelik bilimsel çalışmalar sürdürülmüş ve bir sistem kurulup öneri sunularak katkı sağlanmıştır.

5.2 Değerlendirme Ve Öneriler

Otonom araçlar ile insanlar arasında iletişimi sağlayacak lazer tabanlı projektör sisteminde kullanılan donanımlarda bazı seçimler yapılmıştır. Kontrol sisteminin çıktısı olan yansıtılan şekillerin görünürlüğü düşünüldüğünde iki faktör etkili olmaktadır. Bunlardan bir tanesi sistemde kullanılan lazerlerin güçleridir. Mesajların gece ve gündüz her hava koşulunda görülebilir olması için sistemde olduğu gibi lazerler 150 mW ile 650 mW güçleri arasında tercih edilmesi önerilir. Diğer faktör olan X/Y galvo tarayıcıları, lazer ışınlarını gözün yakalayamayacağı hızlarda yönlendirebilmesi için en az 20 kpps hızında tercih edilmelidir.

Kontrol sisteminin girdileri olan mesafe ve insan tespiti değişkenleri değerlendirildiğinde ise şu sonuçlara varılmıştır. Öncelikle görüntü işleme algoritması için kullanılan kameranın çözünürlüğünün yüksek olması koşulan algoritmadan daha doğru sonuçlar elde edilmesi adına önemlidir. Aynı zamanda kullanılan bilgisayarın işlemci gücünün yüksek olması kontrol sisteminin çalışma performansını etkilemektedir. Mesafe tespiti için kullanılan ultrasonik mesafe sensörünün ölçüm aralığı senaryo çeşitliliğinin arttırılması adına daha uzun tercih edilebilir.

Bu başlık altında değinilecek bir diğer öneri ise kullanılan kontrol kartı üzerinedir. Sistemde Arduino UNO kartı kullanılmıştır. Bilindiği üzere Arduino üzerinde işlemci bulundurmayan bir karttır. Bu sebeple sistemin çalışması için harici bir bilgisayara ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer sistem bilgisayardan bağımsız çalıştırılmak istenirse Arduino yerine Raspberry Pi tercih edilebilir.

5.3 Gelecek Çalışmalar

Tasarlanmış ve prototipi üretilmiş lazer tabanlı projektör sisteminin geliştirilmesi ve görüntü işleme algoritmasının iyileştirilmesi gelecek çalışmalar kapsamındadır. Sisteme pan tilt mekanizması eklenerek projektör sisteminin yönlendirilmesi ile görüntü işleme algoritması tarafından tespit edilen yayanın konumuna göre farklı alanlara yansıtma yapabilme kabiliyeti kazandırılması ve ayrıca sistemin araç etrafına 360° yansıtma yapabilme kabiliyeti kazandırılması gelecekte çalışılabilecek konulardandır.

KAYNAKLAR

[1] **Litman, T. A.** (2017). Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning. *Traffic Technology International*, 36–42. www.vtpi.org/AVIP_TTI_Jan2014.pdf

[2] **Url 1** <*https://innovationatwork.ieee.org/autonomous-vehicles-for-today-and-for-the-future/*>, erişim tarihi 01.05.2020

[3] **Burns, C. G., Oliveira, L., Thomas, P., Iyer, S., & Birrell, S.** (2019). Pedestrian decision-making responses to external human-machine interface designs for autonomous vehicles. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*, *2019-June*(Iv), 70–75. https://doi.org/10.1109/IVS.2019.8814030

[4] **Url 2** <*https://www.sae.org/*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[5] **Url 3** <*https://www.businessinsider.com/what-are-the-different-levels-of-driverless-cars-2016-10#-1*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[6] **Url 4** <*https://otomotiv.in/otonom-surus-nedir-ve-seviyeleri-nelerdir/*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[7] **Rödel, C., Stadler, S., Meschtscherjakov, A., & Tscheligi, M.** (2014). Towards Autonomous Cars: The Effect of Autonomy Levels on Acceptance and User Experience. *Digest of Technical Papers - Symposium on VLSI Technology*, 110–111. https://doi.org/10.1109/vlsit.2000.852789

[8] **Url 5** < *https://en.wikipedia.org/wiki/Self-driving_car*>, erişim tarihi 01.05.2020

[9] **Clark, B., Parkhurst, G., & Ricci, M**. (2016). Understanding the Socioeconomic Adoption Scenarios for Autonomous Vehicles: A Literature Review. *Journal of Transport and Land Use*, *12*, 45–72.

