

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK  
LİSANS PROGRAMI**

**ZIRHLI KARA ARAÇLARINDA KARA KUTU  
UYGULAMASI**

**HAZIRLAYAN**

**ANDAÇ KAYA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANKARA – 2025**



**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK  
LİSANS PROGRAMI**

**ZIRHLI KARA ARAÇLARINDA KARA KUTU  
UYGULAMASI**

**HAZIRLAYAN**

**ANDAÇ KAYA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI**

**PROF. DR. HAMİT ERDEM**

**ANKARA – 2025**

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik-Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Andaç Kaya tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 01/08/2025

**Tez Adı:** Zırhlı Kara Araçlarında Kara Kutu Uygulaması

| Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı- Soyadı, Kurumu) |                      | İmza  |
|------------------------------------------------|----------------------|-------|
| Prof. Dr. Hamit ERDEM                          | Başkent Üniversitesi | ..... |
| Doç. Dr. Selda GÜNEY                           | Başkent Üniversitesi | ..... |
| Doç. Dr. Derya YILMAZ                          | Gazi Üniversitesi    | ..... |

**ONAY**

Prof. Dr. Dilek ÇÖKELİLER SERDAROĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... / ...

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih: ... / ... / ...

Öğrencinin Adı, Soyadı : Andaç KAYA

Öğrencinin Numarası : 22320107

Anabilim Dalı : Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Programı : Tezli Yüksek Lisans

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Prof. Dr. Hamit Erdem

Tez Başlığı : Zırhlı Kara Araçlarında Kara Kutu Uygulaması

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 56 sayfalık kısmına ilişkin, 28/07/2025 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %2'dir. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası : .....

**ONAY**

Tarih: ... / ... / ...

Öğrenci Danışmanı Unvan, Adı, Soyadı, İmza:

Prof. Dr. Hamit ERDEM

.....

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın fikirden gerçeğe dönüşmesinde bilgi, tecrübe ve engin rehberliğiyle bana ışık tutan Sayın Prof. Dr. Hamit ERDEM'e teşekkürlerimi sunarım.

Mesleki dayanışma ve dostluklarıyla güç veren Nuro! Makina ailesinden kıymetli meslektaşlarıma; hayatımın her anında sevgileri ve fedakârlıkları ile yanımda olan canım annem Neşe KAYA'ya ve babam Erdoğan KAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.



# ÖZET

**Andaç KAYA**

## **ZIRHLI KARA ARAÇLARINDA KARA KUTU UYGULAMASI**

**Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**2025**

Kara kutu, araçlarda gerçekleşen olayları ve kritik parametreleri sürekli kaydeden, özellikle kaza sonrası analiz için tasarlanmış bir elektronik kayıt cihazı olup; araç performansının ve operasyonel güvenliğin artırılması için gerekli verileri sağlayarak potansiyel riskleri belirlemeye yardımcı olan cihazlardır. Zırhlı kara araçları ise yüksek teknolojiye dayalı güvenlik ve kontrol sistemleriyle donatılarak kritik görevlerde operasyonel verimliliği artırmak üzere sürekli olarak geliştirilmektedir. Bu kapsamda, araçların performansını izlemek, verimliliğini artırmak ve arıza durumlarında detaylı inceleme yapmak için kara kutu uygulamaları savunma sanayisinde giderek daha önemli bir gereksinim haline gelmiştir.

Bu çalışmada, zırhlı kara araçlarında kara kutu sistemlerinin tasarımı, uygulanabilirliği ve veri toplama (Data Acquisition) süreçleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Kara kutuların temel işlevleri arasında sürüş dinamiklerinin izlenmesi, sensörlerden alınan verilerin kaydedilmesi, çevresel koşulların sürekli olarak takip edilmesi ve olası kazaların neden-sonuç ilişkilerinin analiz edilmesi yer almaktadır. Ayrıca, kara kutu uygulamaları sayesinde araçların uzaktan takibi ve gerektiğinde müdahalesi mümkün hale gelmektedir.

Tez kapsamında, bir zırhlı kara aracına entegre edilen kara kutu sisteminin donanım ve yazılım bileşenleri oluşturulmuştur, farklı sensörlerden elde edilen verilerin işlenmesi ve analizi için bir tasarım geliştirilmiştir. Bu tasarım aracılığıyla, arıza tespiti, bakım planlaması ve operasyonel güvenlik alanlarında sağlanan iyileştirmeler detaylandırılmıştır. Ayrıca tüm veriler ve çalışmalar hazır olarak satılan 3. parti iki üreticinin ticari bir ürünü ile karşılaştırılarak yerli bir muadilinin olması sağlanmıştır.

Sonuçlar, geliştirilen kara kutu sisteminin, zırhlı kara araçlarının performans ve güvenlik parametrelerini artırmada etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Çalışma, aynı zamanda

savunma sanayisinde kara kutu uygulamalarının potansiyel kullanım alanları ve bu teknolojinin stratejik önemi üzerinde durarak geleceğe yönelik öneriler sunmaktadır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Veri Toplama, Kara Kutu, CAN, Veri, Zırhlı Kara Aracı, Savunma Sanayi





# **ABSTRACT**

**Andaç KAYA**

## **BLACK BOX APPLICATION IN ARMORED LAND VEHICLES**

**Başkent University Institute of Science**

**Department of Electrical and Electronics Engineering**

**2025**

Black boxes are electronic recording devices designed especially for post-incident analysis, continuously capturing critical parameters and events occurring within vehicles, thus providing essential data to enhance vehicle performance, operational safety, and identify potential risks. Armored land vehicles, on the other hand, are equipped with advanced security and control systems, and are continuously developed to enhance operational efficiency in critical missions. In this context, black box applications have become an increasingly essential requirement in the defense industry for monitoring vehicle performance, improving efficiency, and conducting detailed investigations in case of malfunctions.

This study focuses on the design, applicability, and data acquisition processes of black box systems in armored land vehicles. The primary functions of black boxes include monitoring driving dynamics, recording data from sensors, continuously tracking environmental conditions, and analyzing cause-and-effect relationships in potential accidents. Additionally, black box applications enable remote monitoring and intervention for the vehicles.

Within the scope of this thesis, the hardware and software components of a black box system integrated into an armored land vehicle were developed, and a design was created for processing and analyzing data obtained from various sensors. Through this design, improvements achieved in fault detection, maintenance planning, and operational safety were detailed. Furthermore, all data and processes were compared with a commercially available third-party product to ensure the development of two domestic equivalents.

The findings demonstrate that the developed black box system is an effective tool for enhancing the performance and safety parameters of armored land vehicles. The study also highlights the potential applications of black box technology in the defense industry and its strategic significance, offering recommendations for future advancements.

**KEYWORDS:** Data Acquisition, Black Box, CAN, Data, Armored Land Vehicle, Defense Industry



# İÇİNDEKİLER

|                                                               |      |
|---------------------------------------------------------------|------|
| TEŞEKKÜR.....                                                 | i    |
| ÖZET .....                                                    | ii   |
| ABSTRACT .....                                                | iv   |
| İÇİNDEKİLER.....                                              | vi   |
| TABLolar LİSTESİ .....                                        | viii |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                        | ix   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....                         | xi   |
| 1. GİRİŞ.....                                                 | 1    |
| 1.1. Çalışmanın Amacı .....                                   | 1    |
| 1.2. Tezin Organizasyonu .....                                | 2    |
| 2. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR .....                             | 3    |
| 3.KARA KUTU .....                                             | 9    |
| 3.1. Hava Araçları Kara Kutu Sistemleri.....                  | 9    |
| 3.1.1. Hava Araçları Kara Kutu Verileri .....                 | 9    |
| 3.2. Sivil ve Askeri Kara Araçları Kara Kutu Sistemleri ..... | 10   |
| 3.2.1. Hava Araçları Kara Kutu Verileri .....                 | 10   |
| 4. ZİRHlı KARA ARAÇLARI İÇİN KARA KUTU TASARIMI.....          | 11   |
| 4.1. Kullanılan Veriler.....                                  | 13   |
| 5. VERİ TOPLAMA (DATA ACQUISITION) .....                      | 17   |
| 5.1. Sensörlerden Veri Toplama.....                           | 18   |
| 5.1.1. Kullanılan Sensörler.....                              | 18   |
| 5.2. Verilerin İşlenmesi ve Analizi .....                     | 21   |
| 5.2.1. Fiziksel Veri .....                                    | 21   |
| 5.2.1.1. ADC (Analog to Digital Converter) .....              | 21   |
| 5.2.2. Dijital Veri.....                                      | 23   |
| 5.2.2.1. CAN BUS Yapısı.....                                  | 23   |
| 5.2.2.2. Kara Kutu CAN BUS Yapısı .....                       | 27   |
| 6. DONANIM TASARIMI.....                                      | 30   |
| 6.1. Veri Depolama ve İletim .....                            | 30   |
| 6.2. Uzaktan Kontrol .....                                    | 32   |

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 6.3. Elektronik Devre Kartı Tasarımı (KKEDK) .....        | 34 |
| 6.4. Komponent Listesi.....                               | 36 |
| 6.5. Kara Kutu Görseli.....                               | 39 |
| 7. YAZILIM TASARIMI.....                                  | 40 |
| 7.1. SPI Protokolü.....                                   | 40 |
| 7.2. Tek Kartlı Bilgisayar Python Sahte Kodu .....        | 41 |
| 7.3. Uzaktan İzleme .....                                 | 41 |
| 7.4. Karargâh Bilgisayarı GUI Tasarımı.....               | 42 |
| 7.4.1. Karargâh Bilgisayarı GUI Tasarımı Sahte Kodu ..... | 43 |
| 7.5. Karargâh Monitörü GUI Tasarımı.....                  | 44 |
| 8. TEZ ÇALIŞMASINDA ESİNLENİLEN MUADİL ÜRÜNLER .....      | 46 |
| 9. PROJENİN TEST AŞAMALARI.....                           | 47 |
| 10. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                               | 51 |
| KAYNAKLAR.....                                            | 53 |
| EKLER .....                                               | 1  |
| EK 1: QT Geliştirme Ortamı                                |    |
| EK 2: KKEDK Ön Yüzü                                       |    |
| EK 3: KKEDK Arka Yüzü                                     |    |

## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                     | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------|-------|
| Tablo 2.1. Literatür Çalışmaları .....                              | 6     |
| Tablo 4.1. Veri Listesi .....                                       | 14    |
| Tablo 4.2. Veri Karşılaştırma Listesi.....                          | 16    |
| Tablo 5.1. Sensör Karşılaştırma Tablosu.....                        | 20    |
| Tablo 5.2. ADC Hassasiyet Tablosu .....                             | 22    |
| Tablo 5.3. ADC Karşılaştırma Tablosu .....                          | 22    |
| Tablo 5.4. CAN BUS Karşılaştırma Tablosu .....                      | 25    |
| Tablo 5.5. Generic CAN ve SAE 1939 CAN Karşılaştırması.....         | 27    |
| Tablo 6.1. GSM Avantaj / Dezavantaj Karşılaştırma Tablosu .....     | 31    |
| Tablo 6.2. 4G/LTE Ağ Yapısı Karakteristik Özellikleri .....         | 32    |
| Tablo 6.3. Tez Çalışmasında Kullanılan Donanım Listesi .....        | 35    |
| Tablo 6.4. Kara Kutu Elektronik Kartı Komponent Listesi Tablo ..... | 36    |
| Tablo 6.5. Donanımların 5 VDC Seviyesindeki Güç İhtiyacı .....      | 38    |
| Tablo 8.1. Muadil Ürünler ile Karşılaştırma Tablosu .....           | 46    |
| Tablo 9.1. Kara Kutu CAN BUS Hattı Kayıt Örneği .....               | 47    |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                 | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 4.1. Sistem Blok Şeması.....                                              | 12    |
| Şekil 4.2. Kara Kutu Entegrasyonu Yapılan Araç Görseli (NMS Ejder Yalçın) ..... | 13    |
| Şekil 4.3. X401h CAN Mesajı Byte – Bit Görseli .....                            | 14    |
| Şekil 4.4. Hava Basınç Sensörü Örneği.....                                      | 16    |
| Şekil 5.1. Veri Toplama Süreci Blok Şeması .....                                | 17    |
| Şekil 5.2. T-tap cihazı ve USB CAN Arayüzü ile Ağ Geçidi .....                  | 18    |
| Şekil 5.3. Veri Toplama Süreci Blok Şeması .....                                | 20    |
| Şekil 5.4. Araç CAN BUS Topografyası.....                                       | 24    |
| Şekil 5.5. CAN Bus Fiziksel ve Uygulama Katmanı İlişkisi.....                   | 25    |
| Şekil 5.6. J1939 CAN BUS Mesaj Yapısı .....                                     | 26    |
| Şekil 5.7. Standard CAN BUS Mesaj Yapısı .....                                  | 27    |
| Şekil 5.8. Araç Elektronik Yapısı Şeması .....                                  | 28    |
| Şekil 5.9. X401h CAN Mesajı Byte – Bit Görseli .....                            | 29    |
| Şekil 5.10. X402h CAN Mesajı Byte – Bit Görseli .....                           | 29    |
| Şekil 5.11. X403h CAN Mesajı Byte – Bit Görseli .....                           | 29    |
| Şekil 5.12. X405h CAN Mesajı Byte – Bit Görseli .....                           | 29    |
| Şekil 6.1. GSM Haberleşme Alt Yapısı.....                                       | 32    |
| Şekil 6.2. Barut Atma Sistemi Uzaktan Kontrol Blok Şeması .....                 | 33    |
| Şekil 6.3. GSM Haberleşme Alt Yapısı ile Barut Atma Fanı Gecikme Süresi .....   | 34    |
| Şekil 6.4. Kara Kutu ve Ekipmanları.....                                        | 39    |
| Şekil 7.1. Sistem Yazılım Mimarisi Sahte Kodu.....                              | 41    |
| Şekil 7.2. Monitör Sistemi Blok Şeması Şekil .....                              | 42    |
| Şekil 7.3. Araca Ait Verilerin Grafik Örneği (KK.exe çıktısı) .....             | 43    |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 7.4. Karargâh Bilgisayarı Sahte Kodu.....                  | 44 |
| Şekil 7.5. Karargâh Monitörü Sayfa 1 .....                       | 44 |
| Şekil 7.6. Karargâh Monitörü Sayfa 2.....                        | 45 |
| Şekil 9.1. SD Kart Verisi .....                                  | 48 |
| Şekil 9.2. Karargâh Monitörü Grafiği .....                       | 48 |
| Şekil 9.3. Araç Hızı Karargâh Monitörü Grafiği.....              | 49 |
| Şekil 9.4. Şanzıman Yağ Sıcaklığı Karargâh Monitörü Grafiği..... | 50 |
| Şekil 9.5. Motor Su Sıcaklığı Karargâh Monitörü Grafiği .....    | 50 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

|       |                                               |
|-------|-----------------------------------------------|
| ADC   | Analog to Digital Converter                   |
| AKB   | Araç Kontrol Birimi                           |
| CAN   | Controller Area Network                       |
| FDR   | Flight Data Recorder                          |
| GSM   | Global System for Mobile                      |
| GUI   | Graphical User Interface                      |
| KKEDK | Kara Kutu Elektronik Devre Kartı              |
| SBC   | Single Board Computer (Tek Kartlı Bilgisayar) |
| SDC   | Secure Digital Card                           |
| SPI   | Serial Peripheral Interface                   |





# 1. GİRİŞ

Kara kutu sistemleri, uçaklarda olduğu gibi kara araçlarında da kaza ve arıza durumlarının analiz edilmesi, araç performansının izlenmesi ve operasyonel verilerin kayıt altına alınması açısından hayati bir rol oynamaktadır.

Günümüzde savunma sanayisi, teknolojik ilerlemelerle birlikte giderek karmaşık ve sofistike hale gelmektedir. Zırhlı kara araçları, askeri operasyonlarda önemli bir rol oynamakta ve güvenlik açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu araçların performansını optimize etmek, güvenilirliğini artırmak ve olası arıza durumlarına hızlı müdahale imkânı sağlamak için, çağdaş bir yaklaşım olan kara kutu uygulamaları ve veri toplama sistemleri son derece önemlidir.

Bu tez, zırhlı kara araçlarındaki kara kutu uygulamalarının ve veri toplama sistemlerinin kullanımının avantajlarına odaklanmaktadır. Kara kutu, bir aracın performansını, çeşitli sensörler aracılığıyla ölçerek kaydeden ve bu verileri analiz eden bir sistemdir. Bu sayede, aracın çalışma durumu, tüketim değerleri, motor performansı ve diğer önemli parametreler sürekli olarak izlenebilir. Normal araçlarda genellikle sınırlı olan ve sadece temel veri noktalarını içeren kayıtlara karşın, zırhlı araçlarda detaylı analiz gerektiren veriler elde etmek, askeri stratejilerin ve operasyonların etkinliğini artırabilir. Ayrıca, bu tez, kara kutu uygulamalarında canlı veri aktarımı üzerine de odaklanarak, zırhlı kara araçlarından elde edilen verilerin anlık olarak izlenmesini ve analiz edilmesi için veri toplama sürecini mümkün kılan bir perspektifi ele alacaktır.

## 1.1. Çalışmanın Amacı

Bu tezin temel amacı, zırhlı kara araçlarındaki kara kutu uygulamalarının ve veri toplama sistemlerinin kullanılmasıyla elde edilen detaylı verilerin, aracın performansını artırmak, bakım süreçlerini optimize etmek ve güvenilirlik seviyelerini artırmak amacıyla araçlara ait verilerin depolanmasını sağlamaktır. Ayrıca, uzaktan veri transferi üzerine de odaklanarak, canlı veri aktarımının zırhlı araçların etkin kullanımı ve askeri operasyonlarda daha hızlı müdahale imkânı sağlamadaki rolünü değerlendirmektir. Geliştirilen ürünün yabancı 3. Parti firmaların ticari ürünlerine yerli muadil olarak sunulması planlanmaktadır.

Bu çalışma aynı zamanda, elde edilen verilerle ilerideki araştırmalar için bir kaynak oluşturmayı amaçlamaktadır.

## 1.2. Tezin Organizasyonu

Zırhlı kara araçları için geliştirilen, veri toplama (data acquisition) temelli bir kara kutu sisteminin tasarlanması, uygulanması ve elde edilen verilerle operasyonel izleme ile uzaktan veri aktarımının sağlanması amaçlayan bu tez çalışması, aşağıdaki gibi on farklı bölümden oluşacak şekilde organize edilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde tez çalışmasının amacı ve uygulanan çalışmalar hakkında bilgiler verilmiş, tezin organizasyonu sunulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatürdeki çalışmalara, bu çalışmalarda kullanılan yöntemlere ve sonuçlara değinilmiştir.

Çalışmanın nc bölümünde kara kutu mimarisi açıklanmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde zırhlı kara araçları için kara kutu tasarımına ait bilgiler paylaşılmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde tez çalışmasında kullanılan veriler ve sensörler hakkında açıklamalar yapılmıştır.

Çalışmanın altıncı bölümünde kara kutu tasarımının donanım detayları paylaşılmış ve tasarım süreci detaylandırılarak anlatılmıştır.

Çalışmanın yedinci bölümünde kara kutu tasarımının yazılım detayları paylaşılmış ve grafik arayüzleri hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın sekizinci bölümünde ortaya koyulan kara kutu ürünü ile muadil ürünlerin performans karşılaştırmaları anlatılmıştır.

Çalışmanın dokuzuncu bölümünde yapılmış olan çeşitli testler ve sonuçları sunulmuştur.

Çalışmanın onuncu bölümünde çalışmaya ait sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecek çalışmalara katkıda bulunması amacıyla önerilere yer verilmiştir.

## 2. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

Kara kutu sistemleri, ilk olarak havacılık sektöründe uçuş verilerini kaydetmek ve kazaların nedenlerini analiz etmek amacıyla geliştirilmiş, zamanla farklı alanlarda da benimsenmiş önemli bir teknolojidir. Günümüzde, kara kutu teknolojisi, yalnızca havacılık değil, otomotiv, savunma sanayi ve yapay zekâ gibi çeşitli sektörlerde de kullanılmaktadır. Literatürde kara kutu sistemleri üzerine yapılan çalışmalar; bu teknolojinin tasarımı, veri toplama süreçleri, güvenlik artırımı ve arıza analizi gibi pek çok yönünü kapsamaktadır. Kara kutu modelleme yöntemlerinden sensör teknolojilerine, veri işleme algoritmalarından uygulama alanlarına kadar uzanan bu çalışmalar hem akademik hem de endüstriyel açıdan önemli katkılar sağlamaktadır. Bu bağlamda, mevcut literatürde yer alan çalışmaların değerlendirilmesi, kara kutu sistemlerinin daha etkin ve yenilikçi uygulamaları için kritik bir öneme sahiptir.

Bu çalışmalardan biri [1], 2022 yılında Rahman ve arkadaşları tarafından, sensör tabanlı bir kara kutu sistemi geliştirerek araç kazalarını önleme ve sürücü güvenliğini artırma konularında önemli bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, kara kutu sistemi drowsiness detection (uyuklama tespiti), alkol algılama, LiDAR tabanlı nesne tanıma, RFID ile güvenlik doğrulama ve GPS tabanlı takip gibi teknolojilerle donatılmıştır. Özellikle sürücünün uyuklama durumunun tespiti için 68 yüz işaret noktası (facial landmark points) kullanılmış ve göz kırpmaya oranı hesaplanarak sürücünün yorgunluğu belirlenmiştir. Bunun yanında, araç içindeki alkol varlığını algılayan MQ3 sensörü ve araç güvenliği için RFID tabanlı doğrulama sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, kazaları önlemeye yönelik önerilen entegre teknolojilerle gerçek zamanlı veri toplama, analiz ve olay sonrası inceleme imkânı sağlamış; bu da hem araç hem de sürücü güvenliğinde önemli bir ilerleme olarak değerlendirilmiştir.

