



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ BİR KARAVAN TASARIMI VE ELEKTRONİK İTKİ
KONTROL SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Adem ADATEPE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mekatronik Anabilim Dalı

Temmuz - 2022

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Adem ADATEPE

Tarih: 13/10/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ BİR KARAVAN TASARIMI VE ELEKTRONİK İTKİ KONTROL SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Adem ADATEPE

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mekatronik Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Barış GÖKÇE

2022, 85 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Barış GÖKÇE

Prof. Dr. Mehmet KARALI

Dr. Öğr. Üyesi Ziya ÖZÇELİK

Taşımacılık alanında otobüslerin, kamyonların ve treylerlerin önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Bununla birlikte kamyonlar ve treylerler dünyadaki CO₂ emisyonlarının artmasına büyük oranda etkilemektedir. Yeni elektrik araçların üretilmesinin yanında mevcut araçların elektrikli dönüşümü konusunda çalışmalar ilerlerken yakıt tüketimini etkileyen treylerler üzerinde çalışmaların yapılmaya başlandığı görülmektedir. Gerek ağır yük araçların ayrılmaz bir parçası olan treylerlerin ve çekiciler olsun ve gerek günlük hayatta kullanılan karavan ve küçük treyler olsun yakıt/enerji tüketimine etkisini azaltmak için elektrikli treyler ve çekicilerin elektrikli dönüşümü yenilikçi değişim için büyük bir potansiyel avantaj vaat etmektedir. Elektrikli treyler ve çekiciler sadece var olan batarya gücünü kullanmamakta aynı zamanda hibrit sistemler ile rejeneratif olarak eş zamanlı elektrik üretimide sağlamaktadır. Bu da tercih edilme potansiyelini arttırmaktadır. Böylece frenleme ve yavaşlama sırasında kazanılan güç bataryalarda depolanarak yokuş tırmanış zamanında tersinde

kullanılarak çekiş gücü elde edilmektedir. Bu sayede elde edilen çekiş gücü ile çekici aracın yakıt tüketimi azaltılarak tasarruf sağlanmaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, elektrik tahrikli bir karavan treylerin itki kontrol sisteminin tasarımının geliştirilmesidir. Bu elektrik tahrikli karavan treyler hem düşük motor hacmine sahip küçük boyutlu taksiler ve elektrikli araçlarla kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Yukarıda bahsedilen iklim değişikliği, taşımacılıkta araç sayılarının giderek artması, fosil yakıtların tükenmesi, hava kirliliği ve elektrikli araçların artık öncelikli tercih edilebilir araçlar arasına alınması gibi sebeplerden dolayı treyler ve çekicilerinde elektrikli olarak talebi giderek artmaktadır. Elektrikli bir araca veya düşük motor hacimli bir araca bir römork veya bir karavan bağlamak, çok fazla yakıt tüketimine ve menzilin azalmasına neden olmaktadır. Treyler veya çekicilerde elektrik tahriki kullanmak öndeki çeken aracın kayıplarını telafi etmektedir.

Bu tezi gerçekleştirmek amacı ile Crawler IZZ458 çekme tip olan karavan kullanılmıştır. IZZ458 üzerinde gerekli mekanik değişiklikler yapılarak HUB motorlar ve elektrik motor sürücüleri karavan üzerine montajı gerçekleştirilmiştir. Elektrikli karavan sistemini kontrol etmek amacı ile EKÜ montajı gerçekleştirilerek elektrik motor sürücüleri arasındaki elektriksel bağlantılar ve güç bağlantıları gerçekleştirilmiştir. Can ağı haberleşme protokolleri olan J1939 ve CanOpen sistemleri karavan boyunca fiziksel olarak kurulmuştur. Elektrikli karavan sisteminin doğru bir şekilde çalışabilmesi için çeşitli kontrol kartları ve sensörler sisteme entegre edilmiştir. Elektrikli itki sisteminin doğru bir şekilde çalışabilmesi için elektrikli karavan alt yapısının tamamlanmasından sonra sistemi kontrol etmek amacı ile çeki demiri üzerinde kuvvet kontrolü yapmak amaçlanmıştır ve sisteme PID kontrol uygulanmıştır. PID kontrol uygulamasından çeşitli sebeplerden dolayı verim alınamamıştır. İkinci aşamada hız ve eğim kontrolü yapılarak Sugeno bulanık mantık algoritması kullanılarak itki sisteminin kontrolü gerçekleştirilmiştir, bunun için radyo frekansı haberleşmesi ile elektrikli karavan üzerindeki sensörlerden veri toplanmıştır ve Sugeno bulanık mantık kontrol algoritması da bulunan üyelik fonksiyonlarının sınırları belirlenmiştir. Deneysel olarak sistem sürekli izlenerek uzaman kişi bakışı oluşturularak sistem de bulunan q, p, r katsayıları sürekli eğitilerek elektrikli karavan ve çekici araç uyumluluğu sağlanmıştır. İtki kontrol sisteminin aktif olması ile çekici araç yakıt tüketiminde, itki sisteminin kapalı olması durumuna karşı %50-%80 arasında yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Toplanan veriler ve kullanıcı deneyimleri Sugeno bulanık mantık kontrol algoritmasının başarısını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Treyler, PID Kontrol, Bulanık Mantık

ABSTRACT

MS/PH.D THESIS

DESING OF AN ELECTRIC CARAVAN AND DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC THRUST CONTROL SYSTEM

Adem ADATEPE

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
OF NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF
PHILOSOPHY IN MECHATRONICS ENGINEERING**

Advisor: Asist. Prof. Dr. Barış GÖKÇE

2022, 85 Pages

Jury

Advisor Asist. Prof. Dr. Barış GÖKÇE

Prof. Dr. Mehmet KARALI

Asist. Prof. Dr. Ziya ÖZÇELİK

It is known that buses, trucks and trailers play an important role in the field of transportation. However, trucks and trailers greatly contribute to the increase in CO₂ emissions in the world. In addition to the production of new electric vehicles, it is seen that while studies on the electrical conversion of existing vehicles are progressing, studies on trailers that affect fuel consumption have begun. The electrical conversion of electric trailers and tow trucks promises a great potential advantage for innovative change, whether it is trailers and tow trucks that are an integral part of heavy-duty vehicles, as well as caravans and small trailers used in daily life, to reduce their impact on fuel/energy consumption. Electric trailers and tractor trucks not only use the existing battery power, but also provide simultaneous electricity generation regeneratively with hybrid systems. This increases the potential for preference. Thus, the power gained during braking and deceleration is stored in batteries, and

traction power is obtained by using it in reverse during uphill climbs. Thanks to the traction power obtained in this way, the fuel consumption of the towing vehicle is reduced and savings are achieved.

The main purpose of this thesis is to develop the design of the thrust control system of an electrically driven caravan trailer. This electric drive caravan trailer is designed for use with both small-sized taxis and electric vehicles with low engine power. Due to the reasons mentioned above, such as climate change, the increasing number of vehicles in transportation, the depletion of fossil fuels, air pollution, and the fact that electric vehicles are now among the preferred vehicles, the electric demand for trailers and tow trucks is increasing. Connecting a trailer or caravan to an electric vehicle or low-powered vehicle consumes too much fuel and reduces range. Using electric drive in trailers or tractors compensates for the losses of the towing vehicle in front.

In order to realize this thesis, Crawler IZZ458 trailer type caravan was used. Necessary mechanical changes were made on the IZZ458 and HUB motors and electric motor drivers were mounted on the caravan. In order to control the electric caravan system, ECU assembly was performed and electrical connections and power connections between electric motor drivers were made. J1939 and CanOpen systems, which are CAN network communication protocols, are physically installed throughout the caravan. Various control cards and sensors are integrated into the system in order for the electric caravan system to work correctly. In order for the electric trust system to work correctly, after the completion of the electric car/van infrastructure, it was aimed to control the force on the drawbar to control the system and PID control was applied to the system. Due to various reasons, efficiency could not be obtained from the PID control application. In the second stage, the control of the propulsion system was carried out by using the Sugeno fuzzy logic algorithm by controlling the speed and slope. Experimentally, the system is constantly monitored and an elongated person view is created, and the q, p, r coefficients in the system are continuously trained to ensure compatibility with electric caravans and towing vehicles. With the active trust control system, fuel consumption of the towing vehicle is between 50%-80% in case the propulsion system is turned off. The collected data and user experiences show the success of the Sugeno fuzzy logic control algorithm.

Anahtar Kelimeler: Electric Trailer, PID Control, Fuzzy Logic

ÖNSÖZ

Lisans eğitimle beraber başlayıp bu zaman kadar yol gösteren ve mentörlük eden Prof.Dr.Mehmet KARALI'ya, bu tez çalışmasında yol gösteren desteklerini ve tecrübelerini hiç bir zaman esirgemeyen danışmanım Dr.Öğr.üyesi Barış GÖKÇE'ye, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Ali Tahir KARAŞAHİN'e, tez çalışmasının gerçekleşmesinde her türlü ekipman ve donanım desteklerini esirgemeyen CRAWLER KARAVAN'a teşekkür ederim. Ayrıca bu tez çalışması boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen Annem ve kız kardeşlerime, desteğini hiç bir zaman esirgemeyen, her zaman teşvik eden sevgili eşime teşekkürü borç bilirim.

Adem ADATEPE
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Araştırma Konusu İle İlgili Literatür Bilgisi	3
2.1.1. Treyler	3
2.1.1.1. Düz Yataklı Treylerler	3
2.1.1.2. Uzatılabilir Düz Yataklı Treylerler	4
2.1.1.3. Kuru Van veya Kapalı Treylerler	4
2.1.1.4. Soğutmalı Treylerler	5
2.1.1.5. Tıbbi Treylerler	6
2.1.2. Elektronik Kontrol Ünitesi(EKÜ)	6
2.1.3. Yük Hücresi	8
2.1.3.1. Gerinim Ölçer (Strain Gauge)	9
2.1.3.2. WheatStone Köprüsü	9
2.1.4. Yük Hücresi Ölçüm Cihazı	10
2.1.5. Can Ağı (CanBus)	11
2.1.5.1. Can Ağı J1939 Protokolü	12
2.1.5.2. Can Ağı CanOpen Protokolü	13
2.1.6. Elektrik Motor Sürücüleri	14
2.1.7. Elektrik Motorları	15
2.1.7.1. Doğru Akım Elektrik Motorları	15
2.1.7.2. Asekron Motorlar	16
2.1.7.3. Fırçasız Doğru Akım Motorlar	17

2.1.7.4.	Kalıcı Mıknatıslı Sekron Motorlar	18
2.1.7.5.	Anahtarlamaalı Relüktans Motorları	19
2.1.7.6.	HUB Motor	19
2.1.8.	Kontrol Sistemleri	20
2.1.8.1.	Oransal İntegral Türev (PID) Kontrol	21
2.1.8.2.	Bulanık Mantık(Fuzzy Logic)	23
2.1.8.3.	Kalman Filtresi	27
2.1.8.4.	Alçak Geçiren Filtre (Low Pass Filter)	28
2.2.	Araştırma İle İlgili Literatür Araştırması	29
3.	MATERYAL VE METOT	35
3.1.	Materyaller	35
3.1.1.	Crawler IZZ458	36
3.1.2.	Fırçasız Doğru Akım HUB Motorlar	37
3.1.3.	Elektrik Motor Sürücüsü	38
3.1.4.	Elektronik Kontrol Ünitesi(EKÜ))	40
3.1.5.	Ataletsel Ölçüm Birimi (AÖB)	41
3.1.6.	Global Konumlandırma Sistemi(GPS)	43
3.1.7.	Barometre	44
3.1.8.	Bluetooth Haberleşme	45
3.1.9.	Yük Hücresi	45
3.1.10.	Yük Hücresi Ölçüm Cihazı	46
3.1.11.	Can Ağı Fiziksel Kablo Sistemi	47
3.1.12.	Batarya	48
3.1.13.	Kicad Elektronik Tasarım Yazılımı	49
3.1.14.	Codesys Yazılım Geliştirme Arayüzü	49
3.1.15.	Stm32CubeId Yazılım Geliştirme Arayüzü	49
3.1.16.	QT Creator	49
3.2.	Metotlar	50
3.2.1.	C Yazılım Geliştirilmesi	50
3.2.2.	Kicad Elektronik Kart Tasarım	51
3.2.3.	Oransal İntegral Türev (PID) Kontrol	52
3.2.4.	Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Denetleyicisi	52

3.2.5. Kalman Filtresi.....	53
3.2.6. Alçak Geçiren Filtre(Low Pass Filter)	53
3.2.7. Radyo Frekansı (RF) haberleşme	53
3.2.8. Qt Yazılım Geliştirme	54
4. SİSTEM GELİŞTİRME VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	56
4.1. Sistem Geliştirme.....	56
4.1.1. Veri Toplama Baskılı Devre Kartı(PCB).....	58
4.1.2. Sistem Kontrolü Baskılı Devre Kartı(PCB)	63
4.2. Deneysel Çalışmalar.....	65
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	74
5.1. Sonuçlar	74
5.2. Öneriler	75
KAYNAKLAR	77

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Treyley Şase[1]	3
2.2 Düz Yataklı Treyley[2]	4
2.3 Uzatılmış Düz Yataklı Treyley[3]	4
2.4 Kuru Van Veya Kapalı Treyley[4]	5
2.5 Soğutmalı Treyley[5]	6
2.6 Tıbbi Treyley[1]	6
2.7 Örnek Bir EKÜ Sistemi[7]	8
2.8 Örnek Lama Tipi Yük Hücresi[9]	8
2.9 Gerinim Ölçer[11]	9
2.10 WheatStone Devre Şeması[10]	10
2.11 Yük Hücresi Ölçüm Cihazı[13]	11
2.12 Örnek Bir CAN Ağı Yapısı[18]	12
2.13 j19391 Mesaj Çerçevesi[20]	13
2.14 CanOpen Mesaj Çerçevesi[22]	14
2.15 Elektrikli Motor Sürücü Şeması [24]	15
2.16 DC Motor İç Yapısı[25]	16
2.17 Asekron Motor[27]	17
2.18 Fırçasız Doğru Akım Motoru[28]	18
2.19 Kalıcı Miknatıslı Sekron Motor[29]	19
2.20 Relüktans Motoru İç Yapısı[30]	19
2.21 HUB Motor[32]	20
2.22 PID Kontrol Algoritması[37]	21
2.23 Kp Kontrol Algoritması[37]	22
2.24 Ki Kontrol Algoritması[37]	23
2.25 Kd Kontrol Algoritması[37]	23
2.26 Bulanık Mantık Akış Şeması[51]	24
2.27 Mamdani Çıkarım Grafiği[58]	26
2.28 Sugeno Üyelik Fonksiyonları ve Ağırlık Hesabı[71]	27
2.29 Kalman Filtresi Algoritması[73]	28

2.30	Alçak Geçiren Filtre Grafiği [75]	29
3.1	IZZ458 Ölçüleri[86]	36
3.2	Fırçasız Doğru Akım HUB Motorları	38
3.3	Elektrik motor sürücüsü	40
3.4	Ataletsel Ölçüm Birimi [87]	43
3.5	Global Konumlandırma Sistemi Entegrasyonu[88]	44
3.6	Barometre Sensörü[89]	45
3.7	Bluetooth Haberleşme[90]	45
3.8	S Tipi Yük Hücresi[91]	46
3.9	Yük Hücresi Ölçüm Cihazı[92]	47
3.10	Canbus Kablolama Şeması[93]	48
3.11	C Tabanlı Örnek Kod Parçası	51
3.12	Data Toplama Kartı Üst Katman ve 3 Boyutlu Görüntüsü	52
3.13	Sugeno Giriş Ve Çıkış Algoritması[64]	53
3.14	Kullanılan Elektromanyetik Dalgaların Frekans Aralığı[95]	54
3.15	Bilgisayar Treyler İzleme Ve Veri Kaydetme Arayüzü	55
4.1	IZZ458 Ve Çekici Araç Yük Hücresi Bağlantısı	56
4.2	Kocaeli Çekmeköy Güzergah Harita Görüntüsü[96]	57
4.3	Elektrikli Karavan HUB Motor Ve Elektrik Motor Sürücüsü Montajı	58
4.4	HUB Motor Ve Elektrikli Motor Sürücüler Test	58
4.5	Veri Toplama Kartı Katmanları	59
4.6	Veri Toplama Kartı Entegre Yerleşimleri	60
4.7	Veri Toplama Kartı Ve Gps Modülü	61
4.8	Bluetooth Haberleşme Modülü	62
4.9	Uzun Mesafe Radyo Frekansı Haberleşme Modülü	63
4.10	Sistem Kontrol Kartı Alt Ve Üst Katman Görüntüsü	64
4.11	İtki Sistemi PID Testi	66
4.12	Birleşik Data İtki Sistemi PID Testi	67
4.13	İtki Sistemi PID Testi 1	68
4.14	İtki Sistemi PID Testi 2	69
4.15	Sugeno Kontrolcü Şeması	70
4.16	Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları	70

4.17 İtki Sitemi Sugeno Testi	71
4.18 İtki Sitemi Tırmanış Sugeno Testi	72
4.19 İtki Sitemi İniş Sugeno Testi	73



TABLÖLAR LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Crawler IZZ458 Teknik Özellikleri	37
3.2 Fırçasız Doğru Akım HUB Motorların Teknik Özellikleri	38



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Kısaltmalar

ADC : Analog Dijital Dönüştürücü (Analog to Digital Converter)

ARM : Acorn RISC Machine

USART : Evrensel Senkron Asenkron Alıcı Verici (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Trasmmitter)

PCB : Printed Circuit Board (Baskılı Devre Kartı)

UART : Evrensel Asenkron Alıcı VericiUniversal (Asynchronous Receiver Trasmmitter)

SPI : Seri Çevresel Arayüz (Serial Peripheral Interface)

CAN : Kontrol Alan Ağı Veri Yolu (Controller Area Network)

DAC : Dijital Analog Dönüştürücü (Digital to Analog Converter)

GPIO : Genel Amaçlı Giriş Çıkış (General Purpose Input Output)

OPAMP : İşlemsel Yükselteç (Operational Amplifier)

DCM : Doğru Akım Motoru (Direct Current Motor)

EMC : Elektromanyetik Uyumluluk (Electromagnetic Compatibility)

GNSS : Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Navigation Satellite Systems)

GLONASS : Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System)

PGN : Parametre Grup Numarası (Parameter Group Number)

SPN : Şüpheli Parametre Numarası (Suspect Parameter Number)

DC : Doğru Akım (Direct Current)

AC : Alternatif Akım (Alternative Current)

1. GİRİŞ

Taşımacılık alanında otobüslerin, kamyonların ve çekicilerin önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Bununla birlikte kamyonlar ve çekiciler dünyadaki CO₂ emisyonlarının artmasına büyük oranda etkilemektedir. Otobüslerin ve kamyonların elektriksel dönüşümü konusunda çalışmalar ilerlerken yakıt tüketimini etkileyen çekiciler üzerinde çalışmaların yapılmaya başlandığı görülmektedir. Ağır yük araçların ayrılmaz bir parçası olan treylerin ve çekicilerin yakıt tüketimine etkisini azaltmak için elektrikli treyler ve çekicilerin elektriksel dönüşümü yenilikçi değişim için büyük bir potansiyel avantaj vaat etmektedir. Elektrikli treyler ve çekiciler sadece var olan batarya gücünü kullanmamakta aynı zamanda hibrit sistemler ile rejeneratif olarak eş zamanlı elektrik üretimi sağlamaktadır. Buda tercih edilme potansiyelini arttırmaktadır. Böylece frenleme ve yavaşlama sırasında kazanılan güç bataryalarda depolanarak yokuş tırmanış zamanında tersinde kullanılarak çekiş gücü elde edilmektedir. Bu sayede elde edilen çekiş gücü ile çekici aracın yakıt tüketimi azaltılarak tasarruf sağlanmaktadır.

Daha sürdürülebilir bir dünyaya duyulan ihtiyaç çeşitli rakamlarla kanıtlanmıştır. Karbon salınımı (CO₂) son otuz yılda yılda yaklaşık %1.6 artmıştır (Kasman ve Dunman, 2015, s. 97). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), 2007’de karbon emisyonundaki artışın, önümüzdeki 100 yıl içinde sıcaklığın 1,1 ile 6,4 santigrat derece arasında yükselmesine neden olacağını bildirmiştir (IPCC, 2007) Halihazırda ulaştırma sektörü, dünya çapındaki karbon emisyonunun en az %23’ünden sorumludur (IPCC, 2013). Ulaşımında güvenlik de yine önemli ve güncel bir konudur. Araçları daha kullanıcı dostu yapmak, daha fazla güvenli hale getirerek daha fazla sürdürülebilirlik sağlanabilir. Teknik yenilikler bu alandaki önemli katkılardır. Teknik yeniliklerin gerçekçi bir iş veya ürün çıktısına dönüşebilmesi için uygulanabilir olması son derece önemlidir. Bu açıdan bu alanda yapılacak her türlü uygulanabilir teknik yenilik sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır.

Elektrik tahrikli treyler veya çekici sistemi, sadece nakliye endüstrisinde değil aynı zamanda karavan sektöründe de karbon emisyonunu azaltmanın yanı sıra güvenlik ve kullanım kolaylığına da katkıda bulunan bir seçenek olarak görülmektedir. Özellikle otomotiv

sektörüne sürdürülebilir bir yenilik getirmek oldukça zor ve uzun soluklu bir süreçtir. Ancak treyler veya çekiciler için bu zorluk bulunmamaktadır. Özellikle pazarda kendini hızlı bir şekilde uygulanabilir kılmaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, elektrik tahrikli bir karavan treylerin itki kontrol sisteminin tasarımıdır. Bu elektrik tahrikli karavan treyler hem düşük motor hacmine sahip küçük boyutlu taksiler ile yine elektrikli araçlarla kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Yukarıda bahsedilen iklim değişikliği, taşımacılıkta araç sayılarının giderek artması, fosil yakıtların tükenmesi, hava kirliliği ve elektrikli araçların artık öncelikli tercih edilebilir araçlar arasına alınması gibi sebeplerden dolayı treyler ve çekicilerinde elektrikli olarak talebi giderek artmaktadır. Ülkemizde otomobil römorklarının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Elektrikli bir araca veya düşük motor hacimli bir araca bir römork veya bir karavan bağlamak, çok fazla yakıt tüketimine ve menzilin azalmasına neden olmaktadır. Treyler veya çekicilerde elektrik tahriki kullanmak öndeki çeken aracın kayıplarını kısmen telafi etmektedir.

Bu tez çalışmasının ilk bölümünde elektrikli çekici ve treyler sistemlerde kullanılan sistemlerin tanıtımı yapılmış ve anlatımda karavan örneği kullanılmıştır. Bu bölümde aynı zamanda literatürde yapılan çalışmalardan bahsedilerek konunun güncelliği hakkında bilgiler verilmiştir. Tez çalışmasının ikinci bölümünde, elektrikli bir karavanın özellikleri ve varyantların tasarımı, gereksinimler açısından değerlendirilmesi ve seçilen varyantın tasarımı verilmiştir. Kullanılan şase için boyutlandırma ve gerekli motor gücünü belirlenmesi ve bununla ilgili olarak, motorun seçimi ve gerekli pil ünitesinin oluşturulması sağlanmıştır. Çalışma içerisinde gerekli elektronik bileşenler belirlenmiş ve hazır olan bileşenler temin edilmiştir. Bunun yanında özellikle kablosuz haberleşme sistemleri, enkoder sistemleri ve analog kontrol sistemleri için elektronik kart tasarımları ve üretimleri gerçekleştirilmiştir. Aracın tasarımı, üretimi ve montajı sağlandıktan sonra kontrol algoritmaları uygulanmış ve çekiş testleri yapılarak çalışma sonlandırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaynak araştırması iki başlık altında incelenmiştir. Birinci başlık altında tez kapsamında kullanılan materyal ve metotların literatürdeki karşılıklarından ve tanımlarından bahsedilmiştir. İkinci kısımda ise tez kapsamında gerçekleştirilen önermenin literatürdeki karşılığı araştırılmıştır ve benzer çalışmalardan bahsedilmiştir.

2.1. Araştırma Konusu İle İlgili Literatür Bilgisi

Bu bölüm de tez kapsamın da kullanılan treyler, elektronik kontrol ünitesi(EKÜ), yük hücresi, can ağı haberleşme protokol sürümleri olan J1939 ve CanOpen haberleşme protokolleri, elektrik motor sürücüler, elektrik motorları, PID kontrol, bulanık mantık, kalman filtresi ve alçak geçiren filtrenin literatür taraması yapılarak konulardan başlıklar halinde bahsedilmiştir.

2.1.1. Treyler

Treyler veya römork motorlu bir araca çeşitli bağlantı araçları ile bağlanılarak çekilen kendinden itki veya tahrik üretemeyen araçlardır. Genellikle mal ve malzeme taşımacılığı veya karavan sektöründe alt bileşenler olarak kullanılırlar. Şekil 2.1’de bir treyler sisteminin şasesi görünmektedir.