[10] **Url 6** <*https://spectrum.ieee.org/tech-history/heroic-failures/selfdriving-cars-were-just-around-the-cornerin-1960*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[11] **Rasouli, A., & Tsotsos, J. K.** (2018). *Joint Attention in Driver-Pedestrian Interaction: from Theory to Practice*. http://arxiv.org/abs/1802.02522

[12] **Thorpe, C., Hebert, M. H., Kanade, T., & Shafer, S. A**. (1988). Vision and Navigation for the Carnegie-Mellon Navlab. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *10*(3), 362–373. https://doi.org/10.1109/34.3900

[13] **Dowling, K., Guzikowski, R., Ladd, J., Pangels, H., Singh, S., & Whittaker, W.** (1987). NAVLAB An Autonomous Navigation Testbed. *Camegie Mellon University, November*, 259–282. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1533-9_12

[14] **White, J. A., Pence, I. W.** (1989). Progress in Materials Handling and Logistics (Vol. 1, pp.20-24)

[15] **Behringer, R., Sundareswaran, S., Gregory, B., Elsley, R., Guthmiller, W., Daily, R., & Bevly, D.** (2004). The DARPA a grand challenge - Development of an autonomous vehicle. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings, July*, 226–231. https://doi.org/10.1109/ivs.2004.1336386

[16] **Thrun, S., Montemerlo, M., Dahlkamp, H., Strohband, S., Dupont, C., Jendrossek, L.-E., ….. Bradski, G.** (2006). Stanley: The Robot that Won the DARPA Grand Challenge. *Journal of Field Robotics*, *33*(1), 1–17. https://doi.org/10.1002/rob

[17] **Thrun, S., Montemerlo, M., Dahlkamp, H., Strohband, S., Dupont, C., Jendrossek, L.-E., & Bradski, G.** (2006). Stanley: The Robot that Won the DARPA Grand Challenge. *Journal of Field Robotics*, *33*(1), 1–17. https://doi.org/10.1002/rob

[18] **Urmson, C., Anhalt, J., Bagnell, D., Bae, H., Brown, T., ….. Struble, J**. (2008). Autonomous Driving in Urban Environments: Boss and the Urban Challenge. *Journal of Field Robotics*, *33*(1), 1–17. https://doi.org/10.1002/rob

[19] **Wei, J., & Dolan, J. M.** (2009). A robust autonomous freeway driving algorithm. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*, 1015–1020. https://doi.org/10.1109/IVS.2009.5164420

[20] **Url 7** <*https://www.cbinsights.com/research/autonomous-driverless-vehicles-corporations-list/*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[21] **Bagloee, S. A., Tavana, M., Asadi, M., & Oliver, T.** (2016). Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies. *Journal of Modern Transportation*, *24*(4), 284–303. https://doi.org/10.1007/s40534-016-0117-3

[22] **Url 8** <*https://venturebeat.com/2017/06/04/self-driving-car-timeline-for-11-top-automakers/*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[23] **Url 9** <*https://www.tesla.com/en_CA/autopilot?redirect=no*>, erişim tarihi 01.05.2020

[24] **Url 10** < *https://waymo.com/waymo-one/]*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[25] **Url 11 <***https://www.uber.com/tr/tr/atg/*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[26] **Url 12** <*https://www.wired.com/2016/10/ubers-self-driving-truck-makes-first-delivery-50000-beers/*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[27] **Url 13** <*http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do;jsessionid=djvGZ2BLfTPqlvNqjlhT2ZPDlDd3QLLHSFtrSwjY3lkQCzJr6JJ9!338535609?id=24606*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[28] **Fagnant, D. J., & Kockelman, K**. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *77*, 167–181. https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003

[29] **Fagnant, D. J., & Kockelman, K.** (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *77*, 167–181. https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003

[30] **Url 14** <*https://coalitionforfuturemobility.com/benefits-of-self-driving-vehicles/*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[31] **Url 15 <***https://www.popularmechanics.com/technology/infrastructure /a30196644/self-driving-truck-cross-country/*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[32] **Url 16 <** *https://www.theguardian.com/technology/2014/jul/16/google-fbi-driverless-cars-leathal-weapons-autonomous*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[33] **Url 17 <** *https://www.matematiksel.org/surucusuz-araclar-ve-etik/*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[34] **Haeuslschmid, R., Von Buelow, M., Pfleging, B., & Butz, A.** (2017). Supporting trust in autonomous driving. *International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI*, 319–329. https://doi.org/10.1145/3025171.3025198

[35] **Url 18** <https://www.thezebra.com/how-do-self-driving-cars-work/>, erişim tarihi 01.05.2020.