2022 yılında Garcia-Barrientos ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada [2], bir araç kara kutu sistemi geliştirilmiş ve bu sistemin tasarımını Raspberry Pi mikro bilgisayarı ile bir 4G modülü kullanarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, sistemin video, ses, GPS verileri, alkol konsantrasyonu, hız ve sıcaklık gibi çeşitli parametreleri kaydetme ve işleme yeteneğine sahip olduğu belirtilmiştir. Sistem, veri depolama için hem kart hem de bulut tabanlı bir çözüm olan Waveshare SIM7600G-H 4G modülünü kullanmıştır. Araştırmada, kullanıcı dostu bir grafik arayüz (GUI) geliştirilmiş ve bu arayüz, toplanan verilerin analizini kolaylaştırmak için tasarlanmıştır. Önerilen kara kutu sistemi, uçaklardaki

uçuş veri kaydedicilere (FDR) benzer şekilde kazalarla ilgili bilgilerin kaydedilmesine ve kazanın nedenlerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Yazarlar, bu sistemin düşük maliyetli bileşenlerle modüler bir yapıda tasarlandığını ve araç elektroniği ile entegre çalışabildiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışma, kara kutu sistemlerinin etkinliğini artırmak ve trafik kazalarına yönelik veri analizini kolaylaştırmak için IoT tabanlı çözümlerin nasıl kullanılabileceğini göstermesi açısından önemli bir katkı sağlamaktadır.

2022 yılında Begum ve arkadaşları, araç kara kutu sistemlerinin tasarımı ve uygulanmasına yönelik bir çalışma [3] gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, IoT ve bulut bilişim teknolojilerinden faydalanılarak, kazaları önlemeye ve kaza sonrası incelemelere katkıda bulunmaya yönelik bir sistem geliştirilmiştir. Sistem, düşük güç tüketimli bir mikrokontrolcü kullanılarak tasarlanmış ve GPS, GSM, alkol algılama sensörleri, göz kırpması sensörleri gibi bileşenlerle donatılmıştır. Ayrıca, gaz sızıntısı ve motor sıcaklığı gibi parametrelerin izlenmesi, sürücünün yorgunluk durumunun algılanması ve araç konumunun belirlenmesi gibi özelliklerle hem güvenlik hem de kazaların önlenmesine yönelik çözümler sunulmuştur. Çalışma, gerçek zamanlı veri toplama ve bulut tabanlı analiz özellikleriyle kazalar hakkında detaylı bilgi sağlama kapasitesine sahip bir kara kutu sisteminin geliştirilmesi açısından önemli bir katkı sunmaktadır.

2008 yılında Kassem ve arkadaşları, kara kutu sistemlerinin araç kazalarını önlemedeki rolünü incelemiş ve her araca entegre edilebilecek bir çalışma [4] geliştirmiştir. Çalışma, kara kutunun, bir kaza öncesi, sırası ve sonrasındaki olayları kaydetme yeteneğiyle, kazaların analizine katkı sağladığını ortaya koymuştur. Bu sistemde, hız sensörleri, fren sensörleri, kemer sensörleri ve ışık durumu sensörleri gibi çeşitli donanım bileşenleri kullanılarak kazaya ilişkin kritik veriler toplanmıştır. Elde edilen veriler, mikrokontrolcü EEPROM belleğinde kaydedilmiş ve ardından Visual Basic .NET tabanlı bir yazılım aracılığıyla kullanıcıya grafiksel bir arayüzle sunulmuştur. Sistem, hem gerçek zamanlı veri izleme hem de kaza sonrası detaylı inceleme imkânı sunarken, gizlilik ve veri güvenliği önlemleriyle desteklenmiştir. Bu çalışmada, kara kutunun kazaların nedenlerini anlamada ve önleyici tedbirler geliştirmede sunduğu potansiyel vurgulanmıştır.

Aramice ve arkadaşları tarafından 2023 yılında gerçekleştirilen çalışmada [5] uzun menzilli kablolu iletişim teknolojisine dayalı bir kara kutu sistemi geliştirilerek araç güvenliği ve trafik ihlallerinin doğru şekilde kaydedilmesine yönelik bir çözüm sunulmuştur. Çalışmada, gaz kaçağı ve yangın tespitinde kullanılan sensörlerin yanı sıra GPS modülü ile araç konumunun, tarih ve zaman damgalarıyla birlikte kaydedilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen sistem, Long Range (LoRa) teknolojisini kullanarak veri toplama ve iletim

süreçlerini gerçekleştirmiş. Araçlar arasında Araçtan Sensöre (V2S) ve Araçtan Alt yapıya (V2I) iletişim mimarisi oluşturmuştur. Araştırma, özellikle yanlış trafik cezası kaydı gibi durumlarda araçların doğru konum bilgilerini sağlayarak sürücü haklarının korunmasını hedeflemiştir. Ayrıca, sistemin performansı Gerçek Zamanlı Veri Gücü Göstergesi (RSSI) ve Sinyal Gürültü Oranı (SNR) ölçümleriyle değerlendirilmiş ve daha geniş bir kapsama alanı sunan LoRa teknolojisinin GSM gibi alternatiflere kıyasla maliyet avantajları sağladığı belirtilmiştir. Bu çalışma, Internet of Vehicles (IoV) tabanlı kara kutu sistemlerinin güvenlik ve doğruluk açısından potansiyelini göstermektedir.

2012 yılında Reddy ve arkadaşları, araçlar için geliştirilen kara kutu sistemlerinin tasarım ve uygulanabilirliği üzerine bir çalışma [6] sunmuşlardır. Çalışmada, ARM7 LPC2129 mikrodenetleyicisi kullanılarak, araç içindeki sıcaklık, basınç, ultrasonik ve yakınlık sensörlerinden alınan verilerin kaydedilmesi ve analiz edilmesi için bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem, araç kazalarının nedenlerini belirlemek ve kaza sonrası veri analizi yapmak için gerekli bilgileri EEPROM üzerinde depolayabilmektedir. Ayrıca, sistemin LCD ekran üzerinden kullanıcıya veri sunabildiği ve GSM modülü aracılığıyla kazalar hakkında gerçek zamanlı bildirimler gönderebildiği belirtilmiştir. Araştırma, kara kutu teknolojisinin kazaları önlemede ve kaza sonrası incelemelerde kritik bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Çalışmada, özellikle emniyet kemeri ve fren durumlarının, aracın hareketi başlamadan önce kontrol edilerek güvenliğin artırıldığı vurgulanmıştır. Sistem, maliyet etkinliği ve kolay uygulanabilirliğiyle dikkat çekmektedir.

Deshmukh, 2022 yılında araçlara yönelik bir kara kutu sistemi tasarlayarak [7], kaza sonrası veri analizi ve araç güvenliğini artırma amacıyla bir sistem geliştirmiştir. Çalışmada, Raspberry Pi kullanılarak, kamera, hareket algılama (PIR) sensörü, sıcaklık ve nem ölçümü için DHT11 sensörü gibi bileşenler entegre edilmiştir. Sistem, kazalar sırasında video ve görüntü kaydı, ortam koşullarının takibi ve gerçek zamanlı saat (RTC) aracılığıyla zaman damgası ekleme gibi fonksiyonları yerine getirebilmiştir. Veriler, Raspberry Pi'ye bağlı SD kartta depolanmış ve Python programlama diliyle yazılmış bir yazılım kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma, kara kutu teknolojisinin düşük maliyetli bir prototip ile nasıl uygulanabileceğini gösterirken, araç kazalarının nedenlerini belirleme ve önleme açısından önemli bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, sistemin veri güvenliği ve uzaktan erişim sağlama kapasitesi, gelecekteki kara kutu sistemlerinin geliştirilmesi için önemli bir temel sunmaktadır.

2015 yılında Gaur ve Mohota, araçlar için ARM7 tabanlı bir kara kutu sistemi tasarlayarak, kazaların nedenlerini analiz etmeye ve araç güvenliğini artırmaya yönelik bir çözüm [8] geliştirmiştir. Çalışmada, sistem, sıcaklık sensörü, emniyet kemeri sensörü, kapı kilidi sensörü ve RPM sensörü gibi çeşitli bileşenleri kullanarak kazadan önce ve sonra verileri kaydetmiştir. Mikrodenetleyici olarak LPC2148 kullanılmış, veriler yüksek kapasiteli flash bellekte depolanmıştır. Sistem, araç parametrelerini gerçek zamanlı olarak toplayarak ve depolayarak sigorta anlaşmazlıkları ve hukuki süreçlerde kullanılabilecek kanıtlar sunmaktadır. Ayrıca, araç performansının izlenmesi ve kazaların önlenmesine yönelik veriler sağlamasıyla trafik güvenliği çalışmalarına önemli bir katkı sağlamaktadır. Sistem tasarımı, gömülü işletim sistemi  $\mu$ C/OS-II kullanılarak gerçekleştirilmiş ve seri port üzerinden bilgisayara veri aktarımı sağlanmıştır. Bu çalışma, kara kutu sistemlerinin kazaların önlenmesi ve analizine yönelik etkin bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

2017 yılında Diwan ve arkadaşları, kazaların önlenmesi ve tespiti için kablosuz bir araç kara kutu sistemi geliştirmiştir. Çalışmada [9], MEMS ivmeölçer, GPS ve GSM modülleri entegre edilerek, kazaların yerinin tespiti ve araç hareketlerinin izlenmesi sağlanmıştır. Sistem, alkol, duman, sıcaklık ve basınç algılama gibi farklı sensörlerden veri toplayarak, kaza sırasında ve sonrasında kritik bilgilerin kaydedilmesini mümkün kılmıştır. Toplanan veriler, olay sonrası analiz için bir flash bellekte saklanmakta ve acil durumlarda önceden tanımlanmış kişilere GPS koordinatları, tarih ve zaman bilgisi ile SMS gönderilmektedir. Ayrıca, sistemin güçlü bir çarpma ve basınca dayanıklılık gösterdiği ve kazalardan kaynaklanan ölümleri azaltmada etkili olabileceği belirtilmiştir. Çalışma, araç içi kara kutu sistemlerinin, trafik kazalarına hızlı müdahale ve olay analizi için önemli bir araç olduğunu vurgulamaktadır.

**Tablo 2.1.** Literatür Çalışmaları

| Makale                                                               | Yazarlar                   | Yıl  |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------|------|
| Smart vehicle management by using sensors and an IoT based black box | Md. Minhazur Rahman        | 2022 |
|                                                                      | A. Z. M. Tahmidul Kabir    |      |
|                                                                      | Al Mamun Mizan             |      |
|                                                                      | Kazi Mushfiqur Rahman Alvi |      |

**Tablo 2.1.** devam ediyor

|                                                                                            |                             |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------|
| Design and Implementation of a Car's Black Box System Using a Raspberry Pi and a 4G Module | Abel Garcia-Barrientos      | 2022 |
|                                                                                            | David Torres-Uresti         |      |
|                                                                                            | Francisco R. Castillo-Soria |      |
|                                                                                            | Ulises Pineda-Rico          |      |
|                                                                                            | Jose Antonio Hoyo-Montaño   |      |
|                                                                                            | Patricio Ordaz-Oliver       |      |
|                                                                                            | Obed Perez-Cortes           |      |
| Vehicle Black Box System                                                                   | Shahida Begum               | 2022 |
|                                                                                            | Ramesh Byali                |      |
|                                                                                            | Jyothimani J                |      |
|                                                                                            | R.Vanitha                   |      |
|                                                                                            | Manju Kumari                |      |
|                                                                                            | Md.Altaf                    |      |
|                                                                                            |                             |      |
| Vehicle Black Box System                                                                   | Abdallah Kassem             | 2008 |
|                                                                                            | Rabih Jabr                  |      |
|                                                                                            | Ghady Salamouni             |      |
|                                                                                            | Ziad Khairallah Maalouf     |      |
| Vehicle Black Box Implementation For Internet Of Vehicles Based Long Range Technology      | Gregor A. Aramice           | 2023 |
|                                                                                            | Abbas H.Miry                |      |
|                                                                                            | Tariq M. Salman             |      |
| Black Box For Vehicles                                                                     | P. Ajay Kumar Reddy         | 2012 |
|                                                                                            | P.Dileep Kumar              |      |
|                                                                                            | K. Bhaskar Reddy            |      |
|                                                                                            | E.Venkataramana             |      |
|                                                                                            | M.Chandra sekhar Reddy      |      |
| Car Black Box System                                                                       | Shreya Ramrao Deshmukh      | 2022 |
| Design and Implementation of Car Black Box Based on ARM7                                   | Krishnaprasad Gaur          | 2015 |
|                                                                                            | Prof. Nilesh A. Mohota      |      |
| Wireless Vehicle Black Box System For Accident Prevention And Detection                    | Minal Diwan                 | 2017 |
|                                                                                            | Purva Sonkusare             |      |
|                                                                                            | Samruddhi Kapse             |      |
|                                                                                            | Trupti Shete                |      |
|                                                                                            | Vaishnavi Pathade           |      |

Literatürde kara kutu sistemleri üzerine yapılan çalışmalar, özellikle sivil araçlar için önemli ilerlemeler kaydetmiş ve kaza analizi, araç güvenliği ve veri kayıt teknolojilerinde çeşitli çözümler sunmuştur. Ancak, zırhlı kara araçları gibi özel uygulama alanları için gerçek zamanlı veri kaydı ve canlı veri iletimi konularında yeterli derinlikte çalışmalar bulunmamaktadır. Bu eksiklikler, özellikle askeri operasyonlarda ve zorlu arazi koşullarında görev yapan araçlar için kritik bir ihtiyaç olarak göze çarpmaktadır. Bu bağlamda, bu çalışma zırhlı kara araçları için gerçek zamanlı veri kaydını sağlayan, olay sonrası analizlerde kullanılabilir veriler sunan ve eş zamanlı veri iletimine olanak tanıyan bir kara kutu sistemi geliştirmeyi hedeflemiştir. Böylece, literatürdeki boşluklara yönelik katkı sağlanması amaçlanmıştır.





### 3.KARA KUTU

Tezin 2. bölümü olan Literatürdeki Çalışmalar bölümünde belirtildiği gibi kara kutu sistemleri, ilk olarak havacılık sektöründe uçuş verilerini kaydetmek ve kazaların nedenlerini analiz etmek amacıyla geliştirilmiş sistemlerdir. Bu sistemler zamanla kara araçlarında da kullanılmaya başlanmış ve bu böylece başta sivil araçlara ait olmak üzere araç verilerinin kaydedilmesi daha sonra bu verilerin araçların geliştirme aşamaları veya arıza/kaza analizi çalışmalarına ışık tutmaları beklenmiştir.

#### 3.1. Hava Araçları Kara Kutu Sistemleri

Kara kutu, hava araçlarında uçuş verilerini ve kokpit seslerini kaydeden, uçuş güvenliğinin sağlanması ve kazaların nedenlerinin araştırılması amacıyla kullanılan özel bir elektronik kayıt sistemidir. “Bu sistemler, dayanıklı ve zorlu çevresel koşullara (yüksek sıcaklık, basınç, darbe, suya maruz kalma vb.) karşı korumalı olarak tasarlanmıştır ve kazadan sonra verilerin kurtarılmasını mümkün kılar. Bu sistemler ED-112A standardına uyumlu olacak şekilde tasarlanmalıdır. [10]”

##### 3.1.1. Hava Araçları Kara Kutu Verileri

Hava araçları kara kutu sistemlerinde aşağıdaki veriler kaydedilmektedir.

- Uçağın hızı (airspeed)
- İrtifa (altitude)
- Motor parametreleri (RPM, sıcaklık, yakıt akışı vs.)
- Kanat pozisyonları (flap, spoiler, rudder, elevator, aileron)
- Otopilot durumu
- Uçağın ivmesi ve yönelimi (pitch, roll)
- G kuvveti
- Frenleme ve iniş takımı durumu
- Tüm konuşma ve kabin içi sesleri

### **3.2. Sivil ve Askeri Kara Araçları Kara Kutu Sistemleri**

Kara kutu, askeri ve sivil kara araçlarında araç verilerini, sürücü davranışlarını ve çevresel parametreleri kaydeden, operasyonel güvenliği artırmak ve olay sonrası analizlere imkân sağlamak amacıyla kullanılan özel bir elektronik kayıt sistemidir.

#### **3.2.1. Hava Araçları Kara Kutu Verileri**

- Araç hızı
- Frenleme ve gaz pedalı konumu
- Emniyet kemeri durumu
- Hava yastığı açılma zamanı
- Motor devri ve sistem arızaları (OBD-II verileri)
- GPS konumu ve zaman bilgisi
- Araç içi CAN veri hattından alınan motor, transmisyon, fren, süspansiyon vb. sistem verileri
- Konum bilgisi (GPS/INS)
- Silah sistemi kullanımı, kule hareketleri veya mühimmat durumu gibi taktik veriler
- Sarsıntı, patlama, çarpma gibi ani olayların ivme sensörleri ile algılanması
- Görev logları ve operatör komutları

Hava araçları ve kara araçları arası en temel fark uçak kara kutu sistemlerinin ses kaydı yapması ve belirli endüstriyel standartlara sahip olmasıdır. Kara araçlarında bu şartlar aranmazken kara araçları kara kutu sistemleri canlı veri aktarımına olanak tanır şekilde tasarlanabilir bir yapıdadır.

#### 4. ZIRHLI KARA ARAÇLARI İÇİN KARA KUTU TASARIMI

Bu tez çalışmasına ait kara kutu uygulaması için yerli donanım geliştirilmiş ve sistemin efektif bir şekilde çalışması için gömülü yazılım ile beraber GUI tasarımı yapılmıştır. Tezin ilerleyen bölümlerinde bu çalışma ve tasarımlara ait detaylar paylaşılacaktır. Ayrıca kara kutu uygulamasının zırhlı kara araçları ve ticari araçlarda uygulanan kara kutular arasındaki veri farklarına da değinilecektir.

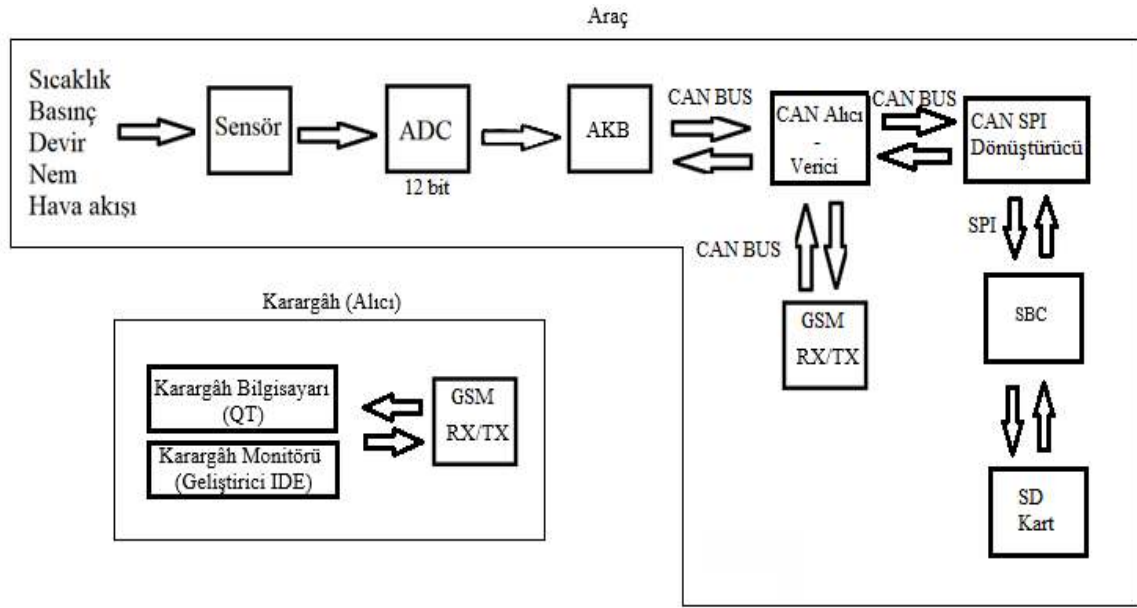
Kara kutu sistemleri üzerine yapılan literatür araştırmalarında, çeşitli sensör ve ekipmanların kullanıldığı dikkat çekmiştir. Örneğin Diwan ve arkadaşları “GPS ve hız sensörlerinden elde edilen verilerin birlikte kullanılarak kaza yerinin doğru bir şekilde analiz edilebildiğini ifade etmiştir. [9]” Bu tez çalışmasında ise, Nurol Makina ve Sanayi A.Ş. tarafından üretilen zırhlı kara araçlarının operasyonel faaliyetleri sırasında araç üzerinde oluşan değerlerin verileri kullanılmıştır.

Çalışmada zırhlı kara aracına kara kutu entegrasyonu sağlanmıştır. Bu kara kutu 1 adet tasarlanmış devre kartı ve 1 adet SBC’den oluşmakla birlikte araca fiziksel olarak bağlanmıştır. Bunun dışında karargâhta (uzakta) 1 adet bilgisayar ve 1 adet dokunmatik özellikli programlanabilir monitör bulunmaktadır.

Kara kutu tasarımı 4 ana özelliğe sahiptir:

- 1) Sensör verileri toplama
- 2) GSM alt yapısı ile veri aktarımı
- 3) Uzaktan kontrol
- 4) Uzaktan izleme

Aşağıdaki şekilde, açıklanan kara kutu çalışmasına ait sistem genel blok şeması paylaşılmıştır. Çalışmaya ait donanım ve yazılım açıklamaları tezin ilerleyen bölümlerinde paylaşılmıştır.