Şekil 2.1. Treyler Şase[1]

2.1.1.1. Düz Yataklı Treylerler

Düz yataklı treylerler her yönden açık oldukları için en çok tercih edilen treylerler arasında yer almaktadır, yük yüklemesi ve yük boşaltması kolaydır. Genellikle 7 metre ile 17 metre uzunluğunda olabilirler ve 24 ton ağırlığa kadar yük taşıyabilirler[2]. Örnek bir düz yataklı treyler Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Düz Yataklı Treyler[2]

2.1.1.2. Uzatılabilir Düz Yataklı Treylerler

Uzatılabilir düz yataklı treylerler normal düz yataklı treylerlerin bir türüdür ve iki bölümlü serbest bırakma noktasında bir pim kullanılarak boyları 30 metreye kadar uzatılabilirler. Uzun yüklerin yerleştirilmesi için arka kısım pimlerinden açılarak normal düz yataklı treylerler için büyük olan yükler kolaylıkla yüklenebilir[3]. Örnek bir uzatılabilir düz yataklı treyler Şekil 2.3’de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Uzatılmış Düz Yataklı Treyler[3]

2.1.1.3. Kuru Van veya Kapalı Treylerler

Kuru Van treylerler düz yataklı treylerlerden farklı olarak üzerleri kapalı tipte treylerlerdir. Kapalı tipte treyler oldukları için taşınan yük ekstra bir koruma sağlayarak taşınan malzeme ve malları dışardaki iklim şartlarından korurlar. 21-23 ton arasında yük taşıma yetenekleri vardır[4]. Örnek bir kuru van veya kapalı treyler Şekil 2.4'de gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Kuru Van Veya Kapalı Treyler[4]

2.1.1.4. Soğutmalı Treylerler

Soğutmalı treylerlerde kasa içerisinde içerideki havayı iklimlendiricek sistemler barındırır bu sayede içerideki hava kontrol edilir. Havanın kontrol edilmesi ilaç veya sıcaklık değişimleriyle bozulabilecek malzemeler için önemlidir, iklimlendirme sayesinde mal ve malzemeler sorunsuz bir şekilde taşınmaktadır[5]. Örnek bir soğutmalı treyler Şekil 2.5'de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Soğutmalı Treyler[5]

2.1.1.5. Tıbbi Treylerler

Treyler üzerine inşa edilmiş konteynerler içinde hastaları tedavi etmek, kan almak veya kan nakli gerçekleştirmek, temel kullanımlar ve acil durumlar için kullanılan araçlardır[1]. Örnek bir tıbbi treyler Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Tıbbi Treyler[1]

Genel olarak onlarca treyler bulunsa da temelde hepsi aynı alt sistem üzerine kurulmuş olduğu görülmektedir, alt sistem oluşturulduktan sonra üzerine istenildiği gibi üst yapı inşa etmek mümkündür. Temel alt sistem lojistik, tıp, karavan, mobil ev gibi bir çok üst yapı için geniş yelpazede kullanılmaktadır.

2.1.2. Elektronik Kontrol Ünitesi(EKÜ)

EKÜ terimi motor kontrol ünitesi olarak kullanıldığı gibi aynı zamanda elektronik kontrol ünitesi olarak kullanılabilir. Elektronik kontrol birimleri sadece motor kontrolü için değil, sahip oldukları donanıma ve yazılıma bağlı olarak herhangi bir otomotiv mekatronik sistemin kontrolünde de kullanılabilirler. Günümüzde yaygın olarak iş makineleri, hava araçları ve deniz araçlarının motor ve diğer fonksiyonların düzgün bir şekilde çalışmasını kontrol etmek amacı ile kullanılır. Elektronik kontrol üniteleri dahili önceden programlanmış işlemcilere, hafıza birimlerine, gömülü çevre birimlerine sahiplerdir[6]. Aracın fonksiyonlarının doğru bir şekilde çalışması için aynı zamanda bu fonksiyonlara bağlı sensörlere ihtiyaç vardır bu sensörlerden gelen veriler EKÜ tarafından okunarak gerekli hesaplamalar yapılır ve bu hesaplamalara bağlı olarak EKÜ tarafından çeşitli çıktılar üretilebilir. Örneğin enjektore verilen yakıt miktarını ve motorun çalışması için bobinlerin ne zaman ateşleneceğini EKÜ'nün hesaplaması için bu birimlere bağlı sensörlerden gelen bilgilere ihtiyaç vardır. Bir araç üzerinde bütün fonksiyonları tek bir EKÜ ile kontrol edilebileceği gibi birden çok dağıtık bir sistemden oluşan EKÜ'ler ile de kontrol edilebilir. Tek bir sistemde EKÜ ana işlemcisinin çökmesi sonucu bütün sistem duracağı ve tüm sistemlerden gelen kablo karmaşası gibi sebeplerden dolayı tercih edilmemektedir daha çok her sistem kendi içerisinde küçük kapalı sistemlerle çalışabileceği daha az donanım ihtiyacı olan EKÜ'lerden oluşabilir bu EKÜ'ler Can ağı aracılığı ile master EKÜ ile haberleşerek sistemin bütünlüğünü sağlayabilirler ayrıca herhangi bir sistem çökse bile diğer sistemler çalışmaya devam edebilir paralel sistemler sayesinde de bozulan sisteme pratik çözümler üretilebilir, Can ağı iki kablodan oluşan haberleşme sistemi sayesinde de kablo fazlalığı ve kablo karmaşasından kurtulunmuş olur. Örnek bir EKÜ sistemi Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Örnek Bir EKÜ Sistemi[7]

2.1.3. Yük Hücresi

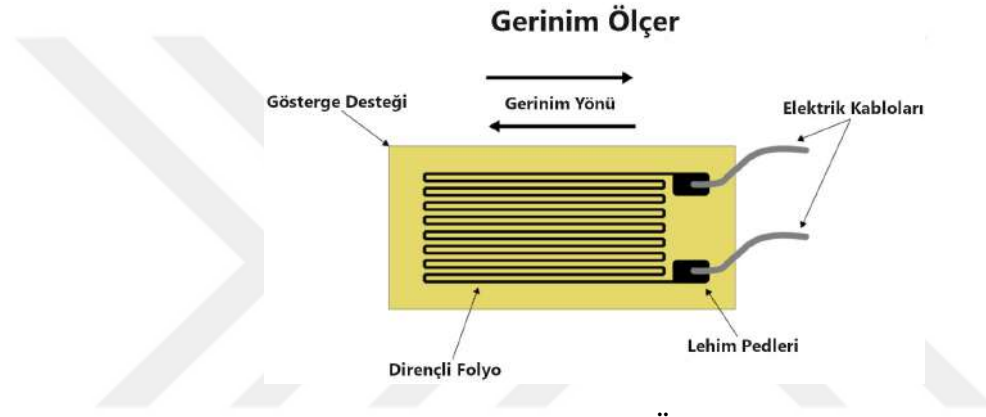
Yük hücreleri kütle, tork ve benzeri kuvvetleri elektrik sinyallerine çeviren sensörlerdir. Streslerinden arındırılmış çelik malzemeden yapılmış kullanım amacına göre çeşitli şekillerde olabilirler. Oluşan kuvvetleri ölçmek için çelik malzemenin içerisine gerinim ölçer (strain gauge) adı verilen daralmada, uzamada, bükülme gibi çeşitli mekanik değişimlerde direnç değerleri değişen bir tür direnç bulunur. Bu dirençler sayesinde çelik malzeme üzerinde oluşan herhangi bir kuvvet elektrik sinyaline dönüştürülerek ölçülür[8]. Gerinim ölçer'ler de oluşan gerilimi WheatStone köprüsü adı verilen direnç devresi ve yüksek çözünürlüğe sahip analog dijital dönüştürücü ile ölçülebilir. Ölçülen değerler çeşitli hesaplamalar sonucunda kuvvet birimine dönüştürülebilir. Yük hücreleri hassas ölçüm yapılan laboratuvarlardan endüstrideki bir çok ağır iş makinelerine kadar bir çok alanda kullanılmaktadır. Türlerine göre lama tipi, s tipi, platform tipi, bası tipi ve özel tasarım yük hücreleri olmak üzere beş guruba ayrılmaktadır. Yük hücreleri ölçüm sıklasına göre gram seviyesinden başlayıp binlerce ton ölçebilecek şekilde tasarlanabilir. Örnek bir lama tipi yük hücresi Şekil 2.8'de gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Örnek Lama Tipi Yük Hücresi[9]

2.1.3.1. Gerinim Ölçer (Strain Gauge)

Gerinim ölçerler üzerindeki gerininin değişikliğine bağlı olarak dirençleri değişen sensörlerdir. Gerinim, malzeme üzerine uygulanan bir gerilimden veya bir yönde uygulanan kuvvetten kaynaklanan malzeme üzerindeki deformasyon veya yer değiştirmesidir[10]. Gerinim ölçerler uygulanan basıncı, torku ve benzeri kuvvetleri elektrik sinyallerine dönüştürürler. Uygulanan kuvvet gerinim ölçer üzerinde bir gerinime neden olur bu gerinim de, gerinim ölçerin direncinin değişmesine neden olur oluşan bu değişiklik uygun elektronik devreler ile voltaja çevrilir. Şekil 2.9'da örnek bir gerinim ölçer gösterilmektedir.

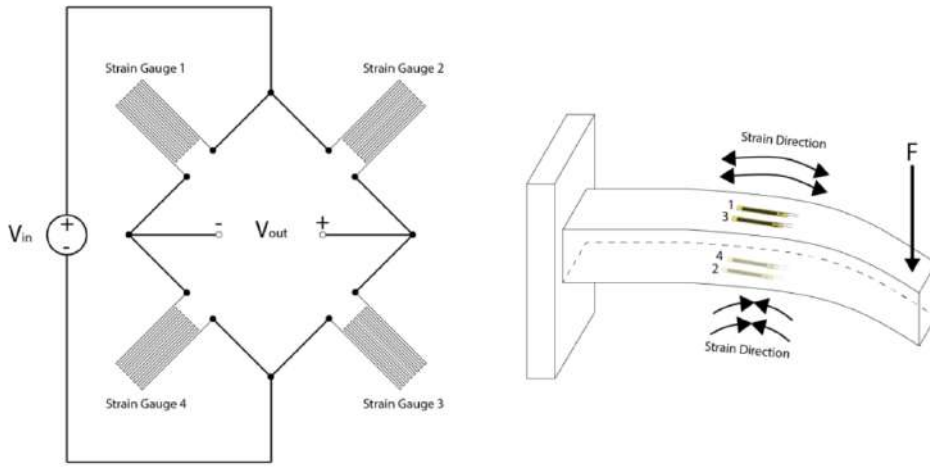


Şekil 2.9. Gerinim Ölçer[11]

2.1.3.2. WheatStone Köprüsü

Sir Charles Wheatstone tarafından tasarlanan wheatstone köprüsü iki ayağı denge-lenerek bilinmeyen bir direnci hesaplamak için tasarlanmıştır. İki bilinen direnç, bir bi-linmeyen direnç ve bir değişken dirençten köprü şeklinde oluşturulur. Wheatstone köprüsü oldukça doğru sonuçlar verdiği için çok güvenilirdir. Wheatstone köprüsü sıfır sapma ilkesi ile çalışır yani devrede bulunan direnç oranları eşittir ve devreden akım geçmez[12]. Gerinim ölçerler de dışardan uygulanan kuvvet ile gerinim ölçer üzerindeki dirençte çok küçük uzama veya kısalmalar olur ve direnç değerleri değişir, oluşan bu direnç değişikliklerini doğru bir şekilde ölçebilen elektronik devresine ihtiyaç vardır, bu durum için Wheatstone köprüsü oldukça yaygın çözümlerden biridir. Yük hücreğine etki eden herhangi bir kuvvet olmadığında wheatstone köprüsü dengedir ve çıkış voltajı sıfırdır. Yük hücreğine herhangi bir kuvvet

uygulandığında gerinim ölçerlerin dirençlerinde değişimler meydana gelerek wheatstone köprüsünün dengesinin bozulmasına neden olarak çıkış voltajının değişmesine sebep olurlar. Oluşan bu voltajlar yüksek çözünürlüklü analog dijital dönüştürücü ile okunarak anlamlandırılmalıdır. Gerinim ölçerler çevreye oldukça duyarlı sensörlerdir sıcaklık kompanzasyonu yapılmalı ve diğer etmenlerden oluşan gürültüler sinyal işleme teknikleri ile arındırılmalıdır[10]. Şekil 2.10'da örnek bir wheatstone köprüsü devre şeması ve gerinim ölçerlerin metal üzerine yerleşimi ve uygulanan kuvvette göre gerinim ölçerlerin davranış şekli görülmektedir.



Şekil 2.10. WheatStone Devre Şeması[10]

2.1.4. Yük Hücresi Ölçüm Cihazı

Yük hücresi üzerinde wheatstone köprüsü bulunur, wheatstone köprüsü gerinim ölçere bağlıdır bu sayede gerinim ölçer de herhangi bir değişim olduğundan wheatstone köprüsünün denge hali bozularak çıkış voltajında değişimler olur ve genellikle bu voltaj değişimleri mili volt seviyesindedir. Mili volt seviyesindeki değişimleri doğru bir şekilde ölçmek ve gürültülerden arındırmak için karmaşık elektronik devreler, dijital veya analog filtreleme ihtiyacı vardır. Bu noktada ortaya çıkan gömülü sistem ihtiyacını yük hücresi ölçüm cihazları karşılamaktadır. Bu cihazların üzerinde genellikle yüksek çözünürlükte ve yüksek hızda analog dijital dönüştürücü bulunur, analog dijital dönüştürücü yardımı ile wheatstone köprüsü üzerindeki mili volt mertebesindeki değişimler ölçülür, okunan değerler bir mikroişlemci vası-

tasıyla yorumlanabilir[13]. Yük hücresi ölçüm cihazlarının doğru bir şekilde çalışması için yük hücresi üzerinde elektronik olarak pasif elemanlarla yapılmış filtre ve mikro işlemci de yazılım ile tasarlanmış dijital filtreler bulunur. Analog dijital dönüştürücü vasıtası ile ölçüm yapılan değerler mikro işlemciye gelerek çeşitli fonksiyonlar ve filtreleme işlemlerinden geçirilerek anlamlı veriler elde edilir, bu işlemler yapılırken elde edilen veriler çevresel faktörlerden kaynaklanan gürültülerden arındırılırlar. Elde edilen anlamlı veriler can ağı, rs485, ethernet gibi haberleşme protokolleri sayesinde bilgisayar veya mikro denetleyicilere sahip kontrolcülere gönderilir veya yük hücresi ölçüm cihazının gelişmişlik seviyesine bağlı olarak yük hücresi ölçüm cihazı üzerinde de işlem yapılarak çıkış verilebilir. Örnek bir yük hücresi ölçüm cihazı Şekil 2.11’de gösterilmektedir.

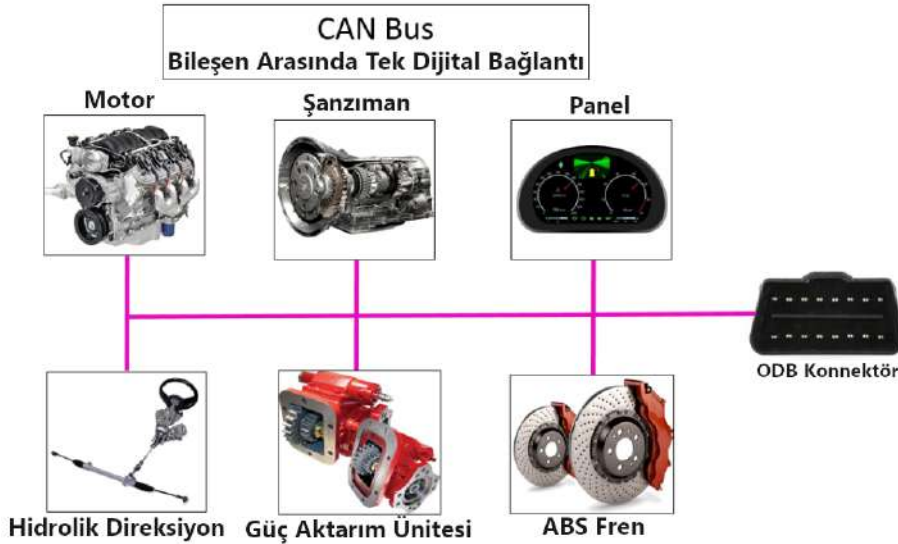


Şekil 2.11. Yük Hücresi Ölçüm Cihazı[13]

2.1.5. Can Ağı (CanBus)

1980’li yıllarda bosch tarafından araç içi iletişim için tanıtılan fiziksel olarak 2 adet diferansiyel kablodan oluşan haberleşme protokolüdür. İki telli yapısı sayesinde sistemleri kablo karmaşasından kurtarmıştır. Can ağı taşınan data paketlerinde hatayı sıfır seviyesine kadar indirebilir bunun sayesinde data kaybını önler. Yapılandırılmaya bağlı olarak sistem karşılıklı el sıkışarak data kaybı varsa veya data iletilmemişse data paketini yeniden ileterek dataların güvenli bir şekilde iletilmesini sağlar[14, 15, 16]. CAN ağı güvenilirliği sayesinde yıllar içerisinde fabrika otomasyonları, uçak ve uzay araçları, otobüs kamyon gibi

sayısız alanda kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde otomotiv sektörünün olmazsa olmazı halindedir araçlar üzerinde genel olarak bütün birimler can ağı aracılığı ile iletişim kurarlar. Fiziksel olarak diferansiyel iki kablodan oluşan can ağı hattı çevresel parazitler minimum etkilenerek data paketleri güvenli bir şekilde iletirler. Yapılandırma şekline göre iki kablodan biri kesilecek olursa diğer kablo hala data iletmeye devam edebilir. Araçlarda genellikle birden fazla can ağı hattı bulunabilir ve can ağı hatların hızları kendi aralarında değişkenlik gösterebilir. Düşük data hızına sahip hatlarda genellikle camların kontrolü, farların kontrolü gibi kontrolcüler bağlanır, yüksek data hızına sahip hatlara ise frenler, motorun çalışması gibi daha hayati fonksiyonlar bağlanır. CAN ağı fiziksel hat üzerinde herhangi bir cihaz bozulsa bile çalışmaya devam edebilir bu tip arızalar veya elektromanyetik parazitlere karşı dayanıklıdır bu durumda güvenilirliğini artırmaktadır[17]. Örnek bir can ağı Şekil 2.12’de gösterilmektedir.

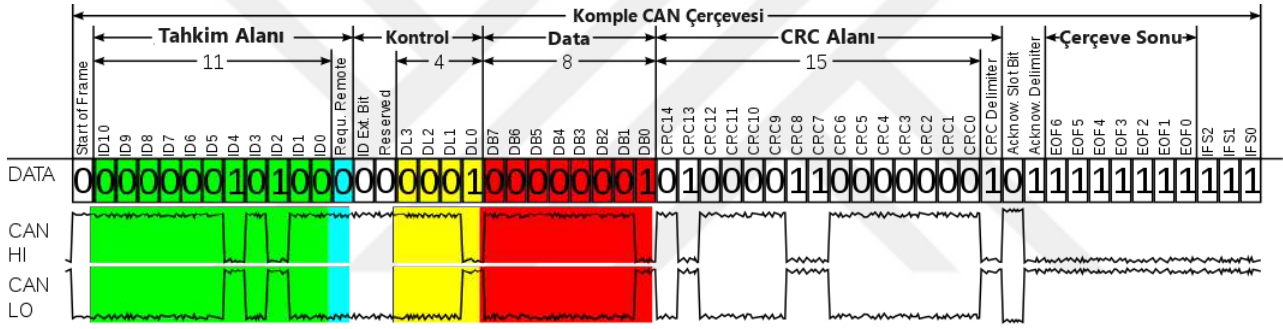


Şekil 2.12. Örnek Bir CAN Ağı Yapısı[18]

2.1.5.1. Can Ağı J1939 Protokolü

Can ağı protokolünün bir versiyonu olan ve standartlaşmış olan haberleşme protokolüdür. Genellikle endüstriyel dizel motorlarda sıklıkla kullanılır ayrıca ağır vasıta araçları, tarım araçları, inşaat araçları gibi genellikle ağır araçlarda da tercih edilmektedir. Protokol standartlaştığı için üreticiler arasında ortak bir dil sağlamaktadır. j1939 data çerçevesinin id numarası 29 bittir oluşmaktadır genellikle j1939 250 bin data hızı kullanılır. Mesajlar

ler. CanOpen 10kbit/s den 1000kbit/s hızlara kadar ayarlanabilir. Canopen data çerçevesi id'si 11 bitten oluşur. Canopen 5 katmandan oluşur, ağ katmanında adresleme ve yönlendirme işlemleri, taşıma katmanının da uçtan uca güvenilirlik, oturum katmanında sekronizasyon, sunum katmanının da veri gösterimi işlemleri gerçekleştirilir ve son olarakta uygulama katmanında ise CanOpen cihazlarının nasıl yapılandırılacağını ve sekronize edeceği gibi işlemler yerine getirilir[21]. CanOpen protokolü oldukça güvenilir bir haberleşme protokolüdür. CanOpen bağlı olduğu cihazı ve hattı sürekli dinleyerek cihazda veya hatta herhangi bir sorun var mı kontrol eder. Tüm mesajlar kendilerine ayrılmış COB id ve protokoller ile aktarılarak mesaj güvenliği sağlanır ve sorunsuz ve kayıpsız data aktarımını garanti eder. Ayrıca CanOpen verilerine incelenerek olası arıza tespitleri yapmak ve önlemek CanOpen protokolünün izlenebilirliğinin sunduğu avantajlardan biridir. Örnek bir CanOpen veri çerçevesi Şekil 2.14'de gösterilmektedir.

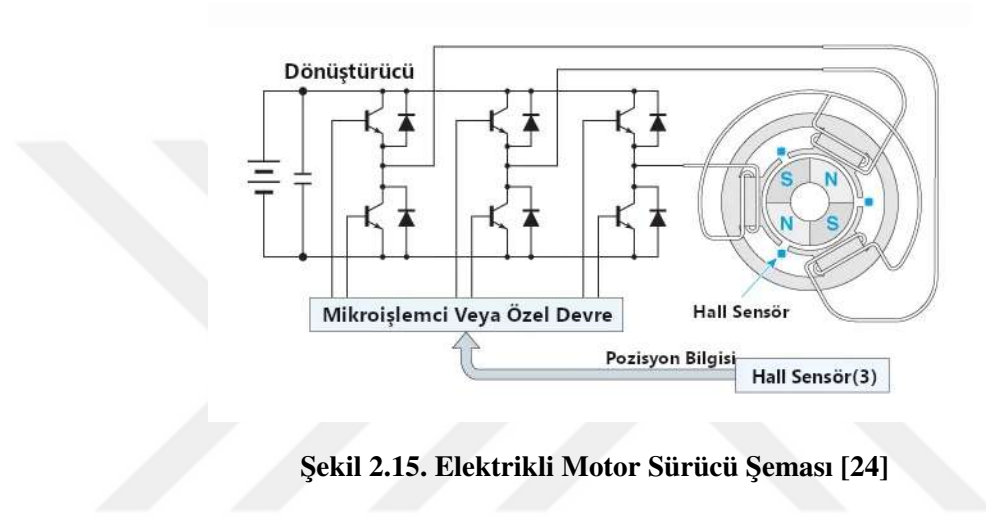


Şekil 2.14. CanOpen Mesaj Çerçevesi[22]

2.1.6. Elektrik Motor Sürücüleri

Günümüzde bir çok doğru akım veya alternatif akım motor türleri vardır, bu motor türleri o anki sisteme ve ihtiyaçlara göre değişiklik göstermektedir. Bir çok motor şebekeye direk bağlanarak çalıştırılmaz. Gerek sistemsel olarak hız, ivme, tork gibi fonksiyonların kontrolü olsun gerek motorun düzgün bir şekilde çalışabilmesi için motor sargılarının belirli bir komütasyonda enerjilendirilmesi gibi sebepleri vardır. Bu fonksiyonların yerine gerilmesi için elektronik devrelere ihtiyaç vardır bu nokta elektrik motor sürücüleri devreye girer. Motor türlerine göre elektrik motor sürücülerinde değişiklik göstermektedir. Elektrik motor sürücüleri kullanılacakları motora bağlı olarak AC veya DC olarak voltajı, akımı, motor çıkış frekansı gibi bir çok fonksiyonu kontrol ederek motorun düzgün bir şekilde ve akım,

voltaj, sıcaklık gibi değerleri güvenli bölgede tutarak motorların zarar görmeden çalışmalarını sağlamaktadırlar[23]. Günümüzde motor sürücüler elektronik ve yazılımsal olarak çok gelişmişlerdir kendi üzerinde bulunan işlemciler ile bir çok kapalı çevrim algoritmayı çalıştırarak motor fonksiyonlarını istenilen değer aralığında stabil bir şekilde tutabilmektedirler. Son kullanıcı veya kontrol bilgisayarları ile elektrik motor sürücülerinde bulunan bir çok haberleşme teknolojisi ile iletişim kurabilirler, bu sayede dinamik bir şekilde motor kontrol imkanı sağlarlar. Örnek bir elektrikli motor sürücü şeması Şekil 2.15’de gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Elektrikli Motor Sürücü Şeması [24]

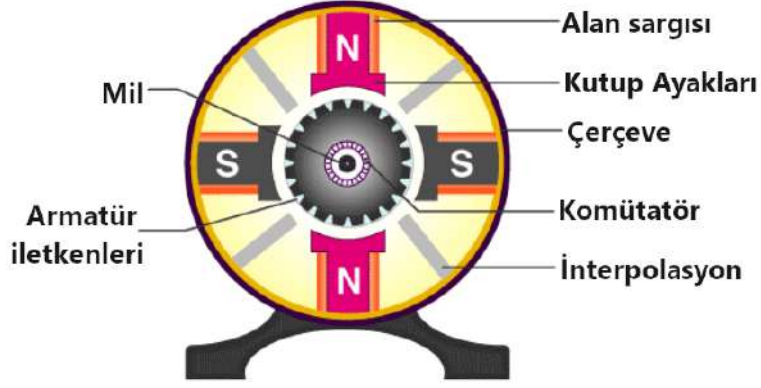
2.1.7. Elektrik Motorları

Bu bölümde elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları incelenmiştir ve karavan treyler sistemi için ürettikleri güç, maliyet, mekanik montaj gibi başlıklar araştırılmıştır.