[36] **Canis, B.** (2020). Issues in Autonomous Vehicle Testing and Deployment. *Congressional Research Service*. https://crsreports.congress.gov

[37] **Shang, E., An, X., Wu, T., Hu, T., Yuan, Q., & He, H.** (2016). LiDAR Based Negative Obstacle Detection for Field Autonomous Land Vehicles. *Journal of Field Robotics*, *33*(5), 591–617. https://doi.org/10.1002/rob.21609

[38] **Url 19** <*https://www.veoneer.com/en/lidar*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[39] **Url 20** <*https://www.robsonforensic.com/articles/autonomous-vehicles-sensors-expert/*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[40] **Velaskar, P., Vargas-Clara, A., Jameel, O., & Redkar, S.** (2014). Guided navigation control of an unmanned ground vehicle using global positioning systems and inertial navigation systems. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, *4*(3), 329–342. https://doi.org/10.11591/ijece.v4i3.5183

[41] **Url 21** <*https://qz.com/924212/what-it-really-costs-to-turn-a-car-into-a-self-driving-vehicle/*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[42] **Gao, Y., Liu, S., Atia, M. M., & Noureldin, A.** (2015). INS/GPS/LiDAR integrated navigation system for urban and indoor environments using hybrid scan matching algorithm. *Sensors (Switzerland)*, *15*(9), 23286–23302. https://doi.org/10.3390/s150923286

[43] **Toledo, J., Piñeiro, J. D., Arnay, R., Acosta, D., & Acosta, L.** (2018). Improving odometric accuracy for an autonomous electric cart. *Sensors (Switzerland)*, *18*(1). https://doi.org/10.3390/s18010200

[44] **Goodrich, M. A., & Schultz, A. C**. (2007). Human-robot interaction: A survey. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, *1*(3), 203–275. https://doi.org/10.1561/1100000005

[45] **Huang, C.-M., & Mutlu, B**. (2013). The Repertoire of Robot Behavior: Enabling Robots to Achieve Interaction Goals through Social Behavior. *Journal of Human-Robot Interaction*, *2*(2), 80–102. https://doi.org/10.5898/jhri.2.2.huang

[46] **Hoff, K. A., & Bashir, M.** (2015). Trust in automation: Integrating empirical evidence on factors that influence trust. *Human Factors*, *57*(3), 407–434. https://doi.org/10.1177/0018720814547570

[47] **Ramm, S., Giacomin, J., Robertson, D., & Malizia, A.** (2014). A first approach to understanding and measuring naturalness in driver-car interaction. *AutomotiveUI 2014 - 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, in Cooperation with ACM SIGCHI - Proceedings*. https://doi.org/10.1145/2667317.2667416

[48] **Lee, J., Kim, N., Imm, C., Kim, B., Yi, K., & Kim, J.** (2016). A question of trust: An ethnographic study of automated cars on real roads. *AutomotiveUI 2016 - 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Proceedings*, 201–208. https://doi.org/10.1145/3003715.3005405

[49] **Lazányi, K.** (2016). Do you trust your car? CINTI - 17th IEEE Int. Symp. Comput. Intell. Informatics Proc., 309–314.

[50] **Mirnig, A. G., Wintersberger, P., Sutter, C., & Ziegler, J.** (2016). A Framework for Analyzing and Calibrating Trust in Automated Vehicles. *Proc. 8th Int. Conf. Automot. User Interfaces Interact. Veh. Appl. Adjun. - Automotive'UI 16*, 33–38.