Şekil 4.1. Sistem Blok Şeması

Yukarıdaki blok şemadan görülebileceği üzere sıcaklık, basınç vb. Fiziksel veriler araca ait olan sensörler aracılığı ile okunmaktadır. Bu veriler AKB içerisinde bulunan 12 bit ADC aracılığı ile dijital veri haline çevrilir. Bu dijital veriler CAN BUS alt yapısı ile kara kutu biriminde bulunan Kara Kutu Elektronik Devre Kart'ına taşınır. Söz konusu CAN mesajları kara kutu birimi içerisinde bulunan PC'ye CAN – SPI dönüştürücü ile aktarılır. PC içerisinde kara kutuya ait yazılımın koştugu donanımdır. Veriler CAN mesajları olarak PC aracılığı ile SD karta kaydedilir. Bu veriler aynı zamanda GSM alt yapısı ile uzakta bulunan alıcıya kablosuz olarak aktarılır ve karargâh monitörü ile sürücü ekranı bilgileri takip edilebilir ya da karargâh bilgisayarı ile verilerin grafiksel takibi sağlanabilir. Bu yapı çift yönlü olarak çalışmaktadır. İlk senaryoda paylaşılan alıcının karargâh monitörü aracılığı ile araca müdahale etmesi mümkündür. Monitör üzerinden aktif edilen bir sistem için GSM alt yapısı ile taşınan mesaj ile araçta bulunan bir donanımın aktif edilmesi mümkündür. Örnek olarak operasyon esnasında alıcı, zırhlı kara aracında bulunan barut atma sistemini uzaktan devreye alabilir.

Bu kara kutu çalışmasının tasarım fazları 2 ana başlık altında incelenecektir.

1) Donanım Tasarımı

2) Yazılım Tasarımı



Şekil 4.2. Kara Kutu Entegrasyonu Yapılan Araç Görseli (NMS Ejder Yalçın)

#### 4.1. Kullanılan Veriler

Söz konusu veriler, araç üzerindeki sensörler aracılığıyla, aracın operasyonel durumu, çevresel koşullar ve mekanik performansı hakkında bilgi toplamak amacıyla kaydedilmiştir. Çalışma süresince araca yeni sensör entegrasyonu yapılmamıştır. Araca ait sensörlerden toplanan bu veriler, arıza tespiti, bakım planlaması ve araç performans analizi gibi kritik süreçleri desteklemek üzere işlenmiş ve CAN Bus haberleşme yöntemi ile kara kutu sistemine aktarılmıştır. Bu sistem, sadece kaza sonrası analizler için değil, aynı zamanda araç güvenliği ve operasyonel verimlilik artırımı için de önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Toplanan verilerin işlenmesi ve değerlendirilmesi süreçleri, çalışmanın ilerleyen bölümlerinde detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Çalışmada araca ait 20 veri kaydedilmektedir. Bu verilerin bir kısmı araç üzerindeki sensörler aracılığı ile araç kontrol birimi tarafından okunan verilerdir. Verilerin bir kısmı ise araç üzerinde bulunan motor kontrol ünitesi, şanzıman kontrol ünitesi ve ABS ünitesi tarafından CAN mesajları ile taşınan verilerdir.

Tablo 4.1’de verilerin adları, örnek değerleri ve birimleri paylaşılmıştır.

**Tablo 4.1.** Veri Listesi

| Numara | Veri Adı                         | Örnek Değer | Birim  |
|--------|----------------------------------|-------------|--------|
| 1      | Motor Devri                      | 850         | rev/dk |
| 2      | Araç Hızı                        | 55          | km/sa  |
| 3      | Servis Fren Tankı 1 Hava Basıncı | 5           | b      |
| 4      | Servis Fren Tankı 2 Hava Basıncı | 4           | b      |
| 5      | Park Fren Tankı Hava Basıncı     | 3           | b      |
| 6      | Aksesuar Tankı Hava Basıncı      | 2           | b      |
| 7      | Araç Yakıt Seviyesi              | %50         | l      |
| 8      | Şanzıman Yağ Sıcaklığı           | 45          | °C     |
| 9      | Seçili Aktarma                   | H/N/L       | -      |
| 10     | Motor Yağ Basıncı                | 2           | b      |
| 11     | Motor Soğutma Suyu Sıcaklığı     | 90          | °C     |
| 12     | Dikey Eğim Değeri                | %10         | -      |
| 13     | Yatay Eğim Değeri                | %20         | -      |
| 14     | Mevcut Vites Bilgisi             | 3           | -      |
| 15     | Orta Diferansiyel Kilit Bilgisi  | 1           | -      |
| 16     | Arka Diferansiyel Kilit Bilgisi  | 1           | -      |
| 17     | Ön Diferansiyel Kilit Bilgisi    | 1           | -      |
| 18     | Araç Kilometre Sayacı            | 21856.4     | km     |
| 19     | Motor Çalışma Saati              | 1008        | sa     |
| 20     | Seyahat Sayacı                   | 2003.8      | km     |

|   | name                  | type  | byte | bit pos | bit len | endian | mul | div | add | init | bit mask |
|---|-----------------------|-------|------|---------|---------|--------|-----|-----|-----|------|----------|
| 0 | RPM                   | UINT  | 0    | 0       | 16      | LE     | 1   | 1   | 0   | 0    | 0 1      |
| 1 | Speed                 | USINT | 2    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0   | 0    | 2        |
| 2 | ServiceBrakeAirPress1 | USINT | 3    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0   | 0    | 3        |
| 3 | ServiceBrakeAirPress2 | USINT | 4    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0   | 0    | 4        |
| 4 | ParkBrakeAirPress     | USINT | 5    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0   | 0    | 5        |
| 5 | AccessoryAirPress     | USINT | 6    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0   | 0    | 6        |
| 6 | FuelLevel             | USINT | 7    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0   | 0    | 7        |
| * |                       |       |      |         |         |        |     |     |     |      |          |

**Şekil 4.3.** X401h CAN Mesajı Byte – Bit Görseli

Devam eden bölümde yukarıda bulunan şekildeki CAN Bus mesajı incelenmiştir. CAN Bus yapısı ile ilgili detaylı bilgiler çalışmanın devamında paylaşılacaktır.

Yukarıdaki Şekil 3.1 0X401 ID’li mesaja aittir. Kaydedilen mesaj “0X401 (8) = 97 02 05 55 55 54 53 48” şeklindedir.

0x401 mesajın hangi ID ile geldiğini ve ne içerdiğini belirtir.

(8) mesaj uzunluğunun ne kadar olduğunu belirtir. Bu mesaj 8 byte uzunluğundadır.

Yukarıdaki şekle göre ilk 2 byte RPM değerini ifade etmektedir. “97 02” gelen değer hexadecimal karşılığıdır. Sistemimiz “Little Endian” metoduna göre düzenlenmiş olduğu için karşılığı 0x0297 şeklindedir. Buradaki mantık en önemsiz byte 0x7 olan kısımdır ve buradan hesaplanmaya başlanır. “0x” ifadesi değer hexadecimal olduğunu gösterir, hesaplama işlemi de bu yüzden 16’lık taban üzerinden gerçekleştirilir.

Burada çarpanlar  $(16^0 * 7) + (16^1 * 9) + (16^2 * 2) + (16^3 * 0)$  olacak şekildedir, bu değer 10’luk tabandaki (decimal) karşılığı:  $D = 0 \times 16^3 + 2 \times 16^2 + 9 \times 16^1 + 7 \times 16^0 = 663$

$D = 663$  rpm olacak şekilde hesaplanır, bu da aracın anlık RPM değerini ifade eder. Yaklaşık olarak rölanti değeri olarak ifade edilebilir.

3.Byte değeri 0x05 = D’5’ ifade eder. Anlık hız değerinin 5 km/s olduğunu gösterir.

4.Byte değeri 0x55 = D’85’ ifade eder. Servis Hava Tank 1 basınç değerinin 8.5 bar olduğunu gösterir. Sebebi araç ekranında gösterilirken 10’a bölünmesidir.

5.Byte değeri 0x55 = D’85’ ifade eder. Servis Hava Tank 2 basınç değerinin 8.5 bar olduğunu gösterir. Sebebi araç ekranında gösterilirken 10’a bölünmesidir.

6.Byte değeri 0x54 = D’84’ ifade eder. Park Freni Hava Tank basınç değerinin 8.4 bar olduğunu gösterir. Sebebi araç ekranında gösterilirken 10’a bölünmesidir.

7.Byte değeri 0x53 = D’83’ ifade eder. Aksesuar Hava Tank basınç değerinin 8.3 bar olduğunu gösterir. Sebebi araç ekranında gösterilirken 10’a bölünmesidir.

8.Byte değeri 0x48 = D’72’ ifade eder. Yakıt tankının yüzde olarak değerini ifade eder. Bu da tankın %72 dolu olduğunu gösterir.

Tez çalışmasında kullanılan tüm mesajlar yukarıdaki açıklama temel alınacak şekilde incelenebilir. Bu bölümdeki şekillerde araca ait ve kara kutuda kaydedilecek tüm veriler paylaşılmıştır. Bu verilerin ifade ettiği değerleri sadece sistemin tasarımcısı bilmektedir. Veriler standard CAN BUS mesajlarından oluşmamaktadır. Bu da sistemin güvenilirliğinin sağlanmasına yardımcı olmaktadır.



**Şekil 4.4.** Hava Basınç Sensörü Örneği [11]

Aşağıdaki tabloda, ticari araçlardaki kara kutu uygulamalarının genel olarak kaydettiği veriler ile zırhlı kara araçlarındaki verilerin karşılaştırması sunulmuştur. Bu karşılaştırmada, yalnızca kara kutuların birbirinden farklı özellikleri üzerinde durulmuştur.

**Tablo 4.2.** Veri Karşılaştırma Listesi

| Ticari Araç Kara Kutu Verileri | Zırhlı Kara Aracı Kara Kutu Verileri |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| Alkol Sensörü                  | Servis Fren Tankı 2 Hava Basıncı     |
| LiDAR                          | Park Fren Tankı Hava Basıncı         |
| Göz Kırpma Sensörü             | Aksesuar Tankı Hava Basıncı          |
| Emniyet Kemer Sensörü          | Dikey Eğim Değeri                    |
| X                              | Yatay Eğim Değeri                    |
| X                              | Motor Yağ Basıncı                    |
| X                              | Motor Çalışma Saati                  |

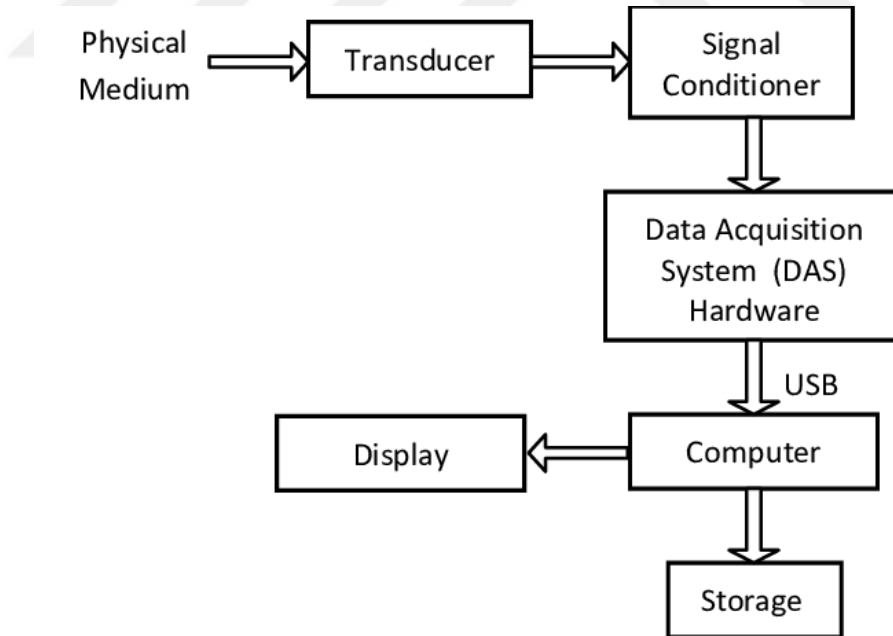
Yukarıdaki tablodan da görülebileceği gibi, ticari araçlara ait kara kutular daha çok kullanıcı ve trafik güvenliğine yönelik verilerin kaydedilmesi ve gerektiğinde araştırmalarda kullanılması üzerine odaklanırken, zırhlı kara araçlarına ait veriler ise daha çok operasyonel faaliyetlerin güvenilirliğinin sağlanması ve muhtemel sorunların önlenmesi amacıyla kayıt altına alınmaktadır.



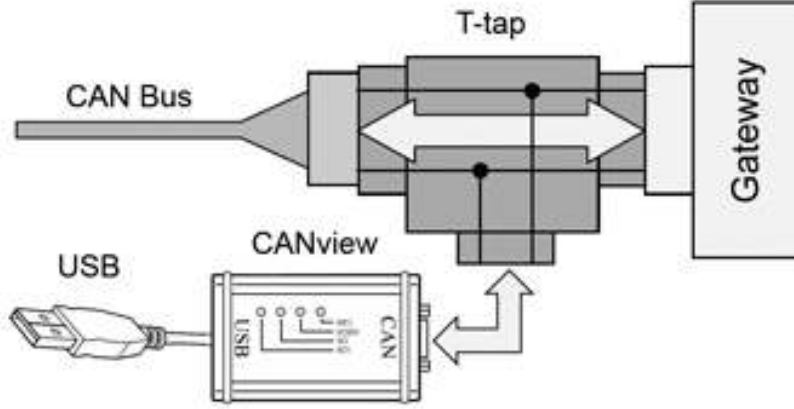
## 5. VERİ TOPLAMA (DATA ACQUISITION)

“Veri Toplama (Data Acquisition - DAQ), sensörler gibi çeşitli kaynaklardan veri toplama sürecidir ve sistemlerin geliştirilmesi, izlenmesi ve optimize edilmesine yardımcı olur. DAQ süreci, sensörlerden alınan analog sinyallerin dijital verilere dönüştürülmesini, ardından bu verilerin işlenmesi, depolanması ve analiz edilmesini içerir. DAQ sistemleri, araç geliştirme süreçlerinde temel bir role sahiptir; hem statik hem de dinamik test aşamalarında yüksek çözünürlüklü veri kaydına olanak tanıyarak tasarımların doğrulanması ve performansın optimize edilmesi sağlanır.[12]” Veri Toplama sistemleri, zırhlı kara araçlarının hem operasyonel performansını artırmak hem de görev sonrası analizlerde kullanılmak üzere güvenilir veriler sağlamaktadır. Bu sistemler, arıza tespiti, bakım planlaması ve kaza analizleri gibi kritik süreçleri destekleyerek, araçların güvenilirliğini ve etkinliğini artırmada hayati bir rol oynamaktadır.

Çıkış değerleri 4-20 mA, 0-5 V ve 0-100 k ohm olan sensörlerin çıkışları analog değerlerden dijital değerlere çevrilerek analiz ve depolama aksiyonları alınmaktadır. İleriki aşamalarda veri toplama adımları paylaşılmıştır.



Şekil 5.1. Veri Toplama Süreci Blok Şeması [13]



Şekil 5.2. T-tap cihazı ve USB CAN Arayüzü ile Ağ Geçidi [14]

## 5.1. Sensörlerden Veri Toplama

Sensör, fiziksel veya çevresel bir değişikliği algılayarak bu değişikliği bir kontrol sistemi veya veri işleme birimi tarafından işlenebilir hale getiren bir cihazdır. Örneğin, sıcaklık, basınç, hız gibi değişkenleri ölçmek için çeşitli sensör türleri kullanılabilir. Daha önce paylaşılmış olan Tablo 3.1 Veri Listesi'nde araçta kullanılan çeşitli sensör verileri paylaşılmıştır. Bu verilerin kaynağı olan sensörler de araç üzerinde oluşan çeşitli fiziksel değerleri ölçmek üzere tasarlanmıştır.

Araçlarda kullanılan sensörler için bazı örnekler ve çıkış değerleri aşağıda paylaşılmıştır. Bu örnekler üzerinden veri toplama şamaları açıklanmaya devam edecektir.

### 5.1.1. Kullanılan Sensörler

Zırhlı kara aracında kara kutu sistemi için veri toplama sürecinde çeşitli tipte sensörler kullanılmıştır. Bu sensörler, aracın farklı fiziksel ve çevresel parametrelerini sürekli olarak izleyip ölçebilmek amacıyla seçilmiştir. Ölçüm hassasiyeti ve dayanıklılığı yüksek, otomotiv ve savunma sektörüne uygun sensörler tercih edilmiştir. Kullanılan başlıca sensör türleri ve sistem üzerindeki işlevleri aşağıda özetlenmiştir:

#### 1) Basınç sensörü;

0-10 bar aralığındaki basınç değerini, lineer olarak 4-20 mA arasında değişen bir analog elektrik sinyaline dönüştürerek çıkış verir. AKB tarafından bu akım değeri ölçülür ve interpolasyon yöntemiyle minimum ve maksimum noktalar 0-10 bar aralığına eşitlenir. 4 mA'lık akım, tankın boş olduğunu; 20 mA'lık akım ise tankın 10 bar basınç ile tamamen

dolu olduğunu ifade eder. Sistem lineer olduğu için, örneğin 12 mA’lık bir akım, 5 bar hava basıncına karşılık gelir.

Teknik Avantajlar:

- Endüstriyel standard olan 4-20 mA çıkış sayesinde elektromanyetik parazitlere karşı dirençlidir ve uzun kablolarlarda sinyal bütünlüğü korunur.
- Akım sinyali kayıplara karşı daha güvenilirdir.

Uygulama Alanı:

- Araçlarda genellikle hava tankı, fren sistemi ya da süspansiyon hava basıncının izlenmesi amacıyla kullanılır.

## 2) Sıcaklık sensörü;

-50°C ile +150°C arasındaki sıcaklıkları, 0–100 kΩ aralığında direnç değerlerine dönüştürerek AKB tarafından okunmasını sağlar. 0 Ω direnç değeri -50°C’yi, 100 kΩ ise +150°C’yi temsil eder. Sensör ile hem iç-dış ortam sıcaklığı hem de araca ait sıvıların sıcaklıkları ölçülebilir. Sensörün bir ucu 24 V’a, diğer ucu ise 10 kΩ’luk seri bir direnç üzerinden toprağa bağlanarak voltaj bölücü elde edilir ve AKB bu voltajı ADC ile ölçer. 12 bitlik ADC, yaklaşık 0,005 V hassasiyetle voltajdaki değişiklikleri algılayabilir.

Teknik Avantajlar:

- Geniş sıcaklık aralığında çalışabilir, zorlu saha koşullarına uygundur.
- Yüksek çözünürlüklü ADC ile birlikte kullanıldığında küçük sıcaklık değişimleri bile algılanabilir.

Uygulama Alanı:

- Motor sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı, hidrolik veya soğutma sıvısı sıcaklığı gibi kritik parametrelerin izlenmesinde kullanılır.

$$\text{Ölçülebilir Hassasiyet} = \text{Referans Voltajı} / 2^{\text{ADC Bit Değeri}}$$

$$24\text{V} / 2^{12} = 0,005\text{V}$$

### 3) Yakıt seviye sensörü;

Şamandıranın minimum ve maksimum konumu arasında, 0–5 V arası bir analog elektrik sinyali çıkışı verir. 0 V, şamandıranın yakıtı ulaşmadığını (depo boş), 5 V ise yakıt deposunun tam dolu olduğunu gösterir.

Teknik Avantajlar:

- Analog çıkışı sayesinde farklı tip mikrodnetleyici sistemlerle kolayca entegre edilebilir.
- Yakıt seviyesinin sürekli ve gerçek zamanlı izlenmesine olanak tanır.

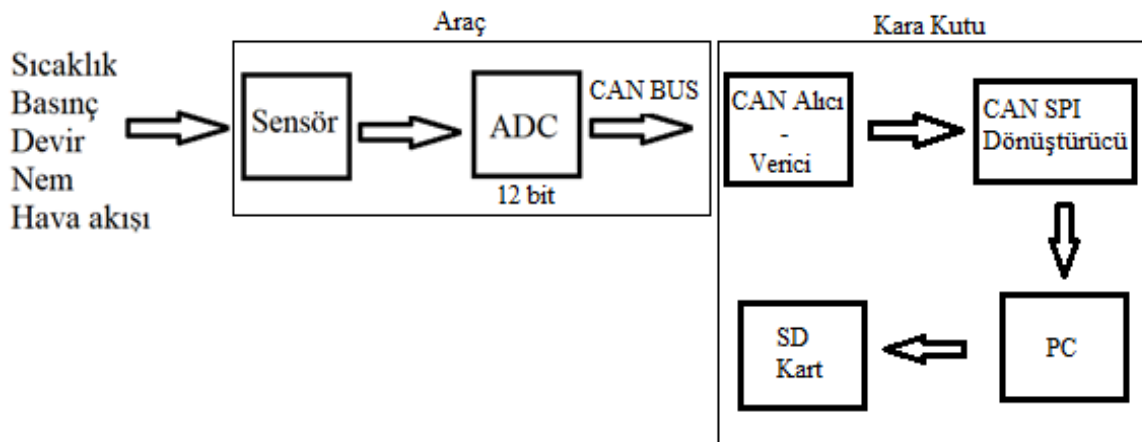
Uygulama Alanı:

- Araç yakıt deposu doluluk seviyesinin sürekli takibi ve gerektiğinde bakım planlaması için kullanılır.