2.1.7.1. Doğru Akım Elektrik Motorları

Doğru akım motorlar, doğru akım elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirebilen bir tür makinedir. Doğru akım motora doğru akım verildiği zaman doğru akım motor içerisindeki rotor bölümünde bulunan bobinlerden bu akım geçerek motorun çekirdeğinde bir manyetik alan oluşturur. Statordaki bobinlerde indüklenen kutuplar statorda bulunan sabit mıknatıslara aynı yönde oluşmaktadır aynı manyetik kutuplardan dolayı motorun rotorunda tork kuvveti oluşarak kutupların yönüne bağlı olarak rotoru saat yönünde veya saat yönünün tersi yönde

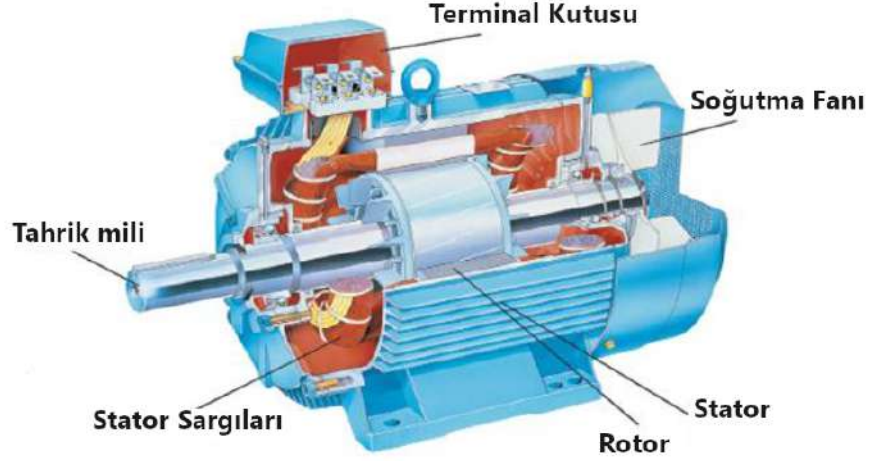
dönmesini sağlamaktadır[25]. Rotorda oluşan tork kuvveti bobinlerden geçen doğru akım miktarı ile doğru orantılıdır. Şekil 2.16'da bir doğru akım motorunun iç kısımları gösterilmektedir.



Şekil 2.16. DC Motor İç Yapısı[25]

2.1.7.2. Asekron Motorlar

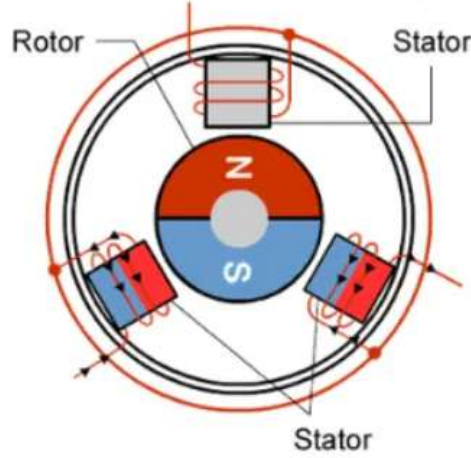
Asekron motorlar, alternatif elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinalardır. Bu motor türünde sargılar daha çok stator üzerinde bulunur ve 3 faz alternatif akım sayesinde döner bir manyetik alan oluşur. Bu motor tasarımı statorda bulunan döner manyetik alan ile rotor bir kayma miktarı kadar fark ile döner. Rotor üzerinde bulunan manyetik alan ile etkileşime girerek şekilde tasarlanmış olan indüksiyon kafesi sayesinde rotor döner manyetik alan ile asekron bir şekilde etkileşime girerek tork üretir[26]. Endüstride kullanılan en yaygın motor türlerinden biridir, maliyetinin düşük olması, bakımının kolay ve basit olması, motorun dayanıklılık olması nedenlerinden dolayı tercih edilmektedir. Şekil 2.17'de örnek bir asekron motor yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.17. Asekron Motor[27]

2.1.7.3. Fırçasız Doğru Akım Motorlar

Fırçasız doğru akım motorlar, normal doğru akım motorlar gibi doğru akım elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirirler. Normal doğru akım motorların aksine üzerinde mekanik bir komutator parça bulundurmazlar ve komutaston işlemi için elektronik bir devreye ihtiyaç duyarlar. Temel olarak sadece stator ve rotor bölümünden oluşurlar, stator genel olarak motorun iç kısmında bulunur ve elektro manyetik alan için bobinleri bulundurur sabit mıknatıslar ise hemen statorun etrafında bulunan rotor üzerinde bulunur. Elektronik ile komutasyonu sağlamak motor geniş bir esneklik ve yetenek kazandırır. Fırçasız doğru akım motorlar normal doğru akım motorlara göre daha yüksek hızlar ve daha yüksek tork üretme bakımından oldukça verimlidir[28]. Fırça gibi sürtünmeden kaynaklı enerji kaybına neden olacak parçalar yoktur. Çalışma sırasında kıvılcım oluşturmazlar ve daha sessiz çalışırlar, kıvılcım oluşturmadıkları için elektromantik parazitte azdır. Stator üzerindeki elektromıknatıslar artırılarak daha hassas kontrol sağlanabilir. Şekil 2.18’de örnek bir fırçasız doğru akım motorun iç kısımları gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Fırçasız Doğru Akım Motoru[28]

2.1.7.4. Kalıcı Mıknatıslı Sekron Motorlar

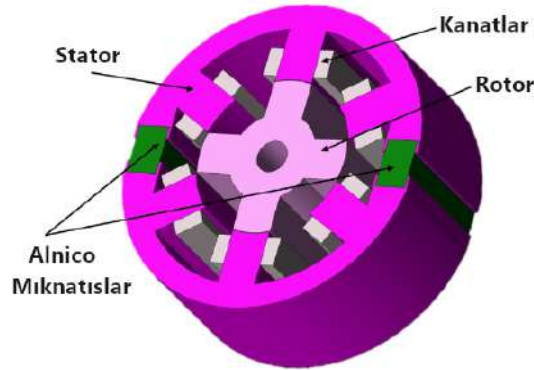
Kalıcı mıknatıslı sekron motorlar 3 fazlı AC elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinelerdir. Bu motor tipinde rotor üzerinde bakır sargılar yerine kalıcı mıknatıslar yerleştirilmiştir bu sayede döner bir manyetik alan elde edilmektedir. Sabit mıknatıs ro-toru sayesinde küçük bir hacim ile yüksek torka sahiptir aynı zamanda rotor akımı yoktur. Kalıcı mıknatıslı sekron motorlarda fırça bulunmadığı için çok yüksek verimliliğe ve güvenilirliliğe sahiptir sürtünmeden kaynaklı kayıplar minimumdur[29]. Rotor üzerinde bulunan kalıcı mıknatıslar sayesinde sıfır hızda da tork üretilmesi sağlanabilir. Stator sargısına 3 faz alternatif akım elektrik enerjisi verildiğinde stator ile rotor arasında döner bir manyetik alan oluşur bu sayede rotor üzerinde bulunan kalıcı mıknatıslar döner manyetik alan ile sekron bir şekilde hareket etmeye başlar. Bu tip motorların çalışması ve kontrolü için değişken frekanslı bir kontrolcü gerekmektedir. Şekil 2.19’da örnek bir kalıcı mıknatıs sekron motorun bölümleri gösterilmektedir.



Şekil 2.19. Kalıcı Miknatıslı Sekron Motor[29]

2.1.7.5. Anahtarlamalı Relüktans Motorları

Relüktans, bir manyetik alan oluşturduğumuzda bu manyetik alanın yakınında bulunan herhangi bir çelik parçasının oluşturulan manyetik alan ile hizasız kalmaya göstermiş olduğu dirençtir. Elektromanyetik alan yakınlarda bulunan herhangi bir çelik parçasına hizalanmak için güçlü bir kuvvet uygulayacaktır. Anahtarlamalı relüktans motorları da bu relüktans torkunu mekanik enerjiye çeviren makinedir. Bu motorun rotoru uyarma sargısının endüktansının maksimize edildiği konuma dönme eğilimi vardır bu sayede tork üretilir[30]. Anahtarlamalı relüktans motorları basit ve sağlam bir yapıya sahip olma, yüksek hızlarda çalışabilme kabiliyeti, yüksek sıcaklıklara dayanma gibi özelliklerinden dolayı elektrikli araçlar endüstrisinde büyük ilgi görmektedir. Şekil 2.20’de örnek bir anahtarlamalı relüktans bölümleri gösterilmektedir.



Şekil 2.20. Relüktans Motoru İç Yapısı[30]

2.1.7.6. HUB Motor

HUB motorlar doğru akım elektrik enerjini mekanik enerjiye çeviren makinalardır. Yapı olarak fırçasız doğru akım motorların bir türüdür. Motorun çekirdeğinde elektromanyetik mıknatıslar bulunur, motorun dış ve döner kısmında ise sıralı bir şekilde kalıcı mıknatıslar bulunur. Fırça sistemi bulundurmamaları için fırça sistemin kaynaklanan enerji kayıpları olmaz. Motoru çevreleyen dış kafes genel olarak tekerlek içerisine sığacak şekilde tasarlanır bu sayede direk olarak tekerlek içerisine montajı gerçekleştirilerek tork kuvvetini motor gövdesi üzerinden direk tekerleğe aktarabilirler, bu özellikleri sayesinde karmaşık güç aktarım organlarına ihtiyaç duymazlar ve bu parçaların montajı ve montaj maliyetlerinden tasarruf sağlanır ek olarak güç aktarım parçaları olmadığı için bu parçalardan kaynaklanan enerji kayıpları da olmayacaktır[31]. Motorun düzgün çalıştırılması için belirli bir komütasyonda motor içerisinde bulunan sargıların aktif edilmesi gerekmektedir bu işlemin doğru bir şekilde yapılması için motor içerisinde kutupları algılayan sensörler bulunur ve bu sensörleri doğru bir şekilde okuyup motor komutasyonuna uygun bir şekilde motora güç vermek içinde HUB motor sürücüne ihtiyaç vardır. Motor içi sensörleri ve güçlü elektronik sürücü sayesinde motor esnek ve güçlü bir şekilde kontrol edilebilir hız ve konum kontrolleri kolaylıkla sağlanabilir. Ayrıca motor direk tekerlek göbeğine montaj edildiği için motorun ve aktarma sistemlerinin kapladığı alanlardan da tasarruf edilmektedir. Şekil 2.21’de örnek bir HUB motor gösterilmektedir.



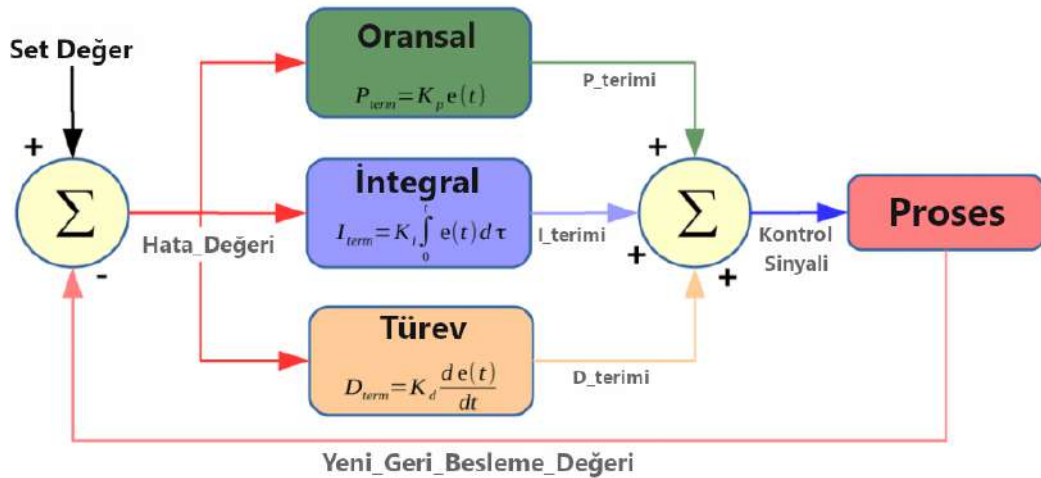
Şekil 2.21. HUB Motor[32]

2.1.8. Kontrol Sistemleri

Bu bölümde tez kapsamında kullanılan oransal integral ve türev(PID)kontrolcüsü, bulanık mantık kontrolcüsü, kalman filtresi ve alçak geçiren filtreden bahsedilmektedir.

2.1.8.1. Oransal İntegral Türev (PID) Kontrol

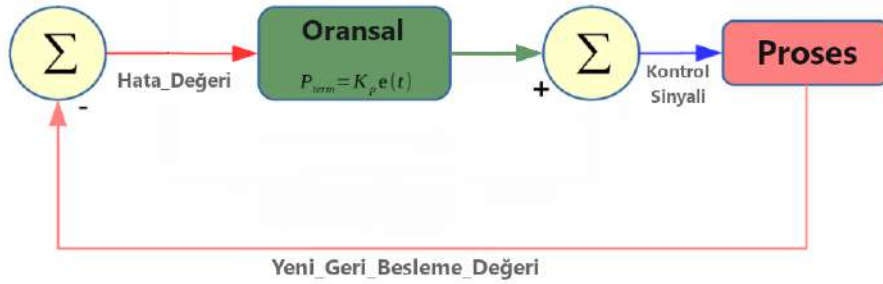
İlkez 1911 yılında Elmer Sperry tarafından geliştirilen oransal integral türev kontrolcüsü kapalı çevrim kontrol algoritmasıdır. PID terimi oransal, integral ve türev kavramlarını baş harflerinden oluşmaktadır. PID algoritmasının da temel yapı kontrol döngüsünün geri beslemeli olmasıdır. Bir PID algoritması gerçek değer ile mevcut değer arasındaki farkı hesaplayarak hatayı hesaplar, fonksiyon parametrelerine bağlı olarak da çıktı üretir, mevcut hata 0 olana kadar veya toleransın altında kalana kadar bu döngü devam eder[33, 34, 35, 36]. Mikrodenetleyiciler gelişmeden önce PID analog olarak devre elemanları ile de uygulanılmaktaydı ancak günümüzde neredeyse tamamı mikrodenetleyiciler ile kontrol edilmektedir. PID algoritmasında oransal katsayı istenen değer ile mevcut değer arasında oluşan hatayı düzeltici yönde geliştirilicek olan yanıtın sorumludur, integral katsayısı tüm geçmiş hataları hesaplayarak integral terimini hesaplamak ve sisteme entegre etmekten sorumludur hata sistemde sıfırlandığında integral teriminin artması duracaktır, türev katsayısı mevcut değerlerden yola çıkarak bir sonraki adımda ortaya çıkabilecek hata miktarını hesaplamak için kullanılır. Şekil 2.22’de örnek bir PID bloğu gösterilmektedir.



Şekil 2.22. PID Kontrol Algoritması[37]

Oransal Etki (Kp)

Oransal katsayı olan K_p sabit bir değerdir ve sistemin mevcut hata ile oransal yanıt vermesinde yardımcı olur. Mevcut durum ile istenilen durum arasındaki fark hesaplanarak hata hesaplanır, hata oransal sabit ile çarpılarak mevcut değer istenilen değere ulaştırılmaya çalışılır. Mevcut hata durumu 0 olduğunda oransal fonksiyonun çıkışı da sıfır olacaktır. Oransal sabit katsayı olan K_p aynı zaman da oransal kazanç sabiti olarak da adlandırılmaktadır. Oransal kazanç sabiti yüksek değerler verdiğinde PID algoritması hatalara agresif bir şekilde hız tepki verecektir ancak oransal katsayının yüksek olması sistemi kararsızlaştıracaktır istenen değer aralığına sistem ulaşamayacaktır[38, 39]. Tam aksine oransal kazanç katsayısı çok küçük olursa bu seferde PID algoritması mevcut hatalara karşı daha küçük tepkiler verecektir ve hata büyüyecektir, bu durum mevcut sisteme karşı PID algoritmasının duyarlılığını azaltacaktır ve sistemin bozulmasına veya gecikmesine neden olacaktır. Sistemin duyarlı ve hızlı tepki verebilmesi için oransal kazanç katsayısının ayarlanması oldukça önemlidir. Şekil 2.23'de örnek bir K_p bloğu gösterilmektedir.

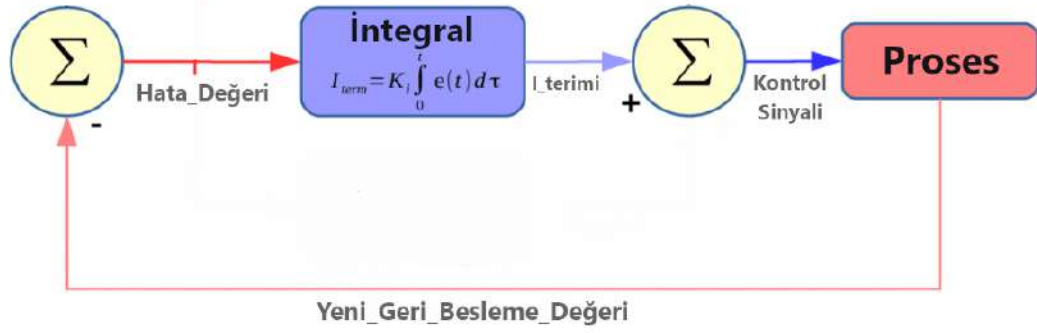


Şekil 2.23. K_p Kontrol Algoritması[37]

İntegral Etkisi (Ki)

PID algoritmasında integral kontrol terimi mevcut değer ve istenilen değer arasındaki farktan hesaplanan hatanın büyüklü ve mevcut hatanın süresi ile doğru orantılıdır. İntegral terimi zaman bağılı olarak anlık hatanın toplamlarını hesaplar ve daha sonra integral kazanç kat sayısı ile çarpılarak sistem çıkışına ekler. İntegral terimi istenilen değer ve mevcut değer arasındaki hatanın küçülmesinde ki süreci hızlandırmakta ve oransal kazanç katsayısından kaynaklanan kalıcı durum hatalarının giderilmesinden sorumludur[40, 41]. Sistemde ki hata sıfırlana kadar bu durum sürer hata sıfırlandığında ise son durumdaki değeri tutar. PID kontrolcüsünün tepki hızını yavaşlatır ve sistemin kararlılığını etkiler PID kontrolcüsünün tepki hızı K_i kazanç katsayısını azaltılarak artırılabilir. İntegral terimi sürekli toplandığı için sistem çıkışını bozabilir bu durum PID kontrolcüsü tasarlanırken göz önünde bulundurul-

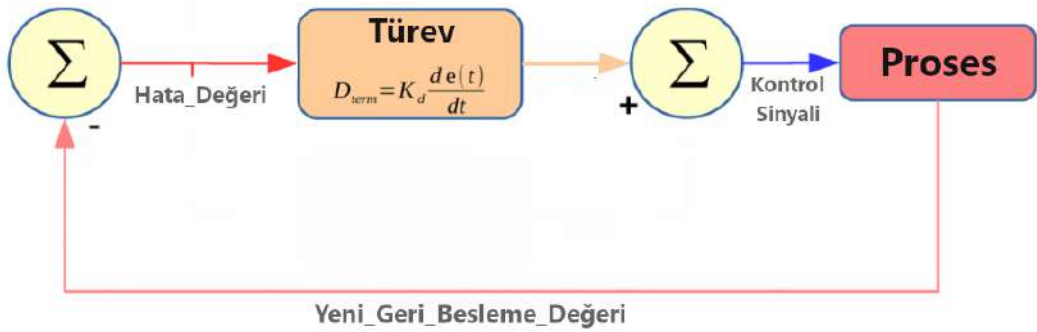
malıdır. Şekil2.24’de örnek bir Ki bloğu gösterilmektedir.



Şekil 2.24. Ki Kontrol Algoritması[37]

Türev Etkisi (Kd)

PID algoritmasındaki Kd katsayısı hatanın bir sonraki adımdaki durumunu tahmin etmekten sorumludur ve zaman içerisindeki hata eğilimini bularak türev kazanç katsayısı Kd ile çarpar. Sistemin istenilen değere oturama süresini azaltmaya ve sistemin kararlı hale getirir. Ki katsayısından kaynaklanan faz gecikmesinin bastırarak sistemin kararlılığına katkıda bulunur[42, 43]. Türev kazanç katsayısının artırılması sistemin tepkime süresini kısaltacaktır. Şekil2.25’de örnek bir Kd bloğu gösterilmektedir.



Şekil 2.25. Kd Kontrol Algoritması[37]

2.1.8.2. Bulanık Mantık(Fuzzy Logic)

Bulanık mantık dijital kontrol sistemlerindeki bir veya sıfır yaklaşımının yerine değerlerin ne derece doğru veya ne derece yanlış kümeyle üye olduğunu yani doğruluk derecesini hesaplamaya yönelik yaklaşımdır. Bulanık mantık bir dizi sonucun elde edilmesinde açık ve kesin olmayan bir veri seti ile bulanık mantık algoritmasına bağlı olarak sorunları çözmeye çalışır[44,

45]. Bulanık mantık mevcut tüm verileri kullanarak olası en iyi sonuçları üretmek için tasarlanmış kontrol algoritmasıdır. Bulanık mantık ilk olarak 1960 yıllarında Lotfi Zadeh tarafından Berkeley california üniversitesinde geliştirilmiştir. Bulanık mantık, mantığın matematiksel yaklaşından kaynaklanmaktadır. Bulanık mantık kümeleri öznel veya görel tanımları içerir[46, 47]. İnsanların problemleri analiz etme ve sonuca ulaşma şekline benzer bir şekilde mutlak doğru veya mutlak yanlışın yani sıra belirsiz veya kesin olmayan değerlere dayanan modeli taklit eder. Bulanık mantık temelde kural tabanı, bulanıklaştırma, çıkarım arabirimi, durulama olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır.

Kural Tabanı

Bulanık mantık kontrol algoritmasında sistemin karar vermesi için konunun uzmanları tarafından sağlanan kurallar kümesidir. Belirli değer aralıklarına göre eğer şimdi kurallarından oluşabilir. Kontrol tabanının iyi kurgulanması sistem çıktısının doğruluğunu artıracaktır[48].

Bulanıklaştırma

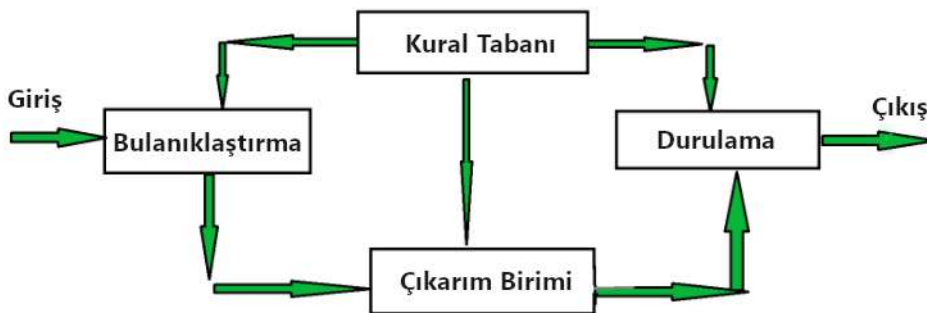
Sensörler veya çeşitli yollarla sisteme sağlanan net girdiler yani kesin sayıları bulanık kümelere dönüştürmek için bulanıklaştırma fonksiyonları kullanılarak sistem girdileri bulanık hale getirilerek bulanık mantık algoritması tarafından kullanılır[49].

Çıkarım birimi

Bulanıklaştırma birimi tarafın oluşturulan bulanık girdilerin kural tabanında bulunan her bir kurala göre eşleşme derecesini belirler ve girdi alanlara göre hangi kuralların aktif olacağına karar verir ve ardından belirlenen kurallar tetiklenerek bulanık çıktı üretilir[50].

Durulaştırma

Çıkarım birisi tarafından elde edilen bulanık kümelerinden kesin bir değer elde etmek için kullanılır. Bulanık kümeler durulaştırılarak kesin sonuçlar elde edilir. Şekil 2.26'da kural tabanı, bulanıklaştırma, çıkarım birimi ve durulaştırma birimleri arasındaki akış gösterilmektedir.



Şekil 2.26. Bulanık Mantık Akış Şeması[51]

Bulanık Mantık Avantajları

- Bulanık mantık sistemi kesin olmayan, gürültülü veya bozuk sinyal girdileri ile çalışabilir.
- İnsan karar verme mekanizmasını taklit ettiği için hayatın her alanındaki karmaşık problemlere uygulamak ve problemleri çözme noktasında oldukça verimli sonuçlar sunar.
- Bulanık mantık algoritması ve veri kümesi oldukça küçük kümeler ile yapılabilir bunun için oldukça düşük donanıma ve bellek sistemine ihtiyaç duyar.

Bulanık Mantık dezavantajları

- Bulanık mantığın kontrol algoritması insan uzmanlığına ve insan bilgisine dayanmaktadır. Bundan dolayı uygulanacak alan için tecrübeli görevliye ihtiyaç vardır.
- Bulanık mantık kesin ve kesin olmayan veriler üzerinde çalıştığı için genellikle geniş çaplı doğrulama gerektirir.