[51] **Khastgir, S., Birrell, S., Dhadyalla, G., & Jennings, P.** (2018). Calibrating trust through knowledge: Introducing the concept of informed safety for automation in vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *96*(July), 290–303. https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.07.001

[52] **Bandura, A**. (2001). Social Cognitive Theory of Mass Communication. *Media Psychol.*, 3(3), 265–299.

[53] **Marsh, S., & Dibben, M. R.** (2005). The role of trust in information science and technology. *Annu. Rev. Inf. Sci. Technol.*, 37(1), 465–498.

[54] **Zhu, M., Wang, X., & Wang, Y.** (2018). Human-like autonomous car-following model with deep reinforcement learning. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *97*(October), 348–368. https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.10.024

[55] **Lee, J. G., Kim, K. J., Lee, S., & Shin, D. H.** (2015). Can Autonomous Vehicles Be Safe and Trustworthy? Effects of Appearance and Autonomy of Unmanned Driving Systems. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *31*(10), 682–691. https://doi.org/10.1080/10447318.2015.1070547

[56] **Mirnig, N., Perterer, N., Stollnberger, G., & Tscheligi, M.** (2017). Three strategies for autonomous car-to-pedestrian communication: A survival guide. *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 209–210. https://doi.org/10.1145/3029798.3038402

[57] **Rasouli, A., & Tsotsos, J. K.** (2020). Autonomous vehicles that interact with pedestrians: A survey of theory and practice. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *21*(3), 900–918. https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2901817

[58] **Url 22** < *https://www.businessinsider.fr/us/smart-vision-eq-fortwo-concept-is-autonomous-electric-2017-8*>, erişim tarihi 01.05.2020.

[59] **Rouchitsas, A., & Alm, H.** (2019). External Human–Machine Interfaces for Autonomous Vehicle-to-Pedestrian Communication: A Review of Empirical Work. *Frontiers in Psychology*, *10*(December). https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02757

[60] **Willis, A., Gjersoe, N., Havard, C., Kerridge, J., & Kukla, R.** (2004). Human movement behaviour in urban spaces: Implications for the design and modelling of effective pedestrian environments. *Environment and Planning B: Planning and Design*, *31*(6), 805–828. https://doi.org/10.1068/b3060

[61] **Harrell, W. A.** (1991) Factors influencing pedestrian cautiousness in crossing streets. *The Journal of Social Psychology*, 131(3), 367–372.

[62] **Nguyen, T. T., Holländer, K., Hoggenmueller, M., Parker, C., & Tomitsch, M.** (2019). Designing for Projection-based Communication between Autonomous Vehicles and Pedestrians. *Proceedings - 11th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, AutomotiveUI 2019*, 284–294. https://doi.org/10.1145/3342197.3344543

[63] **Roychoudhuri, C., & Seeber, F.** (2009). Light Sources and Laser Safety. *Fundamentals of Photonics*, 39–72. https://doi.org/10.1117/3.784938.ch2

[64] **Schuimeister, K.** (1997). *International Laser Safety Standardisation*. *August*, 1–64. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/29/046/29046989.pdf?r=1&r=1

[65] **Manakov, A., Seidel, H. P., & Ihrke, I.** (2011). A mathematical model and calibration procedure for galvanometric laser scanning systems. *VMV 2011 - Vision, Modeling and Visualization*, 207–214. https://doi.org/10.2312/PE/VMV/VMV11/207-214

[66] **Url 23** <https://diyot.net/dac-ve-adc/>, erişim tarihi 01.05.2020

[67] **Dongyun, W., & Xinpiao, Y.** (2014). An embedded laser marking controller based on ARM and FPGA processors. *The Scientific World Journal*, *2014*. https://doi.org/10.1155/2014/716046

[68] **Wang, D., & Chen, X.** (2017). A tutorial on loop-shaping control methodologies for precision positioning systems. *Advances in Mechanical Engineering*, *9*(12), 1–12. https://doi.org/10.1177/1687814017742824

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **:** Barış Çetin

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 09.01.1994 Bursa

E-posta **:** bariscetin094@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2017, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği
- **Yüksek lisans** **:** 2020, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Sistem Dinamiği ve Kontrol Programı

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- 2020/01082 nolu "OTONOM ARAÇLAR İLE İNSANLAR ARASI İLETİŞİMİ SAĞLAYAN SİSTEM" isimli faydalı model başvurusu.