**Tablo 5.1.** Sensör Karşılaştırma Tablosu

| Sensör Türü          | Ölçüm Aralığı                 | Çıkış Tipi          | Okuma Hassasiyeti   |
|----------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|
| Basınç Sensörü       | 0-10 bar                      | 4-20 mA analog akım | 12 bit ADC 5,860 µA |
| Sıcaklık Sensörü     | -50°C – +150°C                | 0 – 100 kΩ direnç   | 12 bit ADC, 0.005 V |
| Yakıt Seviye Sensörü | Min - Max (Yakıt Şamandırası) | 0 – 5 V analog      | 12 bit ADC 0.001 V  |

Aşağıdaki blok şemada fiziksel verinin elde edilmesi, işlenmesi, iletilmesi ve kara kutu aracılığı ile kaydedilmesine kadar olan süreç gösterilmiştir.



**Şekil 5.3.** Veri Toplama Süreci Blok Şeması

## 5.2. Verilerin İşlenmesi ve Analizi

Bu bölümde fiziksel ve dijital veriler hakkında bilgiler ve verilerin işleme süreci hakkında bilgiler verilmiştir.

### 5.2.1. Fiziksel Veri

Tez 4.1 Sensörlerden Veri Toplama bölümünde belirtildiği gibi sensörler analog datalar üretmektedir. Bu veriler ilk olarak dijital sinyallere dönüştürülmelidir. Bu sayede AKB tarafından veriler işlenebilir. Bu amaçla ADC (Analog to Digital Converter) kullanılmalıdır.

#### 5.2.1.1. ADC (Analog to Digital Converter)

“Modern elektronik sistemlerde, sinyal işleme ve depolama genellikle dijital alanda gerçekleştirilir. Ancak bu sistemlerin gerçek dünya ile arayüz oluşturabilmesi için analog sinyaller ile dijital sinyaller arasında dönüşümler gereklidir. ADC'ler, analog sinyalleri dijital sinyallere dönüştürerek bu gereksinimi karşılayan temel bileşenlerdir.[15]”

Araç üzerinde bulunan AKB 12 bit ADC donanımına sahiptir. Bu da referans değerinin  $2^{12}$  değerine bölünerek hassasiyet elde edilebileceği anlamına gelmektedir. ADC'nin çözünürlüğü, ölçülebilecek en küçük gerilim değişimini belirler. Örneğin, 12 bit ADC ve 24 V referans voltajı kullanıldığında, toplam 4096 farklı dijital değer üretilebilir. Bu durumda, ADC'nin ölçebileceği en küçük gerilim adımı (hassasiyet) aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\text{Ölçülebilir Hassasiyet} = \text{Referans Voltajı} / 2^{\text{ADC Bit Değeri}}$$

$$24\text{V} / 2^{12} = 0,005\text{V}$$

ADC'nin bit sayısı arttıkça, ölçüm hassasiyeti de artar. Farklı ADC çözünürlükleri ile elde edilen hassasiyet değerleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

**Tablo 5.2. ADC Hassasiyet Tablosu**

| ADC Bit Değeri | Referans Voltaj (V) | Ölçülebilir Hassasiyet (V) |
|----------------|---------------------|----------------------------|
| 8              | 24                  | 0,094                      |
| 10             | 24                  | 0,023                      |
| 12             | 24                  | 0,005                      |

Tablo 4.1. ADC Hassasiyet Tablosu üzerinden de görülebileceği üzere 12 bit bir ADC ile 0,001 V değişimler algılanabilmekte ve böylece sensör çıkışındaki her 0,001 V fiziksel değişim dijital sinyal olarak anlamlandırılabilir.

Bu çalışmada kullanılan AKB’de, otomotiv sektöründe yaygın olarak tercih edilen SAR (Successive Approximation Register) ADC mimarisi bulunmaktadır. SAR ADC’ler, yüksek çözünürlük ve düşük güç tüketimi avantajları sayesinde; araç içi sıcaklık, basınç, seviye gibi hassas sensör verilerinin güvenilir ve kararlı şekilde dijitalleştirilmesine olanak tanır. Bu yapı, otomotiv uygulamalarında hem doğruluk hem de enerji verimliliği açısından önemli avantajlar sunar.

Aşağıdaki tabloda ADC çeşitlerinin özellikleri özet halinde sunulmuştur.

**Tablo 5.3. ADC Karşılaştırma Tablosu**

| ADC Türü        | Avantajları                           | Dezavantajları                   | Yaygın Kullanım Alanı                |
|-----------------|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| SAR ADC         | Yüksek çözünürlük, düşük güç, kompakt | Flash’a göre yavaş               | Otomotiv, endüstri, mikrodenetleyici |
| Flash ADC       | Çok hızlı, anlık örnekleme            | Yüksek maliyet, düşük çözünürlük | Osiloskop, radar, hızlı veri toplama |
| Sigma-Delta ADC | Çok yüksek çözünürlük, düşük gürültü  | Düşük örnekleme hızı             | Ses işleme, hassas ölçümler          |

Tablo 5.3 ADC Karşılaştırma Tablosu incelendiğinde otomotiv alanında genellikle SAR ADC kullanıldığı görülebilir. En hızlı uygulamalar için ise Flash ADC, çok hassas ölçümler için Sigma-Delta ADC tercih edilir.

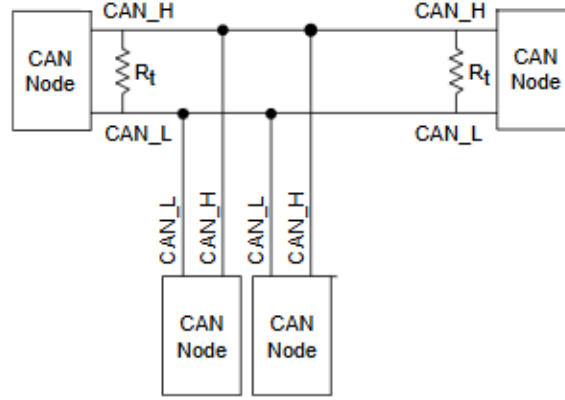
Tüm sensör verilerinin elde edilmesi ve ADC’ler ile dijital değerlere çevrilmesinin ardından veri işleme süreci başlamaktadır.

### 5.2.2. Dijital Veri

Tezin bu bölümünde çalışmaya ait dijital verilerin iletim detayları ve CAN BUS yapısının özellikleri hakkında bilgiler paylaşılacaktır.

#### 5.2.2.1. CAN BUS Yapısı

Bu kapsamda, tez çalışmasının odak noktasını, araç üzerinde elde edilen ve 5.2.1 Fiziksel Veri bölümünde paylaşılan fiziksel verilerin AKB tarafından kara kutu sistemine iletilmesinde kullanılan CAN Bus mimarisi oluşturmaktadır. “CAN Bus (Controller Area Network), 1980'lerde Bosch tarafından geliştirilen bir seri haberleşme protokolüdür. Bu protokol, sensörler, aktüatörler, kontrol birimleri ve diğer düğümler arasında gerçek zamanlı, etkin ve güvenilir bir iletişim sağlar. Başlangıçta araç endüstrisinin ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmış olsa da günümüzde endüstriyel otomasyon, medikal ekipmanlar ve gömülü kontrol sistemleri gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. CAN Bus, yüksek hızlı veri aktarımı gerektiren emniyet ve çevre standartlarını karşılayan modüller ile daha düşük hızlı verilere ihtiyaç duyan modüllerin aynı ağda bulunmasına olanak tanır. Bu çeşitlilik nedeniyle ağın izlenmesi ve test edilmesi önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Bu ihtiyaca yanıt olarak geliştirilen sistemler, USB gibi teknolojiler kullanılarak, araç ağlarının daha hızlı, etkili ve pratik bir şekilde test edilmesini sağlamaktadır [16].” “CAN Bus sistemi, iki farklı gerilim seviyesine sahip hat üzerinden çalışan bir diferansiyel iletişim protokolüdür. Fiziksel katmanında genellikle diferansiyel bükümlü çift kablolar kullanılmakta olup, iki hat bulunmaktadır: CANH (yüksek seviye) ve CANL (düşük seviye). Bu iki hat arasındaki gerilim farkı, diferansiyel gerilim ( $V_{diff}$ ) olarak tanımlanır ve iletişim bu gerilim farkı aracılığıyla gerçekleşir. CAN protokolünde veri aktarımı, mesaj önceliğini belirleyen tanımlayıcı (identifier) içeren mesajlarla sağlanmakta olup, bu öncelik mekanizması sayesinde veri yolu üzerindeki çakışmalar etkin bir şekilde yönetilmektedir. Protokol, döngüsel artıklık kontrolü (CRC) ve hata yönetim mekanizmalarını içererek güvenilir ve hata toleranslı veri iletimi sağlar. Ayrıca çoklu-master (multi-master) mimariye sahiptir; yani ağ üzerindeki her düğüm hem verici hem de alıcı olarak görev yapabilmektedir. Veri iletişim hızı ise tipik olarak 1 Mbps'ye kadar çıkabilir ve koaksiyel kablo ya da optik fiber gibi alternatif iletim ortamları da kullanılabilir.[17]”.



Şekil 5.4. Araç CAN BUS Topografyası [18]

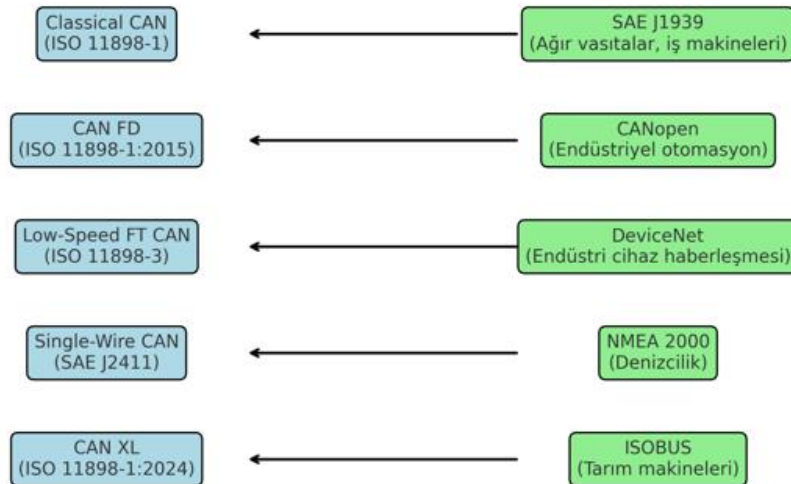
5 çeşit CAN Bus yapısı bulunmaktadır:

- 1) Classical CAN (ISO 11898-1): 1986 yılında Bosch tarafından geliştirilen ve 1 Mbps'ye kadar veri iletim hızına sahip temel CAN standardıdır. 11-bit (standard) veya 29-bit (extended) tanımlayıcı (identifier) desteği bulunmakta olup maksimum 8 bayt veri alanı ile çalışır. Günümüzde otomotiv ve endüstriyel otomasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.
- 2) CAN FD (Flexible Data Rate, ISO 11898-1:2015): Classical CAN ile geriye dönük uyumlu olacak şekilde geliştirilmiş olup, veri alanında 2–8 Mbps (bazı uygulamalarda 12 Mbps) hızlara ulaşabilir ve 64 bayta kadar veri iletebilir. ECU'lar arası yüksek hacimli veri transferi gereken otomotiv, ağır vasıta ve savunma sanayi uygulamalarında tercih edilmektedir.
- 3) Low-Speed/Fault-Tolerant CAN (ISO 11898-3): 125 kbps'ye kadar veri iletim hızı sunar ve tek hat koptuğunda dahi haberleşmeyi sürdürebilme özelliğine sahiptir. Gövde elektroniği(Body Control Module – BCM) uygulamalarında yaygındır.
- 4) Single-Wire CAN (SAE J2411): Tek iletken üzerinden 33.3 kbps (normal mod) veya 83.3 kbps (hızlı mod) veri iletimi sağlar. Özellikle maliyetin kritik olduğu gövde elektroniği uygulamalarında, örneğin General Motors araçlarında kullanılır.
- 5) CAN XL (ISO 11898-1:2024 taslağı): 20 Mbps ve üzeri veri hızları ile 2048 bayta kadar veri iletimine olanak tanır. Otonom sürüş sistemleri ve yüksek bant genişliği gerektiren uygulamalar için geliştirilmiştir.

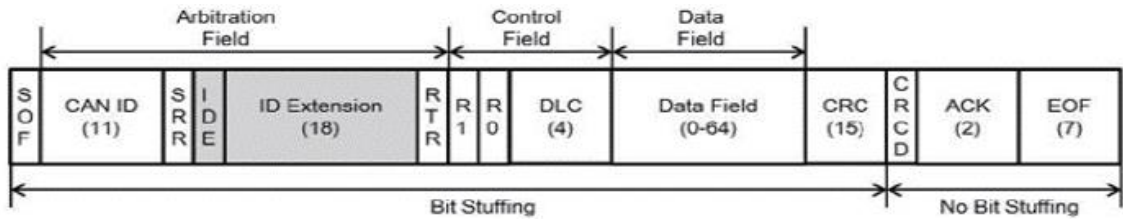


**Tablo 5.4.** CAN BUS Karşılaştırma Tablosu

| CAN Türü             | Standard         | Maks. Veri Hızı  | Maks. Veri Uzunluğu | Özellikler                                        | Tipik Kullanım Alanları                 |
|----------------------|------------------|------------------|---------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Classical CAN        | ISO 11898-1      | 1 Mbps           | 8 byte              | Temel CAN standardı, 11/29-bit ID                 | Otomotiv, endüstri                      |
| CAN FD               | ISO 11898-1:2015 | 8–12 Mbps        | 64 byte             | Yüksek hızlı veri iletimi, geriye dönük uyum      | ECU, savunma                            |
| Low-Speed FT CAN     | ISO 11898-3      | 125 kbps         | 8 byte              | Tek hat arızasında çalışabilme (fault-tolerant)   | Gövde elektroniği                       |
| Single-Wire CAN      | SAE J2411        | 33.3 / 83.3 kbps | 8 byte              | Tek tel ile iletişim, düşük maliyet               | Gövde elektroniği                       |
| CAN XL               | ISO 11898-1:2024 | 20 Mbps+         | 2048 byte           | Yüksek bant genişliği, yeni nesil CAN             | Otonom araç sistemleri                  |
| Generic CAN (11-bit) | ISO 11898-1      | 1 Mbps           | 8 byte              | Sabit 11-bit ID yapısı, 2048 farklı mesaj kimliği | Kara kutu sistemleri, otomotiv, savunma |

**Fiziksel Katman (Physical Layer)****Uygulama Katmanı (Application Layer)****Şekil 5.5.** CAN Bus Fiziksel ve Uygulama Katmanı İlişkisi

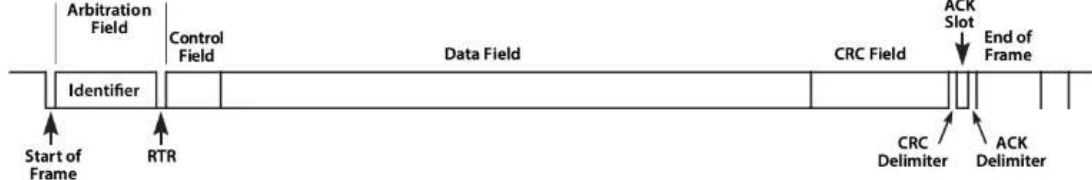
Bu tezde geliştirilen kara kutu uygulamasında, CAN Bus'ın esnek ve güvenilir yapısı hem veri bütünlüğünün korunmasında hem de aracın farklı alt sistemleri arasında yüksek hızda iletişimin sağlanmasında önemli rol oynamıştır. Teze konu olan araçta Klasik CAN SAE J1939 CAN BUS standard yapısı kullanılmaktadır. “SAE J1939 protokolü, araç iletişimde kullanılan CAN (Controller Area Network) 2.0B yapısına dayanan, standardlaştırılmış bir araç haberleşme protokolüdür. Bu protokol, özellikle ağır hizmet araçlarında kullanılan ve ISO 11898 standardına uygun olarak 29-bit genişletilmiş tanımlayıcıya sahiptir. SAE J1939, OSI referans modelindeki yedi katmandan beşini (fiziksel, veri bağlantı, ağ, taşıma ve uygulama katmanları) kapsayarak CAN protokolünün fiziksel ve veri bağlantı katmanlarını içerir. CAN 2.0B ise temel olarak mesaj önceliklendirmesini sağlayan 29-bit genişletilmiş tanımlayıcı (extended identifier) içerir. J1939 paket yapısı; öncelik (Priority), rezerv bitleri, veri sayfası (DP), protokol veri birimi formatı (PF), PDU-spesifik bilgisi ve kaynak adresinden oluşmaktadır. Bu yapı, farklı sensör ve kontrol ünitelerinden gelen verilerin etkin ve güvenilir şekilde iletilmesine olanak sağlar [19]”. Tüm bu bilgilerden çıkarılabilecek özet bilgisinin CAN BUS yapısının yüksek hata toleranslı, hızlı ve efektif bir haberleşme yapısı olduğu görülebilir. Bu sebeple çoğu askeri, ticari ve ağır sınıf araç CAN BUS yapısını araç içi iletişim yöntemi olarak kullanmaktadır.



Şekil 5.6. J1939 CAN BUS Mesaj Yapısı [19]

Çalışma kapsamında, CAN Bus mesajlarının güvenliği de önemli bir odak noktası olmuştur. Özellikle, veri iletiminde kullanılan CAN Kimliği ve Veri Alanı gibi parametrelerin özelleştirilmesiyle mesajların üçüncü şahıslar tarafından analiz edilmesi zorlaştırılmıştır. Şekil 5.5'ten görülebileceği üzere mesajlarda tanımlı bir CAN ID (CAN Kimliği) ve bununla beraber Data Field (Veri Alanı) bulunmaktadır. Araç üzerindeki ekipmanlar SAE J1939 standardı ile haberleşirken tüm mesaj ve veriler de AKB tarafında incelenmektedir. Bu mesajlar daha sonra 11 bit standard CAN yapısı ile çalışma özelinde tasarlanan kara kutu ekipmanında kullanılmak üzere CAN Kimliği ve Veri Alanı bir standarda tabi tutulmadan (CAN mesaj yapısına uygun fakat 3. Kişilerin tanımlayamayacağı bir yapı) sadece ilgili tasarımcı personel bilgisi ile yeniden şekillendirilmiştir. Böylece

standard kalıpların dışında oluşturulan bu mesajlar sadece alıcı – verici arasında anlam kazanmaktadır. Bu sayede CAN kimliğinin hangi cihazı ve veri alanının hangi mesajı taşıdığı bilinemeyecektir. Mesajları çözümlmek ancak CAN kimliği ve veri Alanı bilgilerine sahip olunarak mümkün olacaktır. Bu da veri güvenliği açısından alınmış somut aksiyonlardan biri olarak görülebilir.



Şekil 5.7. Standard CAN BUS Mesaj Yapısı [20]

Tablo 5.5. Generic CAN ve SAE 1939 CAN Karşılaştırması

| Özellik              | Generic CAN (11-bit)        | SAE J1939 (29-bit)                         |
|----------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|
| Temel Standard       | ISO 11898-1                 | ISO 11898-1 + SAE J1939                    |
| Çerçeve Türü         | Standard Frame Format (SFF) | Extended Frame Format (EFF)                |
| Tanımlayıcı Uzunluğu | 11-bit                      | 29-bit                                     |
| Max Mesaj Kimliği    | 2.048                       | 536 milyon+                                |
| Adresleme Yöntemi    | Doğrudan ID ile             | PGN + Kaynak Adresi                        |
| Kullanım Alanı       | Otomotiv, basit ağlar       | Ağır vasıta, iş makineleri, tarım araçları |

İki yapı arasındaki temel fark, SAE J1939 standardında kullanılan 18 bitlik uzatılmış tanımlayıcı (ID Extension) alanıdır. Bunun yanı sıra, SAE J1939 standardı belirli bir adresleme yapısına sahip olduğundan, özel tanımlayıcı yapılarının kullanılmasına izin vermez.

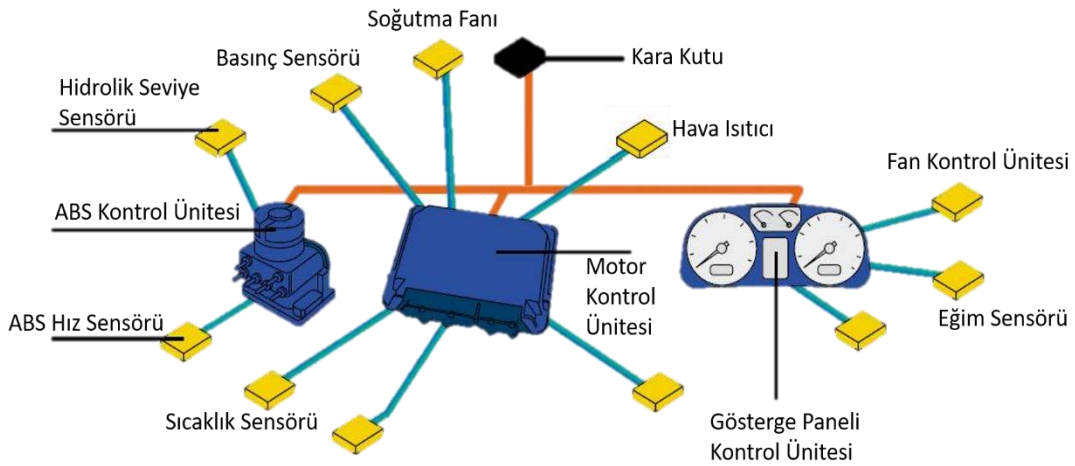
#### 5.2.2.2. Kara Kutu CAN BUS Yapısı

Veri güvenliğinin artırılması amacıyla, bu projede klasik 29-bit yerine Klasik CAN 11-bit generic frame (genel çerçeve) yapısı tercih edilmiştir. Böylece, iletilen mesajların sadece tasarımı bilen kişilerce çözümlenebilmesi ve araç içi veri trafiğinin dış müdahalelere karşı korunması hedeflenmiştir. AKB tarafından toplanan veriler 11 bitlik genel çerçeve bir fiziksel CAN Bus hattına taşınmıştır. “11 bit generic CAN yapısı, verileri belirli adreslere

göndermek yerine yayın mantığıyla tüm düğümlere ulaştıran bir iletişim protokolüdür. Her mesajın içeriği, açık bir adresleme olmaksızın, mesajın kendisine ait kimliğini belirler. Veri çerçevesi (data frame), en sık kullanılan mesaj türü olup, arbitraj alanıyla mesaj önceliklendirmesini sağlar. Mesajın faydalı yük boyutu maksimum 94 bittir ve mesajların önceliği, mesaj kimliğine göre belirlenir [20].”