Bulanık Mantık Kullanım Alanları

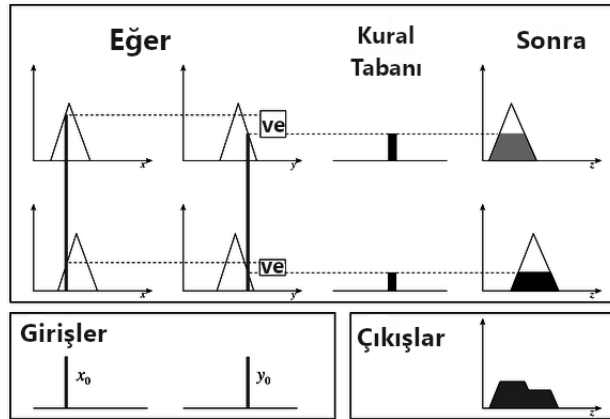
- Havacılık ve uzay sektöründe çevresel koşullara dayanarak uzay araçları ve uydular için yükseklik kontrolünde kullanılmaktadır[52].
- Otomotiv sektöründe otomatik vitesli araçlarda, vitesin seçilmesi için yol rejimi, motor durumu, sürüş modu gibi girdilere bakarak vites seçiminde kullanılmaktadır[52].
- Bulaşık makinelerinde bulaşıkların kirlilik seviyesi, bulaşık sayısı gibi girdilere bağlı olarak bulaşıkların hangi yıkama rejiminde yıkanacağını seçmek için kullanılmaktadır.
- Sağlık sektöründe tıbbi semptomlar, hastalık geçmişi gibi girdiler kullanılarak bilgisayar destekli teşhis konulabilmesi için kullanılmaktadır.
- Doğal dil işlemede kelimeler ile temsil edilen kavramların ve dilsel değişimler arasındaki ilişkilerin kurulabilmesi için bulanık mantık kullanılmaktadır[52].
- Bulanık mantık yapay zeka uygulamalarında sinir ağlarına yardımcı olmak için kullanılabilir[53].

Tip 1 Bulanık Mantık

Tip 1 bulanık mantık yöntemlerinde uzman kişi bulanık mantık sistemine ait üyelik fonksiyonlarının sınırlarını belirlemelidir. Hangi üyelik fonksiyonun ne derece bulanıklaştırılacağı belirlenmelidir. Mamdani, Sugeno bulanık mantık yöntemleri yaygın olarak kullanılan tip 1 bulanık mantık yöntemleridir.

Mamdani Yöntemi

1975 yılında Londra üniversitesinde profesör Ebrahim Mamdani tarafından geliştirilen ilk bulanık mantık algoritmalarından birisidir. bulanık mantık kontrol yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılan yöntem Mamdani'dir. Mamdani bulanık mantık kontrol sistemi deneyimli insanlardan toplanan bir dizi kontrol kurallarına dayanarak algoritmayı işletir. İlk olarak profesör Mamdani tarafından buhar motoru ve kazan kombinasyonlarını kontrol etmeye yönelik önerilmiştir[54]. Bir dizi bulanık mantık kural tabanı belirlendikten sonra giriş üyelik fonksiyonları kullanılarak girişler bulanık hale getirilir. Kuralların ağırlıkları ve çıktı üyelik fonksiyonlarının sonuçları toplanarak kuralların sonuçları bulunarak çıkarım yapılır[55, 56, 57]. Çıkarım işlemi için max min çıkarım ve max product çıkarım yöntemleri kullanılabilir. Üyelik fonksiyonlarına ve kural tabanındaki şartlara bağlı olarak elde edilen sonuç grafik örneği Şekil 2.27'de gösterilmektedir.



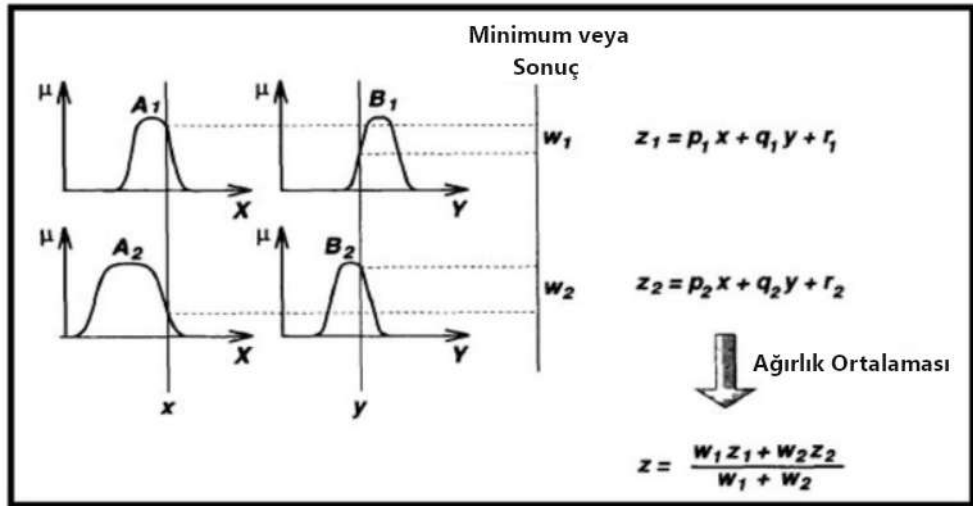
Şekil 2.27. Mamdani Çıkarım Grafiği[58]

Sugeno Yöntemi

Sugeno bulanık kontrol algoritması belirli bir data setinden bulanık kurallar üretmek için daha sistematik bir yaklaşım sergilemek amacı ile geliştirilmiştir[59, 60, 61, 62, 63]. Sugeno bulanık modelinde gelen olarak bir bulanık kural denklem 1'de gösterilmiştir.

$$\text{if } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } B \text{ then } z = f(x,y) \quad (1)$$

burada **A** ve **B** bulanık mantık kümeleridir. $z=f(x,y)$ sonucu kesin genellikle polinomsal bir fonksiyondur. Z çıktı fonksiyonları birinci dereceden olduğunda önerilen sistem birinci dereceden Sugeno bulanık modeli olarak adlandırılır, z bir sabit olduğunda sıfır dereceli Sugeno bulanık modeli elde edilmiş olur[64, 65, 66, 67]. Şekil 2.28 birinci dereceden Sugeno bulanık mantık algoritmasının işleme şekli gösterilmektedir. Her kurala bağlı fonksiyonların kesin sonuçları olukları için genel çıktı ağırlık ortalama yöntemi ile elde edilmektedir bu yönüyle Mamdani yönteminden farklı ve avantaj olarak durulaştırma işleminden kaçınılmış olmaktadır[59, 68, 69, 70]. Zaman alıcı ve matematiksel olarak zorlu olan durulaştırma işlemi Sugeno bulanık kontrol algoritmasında olmadığı için Sugeno bulanık algoritması örnek veri tabanlı modellemeler için en popüler algoritmasıdır.

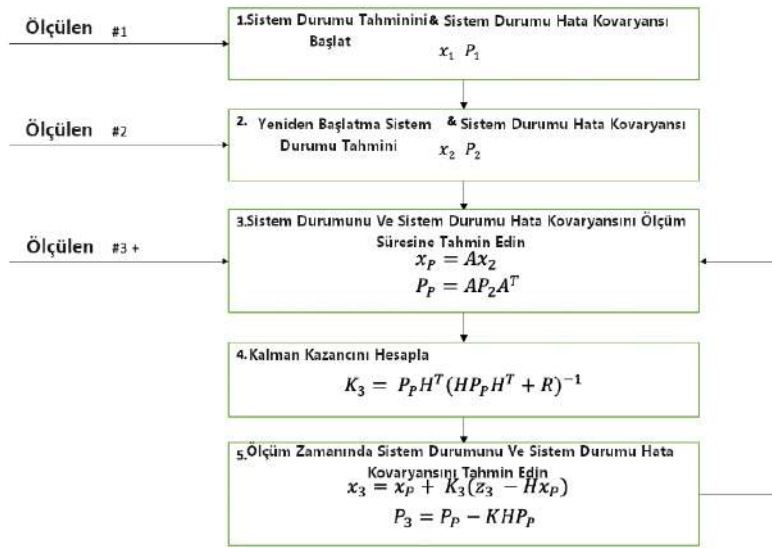


Şekil 2.28. Sugeno Üyelik Fonksiyonları ve Ağırlık Hesabı[71]

2.1.8.3. Kalman Filtresi

Kalman filtresi algoritmaya giren hatalı veya belirsiz değerlere dayanarak sistemin bir sonraki adımda parametrenin değerinin ne olacağıyla alakalı doğru tahminler yapabilen filtreleme algoritmasıdır. 1960 yılında Rudolf E. Kalman tarafından ayrık verilerin doğrusal filtreleme problemine karşın çözüm olarak yayınlanmıştır[72]. Mekatronik sistemlerde sistemin doğru bir şekilde çalışabilmesi için bir çok sensör bulunmaktadır, bu sensörlerden

gelen veriler sensörün hassasiyetine göre çeşitli parazitler içerebilir bu parazitler çevresel koşullar, elektromanyetik etkiler, sıcaklık gibi etmenlerden kaynaklanabilir. Kalman fitresi bu bozuk, tutarsız veya parazitli dataları bastırarak sistemin gerçek değerlerini doğru bir şekilde tahmin ederek bulur. Kalman filtreleme algoritması oldukça hafif ve çok hızlı bir şekilde çalışmaktadır bu özelliği sayesinde kalman fitresi dinamik sistemler ve gömülü sistemler için oldukça verimli çalışmaktadır. Kalman fitresi havacılık, uzay araçları ve uydular, kara araçları, deniz araçları gibi sensörlerin ve gömülü sistemlerin olduğu veri doğruluğunun çok önemli olduğu sayısız alanda kullanılmaktadır. Örnek bir kalman fitresi algoritması Şekil 2.29'da gösterilmektedir.



Şekil 2.29. Kalman Filtresi Algoritması[73]

2.1.8.4. Alçak Geçiren Filtre (Low Pass Filter)

Alçak geçiren filtreler tanım olarak düşük frekanslı sinyallerin geçişine izin veren yüksek frekanslı sinyalleri bastıran sistemlerdir. Bir alçak geçiren filtre elektronik olarak pasif elemanları kullanarak tasarlanabileceği gibi yazılımsal olarak sisteme giren sinyalleri belirli bir algorithmadan geçirerek yapılabilir. Alçak geçiren filtrelerde kesme frekansı bulunur, belirlenen kesme frekansının üzerindeki tüm sinyaller bastırılarak geçişine izin verilmez[74]. Örneğin 15kHz belirlenen kesme frekansına sahip bir alçak geçiren fitrede 30 hz gibi düşük frekanslı bir sinyali sisteme sokarsak sinyal hiç bir bozulmaya veya zayıflamaya uğramadan filtreden geçecektir, 30kHz gibi yüksek frekanslı bir sinyali tasarlanan

alçak geçiren filtreye sokarsak sinyal zayıflatılacaktır geçirilmeyecektir. Örnek bir alçak geçiren filtre grafiği Şekil 2.30'da verilmiştir.



Şekil 2.30. Alçak Geçiren Filtre Grafiği [75]

en basit alçak geçiren filtre matematiksel modeli denklem 2'de verilmiştir.

$$y(n) = x(n) + x(n-1)(2)$$

alçak geçiren filtre algoritmasının derecesi artırıldığında ve sisteme giren örneklem sayısı artırıldığında alçak geçiren filtre daha iyi sonuçlar verecektir sistem derecesini belirlemek için sistemin frekans cevabına bakılmalıdır. Alçak geçiren filtrenin derecesi çok yüksek olursa bu algortmeyi gömülü sistemlere entegre etmek zor olacaktır yüksek miktarda işlemci gücü kullanacağı içi sistem verimsizleşecektir.

2.2. Araştırma İle İlgili Literatür Araştırması

Litaratürde genel olarak yapılan çalışmalar altı başlık altında toplanmaktadır. İlk olarak lojistik alanında ağır yük taşıyan araçların elektriksel dönüşümü sonucu yakıt frenleme ve yokuş iniş gibi durumlarda rejeneratif şarj gerçekleştirilerek araçların yakıt tasarrufu yapması verimliliği ve yakıt tasarrufuna bağlı olarak CO₂ emisyonundaki azalmalar araştırılmıştır. Birbiri ile bağlantılı olarak araçların elektriksel dönüşümü sonucunda likit yakıt tüketiminin azalması, yakıt tüketiminin azalmasına bağlı olarak CO₂ emisyonunun azalması, enerji verimliliği konuları araştırılmıştır. Diğer yandan treylerlerin çekilmesi için genellikle güçlü bir motora sahip olan otomobil ihtiyacı olması sonucu treylerlerin elektriksel dönüşümü sonucu bu ihtiyacın kalmaması ve elektrikli treyler tasarımı ve optimizasyonu konuları araştırılmıştır.

Diba ve esmailzadeh (2013) bu çalışmada ağır hizmet kamyonlarının elektrikli bir treyler ile hibridizasyonunu araştırmıştır. Bu yeni sistem ile rejeneratif fren özelliğine sahip elektrik motorları ile aracın uzunlamasına yol tutuşu iyileştirilerek aracın yanal dengesi geliştirilmiştir. Diba devam eden araştırmasında bu hibrit güç aktarma sisteminin performansını kapsamlı bir model oluşturarak değerlendirmektedir[76].

Amerika da toplam yakıt tüketiminin %20'si ağır hizmet araçları, traktör veya yarı römorklar tarafından tüketilmektedir. Diba (2014) çalışmalarında yarı römorklar ve traktörler için yeni hibrit aktarma sistemi mimarisini incelemiştir. Önerilen mimariyi kendinden tahrikli bir treyler tarafından kullanılmış böylece toplam çekiş gücü, araç ve treyler arasında dağıtılmıştır. Önerilen mimarinin aşağıdaki gibi avantajları vardır. Bunlar;

- Treylerde bulunan elektrik motorları sayesinde frenleme esnasında enerjinin yeniden kazanılması,
- Treylerde çekiş gücü olduğu için aracın boyuna dinamik davranışının iyileştirilmesi,
- Pil takımı için gerekli alanını elde etme,
- Araç ve treylerin genel dengesini elde etmek için treyler çekiş sisteminde tork vektörleme uygulama[77].

Önerilen mimariyi incelemek için Simulink ortamında araç treyler sisteminin ayrıntılı modeli oluşturulmuştur farklı standart sürüşler için frenlerden elde edilen enerjinin, önerilen aktarma organlarının verimliliğini göstermek için analizler yapılmıştır. Dizel ve elektrik motorlarında bulunan gücü verimli bir şekilde kullanmak ve aktarmak için güç yönetim sistemi tasarlanmıştır ve tasarlanan güç yönetim sisteminde bulanık mantık kontrol algoritması kullanılmıştır. Güç yönetim sistemi dizel ve elektrik motorlarını kontrol ettiği gibi aynı zamanda fren sisteminde kontrol eder. Aynı zaman da tez boyunca optimizasyon algoritmaları kullanılarak önerilen sistemde kullanılan güç aktarma sisteminde bulunan parçaların optimizasyonu sağlanarak yakıt tasarrufu etmek ve hızlanma süresinde iyileşme amaçlanmıştır. Önerilen optimize edilmiş aktarma parçalarının fiyatı ortalama olarak %27 oranında azalmıştır aynı zamanda maksimum hız, hızlanma süresi, tırmanabilirlik terimleri bakımından benzer performans göstermiştir. Önerilen optimize edilmiş parçalar yakıt tüketiminde de %7 oranında verimlik sağlamıştır. Simülasyon sonuçlarına göre önerilen hibrit aktarma

organları şehir içi sürüş modellerinde dizel aktarma sistemlerine göre %29 standart hibrit aktarma sistemlerine göre %17 daha yakıt tüketimi açısından verimli olduğu görülmüştür. Otoyol sürüş modellerine de ise optimize edilmiş parçaların dizel aktarma sistemlerine göre %3.9 standart hibrit aktarma sistemlerine göre %2.9 daha yakıt tüketimi açısından verimli olduğu görülmüştür[77].

Narayanan ve Peters (2015) çalışma kapsamında normal bir römork ile ağır yük taşınması gerektiğinde ya daha güçlü bir araç alınması ya da daha güçlü bir araç kiralanması gerektiğini bu sorunu giderilmesi için üçüncü bir çözüm olarak kendinden tahrikli elektrikli bir treyler tasarımından bahsedilmiştir. Bu tasarım için diferansiyel ve aktarım organları ortadan kaldıran direk tek bir tekere akuple edilebilen bir dc motor seçilerek montajı gerçekleştirilmiştir. Treylerin üzerine yüklenen yüklerin treyler tarafından mı yoksa araç tarafında mı çekildiğini anlamak içinde araç treyler arasına yük hücresi içeren bir mekanizma tasarlanarak bu ayırım yapılmış olup treylerin buradaki kuvvetlere göre hareket etmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Geliştirilen kontrol modelinin tam işlevsel çalışması için geliştirilmesi gerektiğini vurgulanmıştır. Yolun dikey ve yanal eğimlere sahip olduğu rejimlerde modelin geliştirilmeli ve kontrol algoritmasını daha kapsamlı hale getirerek kontrol etme yeteneğini ve stabilitesi artırılmalıdır. Sensörden gelen gürültüler, sistemsel ve mekaniksel bozuklukların en aza indirilmesi için fiziksel tasarım iyileştirilmesinden bahsetmişlerdir[78].

Eisenmann, Horsley, Peters (2016) çalışma kapsamında normal bir treyler ile ağır yükler taşınırken treyleri çekmek için güçlü bir araca ihtiyaç olduğunu ve bu durumun maliyetli arttırdığı üzerine durulmuş bu sorunu çözümü için küçük araçlarla bile çekilebilecek kendinden tahrikli bir treyler önerilmiştir. Tezi gerçekleştirmek için 1:18 ölçekli uzaktan kumandalı bir RC araba ve aynı ölçekte DC motor ile donatılmış bir treyler kullanılmıştır. Sistemin kontrolü ve araç treyler sekronizasyonu için araç treyler arasındaki bağlantıya loadcell yerleştirmiş ve uygun bir kontrol tasarımı yapılmıştır. Çeşitli sensörler ve yazılımlar kullanılarak araç ve treyler üzerindeki sensörlerden verilere toplanarak analizler yapılmıştır. Bu konsept çerçevesinde farklı sürücüler ile farklı yollarda testler gerçekleştirilerek sistem test edilmiş ve davranışları incelenmiştir. Konseptin küçük ölçeklendirmeye rağmen uygulanabilir olduğu ve pratikte çalışabilir olduğu kanıtlanmıştır[79].

F.B. Trip (2016) çalışmasında elektrikli treyler alanında literatürdeki bilgi boşluğu vurlanmıştır. Çalışmanın odak noktası ise elektrikli treyler sisteminin uygulanabilirliğini araştırmak ve iş dünyasında elektrikli treyler uygulamak için bir modelin belirlenmesi üzerine olmuştur. Bunun için geniş bir pazar araştırması yapmıştır. Varsayımları yapılandırmak için seçim modeli geliştirilmiş olup varsayımlar sıralanarak, pazar araştırması yapılmıştır aynı zamanda pazarda bulunan bir çok insanla görüşerek varsayımlar test etmiştir ve bu araştırmalar sonucunda bir çok bilgi elde etmiştir. Bu araştırmalar sayesinde elektrikli treylerin potansiyeli kanıtlanmış, başlamak için en iyi pazarın karavan pazarı olduğuna karar verilmiştir. E-trailer iş dünyası açısından e trailer uygulamasına dayanarak, modelin yeni başlayanlara için çok faydalı olduğu sonucuna varmıştır, yenilikçi teknolojik tabanlı iş fikri olan kişilere kendi girişimleri için bu çerçevenin çok faydalı olduğu sonucuna ulaşılmış ve bu iş fikri önermiştir[80].

Diba ve Esmailzadeh (2018) tarafından traktörler veya yarı römorklar için elektrikli hibrit aktarma sistem mimarisi önerilmiştir. Bu mimaride treylerde çekiş oluşturmak için treyler üzerine elektrik motorları montajlanmıştır aynı zamanda çekici traktöre de dizel motora paralel çalışsan bir elektrik motoru montajlanmıştır. Hibrit elektrikli traktör veya yarı römorkun çekiş kapasitesini ve yakıt tüketimi verimliliğini artırdığı ifade edilmiştir. Hibrit sistemin tasarımı için kendinden tahrik gücüne sahip römorklü aracın kapsamlı bir modeli simulink ortamında geliştirmişlerdir ve güç yönetim sistemi (PBS) tasarlamak için bulanık mantık denetleyicisi (FLC) kullanılmış. Geliştirilen sistemin çekiş verimliliği ve yakıt tüketimini değerlendirmek için bilgisayar simülasyon çalışmaları iki model çevriminde gerçekleştirildi. Elde edilen analizler sonucunda geliştirilen hibrit sistemin, hibrit olmayan aktarma sistemlerine ve ağır vasıta araçları için standart hibrit aktarma sistemlerine göre üstün olduğu savunulmuştur. Yapılan analizler sonucunda önerilen sistemin kombine yakıt verimliliği dizel yakıtlı aktarma sistemlerine göre %13,7 ve daha önce geliştirilmiş hibrit aktarma sistemlerine göre %8 daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır[81].

Boonstra ve Rieck (2018) çok büyük miktarda dizel yakıt tüketen kamyonlar dünyadaki toplam CO₂ emisyonlarına büyük ölçüde katkı sağladığından ve bu kamyonların ve çekicilerinin elektrikli hale getirilmesi dünya genelinde yakıt tüketimini azalmasına yol açacak ve buna bağlı olarak CO₂ emisyonlarında büyük miktarda azalmaya yol açacağından bah-

setmişlerdir. Elektriksel dönüşüm için ilk aşamada ağır yük araçların ayrılmaz bir parçası olan treylerler, yenilikçi değişim için büyük bir potansiyel vaat etmektedir. Bu değişim için treyler üzerine yerleştirilecek olan elektrik motorları ve elektrik depolamak için kullanılan batarya sistemi sayesinde hibrit bir sistem düşünmektedirler. Frenleme ve yavaşlama sırasında kazanılan güç bataryalarda depolanarak yokuş tırmanış zamanında tersinde kullanılarak çekiş gücü elde edilecektir bu sayede elde edilen çekiş gücü ile çekici aracın yakıt tüketimi azaltılarak tasarruf sağlanacaktır. Bu durumu test etmek için treylerlerin enerji tüketimi ve rejeneratif olarak enerji kazanım durumları incelenmiş olup matlab simulink ortamında iki araç modeli kurgulamışlardır. E-treyler uygulaması olmayan bir kamyon-treyler kombinasyonu ve e-treyler olan kamyon-treyler sistemi simule etmişler ve simulasyona bağlı olarak analizler yapmışlardır. Tüm sistemin frenlemeden veya düzenli olarak şarj edilerek kazanılan enerji ile kendini idame ettirebileceği savunulmuştur. Güç paketlerinin düzenli olarak şarj edilmesi ve rejeneratiften kazanılan enerji ile yakıt tüketimi ve emisyonların büyük oranda azaldığını gözlemlemişlerdir[82].

Peters vd. (2019) iki farklı kendinden tahrikli yarı otomatik treyler tasarımı üzerine çalışmalar yapılmış olup iki konsept prototip haline getirilmiştir. Bu çalışmalar sayesinde tam işlevsel bir yarı otonom treyler yapılması için araştırılması gereken ortaya çıkabilecek olan problemler gözlenmiştir. Bu kapsamda araç treyler çekiş uyumu için geliştirilecek olan sistem, araç treyler bağlantısının iyileştirilmesi ve güç kaynaklarının karşılaştırılması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Tez kapsamında içten yanmalı bir motor kullanılmıştır ve bu sistemin avantajlarından bahsedilmiştir. Treyler araç arasındaki bağlantı ve sekronizasyon için optik sensor, ultrasonik sensor, lineer potansiyometre kullanılarak bu sistemlerin maliyeti, hassasiyeti, doğruluğu sağlamlığı gibi konular göz önünde bulundurularak bu sistemlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Optik sensor ve ultrasonik sensor sistemin çevresel problemler ve sinyal gürültüsünden dolayı lineer potansiyometre kullanmak tercih edilmiştir. Sistemde kontrol algoritması olarak basit bir PID kontrolcüsü kullanılmıştır. Lineer potansiyometreden gelen deplasmana göre PID algoritmasından değer üretilir ve bir servo motor yardımı ile içten yanmalı motorun gaz kelebeği hareket ettirilir bu sayede çekici araca sekron olarak treylerin yarı otonom bir şekilde kendisini taşıması hedeflenmiştir[83].

Kopelentova (2020) çalışmasında temel amacı elektrikli araçların güç kaybını en-

gellemek için kendisinden tahrikli elektrikli bir treyler tasarımı oluşturmuştur. Bu çalışması kapsamında özel bir şirket ile ortaklaşa çalışılmış ve şirketin isterleri doğrultusunda elektrikli treyler için parametreler hesaplanmış olup, ilk olarak 16,7-24.8 kw aralığında güç belirlenmiştir, daha sonra diferansiyel sürüş için 33 kW güce sahip motor seçimi yapılmıştır. Dış etkenlerden kaynaklanan mekanik hasarlara karşı koruma sağlayan aynı zamanda kısmi soğutma için hava geçişine izin veren mekanik tasarım yapılmıştır. Aks süspansiyon sisteminde diferansiyelle doğrudan bir elektrikli motoru bağlanarak tasarlanan treyle montaj edilmiştir elektrik motorlarının küçük olması bu tasarımı mümkün kılmaktadır ayrıca elektrik motorunun bir kardan mil ilede montajı düşünülmüş ancak kardan mil ile oluşturulacak olan düzenek hem ağırlığı artıracığından hemde şanzıman sisteminde kayıplar meydana getireceğinden tercih edilmemiştir. Tasarım sonunda treylerin toplam ağırlığı 452 kg olmuştur daha sonra treylerin çerçeve konstrüksiyonu FEM analizi ile doğrulanarak çerçeve maksimum azaltılmış stres von-mises yöntemiyle hesaplanarak 95.6 Mpa bulunmuştur[84].

Diba ve Esmailzadeh (2020) lojistikte kullanılan kamyonları için düşünülen hibrit bir sistemde aktarma organları için kullanılacak olan parçaların boyutlandırma optimizasyonu için çalışmalar yapmışlardır. Bu aktarma bileşenler mimarisi, kendi üzerinde tahrik elemanları bulunan bir treyler tarafından kullanılır ve elde edilecek olan toplam çekiş gücü araç ve treyler arasında paylaşılır. Aktarma bileşenleri fiyat, hızlanma süresi, yakıt tüketimi gibi amaç fonksiyonlarını en aza indirmek için çok amaçlı genetik algoritma kullanılarak aktarma bileşenleri optimize etmişlerdir. Optimize edilmiş aktarma bileşenlerinin verimliliği bilgisayar simülasyonları kullanılarak analizleri yapılmış ve optimize edilmiş parçaların üretimi ve optimize edilmemiş parçalar ile aralarındaki maliyet analizi için mühendislik ekonomi analizi yapmışlardır. Sonuç olarak optimize edilmiş parçaların, optimize edilmeyen parçalara göre yakıt tüketimi, üretim ve diğer maliyetler açısından daha avantajlı olduğu çalışma sonucunda görülmüştür. Simülasyon sonuçlarına göre optimize edilmiş parçaların birleşik yakıt verimliliği, geneleksi dizel aktarma parçalarına göre %16,8 ve temel hibrit aktarma organlarına göre %10,2 daha iyi olduğu görülmektedir. Optimize edilmiş ve önerilen hibrit aktarma parçalarının 10 yıl boyunca toplam 140.000 dolar kadar tasarruf sağlayabileceği savunulmuştur[85].

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde tez çalışması kapsamında kullanılan materyaller ve metotlar üst ve alt başlıklar halinde maddelenerek açıklanmıştır.

3.1. Materyaller

Bu tez kapsamında kullanılan materyaller kendi başlıkları halinde maddelenerek açıklanmıştır. Tez çalışması kapsamında kullanılan materyaller listelenmiştir bu materyaller;

- **Crawler IZZ458**
- **Fırçasız Doğru Akım HUB Motorlar**
- **Elektrik Motor Sürücüsü**
- **EKÜ (Elektronik Kontrol Ünitesi)**
- **Ataletsel Ölçüm Birimi**
- **Global Konumlandırma Sistemi (GPS)**
- **Barometre**
- **Bluetooth Haberleşme**
- **Yük Hücresi**
- **Yük Hücresi Ölçüm Cihazı**
- **Can Ağı Fiziksel Kablo Sistemi**
- **Batarya**
- **Kicad**
- **CodeSys**

- Stm32CubeId
- Qt Creator

3.1.1. Crawler IZZ458

Bu tez kapsamında treyler olarak Crawler firmasına ait IZZ458 modeli olan çekme tip karavan şasesi ve üst yapı sistemi kullanılmıştır. IZZ458 üzerindeki körüklü süspansiyon sistemi sayesinde yükseltilip açılarak hem asfalt yol hem arazi şartlarında kullanılabilir. IZZ458 modelinin isminden de anlaşılacağı gibi karavan dış şasi uzunluğu 458 cm'dir, yaşam alanı 300 cm'dir. IZZ458 nin alt şasi demir malzemeden üst giydirme tamamen alüminyum malzemeden üretilmiştir. IZZ458 normal şartlarda standart donanım ile birlikte 865 kg gelmektedir ancak IZZ458 modelini elektrikli hale getirmek için kullanılan motor, batarya, şarj sistemi, elektronik donanımlarla beraber IZZ458'in elektrikli hali yaklaşık 1500 kg gelmektedir. IZZ458 modelinde doğada konforlu bir yaşam sürebilmek için ısıtma sistemi, temiz su ve kirli su sistemi, mutfak, banyo, yatak odası gibi bir çok fonksiyonu yerine getiren yaşam destek sistemleri bulunmaktadır. Şekil 3.1'de IZZ458'in uzunluğunun 458cm genişliğinin 190cm olduğu karavan üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 3.1. IZZ458 Ölçüleri[86]

Tablo 3.1'de IZZ458'nin teknik özelliklerinden bahsedilmiştir.

Tür	4 İklim arazi karavanı
Uzunluk	Toplam 3000mm(Yaşam alanı)
Dış Şasi Uzunluk	4580 mm
Dış Şasi Yükseklik	2430mm (Otoyol modu)
Dış Şasi Genişlik	1900 mm
Ağırlık	865 Kg(Standart Donanım (normal IZZ458))
Ağırlık	Yaklaşık 1500 Kg(Standart Donanım (elektrikli IZZ458))
Gövde	Alüminyum
Şase	Elektro Galvaniz Kaplama
Süspansiyon	Bağımsız Salıncak Sistemli Süspansiyon, 4 Amortisör
Tekerlek Ölçüleri	285.75.16, Jant: 6x139.7
Dingil ve Teker	Tek Dingil, Çift Teker
Kaplin	Knott Frenli ve Geri Manevra Kabiliyetli (Veya Muadil)

Tablo 3.1. Crawler IZZ458 Teknik Özellikleri

3.1.2. Fırçasız Doğru Akım HUB Motorlar

Karavan treyler sistemi için ürettikleri güç, maliyet, mekanik montaj gibi başlıklar altında değerlendirilmiş olup en uygun motor seçimi yapılmıştır. Motor tercihi aşağıda listelenen sebeplerden dolayı hub motor olarak yapılmıştır.

- İşçilik maliyetlerinin düşük olması.
- Diğer motorlara göre montaj süreleri az olması ve daha az karmaşık olması.
- Güç aktarımı için ekstra aktarım organlarına ihtiyaç olmaması ve bundan dolayı maliyet tasarrufu sağlanması.
- Güç aktarım organlarından kaynaklanan güç kaybının istenmemesi ve olmaması.
- Karavan üzerindeki alanların sınırlı olmasından dolayı güç aktarım organları için alan istenmemesi.

Tercih edilen fırçasız doğru akım HUB motorların teknik özellikleri Tablo 3.2’de gösterilmektedir. Kullanılan HUB motolar Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

Motor Tasarımı	4 Tek aks, jantsız
Mıknatıs Yüksekliği	70 mm, 16 kutup çifti
Stator	Alüminyum Çekirdek
Nominal Güç	12000W (birkaç saniyede 24kW (peak noktası))
Nominal Voltaj	Varsayılan olarak 96V (48V-144V, isteğe bağlı)
Hız	865 Varsayılan olarak 120 km (70-130 km, isteğe bağlı)
Maksimum Tork	350N.m'den fazla
Maksimum Verimlilik	%86-91
Peak Pil Akımı	250A (96V)
Önerilen Peak Faz Akımı	530-700A
Fren tipi	Disk fren, PCD4x114.3mm-M12, CB 67mm (varsayılan olarak) Su geçirmez konnektörlü Çift Salon Seti
Hall Sensörü Faz Açısı	120 derece
Ağırlık	36 Kg

Tablo 3.2. Fırçasız Doğru Akım HUB Motorların Teknik Özellikleri



Şekil 3.2. Fırçasız Doğru Akım HUB Motorları

3.1.3. Elektrik Motor Sürücüsü

HUB motorların isterlerini karşılayan ve çalışması için uygun sensörleri okuyup, okunan değerlere uygun komütasyonu yapabilen aynı zamanda sistemin güç gereksinimleri karşılayan ve elektrikli karavan sistemini güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayan özellikleri barındıran elektrikli motor sürücü seçilmiştir. Bu seçim yapılırken sistemin olmazsa olmaz parçası olan can ağı iletişim protokolü ile haberleşebilen, aşırı ısınmalara karşı kapalı çevrim koruma sağlayabilen, yüksel voltaj veya düşük voltaj koruması sağlayabilen,

aşırı akım koruması sağlayabilen, uygun voltaj ve akım kapasitesi olan ve HUB motor ve elektrikli motor sürücüsüne bağlı çeşitli parametrelerin konfigürasyonuna imkan sağlayan özellikleri barındıran elektrikli motor sürücüsü tercih edilmiştir. Tercih edilen elektrikli motor sürücünün teknik özellikleri listelenmiştir bu özellikler şunlardır;

- IP 54 sınıfı,
- Genişletilmiş arıza algılama ve koruma sistemi arıza kodları can ağı aracılığı ve pc yardımı ile okunabilir,
- Akü voltaj takibi, akü voltaj seviyesi düşük ise sürücü kademeli bir şekilde durdurulması,
- Aşırı akım koruması,
- Ayarlanabilir motor sıcaklık koruma sistemi,
- Batarya ve kontrolcüyü korumak için düşük veya yüksek sıcaklıklarda akım kesinti sistemi,
- Rejeneratif frenleme sırasında akü voltaj takibi,
- Oransal rejeneratif frenleme imkanı,
- İleri yönde hız sabitleme,
- Can ağı haberleşme desteği,
- Elektronik geri vites,
- HUB motora bağlanan 3 faz hattının tamamın akım takibi,
- Aşırı voltaj koruması,
- Düşük EMC,
- Termal koruma yüksek sıcaklıkta akım kesme, uyarı sistemi ve sistem kapatma,
- Batarya koruması ayarlanabilir yüksek ve düşük pil seviyesi sayesinde, belirlenen aralıklarda voltajların altında veya üstünde akım kesme, uyarı sistemi ve sistem kapatma,
- Herhangi bir sayıdaki kutuplu motor destek sistemi.

Tercih edilen elektrikli motor sürücüsün görseli Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Elektrik motor sürücüsü

3.1.4. Elektronik Kontrol Ünitesi(EKÜ))

Karavan üzerinde bir çok kontrolcü, sensör ve haberleşme ağı bulunmaktadır, bu kontrolcüler kendi içerisinde kapalı çevrim döngülerde çalışmaktadır ancak sensörler ve ana kontrolcüden gelen kontrol parametrelerine göre işlem yapmaktadırlar. Bu noktada tüm elektrikli karavan sistemini yöneten merkezi bir kontrolcüye ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm haberleşme hatlarını ve sensörleri dinleyip takip eden, can ağı hatları boyunca kendisine bağlı slave kontrolcülere parametre gönderebilen, çeşitli kontrol algoritmalarını çalıştıran ve fonksiyonel işlemleri yerine getirilmesi için üç çekirdekli üzerinde Rtos çalışan bir EKÜ tercihi yapılmıştır. Bu EKÜ aynı zamanda tüm kontrolcülerden gelen kontrol verilerini ve sensörlerden gelen verileri loglayarak canbus haberleşme protokolü yardımı ile telemetri modülüne gönderir telemetri modülü de tüm verileri anlık olarak kontrol istasyonuna göndererek anlık olarak sistem davranışlarının izlenmesini, grafiklendirilmesini ve verilen kaydedilmesine imkan sağlar. Tercih edilen EKÜ'nün teknik özellikleri aşağıda listelenmiştir bu özellikler şunlardır;

- TriCore 300Mhz işlemci,
- 288 kB SRAM internal, 8 MB SDRAM external,
- 4 MB Flash internal,
- 32 kB EEPROM,

- Canbus j1939 desteği,
- CanOpen desteği,
- Grişi ve ıkış IO'lar,
- Termal koşullardan daha az etkilenmesi için ısı dağıtımına uygun tasarım,
- IP68 standartlarında su ve doza karşı dayanıklılık,
- Elektro manyetik alana karşı dayanıklılık,
- -40 ile +85 derece arasında çalışma sıcaklıklığı.

3.1.5. Ataletsel lm Birimi (AB)

Mpu6050 3 eksen jiroskop, 3 eksen ivme ölçer ve dijital hareket işlemcisini (DMP) 4x4x0.9mm pakette birleştiren dünyanın ilk entegre 6 eksenli hareket takip cihazıdır. I2C haberleşme protokolü ile haberleşen sensör aynı zamanda 9 eksen bir hareket füzyonu oluşturmak için 3 eksenli bir pusulan gelen girdileri doğrudan kabul eder. Mpu6050 jiroskop çıkışlarını sayısallaştırmak için üç adet 16 bit analog dijital dönüştürücüye(ADC) ve ivme ölçer çıktılarını sayısallaştırmak için 3 adet 16 bit analog dijital dönüştürücüye sahiptir. Hem hızlı hem de yavaş hareketlerin takibi için kullanıcı tarafından programlanabilen tam ölçekli jiroskop ve ivme lere sahiptir. ip zerindeki 1024 bayt FIFO arabelleği sayesinde yüksek hızla örneklenen veriler arabellekte tamponlanır. Mpu6050'deki DMP entegre bir hareket füzyon çıkışı sağlayarak sistem işlemcisinden yoğun bir hareket işleme hesaplama gereksinimi azaltarak hareket sensörü çıkışının sık sorgulanması ihtiyacını en aza indirir[87]. Ataletsel lm birimi sistem tasarımı bölümün de tanıtılacak olan data toplama kartı ile beraber elektrikli karavan sisteminin açılarını belirlemede kullanılacaktır. Kullanılanın ataletsel ölüm birimi üzerindeki ivme sensörünün teknik özellikleri aşağıda listelenmiştir bu özellikler şunlardır;

- X, Y, Z eksenlerinde +2g, +4g, +8g, +16g programlanabilir tam ölçekli dijital çıkış,
- 16 bit ADC ile eş zamanlı ivme rneklemesi,

- 500 uA normal çalışma akımı,
- Yön tespiti ve sinyalizasyon,
- Dokunma algılama,
- Programlanabilir kesmeler,
- Yüksek G kesmesi,
- 10000 G şok toleransı.

Ataletsel ölçüm birimi üzerinde bulunan jiroskop sensörünün teknik özellikleri aşağıda listelenmiştir bu özellikler şunlardır;

- X,Y,Z açısal hız eksenleri için $-+250,-+500,-+1000,-+2000$ ° / sn'lik ayarlanabilir tam ölçekli dijital çıkış,
- Harici senkronizasyon sinyali ile video veya GPS sistemleri senkronizasyonunu destekler,
- 16 bit ADC ile eş zamanlı jiroskop örnekleme,
- Gelişmiş bias ve hassasiyet sıcaklık kararlılığı bu sayede kullanıcı kalibrasyon ihtiyacını azaltır,
- Düşük frekanslı gürültü performansı,
- Dijital olarak programlanabilen alçak geçiren filtre,
- 3.6 mA çalışma akımı,
- 5 uA bekleme akımı.

Elektrikli karavan sisteminde kullanılan ataletsel ölçüm birimi Şekil 3.4'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Ataletsel Ölçüm Birimi [87]

3.1.6. Global Konumlandırma Sistemi(GPS)

NEO-M8 modülleri, üç adede kadar GNSS sisteminin (BeiDou veya GLONASS ile birlikte GPS/Galileo) eşzamanlı alımını kullanır, aynı anda birden fazla takımyıldızı tanır ve kentsel kanyon veya zayıf sinyallerin dahil olduğu senaryolarda konumlandırma doğruluğu sağlar. NEO-M8 sisteme kolayca entegre edilebilmesi için yapılandırılabilir arayüz ayarlarıyla mesaj bütünlüğü korumasını, coğrafi sınırlamayı ve yanıltma tespitini destekler. NEO-M8 endüstriyel ve otomotiv uygulamaları için tasarlanmış bir entegredir. Karayolu araçları için çevresel koşullar testleri, elektrik ve elektronik ekipman testler ISO16750 yeterlilik standartlarında yapılır[88]. GPS sistem tasarımı bölümün de tanıtılacak olan data toplama kartı ile elektrikli karavan sisteminin harita üzerinde konumlandırılmasında kullanılacaktır. Elektrikli karavan sisteminde kullanılan global konumlandırma sisteminin teknik özellikleri aşağıda listelenmiştir bu özellikler şunlardır;

- GPS/QZSS L1 C/A, GLONASS L10F, BeiDou B1,
- SBAS L1 C/A: WAAS, EGNOS, MSAS,
- Galileo-ready E1B/C,
- Navigasyon yenileme oranı: 18 Hz,
- Sürekli GNSS: 10 Hz,
- Hassasiyet & Nav: -167 dBm.

Elektrikli karavan sisteminde kullanılan global konumlandırma entegresi Şekil 3.5’de gösterilmektedir.



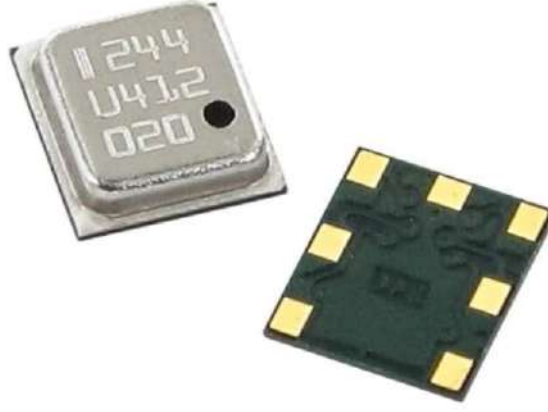
Şekil 3.5. Global Konumlandırma Sistemi Entegrasyonu[88]

3.1.7. Barometre

BMP180 ultra düşük güç modunda çalışarak cep telefonları, GPS navigasyon cihazlarında ve dış mekan ekipmanlarında kullanım için optimize edilmiştir. Hızlı dönüştürme süresinde yalnızca 0,25 m'lik düşük irtifa gürültüsü ile BMP180 yüksek performans sunar. I2C haberleşme protokolü ile bir mikro işlemci ile rahatlıkla iletişim kurabilir. BMP180, EMC sağlamlığı, yüksek doğruluk ve doğrusalığın yanı sıra uzun vadeli kararlılık için piezo dirençli teknoloji ile üretilmiştir. Otomotiv uygulamalarında basınç sensörü konusunda dünya pazarında liderdir, sahada 400 milyondan fazla kullanılmıştır[89]. Barometre sistem tasarımı bölümünün de tanıtılacak olan data toplama kartına entegre edilecektir. BMP180'nin teknik özellikleri aşağıda listelenmiştir bu özellikler;

- Çalışma sıcaklığı -40-+85 derece,
- Düşük güç tüketimi - 1Hz'de 0.5uA,
- Basınç Aralığı: 300hPa - 1100hPa (Deniz seviyesine göre + 9000m - -500m),
- Düşük gürültü: Ultra düşük güç modunda 0,06hPa (0,5m).

Barometre sensörü Şekil 3.6'de gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Barometre Sensörü[89]

3.1.8. Bluetooth Haberleşme

Bluetooth, 2,4 GHz kablosuz bağlantı yoluyla veri göndermek ve almak için geliştirilmiş bir protokoldür. Güvenli bir protokoldür ve elektronik cihazlar arasında kısa mesafeli, düşük güçlü, düşük maliyetli, kablosuz haberleşme sağlamak amacı ile kullanılmaktadır. Genellikle 100 metre ve altındaki mesafelerde veri iletimi sağlamak için kullanılmaktadır. Bluetooth haberleşmesi temelde radyo frekansını kullanır. Bir bluetooth haberleşme aygıtı efendi(master) köle(slave) şeklinde uçtan uca haberleşebilir tek bir efendi birden fazla köle ile iletişim kurarak piconet ağı kurabilmektedir[90]. Bluetooth sistem tasarımı bölümün de tanıtılacak olan data toplama kartı ile beraber mover sisteminin oluşturulmasında kullanılacaktır.



Şekil 3.7. Bluetooth Haberleşme[90]

3.1.9. Yük Hücresi

Çekici araç ve elektrikli treyler arasında çeki derinde oluşan çekme kuvveti ölçümlemek amacı ile yük hücresi tercih edilmiştir. Burada elde edilen veriler ileride geliştirilecek olan sensör füzyon ağı ile elektrikli treyler sisteminin yarı otonom bir şekilde hareket etmesi için kullanılacaktır. Aynı zamanda elektrikli treyler sistemi aktif oluğunda çeki demiri üzerindeki ölçülen kuvvetlerdeki değişimleri takip etmek amacı ile kullanılmıştır. Çeki demiri üzerindeki itme ve çekme kuvvetlerini ölçmek amacı ile s tipi yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücresinin teknik özellikleri aşağıda sıralanmıştır bu özellikler;

- IP 67
- 2kg-3ton ölçüm aralığı.

S tipi yük hücresi görseli Şekil 3.8’de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. S Tipi Yük Hücresi[91]

3.1.10. Yük Hücresi Ölçüm Cihazı

Elektrikli treyler sistemi üzerinde bulunan yük hücresi sistemlerini hassas ve yüksek hızlarda okumak ve çevresel etkilerden oluşan gürültüleri bastırmak için yüksek çözünürlüklü ve yüksek hızlı ADC’si bulunan kendi içerisinde ham verileri işleyerek ve çeşitli filtreleme algoritmalarından geçirebilen bir yük hücresi ölçüm cihazı tercihi yapılmıştır. Yük

hücre ölçüm cihazı elektrikli treyler sistemi üzerindeki bulunan sensörleri yüksek çözünürlükte ve ayarlanan örnekleme hızında okuyarak kendi üzerinde bulunan filtreleme fonksiyonlarında geçirecek parazitlerden ve çevresel etkilerden arındırılmış temiz bir sinyal üretmiştir. Yük hücre ölçüm cihazı üzerinde üretilen ölçüm verilerini Yük hücre ölçüm cihazı can ağı aracılığı ile EKÜ birimine göndermiştir. EKÜ birimine gelen veriler hem sistemsel fonksiyonlarda kullanılmış hem de radyo frekansı haberleşmesi yardımı ile bilgisayar ortamına gönderilerek hem sistemin izlenmesi sağlamış hem de verileri kayıt altına almıştır.



Şekil 3.9. Yük Hücre Ölçüm Cihazı[92]

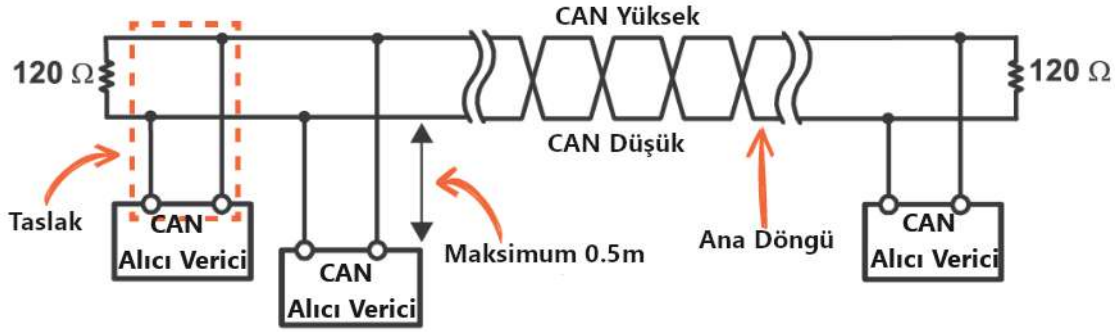
Tercih edilen yük hücre ölçüm cihazının teknik özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- 2.2 CAN / 3.4 PROFIBUS / 4.4 EtherNet,
- Min. bölme sinyali 0.02uV,
- Çalışma sıcaklığı -10 +40 derece aralığı,
- Doğruluk sınıfı +-0.005,
- Termal Sıfır/Açıklık kayması +-0.00015 / +-0.0002,
- Çözünürlük 24 bits,
- Saniyedeki örnekleme aralığı 6 ila 1600,
- Kablo kesilme tespiti.

3.1.11. Can Ağı Fiziksel Kablo Sistemi

Elektrikli treyler sistemin bir çok sensör ve kontrolcü bulunmaktadır. Sistem de bulunan sensörlerin ve kontrolcülerin hatasız ve kararlı bir şekilde gerçek zamanlı olarak haber-

leşmeleri gerekmektedir. Bu haberleşme ağının kurulması için otomotiv sektörünün olmazsa olmazı can ağı haberleşme protokolü tercih edilmiştir. Canbus haberleşme protokolü fiziksel olarak iki adet kablunun sarmal hale getirilmesi ve kablo başına ve sonuna sonlandırma dirençlerinin takılmasından oluşmaktadır. Kablolardan birisi CAN H diğeri ise CAN L olarak adlandırılmaktadır. Hat boyunca iki kablo yan yana olacak şekilde sarmal yapıda olmalıdır aksi takdirde sistemsel kararlılık sağlanamayabilir. Elektrikli treyler sisteminde CanOpen ve J1939 olmak üzere iki adet canbus hattı bulunmaktadır bu hat araç boyunca dolaşmaktadır. CanOpen’u destekleyen cihazlar canopen hattı üzerinde diğeri ise j1939 hattı üzerinde çalışmaktadır.



Şekil 3.10. Canbus Kablolama Şeması[93]

3.1.12. Batarya

Elektrikli treyler sistemine güç verebilmesi için 20 kWh kapasiteye sahip peak durumlarında 60 kWh güce çıkabilen canbus ile haberleşebilen ve EKÜ tarafından kontrol edilebilen bir batarya paketi seçilmiştir. Temelde batarya paketi elektrikli motor sürücüleri vasıtasıyla HUB motoları besleyerek EKÜ’den gelen kontrol parametrelerine göre elektrikli treyler sistemini hareket ettirmektedir. Batarya paketi üzerindeki hücreler kendi üzerinde bulunan BMS ile kontrol edilmektedir ve batarya paketinin zarar görmesi engellenmektedir. Kullanılan batarya sisteminin teknik özellikleri aşağıda listelenmiştir bu özellikler;

- Batarya tipi 1P32S,
- Nominal voltaj 103V,
- Kapasite 20.8 kWh,

- Ağırlık 225kg,
- Sürekli deşarj akımı 200A,
- Batarya yönetim sistemi (BMS),
- Can ağı desteği,
- Max. deşarj akımı 400A.