Buradaki amaç oluşturulacak yeni CAN Bus hattı ile mesajın CAN Kimliği ve Veri Alanı’nın herhangi bir evrensel standarda ya da alışlagelmiş mesaj tiplerine uymaktan ziyade tamamen gizlilik esasına dayanarak münferit olarak oluşturulmuş olmasıdır. Araç içi haberleşme 29-bit standard olması ve mesaj altyapısının evrensel olması sebebiyle bu projede kullanılmamış, mesajlaşmanın özelleştirilmesi amacıyla 11-bit standard CAN mesajlaşma altyapısı kullanılmıştır. Bu sayede tespit mesajlar tespit edilmiş olsa bile deşifre edilemeyecek ve veri güvenliği sağlanmış olacaktır.

Aşağıdaki şekilde CAN Bus haberleşme ağının dahil olduğu araç elektronik yapısı tarif edilmiştir. Sarı renkli kutu ile resmedilen sensörlerden gelen veriler mavi renkli üniteler tarafından okunmaktadır. Tüm bu üniteler turuncu renk ile çizilmiş CAN Bus yapısı ile kara kutuya bağlı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Araç Elektronik Yapısı Şeması

|   | name                  | type  | byte | bit pos | bit len | endian | mul | div | add | init | bit mask |
|---|-----------------------|-------|------|---------|---------|--------|-----|-----|-----|------|----------|
| 0 | RPM                   | UINT  | 0    | 0       | 16      | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 0 1      |
| 1 | Speed                 | USINT | 2    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 2        |
| 2 | ServiceBrakeAirPress1 | USINT | 3    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 3        |
| 3 | ServiceBrakeAirPress2 | USINT | 4    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 4        |
| 4 | ParkBrakeAirPress     | USINT | 5    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 5        |
| 5 | AccessoryAirPress     | USINT | 6    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 6        |
| 6 | FuelLevel             | USINT | 7    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 7        |
| * |                       |       |      |         |         |        |     |     |     |      |          |

Şekil 5.9. X401h CAN Mesajı Byte – Bit Görseli

|   | name               | type  | byte | bit pos | bit len | endian | mul | div | add | init | bit mask |
|---|--------------------|-------|------|---------|---------|--------|-----|-----|-----|------|----------|
| 0 | TransOilTemp       | USINT | 0    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 0        |
| 1 | EngineOilPress     | USINT | 3    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 3        |
| 2 | EngineTempScreen   | USINT | 4    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 4        |
| 3 | Roll               | INT   | 5    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 5        |
| 4 | Pitch              | INT   | 6    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 6        |
| 5 | CurrentGear        | USINT | 7    | 0       | 4       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 7        |
| 6 | CenterDiffLock_ind | BOOL  | 7    | 4       | 1       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 7        |
| 7 | RearDiffLock_ind   | BOOL  | 7    | 5       | 1       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 7        |
| 8 | FrontDiffLock_ind  | BOOL  | 7    | 6       | 1       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 7        |
| 9 | Approval_Msg       | BOOL  | 7    | 7       | 1       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 7        |
| * |                    |       |      |         |         |        |     |     |     |      |          |

Şekil 5.10. X402h CAN Mesajı Byte – Bit Görseli

|   | name        | type  | byte | bit pos | bit len | endian | mul | div | add | init | bit mask |
|---|-------------|-------|------|---------|---------|--------|-----|-----|-----|------|----------|
| 0 | Kilometer   | UDINT | 0    | 0       | 24      | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 0 1 2    |
| 1 | EngineHours | UDINT | 3    | 0       | 24      | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 3 4 5    |
| 2 | TripCounter | UDINT | 6    | 0       | 16      | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 6 7      |
| * |             |       |      |         |         |        |     |     |     |      |          |

Şekil 5.11. X403h CAN Mesajı Byte – Bit Görseli

|   | name              | type | byte | bit pos | bit len | endian | mul | div | add | init | bit mask |
|---|-------------------|------|------|---------|---------|--------|-----|-----|-----|------|----------|
| 0 | Roll_500          | INT  | 0    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 0        |
| 1 | Pitch_500         | INT  | 1    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 1        |
| 2 | Roll_Image_500    | INT  | 2    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 2        |
| 3 | Pitch_Image_500   | INT  | 3    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 3        |
| 4 | Roll_Percent_500  | INT  | 4    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 4        |
| 5 | Pitch_Percent_500 | INT  | 5    | 0       | 8       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 5        |
| 6 | HNL               | INT  | 6    | 0       | 2       | LE     | 1   | 1   | 0 0 |      | 6        |
| * |                   |      |      |         |         |        |     |     |     |      |          |

Şekil 5.12. X405h CAN Mesajı Byte – Bit Görseli

Yukarıdaki şekillerde araca ait CAN Bus mesajlarının ID ve mesaj içerikleri byte-bit olarak bölünmüş şekilde görülebilir.

## 6. DONANIM TASARIMI

Çalışmanın bu bölümünde kara kutu çalışmasına ait donanım tasarım fazı açıklanacaktır.

### 6.1. Veri Depolama ve İletim

Bu kara kutu projesinde toplanan tüm veriler kara kutu sistemine dahil olan tek kartlı bilgisayar üzerindeki standard SDC (Güvenli Dijital Kart) aracılığı ile kaydedilmektedir. “SD Kartlar 2000 yılında tanıtılmıştır. MMC kartları temel almışlardır. Ortalama olarak 15-20 mb/s veri transferi hızına sahiptirler. 8 GB veri kapasitesine sahip olabilirler [21]”. Güncel SD Kart’lar daha yüksek veri kaydetme kapasitesine sahiptir. Projede kullanılan SD Kart 32 GB veri kaydetme kapasitesine sahiptir. Bu kapasiteyi artırmak mümkün değildir. Kullanılan bilgisayar maksimum 32 GB SD kart desteklemektedir. Bu hafızanın 30 GB kadarlık kısmı depolamaya uygundur. Sistemin maksimum veri yazma hızının 250 kb/s olması sebebi ile 30 GB hafıza kullanımı ile 286 saatlik veriyi kaydetmek mümkündür. Kapasite dolumu sonrası en eski veri silinerek yeni veriye yer açılmaktadır. Burada paylaşılmış olan süre maksimum veri yazımı olması dahilinde hesaplanmış olan minimum veri kayıt süresidir. Tüm mesajlar 100 ms aralıklarla kaydedilmektedir. Araçta en hızlı değişen veri araç hızıdır ve araç hızı değişimleri, araç tarafında 100 ms üzeri periyotlarla ölçülmektedir. Bu sebeple veri kaybı yaşanmamaktadır fakat sürekli kayıt, sınırlı kapasitenin verimli kullanımını engellemektedir. Sistemin sadece veri değiştiğinde değişimi kaydedecek şekilde optimize edilmesi daha sağlıklı olan yöntem olacaktır.

Araçta depolanan veriler araca fiziksel olarak bağlanarak elde edilebileceği gibi verilere GSM alt yapısı ve araca entegre GSM anteni aracılığı ile canlı olarak veya istenen durumlarda uzaktan bağlanarak verileri elde etmek mümkündür. “GSM ağ mimarisi üç temel bileşenden oluşur: Mobil İstasyon (MS), baz istasyonu alt sistemi (BSS) ve ağ alt sistemi (NSS). Baz istasyonu alt sistemi (BSS), baz alıcı-verici istasyon (BTS) ve baz istasyonu kontrolöründen (BSC) meydana gelir. BTS, radyo alıcı-verici üniteleri içerir ve hücresel yapıyı tanımlayarak mobil istasyonlar ile radyo bağlantısı sağlar. BSC, birden fazla BTS'in radyo kaynaklarını yönetir; kanal kurulumu, frekans atlaması ve hücreler arası geçiş (handover) işlemlerini gerçekleştirir ve mobil istasyon ile mobil anahtarlama merkezi (MSC) arasında bağlantıyı sağlar. MSC, genel telefon şebekesine (PSTN/ISDN) ağ geçidi olarak

çalışır ve mobil kullanıcıların kayıt, kimlik doğrulama, konum güncelleme gibi fonksiyonlarını yönetir. Uluslararası dolaşım ve çağrı yönlendirme işlemleri ise MSC ile birlikte çalışan Ev Konum Kaydı (HLR) ve Ziyaretçi Konum Kaydı (VLR) veri tabanları tarafından gerçekleştirilir [22]”.

Kara kutu projesinde araç ve karargâh arası haberleşmeyi sağlamak için GSM alt yapısı kullanılmıştır. Kablosuz ve etkili bir haberleşme biçimi olan GSM alt yapısı sayesinde operasyon alanında veriler canlı olarak karargâh / komuta merkezi ile paylaşılabılır durumda olmuştur. Bununla beraber araca uzaktan müdahale mümkün kılınmıştır.

**Tablo 6.1.** GSM Avantaj / Dezavantaj Karşılaştırma Tablosu

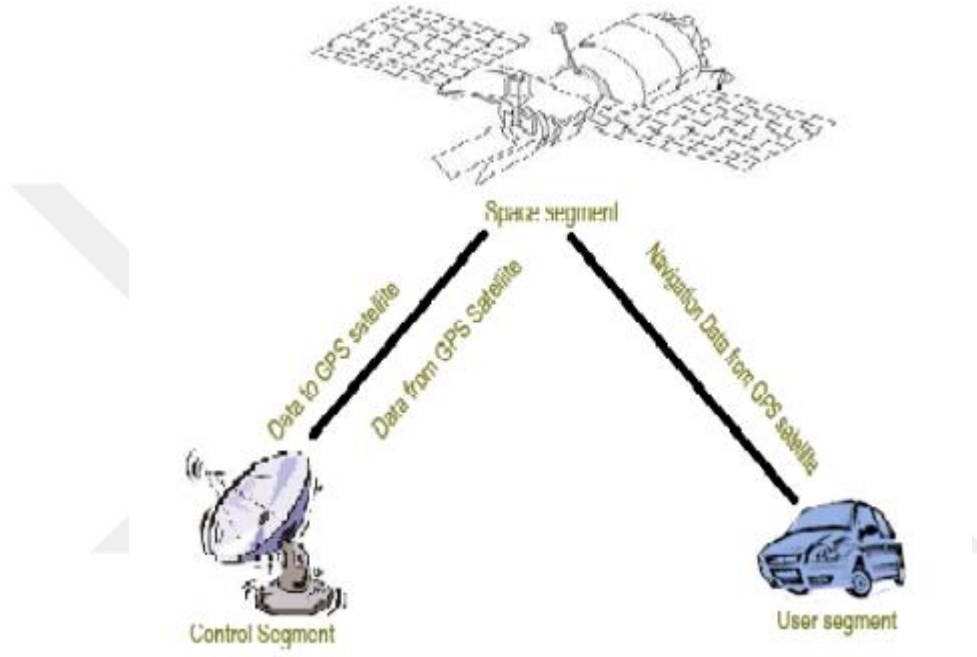
| No | GSM Avantaj                  | GSM Dezavantaj                           |
|----|------------------------------|------------------------------------------|
| 1  | Yaygınlık ve Erişilebilirlik | Sinyal Kayıpları ve Bağlantı Problemleri |
| 2  | Gerçek Zamanlı Veri İletimi  | Veri Güvenliği ve Gizlilik               |
| 3  | Kolay Entegrasyon            | İletim Hızı Kısıtlaması                  |
| 4  | Uzaktan İzleme ve Müdahale   | -                                        |

Tablo 6.1 GSM Avantaj / Dezavantaj Karşılaştırma Tablosu ile görülebileceği üzere GSM alt yapısı projeye önemli katkılar sağlayabilecek avantajlara sahiptir. GSM alt yapısının getirdiği dezavantajlar için aşağıdaki önlemleri almak mümkündür.

- 1) Sinyal Kayıpları ve Bağlantı Problemleri: Sinyal kayıpları ile mücadelenin en önemli unsuru verimli bir antene sahip olmaktır. Bununla birlikte server ile haberleşme olmaması durumunda aktarılmayan verileri tekrar yollamak mümkündür.
- 2) Veri Güvenliği ve Gizlilik: Tezin 4.2.2 Dijital Veri bölümünde paylaşıldığı üzere veriler bu verileri tasarlayanlar haricinde anlamsızdır fakat yerli uydu kullanımı bu verilerin de ele geçirilmemesi konusunda önemli bir adımdır.
- 3) İletim Hızı Kısıtlaması: Proje esnasında transfer edilen veriler sadece mesaj içeren .txt uzantılı metin belgeleridir. Aşağıda Tablo 4.X. 4G/LTE Ağ Yapısı Karakteristik Özellikleri ile 4G/LTE GSM altyapısı ile veri transfer hızı ve karakteristiği paylaşılmıştır. Projede iletilen veriler maksimum 250 kbps hacim gerektirirken 4G/LTE altyapısının bu hacmin çok üzerinde olduğu görülebilir.

**Tablo 6.2.** 4G/LTE Ağ Yapısı Karakteristik Özellikleri [23]

| No | Sistem Özelliği     | Performans          |
|----|---------------------|---------------------|
| 1  | Yüksek Veri Hızı    | 15 Mbps ~ 100 Mbps  |
| 2  | Düşük Gecikme       | 20 ms ~ 40 ms       |
| 3  | Yüksek Hareketlilik | 300 km/h ~ 500 km/h |



**Şekil 6.1.** GSM Haberleşme Alt Yapısı [24]

## 6.2. Uzaktan Kontrol

Tezin 6.1 bölümünde bahsedildiği üzere GSM alt yapısı ile çift yönlü bir haberleşme sağlanmaktadır. Araç verileri alıcı birimine aktarılırken alıcının da araca komut yollaması mümkündür. Karargâh monitörü üzerinden araca ait verilerin izlenmesinin mümkün olmasının yanı sıra aynı monitör üzerinden araca komut verilebileceğini göstermek üzere bir barut atma fanı çalıştırma senaryosu hazırlanmıştır. Karargâh monitörü tasarımı tezin ilerleyen bölümlerinde açıklanacaktır.

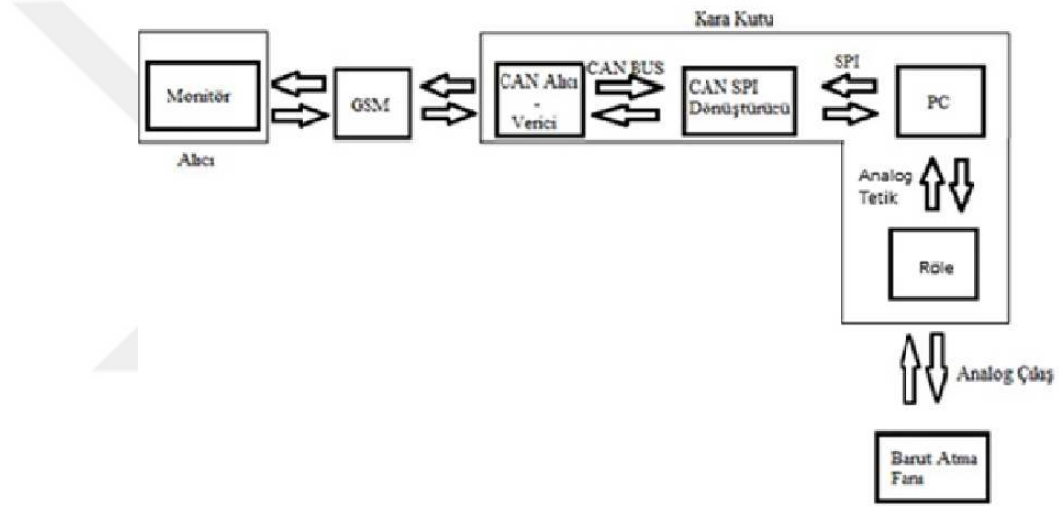
Aşağıdaki şekilde karargâh monitöründen gelen “Barut Atma Fanı Açma” komutunun araca geldikten sonra işlenerek “Barut Atma Fanı Aktif” geri bildirimi yollaması ve bildirimin karargâh tarafından alınması arasında geçen süre paylaşılmıştır. Karargâh monitöründe bulunan ve değeri “400” olarak görülen ifade 400 ms olan süreyi ifade



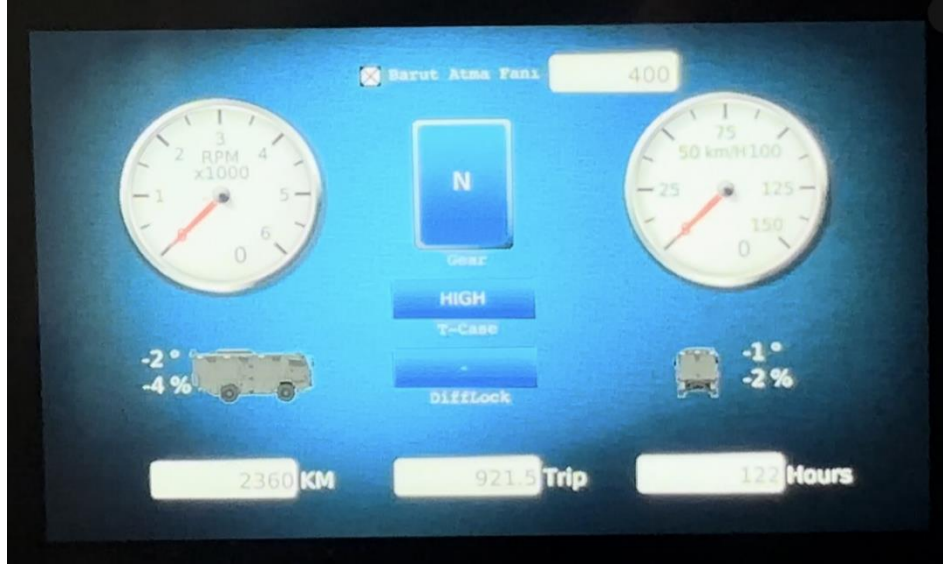
etmektedir. Bu sayaç barut atma fanı etkinleştirme butonuna basılması ile başlar ve aracın geri bildirimin gelmesi ile sona erer.

Barut atma fanı zırhlı araçların içinde bulunan ve çatışma sırasında araç içinde ortaya çıkan barut kokusu ve dumanının tahliye edilmesini sağlayan bir sistemdir. Çatışma esnasında bu fanı açmak için yeterli zaman bulunmayabilir. Bu sisteme, uzaktan çalışma fonksiyonu kara kutu projesi ile hayata geçirilmiştir. Barut atma fanı gücünü KKEDK üzerinde bulunan röle çıkışından alır. Böylece araç AKB'den bağımsız olarak karargâh üzerinde bulunan monitör üzerinden bir müdahale gerekmesi halinde uzaktan çalıştırılabilir.

Aşağıdaki şekil ile barut atma fanı çalıştırma senaryosu blok şema halinde sunulmuştur.



Şekil 6.2. Barut Atma Sistemi Uzaktan Kontrol Blok Şeması



Şekil 6.3. GSM Haberleşme Alt Yapısı ile Barut Atma Fanı Gecikme Süresi

Şekil 6.3 barut atma fanının aktif edildiğini ve komut verilmesi ile barut atma fanı aktif bildirimi yapılması aksiyonunun toplam süresinin 400 ms olduğunu gösterir.

### 6.3. Elektronik Devre Kartı Tasarımı (KKEDK)

Bu tez çalışmasında, zırhlı kara araçlarına yönelik kara kutu sisteminin elektronik donanım tasarımları için Altium Designer yazılımı kullanılmıştır. Altium Designer, elektronik devrelerin şematik diyagramlarının çizilmesi, PCB (Baskılı Devre Kartı) tasarımlarının yapılması ve tasarlanan kartların 3 boyutlu modellerinin oluşturulması gibi kapsamlı özelliklere sahip profesyonel bir elektronik tasarım yazılımıdır. Kara kutu sisteminin elektronik devreleri öncelikle Altium Designer kullanılarak şematik olarak tasarlanmış, ardından PCB üzerinde gerekli bileşenlerin optimum şekilde yerleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Tasarımların donanımsal doğruluğu, bağlantıların güvenilirliği ve aracın mekanik yapısıyla uyumu, yine Altium Designer'ın 3 boyutlu görselleştirme özelliğiyle test edilip doğrulanmıştır. Böylece, kara kutu sisteminin elektronik altyapısının üretim öncesinde doğruluğu ve araç üzerindeki uygulanabilirliği garanti altına alınmıştır. Bu yöntem, zırhlı kara araçlarının güvenlik ve performans verilerinin hassas bir biçimde toplanmasına olanak sağlayan kara kutu sisteminin güvenilirliğini ve etkinliğini önemli ölçüde artırmıştır.

KKEDK 2 katmandan oluşan bir baskılı devre kartına sahiptir. 125X105 mm ölçülerinde tasarlanan kartın güç yönetimi ve algoritma koşma bölümleri fiziksel olarak

birbirlerinden uzak tutularak olası gürültülerin önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Kart 4 bölümden oluşur.