3.1.13. Kicad Elektronik Tasarım Yazılımı

Elektronik devre tasarımı (PCB) geliştirmek amacı ile geliştirilmiş açık kaynak kodlu bilgisayar programıdır. Kicad ile 32 katmana kadar PCB geliştirilebilir ayrıca üretim için gerekli olan pozisyon ve komponent listesi çıkarılabilir. PCB tasarımında gerekli olan yol kalınlıkları, akım , voltaj taşıma, sıcaklık artışı gibi benzer hesaplamalar Kicad üzerinden yapılabilir. Elektrikli karavanın tüm elektronik kart tasarımları Kicad programı kullanılarak geliştirilmiştir.

3.1.14. Codesys Yazılım Geliştirme Arayüzü

CODESYS uluslararası standartlarda endüstriyel ve otomotiv sektöründe kontrolör uygulamalarını programlamak amacı ile geliştirilmiş bilgisayar programıdır. CODESYS programı elektrikli karavan üzerinde bulunan EKÜ'nün yazılımını geliştirmek amacı ile kullanılmıştır.

3.1.15. Stm32CubeId Yazılım Geliştirme Arayüzü

ST firması tarafından stm tabanlı işlemcilerin programlanması için geliştirilen bilgisayar programıdır. Gelişmiş arayüzü sayesinde C programlama dili tabanlı kodlar geliştirilmekte ve aynı zamanda işlemci üzerinde çalıştırılarak anlık olarak işlemcinin davranışı izlenebilmektedir. Elektrikli karavan için geliştirilen kartlar üzerindeki stm32 işlemcileri Stm32CubeId programı kullanılarak geliştirilmiştir.

3.1.16. QT Creator

Qt creator maksimum verimlilik için çapraz platform yazılım geliştirme ortamıdır(IDE). Qt creator windows, linux, macOS masaüstü işletim sistemlerinde çalışır ve geliştiricilerin masaüstü, mobil ve gömülü sistem platformlarında yazılım geliştirmelerine olanak tanır.

3.2. Metotlar

Bu bölümde başlıklar halinde elektrikli karavan sisteminde kullanılan metotlar verilmiş olup açıklamaları yapılmıştır. Aşağıda kullanılan metotlar listelenmiş olup bu metotlar;

- C Yazılım Geliştirmesi,
- Kicad Elektronik Kart Tasarım
- Oransal İntegral Türev (PID) Kontroller
- Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Denetleyici
- Kalman Filtresi
- Alçak Geçiren Filtre(Low Pass Filter)
- Radyo Frekanslı Haberleşme
- Qt Yazılım Geliştirme

3.2.1. C Yazılım Geliştirmesi

Elektrikli treyler sisteminde tüm fonksiyonların doğru bir şekilde çalışabilmesi için bir çok sensör ve kontrolcü ile donatılmıştır. Araç üzerindeki kontrolcüler bir çok matematiksel işlemi yapmaktadır sensörleri okumakta ve eyleyicileri kontrol etmek için çeşitli parametreler üretmektedirler. Kontrolcüler bu işlemleri ilerinde bulunan gömülü yazılım çerçevesinde yapmaktadırlar. Elektrikli treyler sisteminde kullanılan tüm kontrolcüler için

gömülü sistem yazılımları C programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. C tabanlı yazılımlar stm32CubeId platformunda geliştirilerek işlemcilere aktarımı gerçekleştirilmiştir. Araç açısını hesaplayan kartta kullanılan örnek bir kod parçası Şekil 3.11’de gösterilmektedir.

```
accel_angle_y = atan(-1*a_x/sqrt(pow(a_y,2)+pow(a_z,2)))*RADIANS_TO_DEGREES;
accel_angle_x = atan(a_y/sqrt(pow(a_x,2)+pow(a_z,2)))*RADIANS_TO_DEGREES;
accel_angle_z = 0;

dt = (t_now-t_last)/1000.0;
gyro_angle_x = g_x*dt + get_last_x_angle();
gyro_angle_y = g_y*dt + get_last_y_angle();

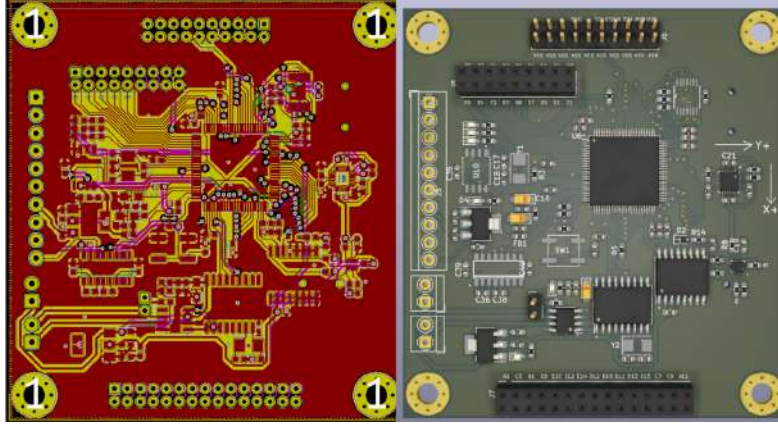
//int gz_threshold = 2;
gz_threshold1 = 0.2;
gz_threshold2 =1.0;
if(g_z < gz_threshold1 && g_z > -gz_threshold2)
    g_z = 0;
gyro_angle_z = g_z*dt + get_last_z_angle();

unfiltered_gyro_angle_x = g_x*dt + get_last_gyro_x_angle();
unfiltered_gyro_angle_y = g_y*dt + get_last_gyro_y_angle();
unfiltered_gyro_angle_z = g_z*dt + get_last_gyro_z_angle();
angle_x = alpha*gyro_angle_x + (1.0-alpha)*accel_angle_x;
angle_y = alpha*gyro_angle_y + (1.0-alpha)*accel_angle_y;
angle_z = gyro_angle_z;
set_last_read_angle_data(t_now,angle_x,angle_y,angle_z,unfiltered_gyro_angle_x,
unfiltered_gyro_angle_y,unfiltered_gyro_angle_z);
```

Şekil 3.11. C Tabanlı Örnek Kod Parçası

3.2.2. Kicad Elektronik Kart Tasarım

Elektrikli treyler sisteminde elektronik olarak bir çok özelliğin yerine getirilmesi gerekmektedir. Bu özelliklerinin ve fonksiyonların doğru ve karalı bir şekilde yerine getirilmesi için bir çok programlanabilen elektronik kartlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu problemlerinin giderilmesi için proje kapsamında Kicad PCB tasarım programı yardımı ile 2 ve 4 katmanlı PCB tasarımları yapılmıştır. Üretimin gerçekleştirilmesi için PCB kartların gerber, bom, ve pozisyon dosyaları çıkarılmıştır. Tasarlanan PCB’lerin üretimleri ve dizilimleri yapılmış olup daha sonrasında her bir PCB için yerine getirecekleri fonksiyonlara bağlı olarak özel C tabanlı yazılımlar geliştirilmiş ve test edilmiştir. Elektrikli karavan için tasarlanan 4 katmanlı data toplama kartının üst katman görüntüsü ve Kicad ortamındaki 3 boyutlu görüntüsü Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



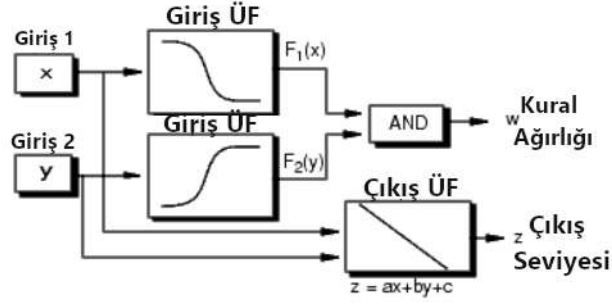
Şekil 3.12. Data Toplama Kartı Üst Katman ve 3 Boyutlu Görüntüsü

3.2.3. Oransal İntegral Türev (PID) Kontrol

Elektrikli treyler sistemi dengeli itki yaratacak şekilde hareket ettirebilmek amacı ile çekici araç ile elektrikli treyler arasında bulunan çeki demiri üzerinde oluşan kuvvetleri ölçüp, ölçülen bu kuvvetin belli bir değerde sabit kalacak şekilde elektrikli treylerin motorlarına güç verip sistemin hareket ettirilmesi amaçlanmıştır. Bu fonksiyonların ana kontrolü için ilk olarak PID kontrol kullanılmıştır. Sistem davranışları hakkında bir çok veri toplanmış ve sistemin matematiksel modeli yakınsamıştır, elde edilen matematiksel model çerçevesinde sisteme PID kontroller uygulanarak elektrikli treyler ve çekici araç arasında belirli bir gerilme kuvveti ile takip edilmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

3.2.4. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Denetleyicisi

Elektrikli treyler sistemin de sistemin daha verimli, konforlu, uyumlu ve stabil olması için sisteme verilen girdi parametreleri artırılmış olup kontrol algoritması genişletilmiştir. Elektrikli treyler sisteminin o anki eğimi, hızı, çevresel faktörler gibi parametrelerde göz önünde bulundurularak sistem kontrol edilerek elektrikli treylerin çekisi araca uyum sağlanması amaçlanmıştır bu fonksiyonun yerine getirilmesi için bulanık mantık Sugeno kontrol algoritması tercih edilmiştir ve sisteme uygulanarak sistemin verimli bir şekilde çalışması hedeflenmiştir. Şekil 3.13'de birden çok girişe bağlı olarak giriş üyelik fonksiyonlarından elde edilen çıktılarla sonucun hesaplanma şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Sugeno Giriş Ve Çıkış Algoritması[64]

3.2.5. Kalman Filtresi

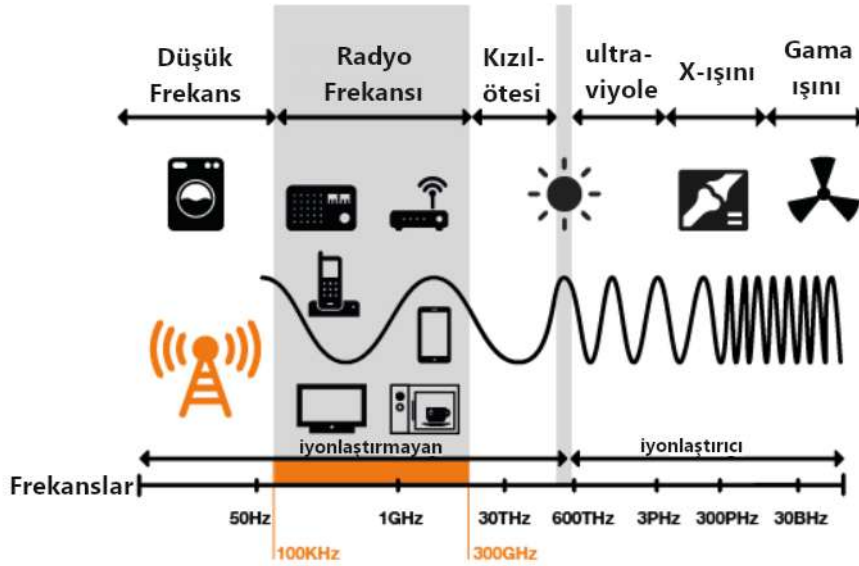
Elektrikli treyler sisteminde sistemin düzgün ve stabil çalışması için bir çok sensör bulunmaktadır. Bazı sensörler sistem için olmazsa olmaz niteliğindedir ve bu sensörler yüksek çözünürlük ve yüksek hızlarda okunmaktadır. Yüksek örnekleme hızı ve yüksek çözünürlükte ölçüm yapılırken çevresel etkenlerden kaynaklanan çeşitli parazitler gürültülerde ölçüm yaptığımız sinyallere karşımakta ve sinyali bozmaktadır, bu noktada sinyali gürültülerden temizlemek için kullanılan bir çok yöntem vardır. Elektrikli treyler sistemin önemli sensörlerden gelen verileri temizlemek ve kullanılabilir hale getirmek için kullanılan filtrelerden biriside kalman filtresidir. Çeki demirinde oluşan gerilimler veya eğim hesaplaması gibi bir çok hassas sensörün olduğu bölümlerde kalman filtresi kullanılmaktadır.

3.2.6. Alçak Geçiren Filtre(Low Pass Filter)

Kalman filtresinde bahsedildiği gibi sensörlerden gelen verileri gürültülerden arındırmak amacı ile kullanılan filtrelerden biri de alçak geçiren filtredir. Kalman filtresi bir çok sensörden gelen verileri güzel bir şekilde filtlemektedir ancak uygulaması ve işlem maliyeti alçak geçiren filtreye göre daha yüksektir. Yüksek çözünürlükte ölçüm yapılmayan sensörlerde kalman maliyeti gibi sebeplerden dolayı sensörden gelen verileri filtrelemek için alçak geçiren filtresi tercih edilmiş ve uygulanmıştır. HUB motorlarda bulunan hall sensörlerden gelen verilere bakılarak aracın anlık hızı hesaplanması gibi durumlar için alçak geçiren(low pass) filtresi tercih edilmiştir.

3.2.7. Radyo Frekansı (RF) haberleşme

1990’lardan itibaren kablosuz iletişim, telekomünikasyon, askeri ve uzay uygulamalarında kullanımının dışında da günlük hayatımızda da kullanımda yer buldu. Bu, daha küçük mesafelere veri aktarımı için düşük bantlı radyo frekansı iletişiminin kullanılmasıydı. Telekomünikasyon sektörü, bir cihazdan diğerine birkaç metre üzerinden veri aktarımı için Bluetooth ve bir ev veya ofis ortamında internet kablosuzunu yönlendirmek için Wi-Fi gibi teknolojiler geliştirildi ve kullanıldı. Tüketici elektroniği sektörü de, cihazlarını uzaktan kumanda ve kablosuz veri aktarımı ile donatmak için bu standart kablosuz iletişim teknolojilerinin yanı sıra diğer düşük bant radyo frekansı teknolojilerini de kullandı. Günümüzde radyo iletişimi veya radyo frekansı iletişimi, 3 kHz ila 300 GHz arasında değişen elektromanyetik dalga frekanslarıyla hava yoluyla kablosuz iletişimi ifade eder[94]. Elektrikli karavan sisteminde karavanın ürettiği verileri ve sistemi izlemek amacı ile radyo frekansı haberleşmesi yöntemi kullanılmıştır. Şekil 3.14’de kullanılan elektromanyetik dalgaların frekans aralıkları gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Kullanılan Elektromanyetik Dalgaların Frekans Aralığı[95]

3.2.8. Qt Yazılım Geliştirme

Bilgisayar ortamının da c++ tabanlı Qt programı kullanılarak geliştirilen açık kaynaklı serialplot uygulamasının kodlarına eklemeler yapılarak elektrikli karavan sisteminin datalarını izleme ve kaydetme görevlerini yerine getirecek şekilde düzenlenmiştir. Kod eklemelerin yapılmasından sonra dataların izlendiği ve kaydedildiği arayüz görüntüsü Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Bilgisayar Treyler İzleme Ve Veri Kaydetme Arayüzü

4. SİSTEM GELİŞTİRME VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasının bu bölümünde sistem geliştirmesi başlığı altında tez çalışmasını gerçekleştirmek için Crawler IZZ458 çekme karavanın alt şasesi ve üst yapısı kullanılarak elektrik motolarının seçimi ve yerleşimi, elektrikli motor sürücülerin yerleşimi ve testleri EKÜ, can ağı, elektronik kart tasarımları, gömülü yazılımlarının geliştirilmesi ve sensörlerin yerleşiminden bahsedilmektedir. Deneysel çalışmalar kısmında ise geliştirilen elektronik itki sistemine PID kontrolcü ve bulanık mantık Sugeno algoritması uygulanmıştır ve sistem davranış izlenerek kontrol algoritmaları geliştirilmiştir.

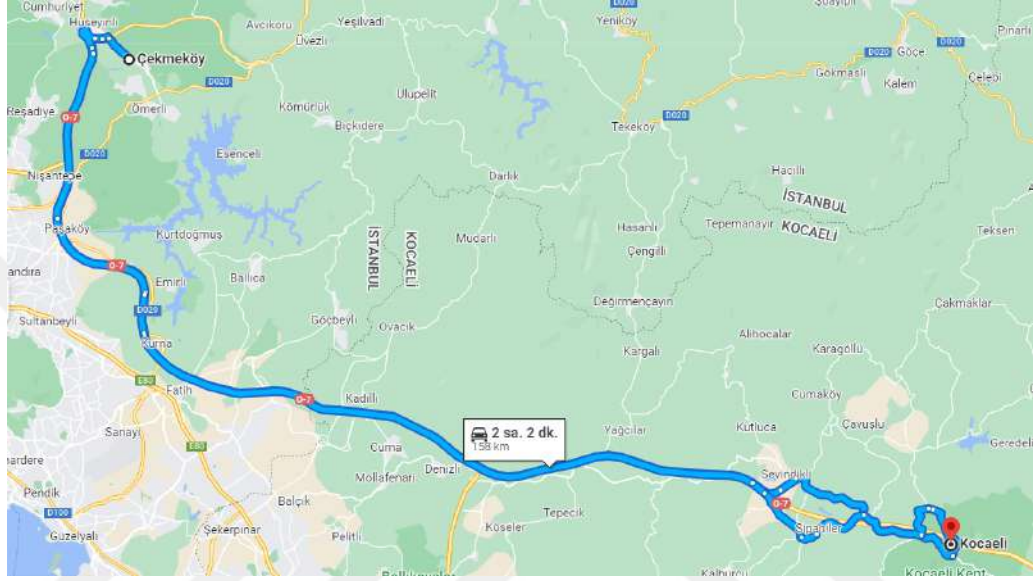
4.1. Sistem Geliştirme

Elektrikli karavan treyler sistemini oluşturmak için üzerinde çalışmak üzere Crawler IZZ458 model çekme karavan seçilmiştir. IZZ458'i elektrikli hale getirmek için IZZ458'i çekici araca yük bindirmeyecek şekilde taşıyabilecek güçte elektrik motorlarının seçilmesi gerekmektedir. Elektrik motorlarının seçilmesi için IZZ458 ve çekici araç hareket halinde iken çekici aracın maruz kaldığı itme ve çekme kuvvetlerini tespit etmek gerekmektedir. İtme ve çekme kuvvetlerini tespit etmek amacı ile IZZ458 ile çekici araç arasında bulunan çeki demirinde değişiklik yapılarak IZZ458'in çeki demirine ve çekici araç üzerinde bulunan çeki demirine s tipi yük hücresi yerleştirilmiştir. Yerleştirilen s tipi yük hücrelerinin görüntüsü Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. IZZ458 Ve Çekici Araç Yük Hücresi Bağlantısı

Yük hücrelerini okumak için ekranlı mobil bir indikatör ile Kocaeli’de bulunan fabrikadan İstanbul Çekme köye gidip gelinerek 158km yol yapılmıştır ve yol boyunca aracın maruz kaldığı kuvvetler gözlemlenmiştir. Araç çekmede iken maksimum ivmelendiği zaman IZZ458’e 350kg çekme kuvveti, araç firen yaparak negatif ivmelendiği zaman IZZ458 tarafında maksimum -200kg itme kuvvetine maruz kalmıştır ve sürüş boyunca ortalama 80kg çekme kuvveti uygulanmıştır. Alınan yolun harita görüntüsü Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Kocaeli Çekmeköy Güzergah Harita Görüntüsü[96]

Elde edilen verilere dayanarak 12Kwh güç ve tepe noktada 24Kwh güce çıkabilen iki adet HUB motor seçilmiştir. Elektrikli treyler karavan sistemini oluşturmak için ilk olarak Crawler IZZ458 modifiye edilmiştir ilk olarak elektrikli treyler sistemi için alt şase ve üst alüminyum giydirmesi ve parçaların montajı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra tekerlek içi HUB motorların yerleşimi için Crawler IZZ458 tekerlek iç çaplarına ve HUB motorlara uygun flanşlar yapılarak HUB motorların elektrikli treyler sistemine mekanik olarak uyumu sağlanmıştır. Daha sonra sisteme HUB motorların kontrolü için elektrikli motor sürücüler mekanik olarak montajı gerçekleştirilerek HUB motor ve elektrikli motor sürücüsü arasındaki elektrik kablo bağlantılar yapılmıştır. HUB motorların ve elektrikli motor sürücüsü montajlanmış şekli Şekil 4.3’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Elektrikli Karavan HUB Motor Ve Elektrik Motor Sürücüsü Montajı

Elektrikli motorların kontrolü sağlamak ve HUB motorları çalıştırmak için elektrikli motor sürücülere EKÜ kontrolcüsünün çeşitli giriş çıkış pinleri ve can ağı haberleşme hattı bağlanmıştır. EKÜ üzerinde çeşitli konfigürasyonlar ve yazılımlar geliştirilerek elektrikli motor sürücüler kontrol edilmiştir. Araç askıya alınarak motor ilk olarak AGM aküler kullanılarak motor fonksiyonları doğru bir şekilde çalışıp çalışmadığı test edilmiştir. İlerleyen aşamalarda AGM aküler çıkarılıp 20kWh LiFePO4 batarya geçilmiştir.

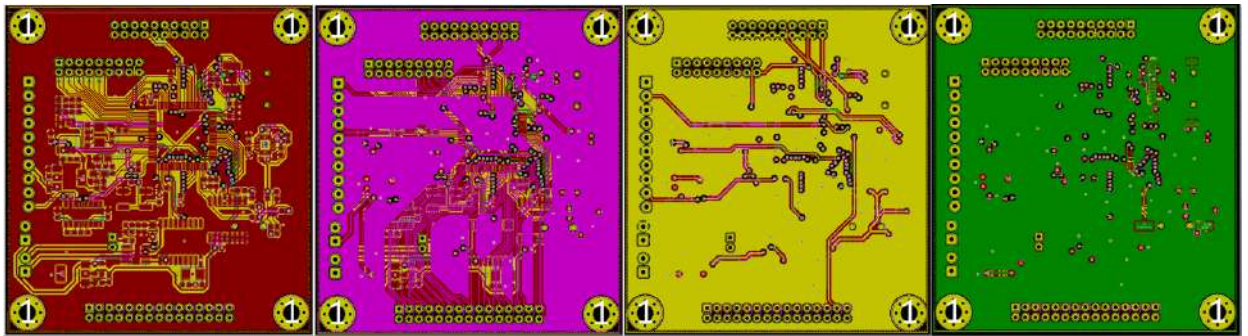


Şekil 4.4. HUB Motor Ve Elektrikli Motor Sürücüler Test

Motor testleri başarı ile tamamlandıktan sonra elektrikli karavan treyler sistemin doğru bir şekilde çalışabilmesi için gerekli olan ataletsel ölçüm birimi, global konumlandırma sistemi yük hücresi ve yük hücresi ölçüm cihazları, HUB motorlardan hall sensörlerini okuyan PCB kart, iki yönlü haberleşme ve izleme için radyo frekansı haberleşme sistemi, 20Kwh batarya sistemi, Bluetooth haberleşme kartı, gaz kelebeği kartı sistemlerinin geliştirilmesi yapılmıştır.

4.1.1. Veri Toplama Baskılı Devre Kartı(PCB)

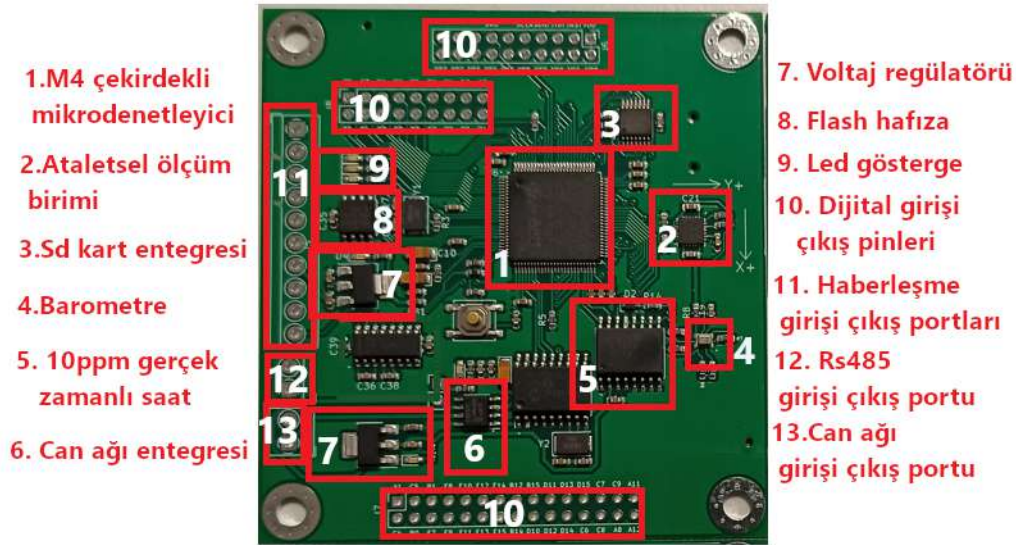
Elektrikli karavan sisteminde bir çok fonksiyonu yerine getiren elektronik kartlar bulunmaktadır. Bu kartlarında biri de veri toplama kartı adını verdiğimiz üzerinde ataletsel ölçüm birimi, barometre, sd kart okuyucu ve yazıcı, Arm mimarisi m4 çekirdekli işlemci, gerçek zamanlı saat, can ağı haberleşme entegresi, voltaj regülatörleri, flash hafıza, rs458 haberleşme entegresi ve dijital giriş çıkış ve haberleşme terminallerinin bulunduğu karttır. Veri toplama kartı tez kapsamında özel olarak elektrikli karavan sistemini gerçekleştirmek için tasarlanmıştır. Veri toplama kartı için öncelikle kullanılan sensörlerin elektronik devre şeması oluşturulmuştur, oluşturulan devre şeması baz alınarak Kicad devre çizim programı kullanılarak 4 katmanlı olarak elektronik devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Baskılı elektronik devre tasarımı tamamlandıktan sonra veri toplama baskılı devre kartının üretimi için gerekli olan gerber, bom listesi ve pozisyon dosyaları üretilmiştir. Üretim gerçekleştirildikten sonra veri toplama kartı üzerinde bulunan tüm sensörlerin doğru çalışması, haberleşme ağının düzgün, kararlı bir şekilde çalışma ve gerekli olan tüm matematiksel fonksiyonların işlenmesi için c programlama dili kullanılarak gömülü yazılım geliştirilmiştir. Veri toplama kartının ön görülen özellikler dışında da gelecekte ihtiyaç olabilecek özelliklere de uyum sağlaması veya içerisindeki gömülü yazım geliştirilerek başka amaçlar içinde kullanılması için veri toplama kartı üzerinde bir çok sayıda UART, I2C, SPI, CAN, RS485 haberleşme protokolleri için terminaller ve giriş çıkış pinleri bırakılmıştır. Bu haberleşme protokolleri sayesinde veri toplama kartı üzerinde olmayan ancak ihtiyaç olan sensörler veya kartlar ile iletişim kurularak ve gömülü yazılım geliştirilerek yeni modüller oluşturmak mümkündür. Veri toplama kartının tasarlanan katmanların görüntüsü Şekil 4.5’de gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Veri Toplama Kartı Katmanları

Elektrikli karavan sisteminin düzgün bir şekilde hareket edebilmesi için en önemli

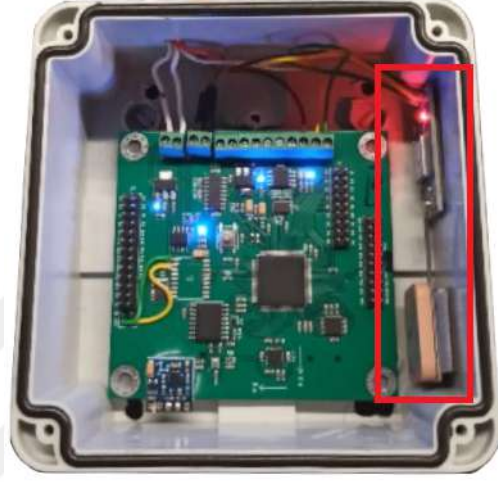
parametrelerden biri de karavanın hareket edeceği andaki duruş açısı yani eğimidir. Eğim bilgisinin parazitlerden ve çevresel bozucu etkilerden arındırılmış bir şekilde ölçülmesi sistemin kararlılığı için oldukça önemlidir. Eğim bilgisinin ölçülmesi için ivme ve jiroskop sensörlerinden faydalanılmıştır. İvme ve jiroskop sensörlerinden elde edilen veriler kalman filtresinden geçirilerek sensörlerin gerçek değerlerini bozan parazitler ve çevresel faktörler temizlenmiştir. Daha sonra ivme ve jiroskop verileri trigonometrik fonksiyonlarının yardımı ile algoritmadan geçirilerek roll, pitch, yaw açıları elde edilmiştir. Elektrikli treyler sistemi için en önemli açılardan biri pitch açısıdır. Pitch açısının sorunsuz ve kararlı bir şekilde sürekli ölçülmesi için ivme, jiroskop sensörlerini barındıran ataletsel ölçüm entegresi veri toplama kartı üzerine yerleştirilmiştir. Ataletsel ölçüm biriminden elde edilen ham veriler m4 çekirdekli işlemci ile işlenip anlamlı veriler elde edildikten sonra can ağı aracılığı ile periyodik ve kararlı bir şekilde merkezi işlem birimi olan EKÜ'ye gönderilmektedir. Pitch açısı elektrikli treyler sisteminin gaz kelebeği değerleri üretmesi için en önemli parametrelerden biridir. Ataletsel ölçüm birimi Şekil 4.6'de 2 numaralı entegre olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Veri Toplama Kartı Entegre Yerleşimleri

Elektrikli treyler sisteminin kat ettiği mesafeyi doğrulamak, sürüşü gerçekleştirilen yolları grafiklendirerek takip etmek daha sonra yol rejimleri hakkında bilgi sahibi olmak ve toplanan dataların treyler yol tepkisini izlenmesi ve anlık dataların yol profili ile eşleştirilmesi gibi amaçlar için GPS sistemi oldukça önemlidir. Bu çerçevede ölçümlerin doğru

bir şekilde yapıp EKÜ'ye gönderilebilmesi için tasarlanmış olan veri toplama kartı üzerine GPS sensörü bağlanmıştır. Veri toplama kartı üzerinde bulunan m4 çekirdekli işlemci ile GPS sensörü arasında iletişim kurularak GPS sensörünün ürettiği datalar okunarak toplanmıştır. Toplanan datalar çeşitli yardımcı fonksiyonlar ile longitude ve latitude değerlerine dönüştürülmüştür. Elde edilen longitude ve latitude can ağı aracılığı ile EKÜ birimine gönderilerek radyo frekansı haberleşmesi ile bilgisayar ortamına zaman damgalı olarak kaydedilmiştir. Gps modülü Şekil 4.7'de gösterilmektedir.

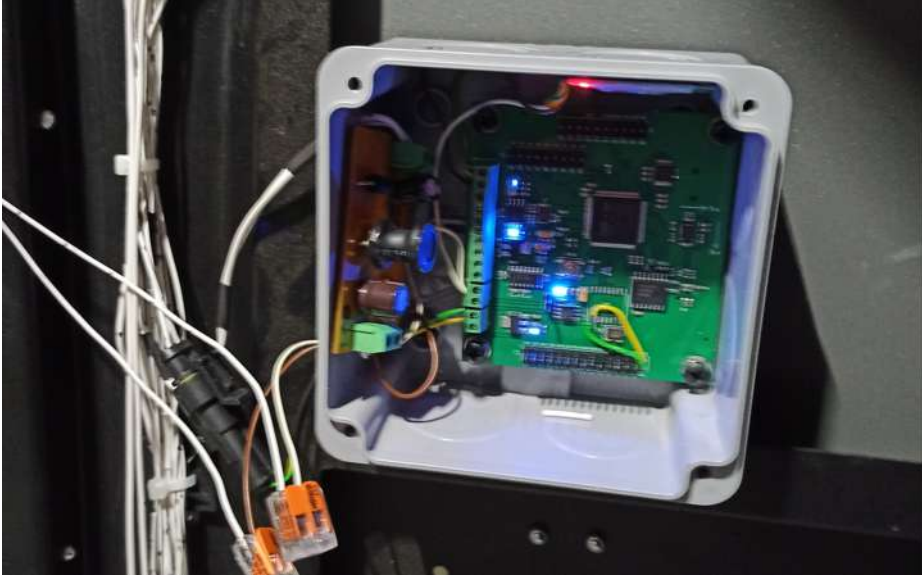


Şekil 4.7. Veri Toplama Kartı Ve Gps Modülü

Elektrikli treyler sisteminin anlık olarak yerden yüksekliğini tespit etmek ve yol rejimleri yükseklikleri hakkında bilgi sahibi olmak amacı ile barometrik basınç sensörü kullanılmıştır. Tercih edilen barometrik basınç sensörün veri toplama kartı üzerine entegre edilmiştir. Veri toplama kartı üzerindeki m4 çekirdekli işlemci ile I2C haberleşme protokolü ile okunarak ham veriler elde edilmiştir. Elde edilen ham veriler c programlama dili ile geliştirilen matematiksel fonksiyonlar ile basınç ve yükselti birimlerine dönüştürülmüştür. Dönüştürülen basınç ve yükselti verileri can ağı aracılığı ile EKÜ birimine gönderilerek gerekli işlemler yapılarak kayıt alınmıştır. Barometre sensörünün yerleşimi Şekil 4.6'de 4 numaralı komponent olarak gösterilmektedir.

Elektrikli treyler sistemi tamamlandığında test ve mover özelliğini kullanmak için uzaktan bir telefon uygulaması ile kontrol sağlamak istenmiştir. Telefon kumanda uygulamasının elektrikli treyler sistemine bağlanabilmesi için Bluetooth kablosuz haberleşme sistemi kullanılmıştır. Mover özelliği elektrikli karavan sisteminin herhangi bir araca ihtiyaç olmadan kendi kendine bir kullanıcı tarafından kontrol edilerek herhangi bir yere konum-

landırma özelliğidir, elektrikli olmayan treylerde bu işlem için ekstra donanımlar kullanılmaktadır. Bluetooth ile elektrikli treyler sisteminin telefona uygulamasına bağlanabilmesi için bluetooth modülü veri toplama kartına bağlanarak veri toplama kartı modifiye edilmiştir ve m4 işlemcisi için gömülü yazılım geliştirilmiştir. Telefon uygulaması üzerinde üretilen anlık yönlendirme komutları Bluetooth üzerinden veri toplama kartına gelir, gelen verilere işlenerek can ağı aracılığı ile EKÜ birimine gönderilerek elektrikli treyler sisteminin gelen verilere bağlı olarak ileri, geri, sağa ve sola hareket etmesi sağlanır. Bluetooth haberleşme modülü Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Bluetooth Haberleşme Modülü

Elektrikli treyler sisteminde üretilen verileri kayıt altına almak, elektrikli treyler sistemini gerçek zamanlı olarak izlemek ve uzaktan kontrol sağlamak için uzun mesafeli kablo-suz haberleşme kullanılmıştır. Bu haberleşme fonksiyonunu yerine getirebilmek için uzun mesafede yüksek veri hızı ile şifreli bir şekilde iletişim kurabilen modüller tercih edilmiştir. Radyo frekansı modülleri veri toplama kartı ile bağlantısı kurularak modülün doğru bir şekilde çift yönlü iletişim kurabilmesi için gerekli gömülü sistem yazılımı c programlama dili kullanılarak yapılmıştır. Veri toplama kartı üzerinde bulunan yazılım RF modülünden aldığı verileri can ağı haberleşme protokolü ile EKÜ birimine göndererek kontrol sağlanmaktadır, tam tersi şekilde can ağı haberleşme protokolünden aldığı verileri ise gerçek zamanlı olarak RF modülüne ileterek bilgisayar ortamında kayıt altına alınması ve grafiklendirilmesi sağlanmıştır. Tasarlanan radyo frekansı modülü Şekil 4.9 gösterilmiştir.

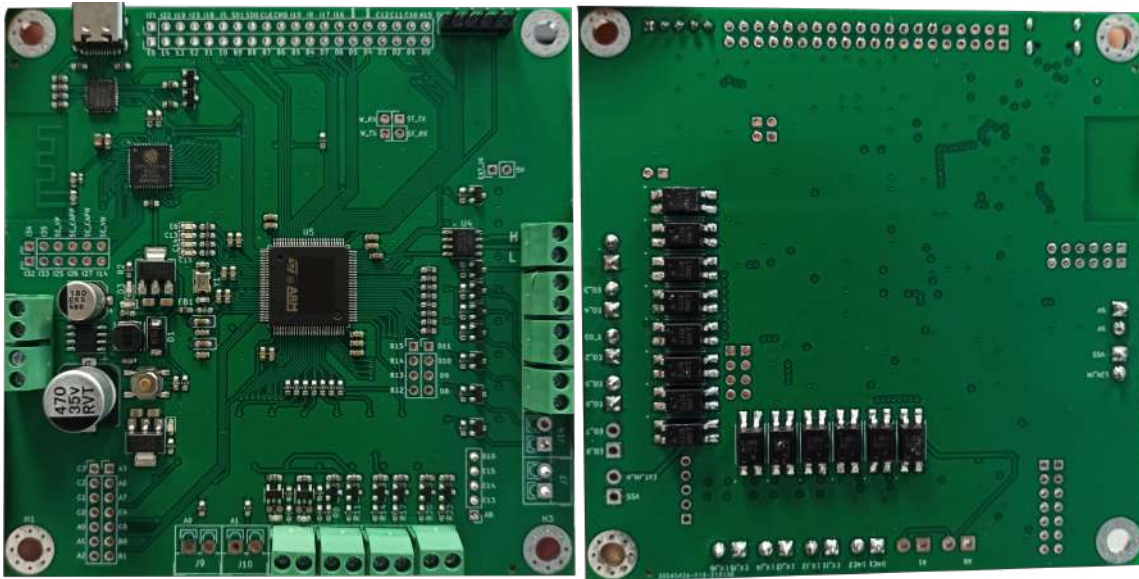


Şekil 4.9. Uzun Mesafe Radyo Frekansı Haberleşme Modülü

4.1.2. Sistem Kontrolü Baskılı Devre Kartı(PCB)

Elektrikli karavan sisteminde motorların kapalı çevrim kontrolü sistemin kararlılığı açısından oldukça önemlidir. Motorları kapalı çevrim kontrol edebilmek için en önemli parametreler motorların hızı ve motorlara uygulanan gaz kelebeği(throttle) değerleridir. Öncelikle motor sürücülere doğru gaz keleği değerini uygulanması gerekmektedir ancak elektrikli karavan üzerinde EKÜ ve motor sürücüler arasında iki metre kadar mesafe bulunmaktadır. EKÜ'den çıkan analog bir sinyal olan gaz kelebeği değerini hat boyunca taşımak sağlıklı bir yaklaşım olmamaktadır. Gaz kelebeğini hat boyunca taşımanın sağlıklı olmamasının sebebi hat boyunca bir çok güç hattın bulunması ve öngörülemeyen sistem dışı parazitlerdir. Sistem dışından gelecek olan herhangi bir elektromanyetik dalga ile gaz kelebeği hattında parazitler oluşabilir ve gaz kelebeği sinyalimizi bozabilir ayrıca böyle bir girişim ile sistemimiz EMC VE EMI açısından bağışksız olacak ve kararsız çalışacaktır bu durum elektrikli karavan hareket halinde iken hayati kazalara kadar yol açan sebepler doğurabilir. Bahsedilen bu kötü senaryoları engellemek için gaz kelebeği değerlerini EKÜ üzerinde dijital değerlere çevrilip can ağı aracılığı ile motor sürücülere kadar iletip motor sürücülere mümkün olan en yakın yerleşim yerinde dijital değerlerden yeniden analog gaz kelebeği değeri üretilerek ekranlı kablo ile motor sürücülere iletilmiştir ve yukarıda bahsedilen kötü senaryolar engellenmiştir. Bir diğer parametre olan motorların hızının ölçümü için motorların içerisinde bulunan 120 derece açı ile yerleştirilmiş olan hall sensörlerinin okunması işleminin gerçek-

leştirilmesi gerekmektedir. Hall efect sensörlerinden gelen değerlerin okunması için elektriksel olarak yalıtılmış herhangi bir yüksek voltaj veya akım durumunda sisteme zarar vermeden okuma işlemine geręekleřtiren devre kartına ihtiyaç duyulmuştur. Temelde gaz kelebeği değerini can hattı boyunca iletmek ve analog değerlere çevirmek, motorlarda bulunan hall efect sensörlerini güvenli bir şekilde okumak ve okunan ham verilerden RPM bilgisini üreterek can hattı boyunca EKÜ'ye iletilmesi görevlerini yerine getirmek amacı ile 4 katmanlı arm mimariye sahip m4 çekirdekli, elektriksel olarak yalıtımlı, üzerinde bir çok can modülü bulunduran, dijital değerlerin analog değerlere dönüştürmek için dijital analog dönüştürücü(DAC) bulunduran, entegre olarak wifi ve bluetooth desteği olan ve üzerindeki buck DC-DC dönüştürücü sayesinde geniş voltaj aralığında çalışabilen sistem kontrolü baskılı devre kartı adını verdiğimiz elektronik kartı tasarlanmıştır. Sistem kontrolü baskılı devre kartının tasarımı içinde veri toplama kartının tasarımında izlenen yöntemler izlenmiştir ve Kicad programı ile tasarım gerçekleştirilmiştir. Sistem kontrolü kartının üretim aşaması tamamlandıktan sonra EKÜ ile can ağı haberleşme protokolü ile iletişim kuran EKÜ'den can ağı aracılığı ile aldığı gaz kelebeği bilgilerini motor sürücülere ileten aynı zamanda motorlarda bulunan hall efect sensörlerinin değerlerini okuyup RPM bilgisi üretebilen c programlama dili tabanlı gömülü sistem yazılımı geliştirilmiştir ve elektrikli karavan sistemine entegre edilerek sistem kontrolü kartının testleri gerçekleştirilmiştir. Sistem kontrol kartının alt ve üst katmanlarının görüntüsü şekil 4.10'de gösterilmektedir.



şekil 4.10. Sistem Kontrol Kartı Alt Ve Üst Katman Görüntüsü

Sistem kontrol kartının bir diğer kullanım yeri de 20kWh LiFePO4 bataryanın mon-

tajı sırasında ortaya çıkan bir problemi çözmek amacı ile kullanılmasıdır. 20kWh bataryanın, batarya yönetim sistemi 500kbit hızda haberleşmekte ve can ağı mesaj yapısı canOpen veya J1939 protokolü standartlarının dışındadır. Elektrikli karavan sisteminde bulunan can ağı hatları 250kbit hızda haberleşmektedir. Batarya yönetim sisteminin can yapısının, standart can yapısının dışında olmasından dolayı elektrikli karavan sisteminde bulunan can hatlarına bağlanırsa mevcut hatları bozmakta ve çökertmektedir. Çökme sonucu can ağı hattına bağlı bulunan tüm sensörler ve kartlar ile iletişim kesilmektedir. Bu problemi çözmek için sistem kontrolü kartı üzerinde bulunan 2 adet can ağı haberleşme modülü kullanılarak can ağından can ağına dönüşüm gerçekleştiren modül geliştirilmiştir. Bu modül batarya üzerinde bulunan can ağı ile 500 kbit hızda haberleşerek verileri toplamaktadır, elde edilen veriler çözümlenerek voltaj, akım, batarya doluluk oranı gibi verilere dönüştürülmüş ve ikinci can ağı hattından 250 kbit hızda elektrikli karavan üzerinde bulunan normal can ağı hattına dahil edilmiştir.

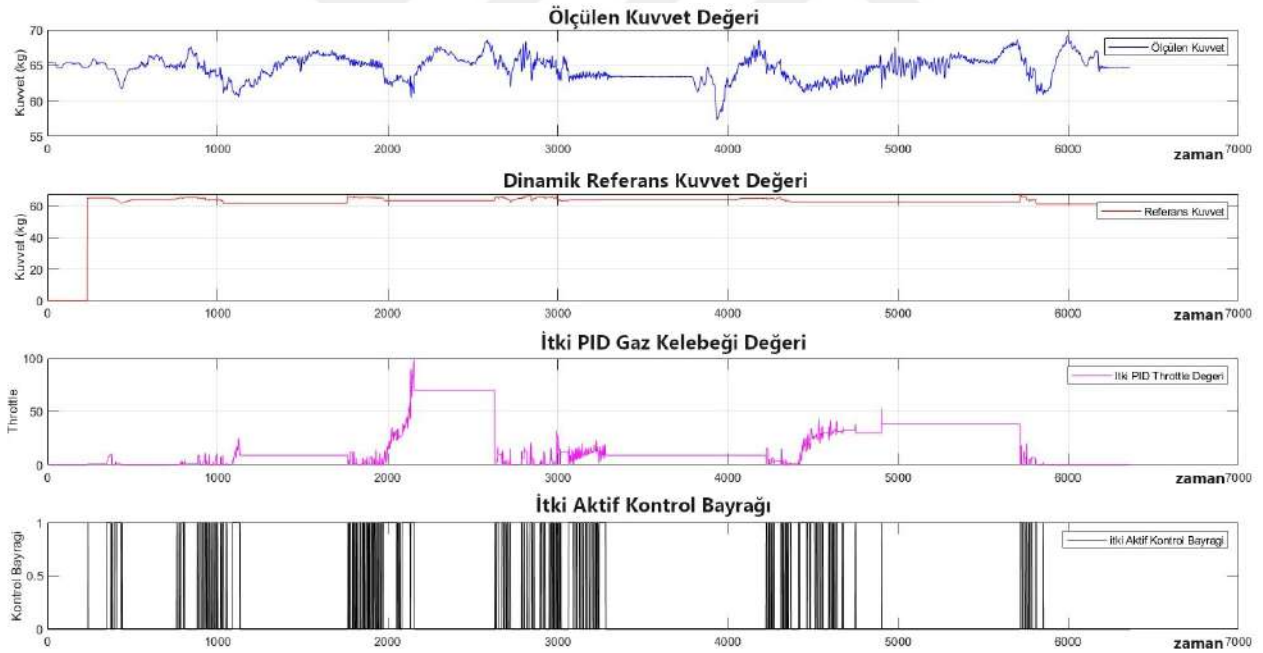
Elektrikli karavan sisteminin doğru bir şekilde hareket edebilmesi için tüm alt yapı hazırlıkları tamamlandıktan sonra her bir komponent için güç bağlantıları ve komponentlerle iletim kurmak amacı ile her bir komponente can ağı haberleşme protokolü için fiziksel olarak kablo bağlantıları yapılmıştır ve her bir komponent ile iletişim kurularak doğru çalışıp çalışmadıkları test edilmiştir. Elektrikli treyler sistemi mekanik, elektrik ve elektronik olarak hazır olduktan sonra daha önce bahsedilen mover özelliği ve elektrikli treylerin öndeki araç ile uyumlu bir şekilde çalışması için sistemin çeşitli kontrol girişlerine karşı verdiği tepkiler 150 bin adım toplanmıştır. Her adım 40 milisaniyeden oluşmaktadır. Elde edilen veriler incelenerek sistemin matematiksel modeli yakınsanmaya çalışılmıştır. Elde edilen model çözümlenerek sisteme mover ve araç uyumluluğu için ilk kontrol algoritmamız olan PID kontroller uygulanmıştır.

4.2. Deneysel Çalışmalar

Tez çalışmasının bu bölümünde alt yapısı tamamlanan elektrikli karavan sisteminin, çekici araç ile senkron bir şekilde çalışabilmesi için ilk olarak çeki demirinde bulunan kuvvetler baz alınarak PID kontrol uygulanmıştır. PID kontrolden elde edilen bulgular incelenmiş olup PID kontrolün elektrikli karavan sistemi için verimli olup olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. İkinci aşamada elektrikli karavanın hız ve eğim bilgileri bulanık mantık Sugeno algoritmasına

giriş olarak kullanılarak gaz kelebeği değerleri üretilmiş ve elektrikli karavan ile çekici araç senkronizasyonu sağlanmaya çalışılmıştır. Çekici araç ve elektrikli karavan sisteminin verimli bir şekilde senkron olması için elektrikli karavan sistemi üzerinde sürekli veri toplanarak incelenmiş olup Sugeno algoritmasında bulunan q , p , r katsayıları eğilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Sugeno algoritmasının elektrikli karavan sistemi için verimli olup olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

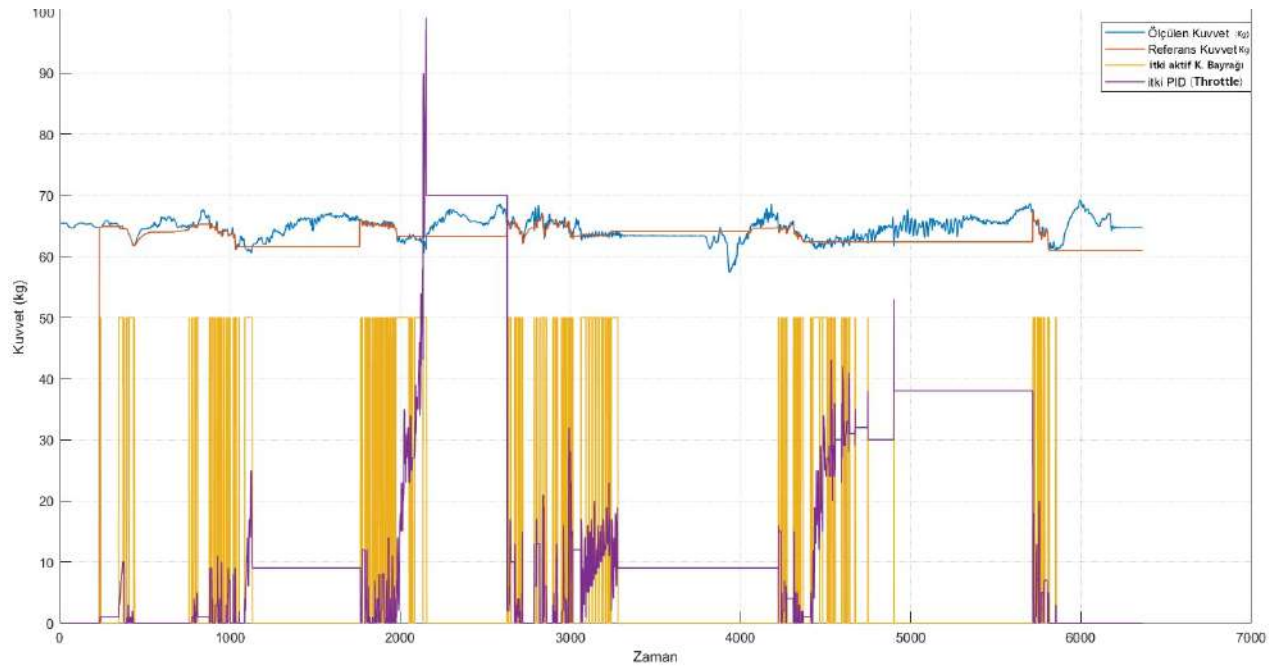
Elektrikli karavan sistemin çekici araç ile senkron bir şekilde çalışabilmesi için çeki demiri üzerinde bulunan kuvvetler ölçülerek kuvvet kontrolü yapmak amaçlanmıştır. Kuvvet kontrolü yapmak amacı ile çeki demirinden ölçülen kuvvetler baz alınarak PID kontrolcüsü ile gaz kelebeği değerleri üretilmiştir ve motorlara uygulayarak itme kuvveti oluşturulmuştur. Oluşturulan itme kuvveti çeki demiri üzerindeki kuvvetleri değiştirmektedir. İtme sistemi çeki demiri üzerinde referans alınan kuvvetin altında ise PID algoritması referans değere ulaşacak şekilde değerler üretmesi beklenmiştir. Referans değerlerin üzerine çıktığı anda kontrolcü ürettiği değerleri azaltarak referans kuvveti yakalamaya çalışması beklenmiştir.