### 1) Güç Yönetimi Bölümü

Kartın bu bölümünde 24 VDC – 5 VDC çevrimi gerçekleştirilmektedir. Kart 5 A sigorta ile korunmaktadır. 5 VDC ile PC çalışmaktadır. J1 konnektöründen çıkan hatlar ile 24 VDC kontrol ledi, 5 VDC kontrol ledi ve 3.3 VDC kontrol ledi yanar. Böylece cihaz kutusu açılmadan tüm sistemlerin aktif olduğunun veya arızalı birim tespiti yapılabilir.

### 2) İşlemci Bölümü

Kartın bu bölümünde 4.3.1 başlığı altında açıklanan ve PC'nin SPI – CAN BUS haberleşmesi yapabilmesi için gerekli donanımlar bulunmaktadır. Bu donanımlar ile SPI protokolü verileri CAN BUS hattına alınır ve ardından CAN mesajlarına dönerek araca yayınlanır. Bu sürecin tam tersi olan süreç de bu bölümde işletilmektedir.

### 3) Giriş Sinyali Bölümü

Kartın bu bölümünde 24 VDC giriş sinyali voltaj bölücü ile 1/10 seviyesine düşürülür. Böylece 2,4 VDC seviyesindeki sinyal, referans voltajı 3.3 VDC olan ve 1.5 VDC sinyalleri mantıksal “1” olarak gören PC zarar görmeden giriş sinyallerini algılayabilir. Böylece kara kutu birimi dışarıdan giriş sinyalleri alma yeteneğine sahip olur.

### 4) Çıkış Bölümü

Kartın bu bölümünde kartın sahip olduğu referans voltaj olan 3.3 VDC ile tetiklenen transistörler kart üzerinde bulunan röleleri tetikleyerek gerekli durumlarda kullanılmak üzere yüksek güç sağlamak üzere hazır olan 24 VDC voltajın araç üzeri ekipmana iletilmesini sağlar. Örnek olarak projede kullanılan barut atma fanı buradan beslenmektedir. Kalan 3 röle uzaktan komuta ile flaşör sistemini tetiklemek, araç içi iklimlendirme sistemini aktif etmek ve aracın merkezi kilit sistemini devreye almak için kullanılabilir.

**Tablo 6.3.** Tez Çalışmasında Kullanılan Donanım Listesi

| No | Donanım                          | Görev                                           |
|----|----------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1  | SBC                              | Yazılım senaryolarını koşturmak                 |
| 2  | Kara Kutu Elektronik Devre Kartı | Araçla olan iletişimi sağlamak                  |
| 3  | GSM Haberleşme Sistemi           | Araç ve karargâh arası iletişimi kurmak         |
| 4  | Karargâh Monitörü                | Araç bilgilerini canlı olarak görselleştirmek   |
| 5  | Karargâh Bilgisayarı             | Araç bilgilerini canlı grafik halinde göstermek |

#### 6.4. Komponent Listesi

Bu tez çalışmasında tasarlanan Kara Kutu Elektronik Kartı endüstriyel piyasada sorunsuzca tedarik edilebilen bir tek kartlı bilgisayara zırlı kara aracı CAN Bus mimarisi ile haberleşme olanağı sağlayan bir donanım olarak geliştirilmiştir. Böyle savunma sanayisi için özel olarak tedarik edilmesine ihtiyaç duyulmayan bir donanım zırlı bir araca entegre edilebilir hale gelmiştir.

Aşağıda Kara Kutu Elektronik Devre Kart'ına ve kutu tasarımına ait komponent listesi paylaşılmıştır.

**Tablo 6.4.** Kara Kutu Elektronik Kartı Komponent Listesi Tablo

| No | Ürün                          | Üretici Kodu         |
|----|-------------------------------|----------------------|
| 1  | CAN Entegre                   | MCP2515-I/SO         |
| 2  | CAN Transceiver               | TJA1050T/CM,118      |
| 3  | Diyot                         | SBRT5A50SAF-13       |
| 4  | Kapasitör                     | HSC1HM101GARE00RS103 |
| 5  | Kapasitör                     | SVL1CM101E06E00RS153 |
| 6  | Sigorta Tutucu                | 3522-2               |
| 7  | DC DC Çevirici 5V             | NID100-5             |
| 8  | Header 3 Poz.                 | 61300311121          |
| 9  | Jumper 2 Poz.                 | QPC02SXGN-RC         |
| 10 | Molex 20 Poz                  | 874272042            |
| 11 | Molex 20 Poz. Dişi            | 39012205             |
| 12 | Molex 20 Poz. Pin 18-24 AWG   | 39000038             |
| 13 | Molex 20 Poz. Pin 16 AWG      | 39000077             |
| 14 | 120 ohm SMD Direnç 1206       | RMCF1206JT120R       |
| 15 | 330 R ohm SMD Direnç 1206     | CR1206-FX-3300ELF    |
| 16 | 1,5 K ohm SMD Direnç 1206     | CRCW12061K50FKEAHP   |
| 17 | 10 K ohm SMD Direnç 1206      | RMCF1206FT10K0       |
| 18 | 15 uF SMD Kapasitör 1206      | C3216X7S1A156M160AC  |
| 19 | 22 pF SMD Kapasitör 1206      | VJ1206A220JXQPW1BC   |
| 20 | 10 uF SMD Kapasitör 1206      | CL31B106KPHNNNE      |
| 21 | 100 nF - 0.1 uF SMD Kapasitör | VJ1206Y104JXQCW1BC   |
| 22 | Kırmızı LED                   | 6051111110F          |
| 23 | Sarı LED                      | 6051311110F          |
| 24 | Yeşil LED                     | 6051211110F          |
| 25 | JST 6 Poz. Erkek              | B6B-XH-A             |
| 26 | JST 6 Poz. Pin                | SXH-001T-P0.6N       |
| 27 | JST 6 Poz. Dişi               | XHP-6                |
| 28 | 1 K ohm SMD Direnç 1206       | RMCF1206FT1K00       |

**Tablo 6.4** devam ediyor

|    |                                |                                |
|----|--------------------------------|--------------------------------|
| 29 | 9 K ohm SMD Direnç 1206        | RMCF1206FT9K09                 |
| 30 | 2 K ohm SMD Direnç 1206        | RNCP1206FTD2K00                |
| 31 | NPN Trans. SMD                 | PBSS4350X,147                  |
| 32 | Röle                           | ORWH-SH-124D1F,000             |
| 33 | RJ45 Konnektör                 | RCP-5SPFFH-TCU7001             |
| 34 | Kutu Dışı Konnektör Pin 16 AWG | CONN SOCKET 16-18AWG TIN       |
| 35 | Kutu Dışı Konnektör Pin 20 AWG | CONN SOCKET 20-24AWG TIN CRIMP |
| 36 | Connector 24 Poz.              | 571-2068371                    |
| 37 | Konnektör 24 Poz.              | 571-2068381                    |

Tablo 6.4'te sunulan bileşenler incelendiğinde, projede çok sayıda farklı komponentin kullanıldığı görülmektedir. Kullanılan her bir komponent, sistemin ihtiyaç duyduğu belirli işlevleri yerine getirmek amacıyla dikkatle seçilmiştir.

Projedeki bazı bileşenler araç – kara kutu haberleşmesi için kritik öneme sahiptir. Bu bileşenler ve görevleri aşağıda paylaşılmıştır.

#### **1) MCP2515-I/SO**

“MCP2515-I/SO, Microchip tarafından geliştirilen, SPI (Serial Peripheral Interface) protokolü üzerinden çalışan bağımsız bir CAN Bus kontrolörüdür. Bu komponent, CAN Bus hattı üzerinde veri alışverişini yönetmek için kullanılır ve mikrodnetleyici ile CAN ağı arasında arayüz işlevi görür. MCP2515, mesaj iletimini, alımını ve hata yönetimini bağımsız olarak gerçekleştirir ve böylece mikrodnetleyicinin yükünü azaltarak sistemin genel verimliliğini artırır. Bu entegre devre, CAN 2.0B standardını destekler ve 0 ile 1 Mbps arasında iletişim hızlarına sahiptir. MCP2515 ayrıca dahili FIFO tamponları sayesinde veri akışının güvenli ve kesintisiz şekilde gerçekleşmesini sağlar. [25][26].” Bu özellikleri nedeniyle MCP2515-I/SO tez çalışmasında, zırhlı kara araçlarına entegre edilen kara kutu sisteminin tek kartlı bilgisayar ile haberleşmesi için tercih edilmiştir.

#### **2) TJA1050T/CM,118**

“TJA1050T/CM,118, NXP firması tarafından geliştirilen ve CAN (Controller Area Network) veri yollarında fiziksel katman (transceiver) olarak kullanılan bir entegre devredir. Bu entegre, CAN protokolünün fiziksel katmanını uygulamak için tasarlanmıştır ve mikrodnetleyici ile CAN veri hattı arasında arayüz görevi görür. Temel görevi, dijital veri sinyallerini diferansiyel CAN hattına uygun analog sinyallere dönüştürmek ve CAN hattından alınan sinyalleri dijital forma geri çevirmektir. Entegre, CAN 2.0A ve CAN 2.0B

standartlarıyla tamamen uyumludur ve 1 Mbps'ye kadar veri iletim hızlarını destekler. TJA1050 ayrıca yüksek elektromanyetik uyumluluk (EMC) özelliğine sahiptir ve zorlu otomotiv ortamlarında güvenilir veri iletimi sağlar. Tez çalışmasında, CAN haberleşmesini güvenli ve verimli bir şekilde sağlamak amacıyla, araçtaki kara kutu sisteminin elektronik donanımında bu entegre tercih edilmiştir [27][28].” Bu bileşen Kara Kutu Elektronik Kartının araç ile olan CAN BUS mimarisi arasında haberleşmeyi mümkün kılmaktadır. Böylece araç ve kara kutu kompleksinin tamamı ortak bir protokole sahip olarak anlamlı bir mesajlaşma silsilesi içine girebilmektedir.

### 3) NID100-5

“Mean Well NID100-5, izolasyonsuz, açık çerçeveli PCB montajlı bir DC-DC dönüştürücüdür. Giriş gerilimi 10.5-53 VDC olup, sabit çıkış gerilimi 5 VDC'dir. Maksimum çıkış akımı 11A'dir. Ürün kısa devre, aşırı yük ve aşırı gerilim korumalarına sahiptir. %97 seviyesine kadar olan verimliliği vardır.[29].” Bu projede bu donanım aracın sağladığı 20-28 VDC arasında değişen besleme gerilimini sabit 5 VDC seviyesine düşürerek Kara Kutu Elektronik Devre Kart'ının ve tek kartlı bilgisayarın güç ihtiyacını karşılamak üzere seçilmiştir.

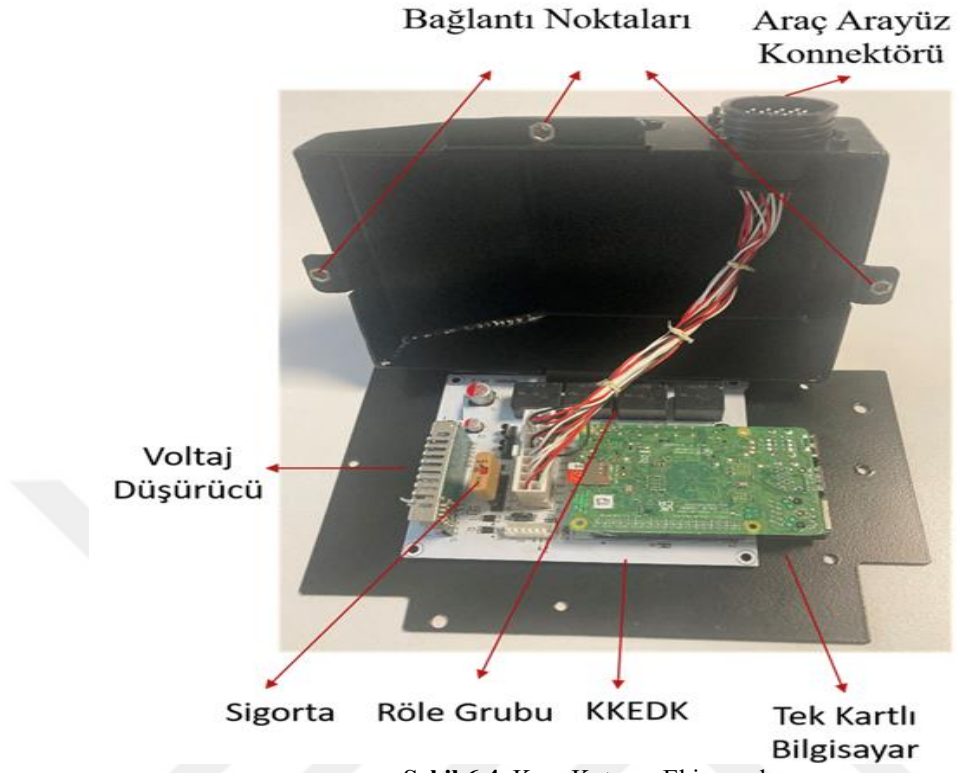
**Tablo 6.5.** Donanımların 5 VDC Seviyesindeki Güç İhtiyacı

| No | Donanım                          | Güç (W)        |
|----|----------------------------------|----------------|
| 1  | Tek kartlı bilgisayar (maksimum) | 7,6 W          |
| 2  | KKEDK (maksimum)                 | 5 W            |
|    |                                  | Toplam: 12,6 W |

Yukarıdaki tabloda toplam güç tüketimi 12,6 W değerinde paylaşılmıştır. 55 W seviyesinde sağlanan gücün yeterli ve güvenli bir seviyede tutulduğu görülebilir.

Kara kutu donanımında kullanılan diğer tüm ekipmanlar Kara Kutu Elektronik Devre Kart'ının doğru ve efektif bir şekilde çalışmasını ve kartı korumak üzere seçilmiş çevre donanımlardır.

## 6.5. Kara Kutu Görseli



Şekil 6.4. Kara Kutu ve Ekipmanları

KKDEK, 125x105 mm boyutlarında olacak şekilde tasarlanmıştır. Araç üzerinde haberleşmeyi sağlayan konnektörler ile birlikte, Şekil 6.4 Kara Kutu ve Ekipmanları ile gösterilen koruma kutusunun içerisine yerleştirilmiştir. Tüm testler, kara kutu test aracı üzerinde bağlantılı haldeyken gerçekleştirilmiştir.

## 7. YAZILIM TASARIMI

Bu çalışmadaki tek kartlı bilgisayar üzerinde koşan yazılım mimarisi Python programlama dili ile oluşturulmuştur. “Python; yorumlamalı, nesne yönelimli, üst düzey bir programlama dilidir. Dinamik yapısı, basit ve okunabilir söz dizimi sayesinde hızlı uygulama geliştirmeye uygundur. Modüler yapısı ve kapsamlı standard kütüphanesi ile kod tekrar kullanımını destekler. Ayrıca, hata ayıklama süreçlerini kolaylaştıran yapısı ve hızlı geliştirme test döngüsü yapısına sahiptir [30].” Algoritma PC üzerinde koşmaktadır. Tüm mantıksal işlemler ve kayıt alma işlemleri bu yazılım içerisinde oluşturulmuştur.

### 7.1. SPI Protokolü

KKDEK ve PC arası haberleşme 4.3.1 Komponent Listesi bölümünde bahsedildiğı üzere MCP2515-I/SO komponentti aracılığı ile SPI protokolü ile haberleşmektedir. “Serial Peripheral Interface (SPI), mikrodenetleyiciler ve çevresel entegre devreler (IC) arasında kullanılan yaygın bir haberleşme protokolüdür. SPI, senkronize çalışan, tam çift yönlü (full-duplex) iletişim imkânı sağılayan bir arayüzdür. Veri aktarımı, MOSI (Master Out Slave In) hattından ana kontrolcü (Master) tarafından gönderilen veriler ile MISO (Master In Slave Out) hattı üzerinden alt cihazlardan (Slave) alınan verilerin eşzamanlı olarak gerçekleşmesiyle sağılanır. Bu süreçte veri iletimi, seri saat sinyali (SCLK) tarafından kontrol edilir ve verilerin okunup yazılması saat sinyalinin yükselen veya düşen kenarında gerçekleşir. SPI sistemleri, genellikle dört hat (SCLK, CS, MOSI, MISO) üzerinden iletişim kurar. SPI protokolü, mikrodenetleyiciler ile Analog-Dijital Dönüştürücü (ADC), Dijital-Analog Dönüştürücü (DAC), bellek modülleri (memory devices) ve çeşitli çevresel bileşenlerin iletişimini yüksek hızda gerçekleştirmek için kullanılır [31].” Bu çalışmada master olarak ifade edilen donanım tek kartlı bilgisayar olmakla birlikte slave olarak kullanılan donanım ise Kara Kutu Elektronik Kart’ıdır. Kara Kutu Elektronik Kartı ve tek kartlı bilgisayar arasındaki tüm iletişim SPI protokolü ile sağılanmıştır. Bu SPI ile haberleşmeye uygun tüm donanımların tek kartlı bilgisayar yerine geçebileceğini garanti altına alır. Böylece seçilebilecek donanım yelpazesi çeşitliliğı sağılanabilir. Bu çeşitlilik



oluşabilecek muhtemel tedarik problemlerini ortadan kaldırmak için önemli bir avantaj olarak görülebilir.

## 7.2. Tek Kartlı Bilgisayar Python Sahte Kodu

Aşağıda tek kartlı bilgisayar içerisinde koşan Python programlama dili ile oluşturulan yazılımın sahte kodu paylaşılmıştır. Burada araçtan gelen CAN mesajlarının filtrelenmesi, zaman saatinin ayarlanması ve verilerin kaydedilmesi aşamaları gerçekleştirilmektedir.

```
////////////////////////////////////
Tanımla: CAN kanalı = 'can0'
Tanımla: Filtrelenen CAN ID'ler
Tanımla: SD kart maksimum hafıza limiti

FONKSİYON log_loop:
    Sürekli:
        CAN mesajı
        LogMsg.log dosyasına zaman damgasıyla yaz
    Değilse:
        JunkMsg.log dosyasına zaman damgasıyla yaz

FONKSİYON set_system_time
    Tarihi ayarla ve terminale yazdır
FONKSİYON date_time_can_message:
    Sürekli:
        CAN mesajı al

FONKSİYON check_and_manage_storage():
    Hafıza doluyorsa en eski log dosyalarını sil

FONKSİYON main:
    log_loop() çalıştır

////////////////////////////////////
```

Şekil 7.1. Sistem Yazılım Mimarisi Sahte Kodu

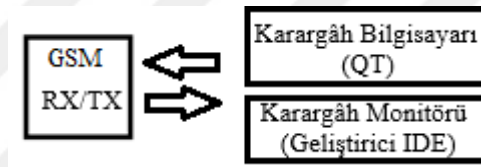
## 7.3. Uzaktan İzleme

Kara kutu sistemi, GSM altyapısı sayesinde araçtan elde edilen verilerin karargâh merkezine uzaktan ve gerçek zamanlı olarak iletilmesini sağlar. Bu özellik, sahadaki araçlardan alınan verilerin karargâh bilgisayarlarında grafik arayüzler üzerinden anlık olarak

izlenmesine ve analiz edilmesine imkân tanır. Bu grafikler için yazılım, özel bir program gerekmez, tüm bilgisayarlarda çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Sistem, sadece sayısal veri aktarımı değil, aynı zamanda araç içi sürücü ekranının birebir yansımaları da ayrı bir ekipman olan karargâh monitörüne iletecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece karargâh personeli, araç sürücüsünün ekranında görüntülenen tüm bilgileri canlı ve görsel bir şekilde takip edebilir. Bu yetenek, özellikle askeri operasyonlar sırasında araçların konum, hız, motor durumu ve diğer kritik verilerin uzaktan izlenmesi için önemli avantajlar sunar.

Ayrıca, bu sistemin uzaktan erişim imkânı sayesinde, potansiyel arızalar veya olağandışı durumlar hızlı bir şekilde tespit edilerek gerekli müdahalelerin zamanında yapılması sağlanabilir. Böylece hem operasyonel verimlilik artırılır hem de araç güvenliği en üst düzeyde tutulur.

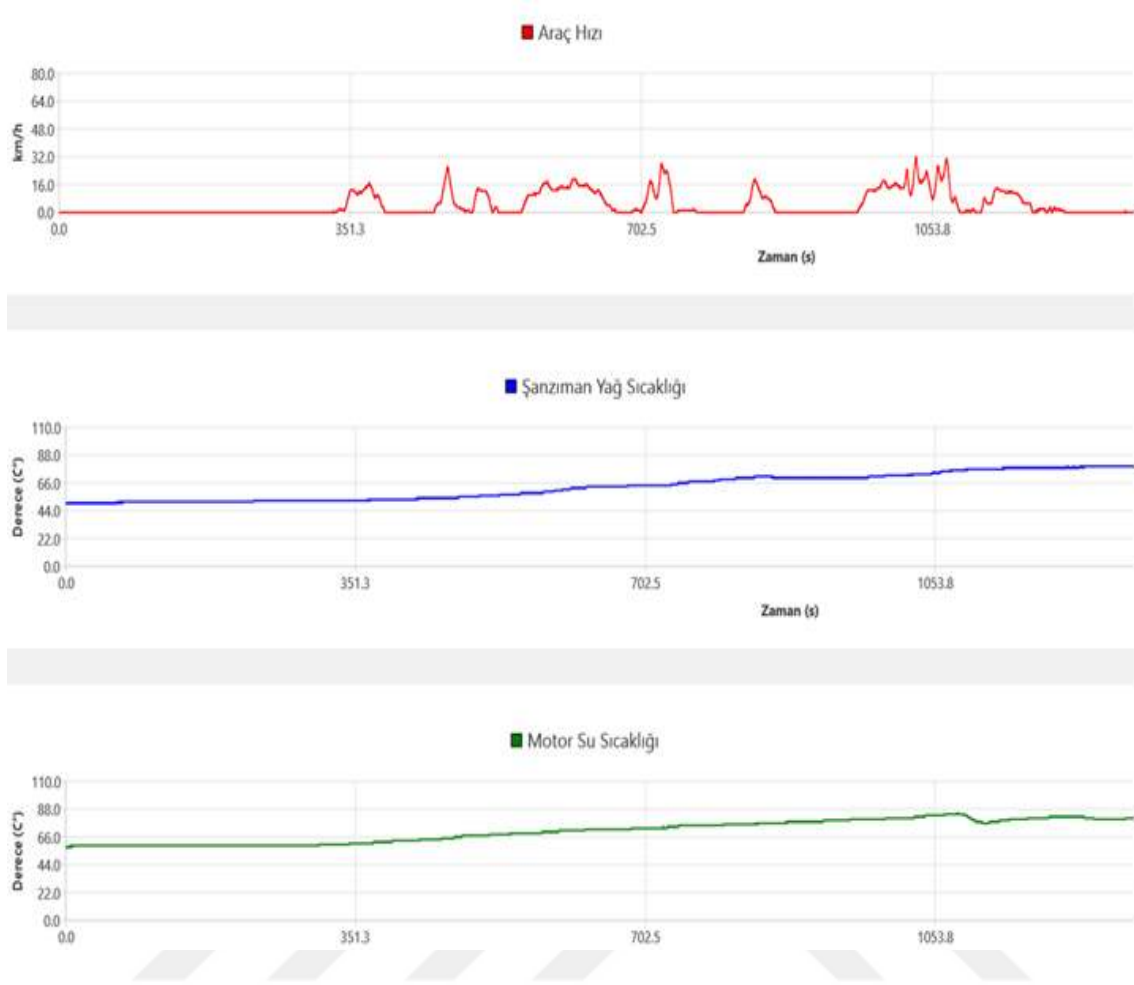


Şekil 7.2. Monitör Sistemi Blok Şeması Şekil

Şekil 7.2 Monitör Sistemi Blok Şeması ile görülebileceği üzere tasarım 2 adet görsel arayüz sağlayıcıdan oluşmaktadır. Karargâh bilgisayarı standard bir bilgisayar ve monitörü iken karargâh monitörü endüstriyel bir üründür.

#### 7.4. Karargâh Bilgisayarı GUI Tasarımı

Bu tez çalışmasında uzaktaki bilgisayara aktarılacak olan grafiksel veriler QT Creator adlı Program ile oluşturulmuştur. Qt Creator, Qt uygulama geliştirme çerçevesi ile birlikte kullanılan çapraz platform destekli bir tümleşik geliştirme ortamıdır (IDE). C++, QML, JavaScript ve Python gibi dilleri destekleyerek kod yazma, hata ayıklama ve dokümantasyona hızlı erişim gibi temel geliştirme araçlarını sağlar [32]. Tez çalışmasında örnek olması açısından “Araç Hız, Şanzıman Yağ Sıcaklığı ve Soğutma Suyu Sıcaklığı” verileri grafikler ile “KK.exe” dosyasına sahip her bilgisayarda çalıştırılabilir. Bu veriler tezin test aşamaları bölümünde ayrıca incelenecektir.



Şekil 7.3. Araca Ait Verilerin Grafik Örneği (KK.exe çıktısı)

#### 7.4.1. Karargâh Bilgisayarı GUI Tasarımı Sahte Kodu

Aşağıda QT programının ana kısmı sahte kodu paylaşılmıştır. Bu kod araçtan gelen CAN mesajlarına göre canlı grafik oluşturan koddur.

////////////////////////////////////

IMPORT MyCanBusHandler

Uygulama penceresi oluştur (800x600)

Başlangıç zamanı değişkenlerini sıfırla:

Fonksiyon: CanValue200 değiştiğinde

İlk sinyal zamanı yoksa ayarla

Geçen süreyi hesapla

Grafik ekle

### 3 Grafik Tanımla:

- "Araç Hızı":  $Y = \text{km/h}$  (0–250)
- "Şanzıman Yağ Sıcaklığı":  $Y = ^\circ\text{C}$  (0–130)
- "Motor Su Sıcaklığı":  $Y = ^\circ\text{C}$  (0–100)
- Hepsi için  $X = \text{Zaman}$  (saniye, dinamik)

////////////////////////////////////

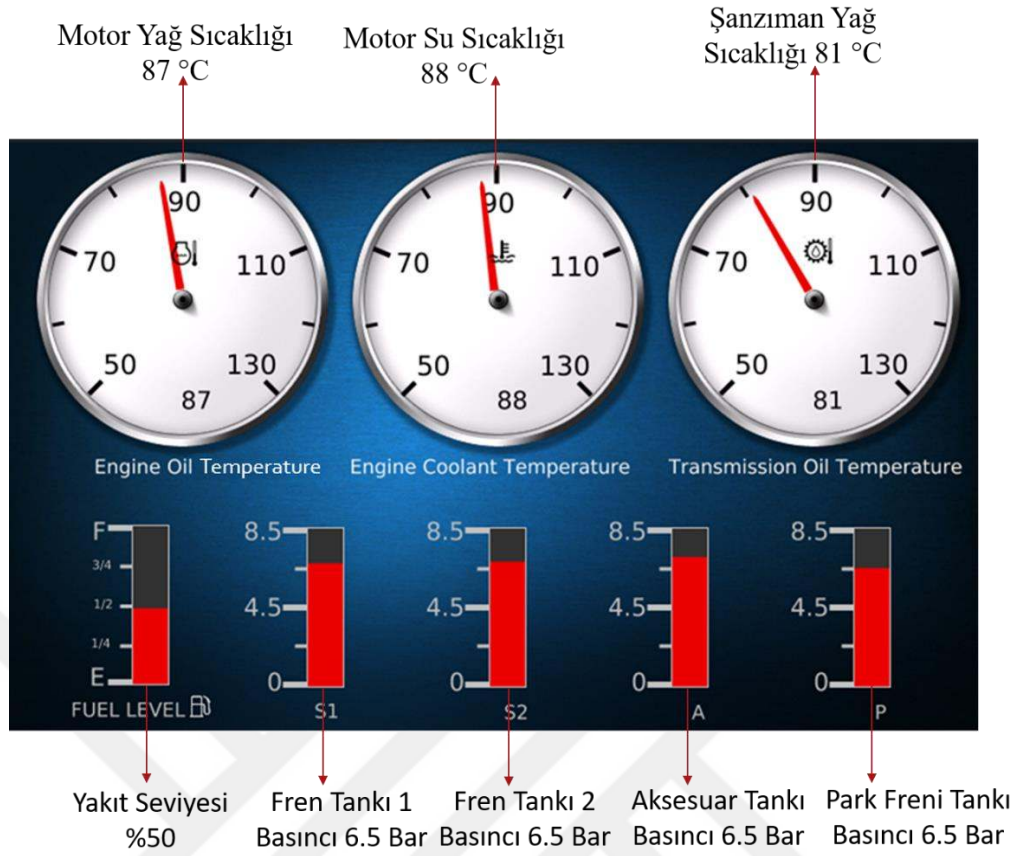
Şekil 7.4. Karargâh Bilgisayarı Sahte Kodu

## 7.5. Karargâh Monitörü GUI Tasarımı

Karargâh operatörü tarafından izlenecek ve aracı kontrol etme amacıyla kullanılacak olan monitörün tasarımı ürün geliştiricisinin kendi arayüzü ile hazırlanmıştır. Bu arayüz ilgili CAN Bus mesajlarının görselleştirilmesini sağlar. Hazır şablonlar üzerine veriler bağlanarak görselleştirme tamamlanır. Burada bulunan değerler araçtan canlı olarak akan değerlerdir. Aynı zamanda araca uzaktan müdahale etmek de mümkündür. Örnek olarak aracın barut atma sistemi buradan aktif edilebilir. Aşağıdaki şekillerde fonksiyonların tanımları paylaşılmıştır. Bu operatör arayüzü 2 sayfadan oluşmaktadır ve ekran kaydırılarak sayfalar arası geçiş sağlanabilmektedir.



Şekil 7.5. Karargâh Monitörü Sayfa 1



Şekil 7.6. Karargâh Monitörü Sayfa 2

## 8. TEZ ÇALIŞMASINDA ESİNLENİLEN MUADİL ÜRÜNLER

Tez çalışmasının bu bölümünde geliştirilen kara kutu çalışması ile bu çalışmaya muadil olabilecek ürünlerin karşılaştırması yapılmıştır.

**Tablo 8.1.** Muadil Ürünler ile Karşılaştırma Tablosu

| Ürün     | Hafıza | Yükseltilebilir Hafıza | Harici Giriş/Çıkış | Çıkış Gücü | Güç Tüketimi | Yerlilik | Çalışma Voltaj Aralığı | Fiyat   |
|----------|--------|------------------------|--------------------|------------|--------------|----------|------------------------|---------|
| KKEDK    | 32     | Var                    | 5 Giriş / 4 Çıkış  | 240 W      | <5 W         | Yerli    | 10.5-53 V DC           | 200 USD |
| Muadil 1 | 16     | Var                    | Yok                | X          | <1 W         | Yabancı  | 7-32 V DC              | 520 USD |
| Muadil 2 | 64     | Yok                    | 4 Giriş            | X          | <1 W         | Yabancı  | 7-27 V DC              | 460 USD |

Yukarıdaki tablo incelendiğinde KKEDK ürününün aşağıda paylaşılan avantaj dezavantaj özeti çıkarılabilir.

KKEDK avantajları:

- Çıkış gücü yüksek (240 W).
- Daha fazla giriş/çıkış imkânı (5 giriş, 4 çıkış).
- Geniş çalışma voltaj aralığı (10.5-53 V DC).
- Yerli üretim ve çok daha ekonomik fiyat (200 USD).

KKEDK Dezavantajları:

- Güç tüketimi daha yüksek (<5 W).
- Hafıza kapasitesi, Muadil 2'ye göre daha düşük (64 GB vs. 32 GB).

Bu tez çalışması ile ortaya koyulan projenin muadillerinden en önemli avantajı geliştirilen sistemin yerli donanım ve yazılım tasarımına sahip olarak muadillerinden çok daha düşük maliyet ile kullanılabilmesidir.

## 9. PROJENİN TEST AŞAMALARI

Projede test edilen araca ait CAN mesajları Tablo 6.1. ile paylaşılmıştır. Burada 0X401h, 0X402h, 0X403h ve 0X405h mesajları görülebilir. Kaydedilen veriler tarih, mesaj id, Rx/Tx, veri uzunluğu, mesaj ve CAN kanalı etiketlerine sahiptir. Tablo 6.1 belirli bir saniye boyunca araçta bulunan CAN mesajlarını gösterir. Mesaj içeriğine dair açıklamalar tezin 3.1 Kullanılan Veriler başlığı altında detaylı bir şekilde incelenmiştir.

**Tablo 9.1.** Kara Kutu CAN BUS Hattı Kayıt Örneği

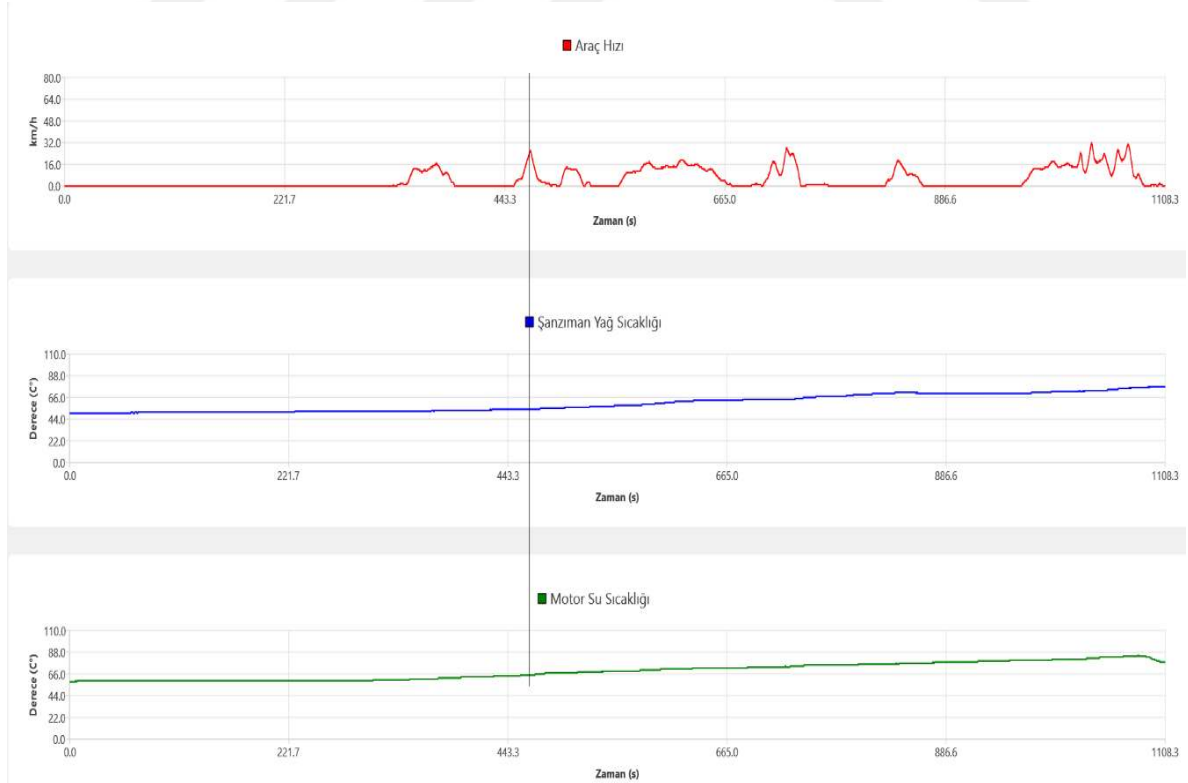
| Tarih            | Mesaj ID | Rx/Tx | Veri Uzunluğu | Mesaj                   | CAN Kanalı    |
|------------------|----------|-------|---------------|-------------------------|---------------|
| 28.05.2025 09:43 | ID: 405  | S Rx  | DL: 8         | 06 fe 01 00 0b fd 03 00 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 405  | S Rx  | DL: 8         | 06 fe 01 00 0b fd 03 00 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 405  | S Rx  | DL: 8         | 06 fe 01 00 0b fd 03 00 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 401  | S Rx  | DL: 8         | 98 07 17 53 53 54 54 54 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 405  | S Rx  | DL: 8         | 04 02 01 00 07 03 03 00 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 405  | S Rx  | DL: 8         | 04 02 01 00 07 03 03 00 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 405  | S Rx  | DL: 8         | 04 02 01 00 07 03 03 00 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 401  | S Rx  | DL: 8         | 44 06 1b 53 53 54 53 54 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 403  | S Rx  | DL: 8         | 37 09 00 7a 00 00 f7 23 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 402  | S Rx  | DL: 8         | 7c 00 00 30 5f 57 55 01 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 405  | S Rx  | DL: 8         | 09 03 02 00 10 05 03 00 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 405  | S Rx  | DL: 8         | 09 03 02 00 10 05 03 00 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 405  | S Rx  | DL: 8         | 09 03 02 00 10 05 03 00 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 405  | S Rx  | DL: 8         | 09 03 02 00 10 05 03 00 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 405  | S Rx  | DL: 8         | 09 03 02 00 10 05 03 00 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 402  | S Rx  | DL: 8         | 7c 00 00 30 5f 57 55 01 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 405  | S Rx  | DL: 8         | 09 03 02 00 10 05 03 00 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 403  | S Rx  | DL: 8         | 37 09 00 7a 00 00 f7 23 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 403  | S Rx  | DL: 8         | 37 09 00 7a 00 00 f7 23 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 405  | S Rx  | DL: 8         | 09 fa 02 07 10 f5 03 00 | Channel: can0 |
| 28.05.2025 09:43 | ID: 405  | S Rx  | DL: 8         | 09 fa 02 07 10 f5 03 00 | Channel: can0 |

Aşağıdaki şekil ile KKDEK aracılığı ile SD karta kaydedilmiş “.log” dosyanın ekran görüntüsü paylaşılmıştır. Buradan verilerin SD karta sağlıklı bir şekilde kaydedildiği görülebilir.

17.04.log - Not Defteri

| Dosya                  | Düzen | Biçim | Görünüm | Yardım                                         |
|------------------------|-------|-------|---------|------------------------------------------------|
| 17/04/2025 4:42: 32 PM | ID:   | 402   | S Rx    | DL: 8 9b 00 00 00 00 7a 56 55 81 Channel: can0 |
| 17/04/2025 4:42: 32 PM | ID:   | 405   | S Rx    | DL: 8 fd fd 00 00 fb fb 02 00 Channel: can0    |
| 17/04/2025 4:42: 32 PM | ID:   | 402   | S Rx    | DL: 8 9b 00 00 00 00 7a 56 55 81 Channel: can0 |
| 17/04/2025 4:42: 32 PM | ID:   | 401   | S Rx    | DL: 8 00 00 00 3f 3f 4a 49 59 Channel: can0    |
| 17/04/2025 4:42: 32 PM | ID:   | 405   | S Rx    | DL: 8 fd fd 00 00 fb fb 02 00 Channel: can0    |
| 17/04/2025 4:42: 32 PM | ID:   | 402   | S Rx    | DL: 8 9b 00 00 00 00 7a 56 55 81 Channel: can0 |
| 17/04/2025 4:42: 32 PM | ID:   | 401   | S Rx    | DL: 8 00 00 00 3f 3f 4a 49 59 Channel: can0    |
| 17/04/2025 4:42: 32 PM | ID:   | 402   | S Rx    | DL: 8 9b 00 00 00 00 7a 56 55 81 Channel: can0 |
| 17/04/2025 4:42: 33 PM | ID:   | 402   | S Rx    | DL: 8 9b 00 00 00 00 7a 56 55 81 Channel: can0 |
| 17/04/2025 4:42: 33 PM | ID:   | 405   | S Rx    | DL: 8 fd fd 00 00 fb fb 02 00 Channel: can0    |
| 17/04/2025 4:42: 33 PM | ID:   | 402   | S Rx    | DL: 8 9b 00 00 00 00 7a 56 55 81 Channel: can0 |
| 17/04/2025 4:42: 33 PM | ID:   | 403   | S Rx    | DL: 8 38 09 00 7a 00 00 ff 23 Channel: can0    |
| 17/04/2025 4:42: 33 PM | ID:   | 403   | S Rx    | DL: 8 36 09 00 78 00 00 e9 23 Channel: can0    |
| 17/04/2025 4:42: 33 PM | ID:   | 401   | S Rx    | DL: 8 00 00 00 3f 3f 4a 49 59 Channel: can0    |
| 17/04/2025 4:42: 33 PM | ID:   | 405   | S Rx    | DL: 8 fd fd 00 00 fb fb 02 00 Channel: can0    |
| 17/04/2025 4:42: 33 PM | ID:   | 402   | S Rx    | DL: 8 9b 00 00 00 00 7a 56 55 81 Channel: can0 |
| 17/04/2025 4:42: 33 PM | ID:   | 403   | S Rx    | DL: 8 38 09 00 7a 00 00 ff 23 Channel: can0    |
| 17/04/2025 4:42: 33 PM | ID:   | 402   | S Rx    | DL: 8 9b 00 00 00 00 7a 56 55 81 Channel: can0 |
| 17/04/2025 4:42: 33 PM | ID:   | 405   | S Rx    | DL: 8 fd fd 00 00 fb fb 02 00 Channel: can0    |
| 17/04/2025 4:42: 34 PM | ID:   | 402   | S Rx    | DL: 8 9b 00 00 00 00 7a 56 55 81 Channel: can0 |
| 17/04/2025 4:42: 34 PM | ID:   | 402   | S Rx    | DL: 8 9b 00 00 00 00 7a 56 55 81 Channel: can0 |
| 17/04/2025 4:42: 34 PM | ID:   | 403   | S Rx    | DL: 8 38 09 00 7a 00 00 ff 23 Channel: can0    |
| 17/04/2025 4:42: 34 PM | ID:   | 402   | S Rx    | DL: 8 9b 00 00 00 00 7a 56 55 81 Channel: can0 |
| 17/04/2025 4:42: 34 PM | ID:   | 402   | S Rx    | DL: 8 9b 00 00 00 00 7a 56 55 81 Channel: can0 |
| 17/04/2025 4:42: 34 PM | ID:   | 401   | S Rx    | DL: 8 00 00 00 3f 3f 4a 49 59 Channel: can0    |

Şekil 9.1. SD Kart Verisi



Şekil 9.2. Karargâh Monitörü Grafiği



Yukarıda Şekil 9.2 Karargâh Monitörü Grafiği ile aracın 1108.3 saniyelik kullanımı sonucu ortaya çıkmış üç grafik bulunmaktadır. Aşağıda ise grafiğin 465. saniyesine ait 2 adet CAN mesajı bulunmaktadır. Kalın punto ve altı çizili olarak ifade edilen değerler ilgili grafiklerde siyah çizili ile işaretlenen zamanda ölçülen değerlerin hexadecimal sonuçlarıdır.

401 ID'li mesajın 3. Byte değeri => 1A (hexadecimal) 26 (decimal)

401 S Rx DL: 8 f5 04 1A 56 56 56 55 54 => 26 km/h araç hızı

402 ID'li mesajın 1. Byte değeri => 3C (hexadecimal) 60 (decimal)

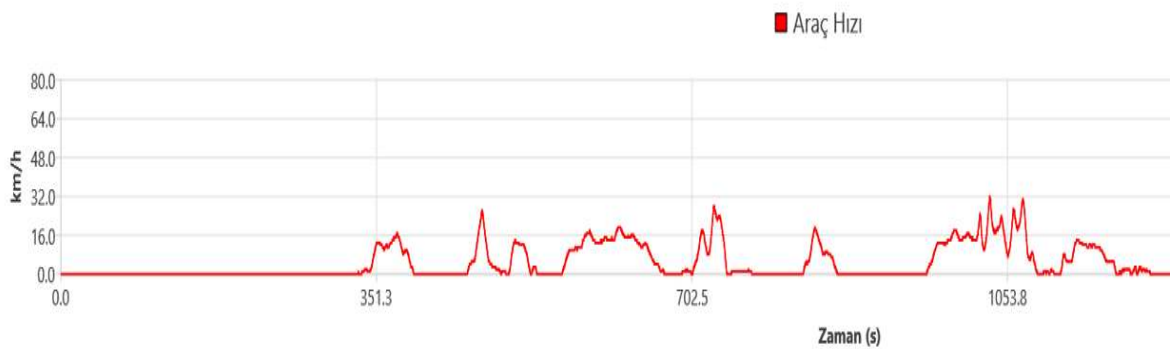
402 S Rx DL: 8 3C 00 00 20 46 50 57 03 => 60 °C şanzıman yağı

402 ID'li mesajın 6. Byte değeri => 46 (hexadecimal) 70 (decimal)

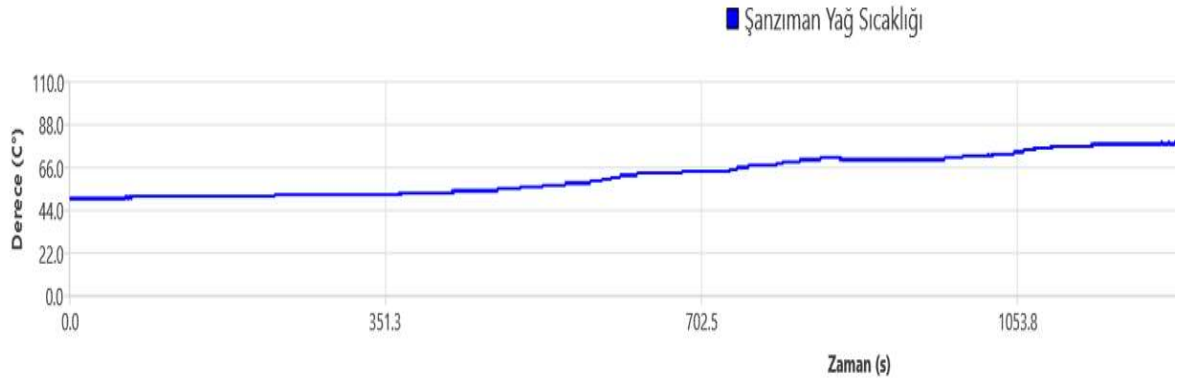
402 S Rx DL: 8 3C 00 00 20 46 50 57 03 => 70 °C soğutma suyu sıcaklığı

Şekil 9.2. Karargâh Monitörü Grafiği ve yukarıda bulunan CAN mesajlarından da görülebileceği üzere araç 465. saniyede 26km/h hız değerine, 60 °C şanzıman yağı ve 70 °C soğutma suyu değerlerine sahiptir.

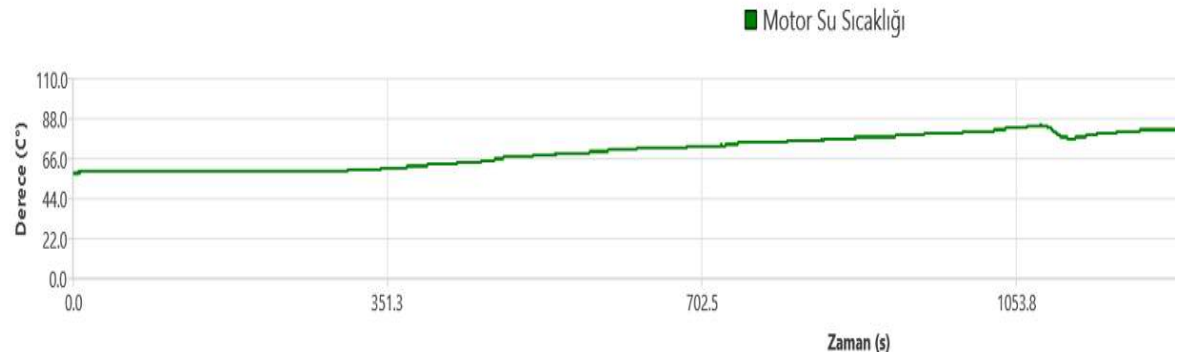
Aşağıda araca grafikler detayları görülecek şekilde tekrar paylaşılmıştır.



Şekil 9.3. Araç Hızı Karargâh Monitörü Grafiği



Şekil 9.4. Şanzıman Yağ Sıcaklığı Karargâh Monitörü Grafiği



Şekil 9.5. Motor Su Sıcaklığı Karargâh Monitörü Grafiği

## 10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, zırhlı kara araçlarında operasyonel süreçlerin daha güvenli ve verimli şekilde yürütülmesini sağlamak amacıyla, veri toplama (data acquisition) temelli bir kara kutu sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, araç üzerinde bulunan hız, motor – şanzıman sıcaklık değerleri, eğim, vites konumu, diferansiyel kilit durumu vb. kritik parametreleri sürekli izleyerek kayıt altına alabilmektedir.

Sistem mimarisi kapsamında, araç üzerindeki CAN veri hattına entegre edilen bir CAN dönüştürücü aracılığıyla veriler alınmış ve bu veriler bir tek kartlı bilgisayar ile işlenmiştir. İşlenen veriler, SD kart üzerine düzenli aralıklarla kaydedilmiş ve aynı zamanda GSM haberleşme sistemi aracılığıyla karargâh merkezine canlı olarak iletilmiştir. Böylece sistem hem çevrimdışı analizlere hem de anlık uzaktan izlemeye imkân tanımaktadır.

Geliştirilen bu bütünleşik sistem, zırhlı kara araçlarının görev esnasındaki davranışlarının analiz edilmesine, olağan dışı durumların tespitine ve kullanım kaynaklı arızaların önceden öngörülmesine imkân sunabilecek verileri kaydetmektedir. Ayrıca, elde edilen verilerin ileride kestirimci bakım algoritmaları, sürücü davranış modelleri, görev optimizasyon çözümleri ve yapay zekâ tabanlı karar destek sistemleri için kullanılabilecek nitelikte olduğu görülmüştür.

İlerleyen dönemlerde yapılacak çalışmalarda, bu tez kapsamında geliştirilen sistemin daha geniş araç platformlarına entegre edilmesi, elde edilen verilerle makine öğrenmesi modellerinin eğitilmesi, bulut tabanlı merkezi analiz altyapılarıyla entegre çalışması ve kaza durumunu tespit edebilecek bir sensörün kara kutu aracılığı ile araca entegrasyonu hedeflenebilir. Bu sayede, görev sırasında ortaya çıkabilecek muhtemel problemler önceden tahmin edilerek gerekli tedbirlerin alınması sağlanabilecek; böylece can ve mal kayıpları önlenerek araçların operasyonel etkinliği artırması öngörülmektedir. Veri güvenliğini artırmak amacıyla, verilerin taşındığı iletişim hattında yerli üretim uyduların kullanımı teşvik edilebilir. Veri kaydının daha verimli olması için, kayıt sekansları veri değişim hızına göre optimize edilerek yerel hafıza daha etkin kullanılabilir.

Sonuç olarak, bu tez çalışması kapsamında geliştirilen kara kutu sistemi; sahada uygulanabilirliği test edilmiş, farklı platformlara entegre edilmesi mümkün olan ve gerçek zamanlı veri toplama ile iletim kabiliyetine sahip bir yapı sunmaktadır. Bu yönleriyle

Çalışma, savunma sanayisinde milli ve yerli çözümler geliştirme çabalarına katkı sağlamaktadır. Gelecek çalışmalarda, sistemin daha yüksek güvenliqli haberleşme protokolleriyle güçlendirilmesi, sensör çeşitliliğinin artırılması ve kullanıcı arayüzlerinin iyileştirilmesi önerilmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] Md. Minhazur Rahman, A. Z. M. Tahmidul Kabir, Al Mamun Mizan, Kazi Mushfiquur Rahman Alvi, "Smart Vehicle Management By Using Sensors And An Iot Based Black Box," *International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems (IJRES)* October 2022, PP: 284-294.
- [2] Abel Garcia-Barrientos , David Torres-Uresti , Francisco R. Castillo-Soria , Ulises Pineda-Rico, Jose Antonio Hoyo-Montaña, Obed Perez-Cortes, Patricio Ordaz-Oliver, "Design and Implementation of a Car's Black Box System Using a Raspberry Pi and a 4G Module," *Appl.Sci.* 2022, 12, 5730.
- [3] Shahida Begum, Ramesh Byali, Jyothimani J, R.Vanitha, Manju Kumari, Md.Altaf, "Vehicle Black Box System," *International Journal of Research Publication and Reviews*, Vol 3, July 2022, Issue 7, PP: 3649-3652.
- [4] Abdallah Kassem, Rabih Jabr, Ghady Salamouni, Ziad Khairallah Maalouf, "Vehicle Black Box System," *Systems Conferences*, 2008, PP: 1-6.
- [5] Gregor A. Aramice, Abbas H. Miry, Tariq M. Salman, "Vehicle Black Box Implementation For Internet Of Vehicles Based Long Range Technology," *Journal of Engineering and Sustainable Development*, Vol. 27, No. 02, March 2023.
- [6] P. Ajay Kumar Reddy, P.Dileep Kumar, K. Bhaskar Reddy, E.Venkataramana, M.Chandra Sekhar Reddy, "Black Box For Vehicles," *International Journal of Engineering Inventions*, Volume 1, Issue 7(October2012) PP: 06-12.
- [7] Shreya Ramrao Deshmukh, "Car Black Box System," *International Research Journal of Engineering and Technology*, Volume: 09 Issue: 04, Apr 2022.
- [8] Krishnaprasad Gaur, Prof. Nilesh A. Mohota, "Design and Implementation of Car Black Box Based on ARM7," *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, Volume 2, Issue 8, August 2015.

- [9] Minal Diwan, Purva Sonkusare, Samruddhi Kapse, Trupti Shete, Vaishnavi Pathade, “Wireless Vehicle Black Box System For Accident Prevention And Detection,” *International Journal of Innovations in Engineering and Science*, Vol. 2, No.6, 2017.
- [10] EUROCAE, “Minimum Operational Performance Specification for Crash Protected Airborne Recorder Systems (ED-112A),” European Organisation for Civil Aviation Equipment, 2013. Erişim adresi: <https://www.tsb.gc.ca/>
- [11] Enercorp. (2022). *PX61 Series Pressure Transmitter – Technical Data Sheet*. Enercorp Instruments Ltd. Erişim adresi: <https://enercorp.com/products/pressure/>
- [12] Jayesh Ramesh Chandiramani, Sanjam Bhandari, Hariprasad S.A., “Vehicle Data Acquisition And Telemetry,” *Fifth International Conference on Signals and Image Processing*, 2014.
- [13] Nungleppam Monoranjana Singh, Kanak Chandra Sarma, Nungleppam Gopil Singh, “Design and Development of Low Cost Multi-Channel USB Data Acquisition System for the Measurement of Physical Parameters,” *International Journal of Computer Applications*, Volume 48– No.18, June 2012.
- [14] Pavel Kucera, Ondrej Hyncica, Petr Honzik, Karel Pavlata, Karel Horak, “On vehicle data acquisition system,” *Proceedings of the 2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, PP: 1446–1451, 2011.
- [15] Hae-Seung Lee, Charles G. Sodini, “Analog-to-Digital Converters: Digitizing the Analog World,” *Proceedings of the IEEE*, Vol. 96, No. 2, February 2008.
- [16] Renjun Li, Chu Liu, Feng Luo, “A Design for Automotive CAN Bus Monitoring System,” *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, September 3-5, 2008.
- [17] Li Ran, Wu Junfeng, Wang Haiying, Li Gechen, “Design Method of CAN BUS Network Communication Structure for Electric Vehicle,” *IFOST 2010 Proceedings*, 2010.

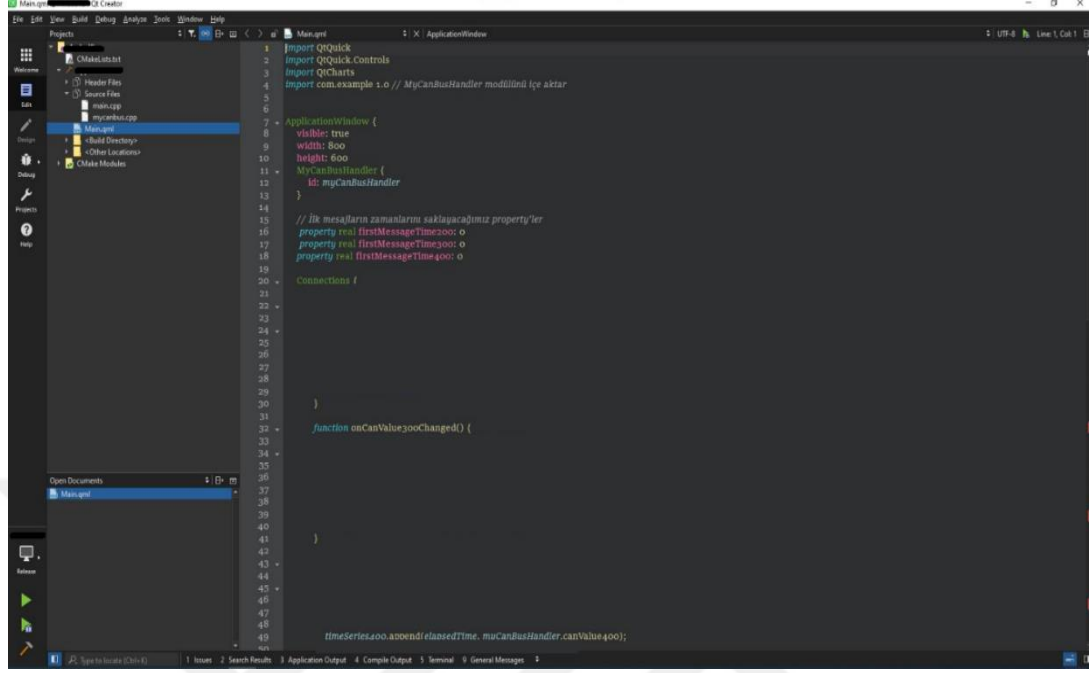
- [18] National Instruments Corp., “sbRIO-9627 User Manuel CAN Bus Topology and Termination,” 2024.
- [19] B.V.P. Prasad, Jing-Jou Tang, Sheng-Jhu Luo, “Design and Implementation of SAE J1939 Vehicle Diagnostics System,” *International Conference on Computation, Communication and Engineering*, 2019.
- [20] Kvaser AB. (2025). *Controller Area Network (CAN Bus) Protocol Tutorial*. Erişim adresi: <https://kvaser.com/can-protocol-tutorial/>
- [21] Doğan İbrahim, “SD Card Projects Using the PIC Microcontroller,” ISBN 978-1-85617-719-1, 2010.
- [22] Guillaume Peersman, Srba Cvetkovic, “The Global System for Mobile Communications Short Message Service,” *IEEE Personal Communications*, June 2000.
- [23] Lin Bao-Shuh, Tsai Wen-Hsiang, Wu Chien-Cheng, Hsu Pei-Hsien, Huang J.Y., Liu Tsai-Hwa, “The Design of Cloud-based 4G/LTE for Mobile Augmented Reality with Smart Mobile Devices,” *Proceedings - 2013 IEEE 7th International Symposium on Service-Oriented System Engineering*, SOSE 2013. 561-566. 10.1109/SOSE.2013.57, 2013.
- [24] B.Devikiruba, “Vehicle Speed Control System Using GSM/GPRS,” *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, Vol. 4 (6) , 2013
- [25] Microchip Technology Inc., “MCP2515 stand-alone CAN controller with SPI interface,” Erişim adresi: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP2515-Stand-Alone-CAN-Controller-with-SPI-20001801J.pdf>, 2019.
- [26] Microchip Technology Inc., “MCP2515-I/P stand-alone CAN controller with SPI interface” Erişim adresi: <https://www.microchip.com/en-us/product/mcp2515>.

- [27] NXP Semiconductors, "TJA1050 High-speed CAN transceiver," *NXP Semiconductors*, Erişim adresi: <https://www.nxp.com/products/interfaces/can-transceivers/legacy-can/high-speed-can-transceiver:TJA1050>
- [28] NXP Semiconductors, "TJA1050 High-speed CAN transceiver," *NXP Semiconductors*, Erişim adresi: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/TJA1050.pdf>, 2003.
- [29] Mean Well Enterprises Co., Ltd., "NID100-5: 100W DC-DC Non-Isolated Regulated Converter," Mean Well Enterprises Co., Ltd., Erişim adresi: <https://www.meanwell-web.com/en-gb/dc-dc-non-isolation-open-frame-pcb-mount-converter-nid100--5>.
- [30] Python Software Foundation, "What is Python? Executive Summary," Erişim adresi: <https://www.python.org/doc/essays/blurb/python.org>
- [31] Piyu Dhaker, "Introduction to SPI Interface," *Analog Dialogue*, September 2018.
- [32] Qt Group, "Development Tools" Erişim adresi: <https://www.qt.io/product/development-tools>.

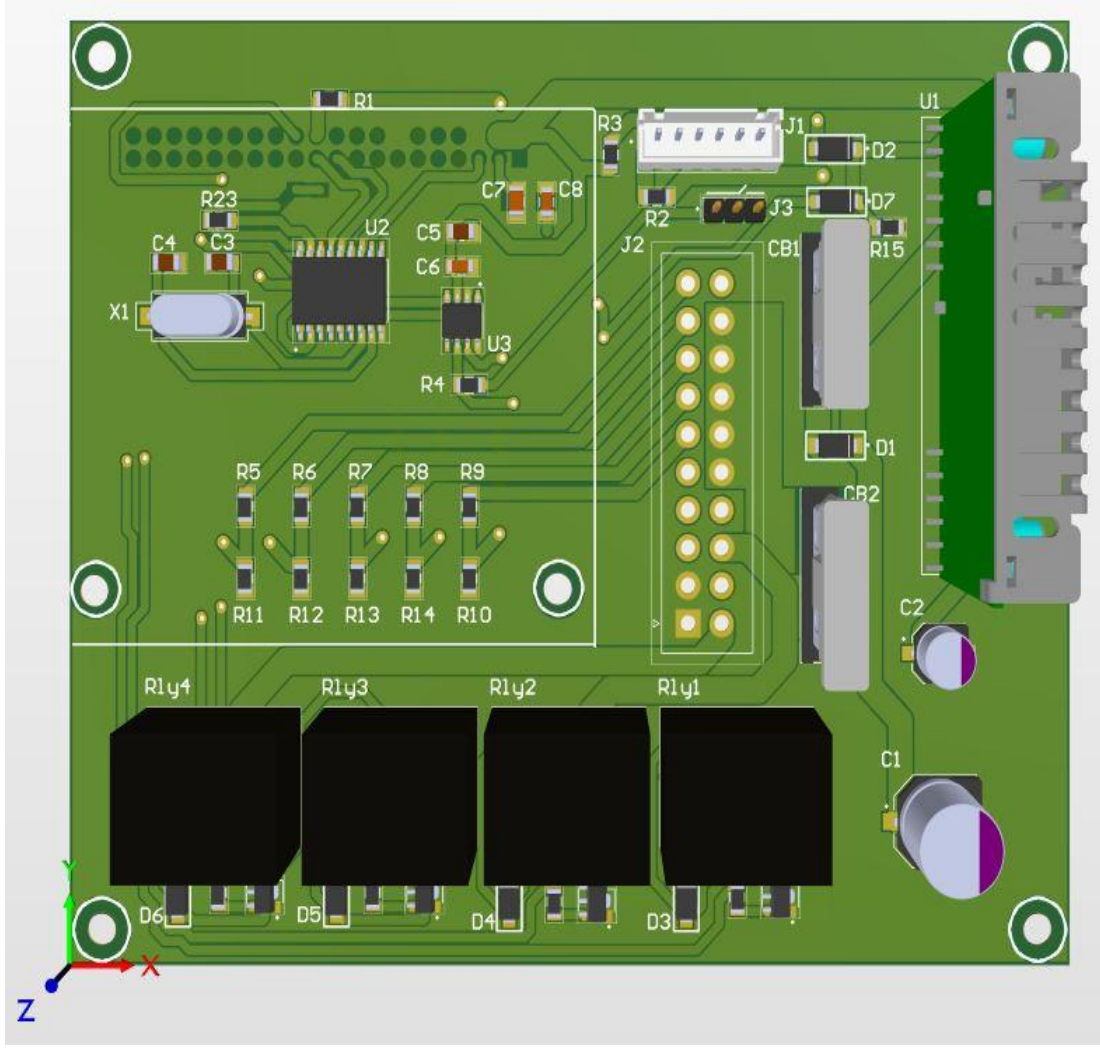


# EKLER

## EK 1: Qt Geliştirme Ortamı



## EK 2: KKDEK Ön Yüzü



### EK 3: KKDEK Arka Yüzü