Şekil 4.11. İtme Sistemi PID Testi

PID kontrol uygulandıktan sonra elde edilen veriler analiz edilerek Şekil 4.11 grafik incelenecek olursa ölçülen kuvvet, çekici araç ile elektrikli treyler arasında bulunan çeki demirindeki sensörden gelen gerilim değerleridir, referans kuvvet elektrikli karavan sistemin ilk hareket aldığı andaki çevresel koşullara bağlı olarak elektrikli karavan sisteminin belirli bir RPM değerinde iken dinamik olarak belirlenen referans çeki demirindeki gerilim

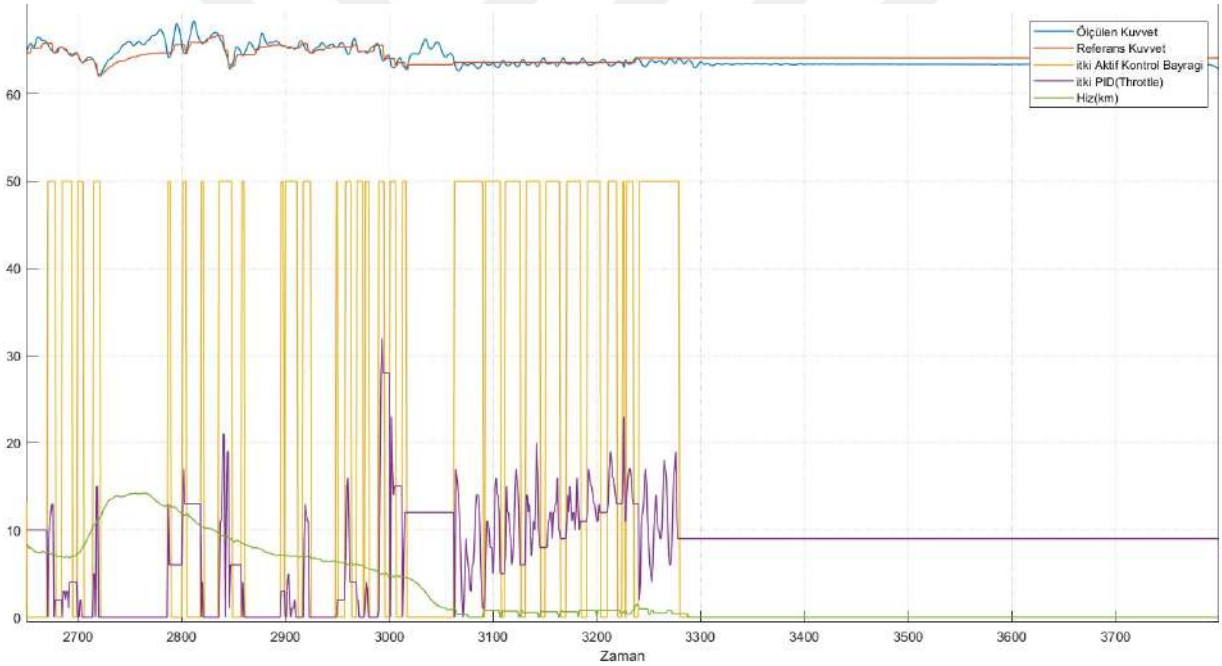
değeridir. İtki aktif kontrol bayrağı o anki referans ve ölçülen kuvvete bakılarak sistemin aktif olup olmadığını gözlemlemek amacı ile oluşturulmuş değişkendir, yüksek olduğu durumlarda sistem aktif, düşük olduğu durumlarda sistem pasif olmaktadır. İtki PID değeri ise elektrikli karavan sisteminin herhangi bir anda hareket halinde iken sensörlerden gelen ölçüm sonuçlarına göre PID kontrolcüsü tarafından üretilen ve motorların hareket etmesi için elektrikli motor sürücüsüne gönderilerin PID çıkış değerleridir. Grafik kesişimlerini daha iyi incelemek ve verileri daha iyi analiz edebilmek için veriler tek grafikte birleştirilerek Şekil 4.12 verilmiştir.



Şekil 4.12. Birleşik Data İtki Sistemi PID Testi

Kuvvet ölçüm biriminde gelen verilen artan bir eğilim gösterdiği zaman elektrikli karavan itme kuvveti oluşturarak çekici aracı ittirdiği sonucu, kuvvet ölçüm biriminden gelen veriler azalan bir davranış sergilediğinde ise çekici aracın elektrikli karavana çekme kuvveti uyguladığı sonucu çıkarılmaktadır kuvvet ölçüm biriminin davranış biçimi bu şekildedir. Şekil 4.12'deki grafiğin daha iyi yorumlamak amacı ile verilere daha yakından inceleyecek olursak, ölçülen kuvvet dinamik olarak belirlenen referans kuvvetin altına düştüğü zaman yani çekici aracın çekme kuvveti uygulamaya başladığı anda ölçülen kuvvet dinamik olarak belirlenen referans kuvvetine altına düştüğünde PID kontrol algoritması aktif olarak referans kuvvet ve ölçülen kuvvet arasındaki hata miktarını baz alarak elektrikli karavan sistemini referans kuvvete taşıyacak şekilde gaz kelebeği değerleri üretmektedir. PID kontrolcüsü tarafından üretilen gaz kelebeği değerleri can ağı aracılığı ile elektrik motor sürücülere

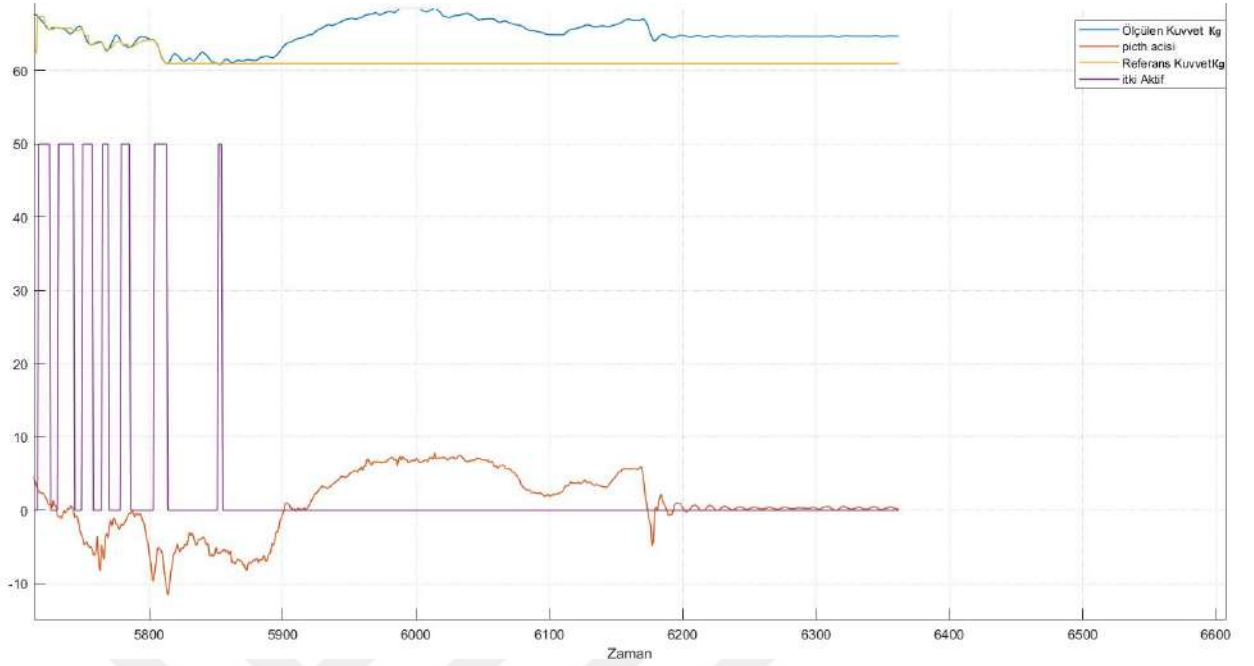
ulaşarak motorlarının harekete geçmesini sağlamakta itki kuvveti oluşturmaktadır. Şekil 4.13'deki grafiği inceleyecek olursak ölçülen kuvvet referans kuvvetin altında kaldığı durumlarda yani çekici aracın elektrikli karavan sistemine çekme kuvveti uyguladığı durumlarda itki aktif kontrol bayrağı aktif olmaktadır ve 1 değerini almaktadır Şekil 4.13'deki grafikte daha iyi gözlemlemek amacı ile 50 kat büyütülmüştür. İtki kontrol bayrağı aktif olduğunda PID kontrolcü de aktif olarak ölçülen kuvveti değerini referans kuvvete taşıyacak şekilde gaz keleşi değerleri üretmektedir bu duruma Şekil 4.13'de elektrikli karavan sisteminin hızlanma eğrisinden de gözlemlenmektedir. Şekil 4.13'de 3300 çevrimden sonra araç yavaşlayarak durmuştur ve durma sürecinde iken itki kontrol bayrağı aktif olmamıştır dolayısı ile PID kontrolcü devreye girmemiştir ancak elektrikli karavan kendi ataletinden dolayı çekici araca itme kuvveti uyguladığı yavaşlama süresi boyunca ölçülen kuvvetin referans kuvvet altında kaldığından anlaşılmaktadır.



Şekil 4.13. İtki Sistemi PID Testi 1

Tez çalışması kapsamında PID kontrolcüsünü test etmek için yapılan tüm deneysel çalışmalardan toplanan veriler incelendiğinde PID kontrolcüsünün kararlı bir şekilde çalışmadığı gözlemlenmiştir. Toplanan verilerin bazı bölümlerinde elektrikli karavan hareket halinde iken çevresel koşullara bağlı olarak anlık olarak yanlış referans alındığı tespit edilmiştir. Genel olarak bu referansın bozuk alınmasının sebepleri yolun rejimi ve eğimi olmaktadır, yanlış alınan referans ve elektrikli motor sürücüsünün içerisinde bulunan kendi kapalı çevrim rampalanma algoritması gibi sebeplerden dolayı PID kontrolcüsü sistemin isterlerine karşı

kararlı tepkiler üretmemektedir.



Şekil 4.14. İtki Sistemi PID Testi 2

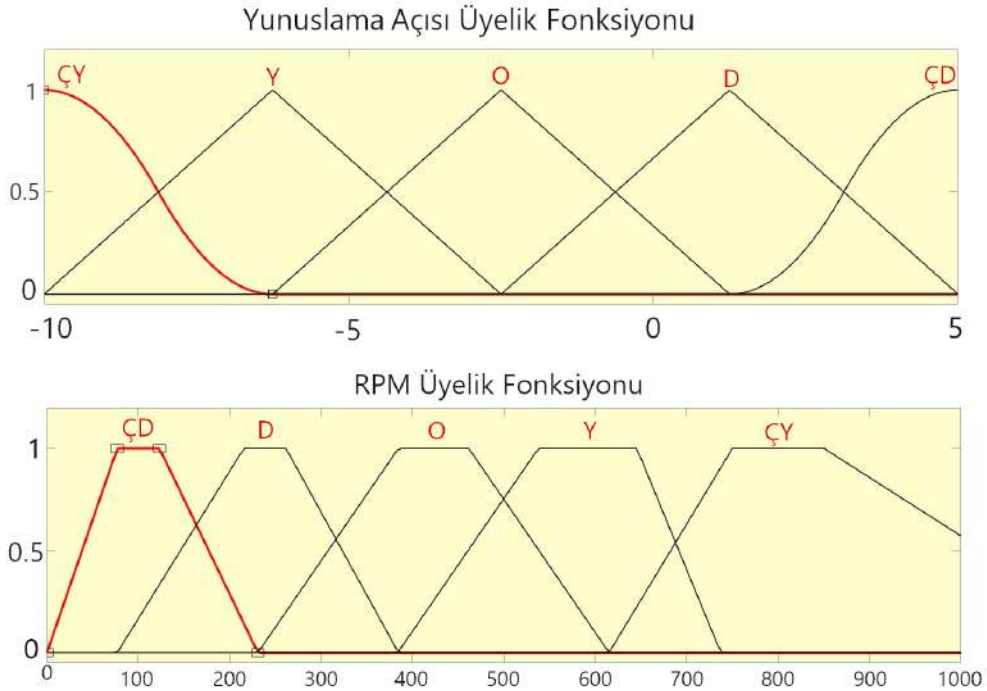
Şekil 4.14'de 5800. çevrimde yolda bulunan tümsekten veya çukurlardan kaynaklı anlık olarak çeki demirinde yüksek gerilimler meydana geldiği görülmektedir tam bu noktada dinamik olarak referans alındığında sistem düzgün bir şekilde çalışmamaktadır. Çukur veya tümsekler pitch açısındaki anlık yükselmelerden tespit edilmektedir. Çeki demirindeki mekanik problemler ve elektrikli motor sürücüsün rampalanma fonksiyonları PID algoritmasını da bozulmalara sebep olmasından dolayı sistemin kararsız çalıştığı gözlemlenmiştir bu durumdan dolayı elektrikli treyler sisteminin kararlı bir şekilde hareket edebilmesi için PID kontrolcüsü bırakılarak ve giriş verileri değiştirilerek ve artırılarak bulanık mantık Sugeno kontrol algoritmasına geçilmiştir.

Elektrikli treyler sistemi için Sugeno algoritmasına göre sistem yeniden kurgulanmıştır. Yeni sistemde kontrol parametreleri için elektrikli treylerin hareket halindeki eğimi ve hızı dikkate alınarak kontrolcü tasarlanmıştır, tasarlanan kontrolcünün şeması Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

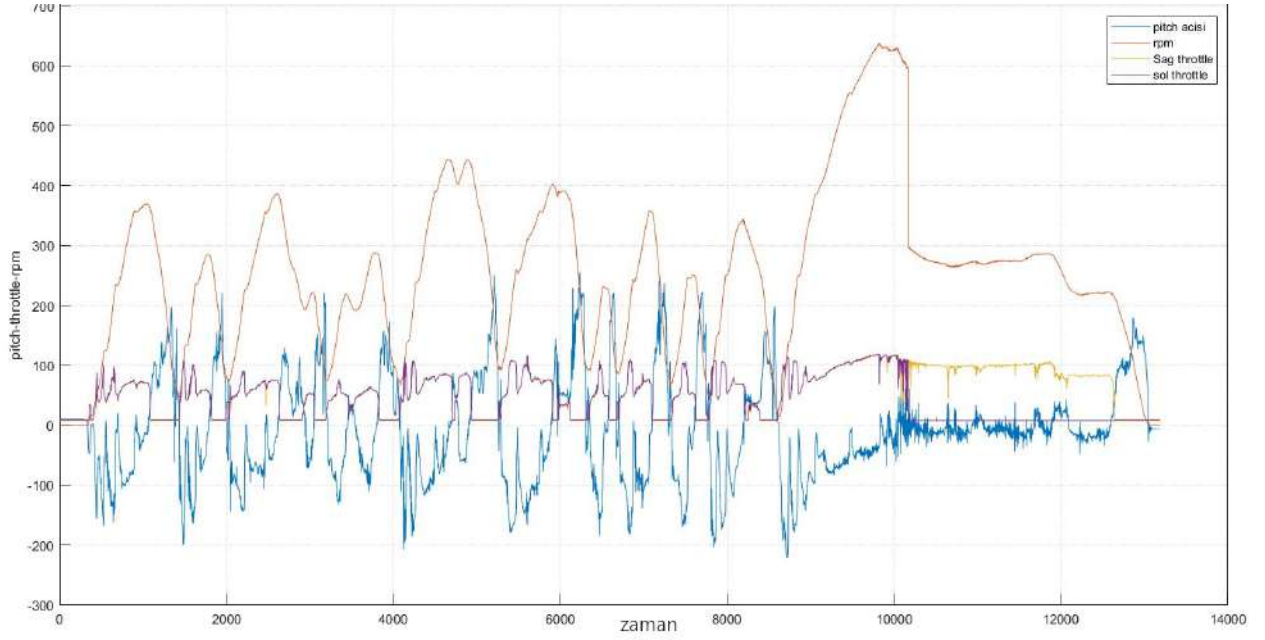


Şekil 4.15. Sugeno Kontrolcü Şeması

En yüksek eğim ve en yüksek hız için en yüksek gaz kelebeği çıkışı, en düşük eğim en düşük hız için ise en düşük gaz kelebeği çıkışı olacak şekilde ve bu durumların ara değerleri için çeşitli kombinasyonları barındıran Sugeno kural tabanı geliştirilmiştir. Her farklı kontrol girişi için beş farklı üyelik fonksiyonu bölgesi belirlenmiştir. Beş farklı üyelik fonksiyonundan oluşan girişler için toplamda 25 farklı kural tabanı bulunmaktadır, Sugeno algoritması bu kurallar çerçevesinde kurallara bağlı fonksiyonları tetikleyerek giriş parametrelerini baz olarak elektrikli karavan hareket halinde iken sistemin kararlı bir şekilde hareket edebilmesi için gaz kelebeği değerleri üretmektedir. Üyelik fonksiyonları Şekil 4.16 gösterilmektedir.



Şekil 4.16. Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları

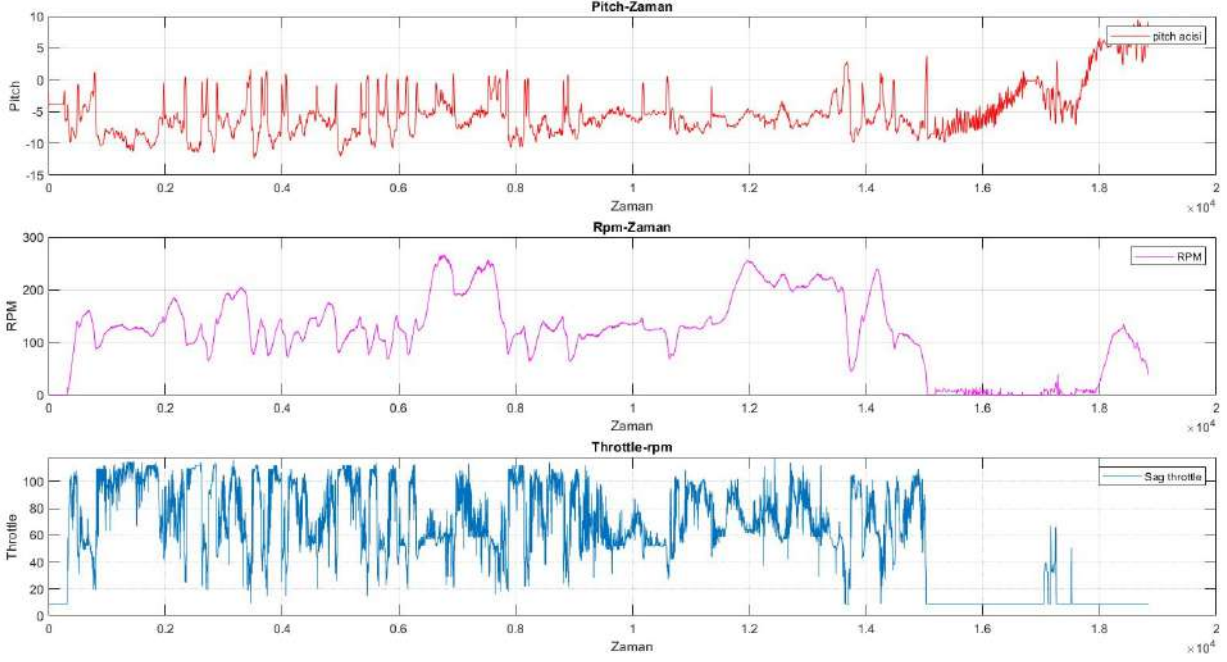


Şekil 4.17. İtki Sistemi Sugeno Testi

Şekil 4.17'deki grafik incelenecek olursa yunuslama açısı elektrikli treyler sisteminin hareket anındaki eğimini göstermektedir yunuslama açısı değerleri negatif yönde eğilim gösteriyor ise elektrikli karavan treyler sistemi yokuş tırmanışı gerçekleştirdiğini göstermektedir, pozitif yönde eğilim gösteriyor ise elektrikli treyler sisteminin yokuş aşağı hareket ettiğini göstermektedir. RPM bilgisi hareket anındaki elektrikli karavan treyler sisteminin tekerlerinin hareketini dolayısı ile hızını göstermektedir. Gaz kelebeği değerleri ise sisteme giren parametreler incelenerek elektrikli motor sürücülere uygulanan sinyalin değerini göstermektedir. Her motor için ayrı bir Sugeno algoritması vardır yani her motor kendi içersin de kapalı çevrim olarak kontrol edilmektedir bu sayede viraj dönüşlerinde elektrikli treyler sistemi otomatik bir şekilde diferansiyelli gibi davranış göstermektedir. Pitch açı değerleri grafikte daha rahat okunabilmesi için 20 kat büyütülmüş şekilde grafiğe yansıtılmıştır. Gaz kelebeği en yüksek çıkış değerleri yaklaşık 110'dur.

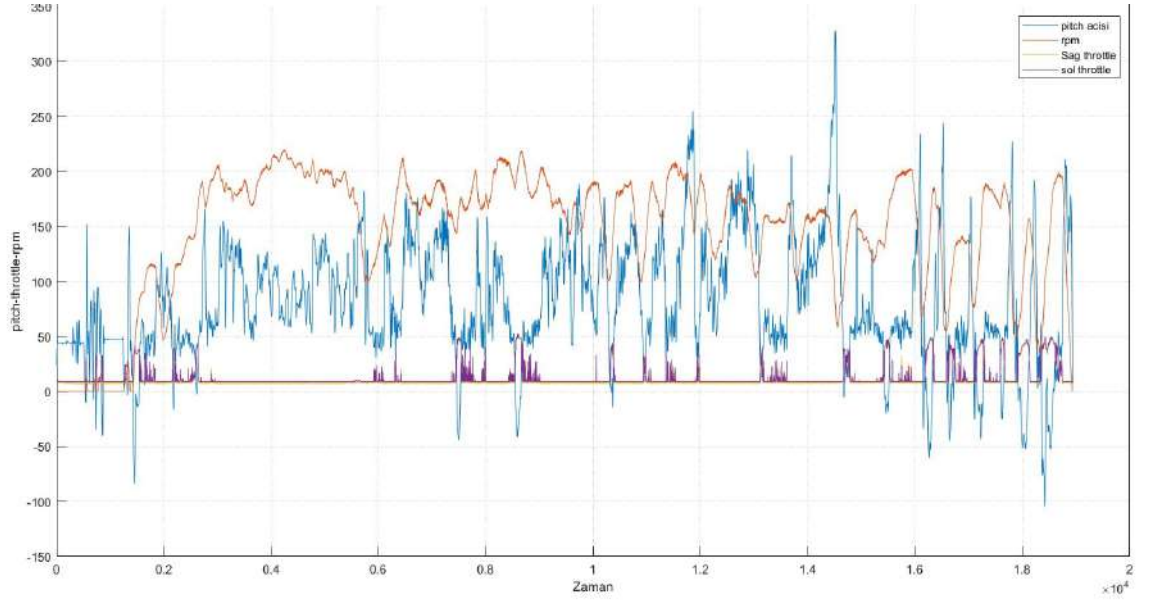
Şekil 4.17'deki grafik incelenecek olursa elektrikli treyler sistemin yüksek hızlara çıktığı ve eğiminde yüksek olduğu bölgelerde Sugeno algoritması doğru bir şekilde çalışarak gaz kelebeği çıkış değerlerini en yüksek değerlere yakın çıkışlar verdiği gözlemlenmiştir. Aksi durumda ise eğimin ve hız bilgilerinin en düşük olduğu durumlarda ise sistem en düşük çıkış değerlerini üretmektedir. Sisteme eğimin ve hızın ayrı etkileri için sistem hakkında tez çalışması kapsamında deneysel veriler toplanarak incelenmiştir ve bu veriler dayanarak hız

ve anlık eğim için Sugeno kural tabanında bulunan 25 ayrı kurala bağlı fonksiyonlar için ayrı ayrı q, p ve r katsayıları belirlenmiş ve sistem davranışları incelenerek bu katsayılar eğitilmiştir.



Şekil 4.18. İtki Sistemi Tırmanış Sugeno Testi

Yüksek eğime sahip bir dağa çekici araç ve elektrikli treyler sistemi tırmanış sonucunda veri toplanmış ve Şekil 4.18 grafiği elde edilmiştir. Dağın eteklerinden itibaren eğim bilgilerinin çok yüksek olduğu grafikten gözlemlenmektedir. RPM bilgiler genel olarak 100 ile 200 bandında olmasına rağmen motorların hareketi için üretilen gaz kelebeği değerlerinin en yüksek değerlere yakın bölgede olduğu görülmektedir, bu durumun sebebi aracın yavaş hareket etmesine rağmen yüksek bir eğimde tırmanmasından kaynaklıdır. Elektrikli treyler sistemi çekici araca yük bindirmemek için ve kendini taşımak için gaz kelebeği değerlerini yüksek seviyede tutmuştur bu durumu hem grafikten hem de tarafsız aracı kullanan ve araç davranışlarını çok iyi bilen şoför tarafından alınan geri bildirimler doğrulamaktadır.



Şekil 4.19. İtki Sistemi İniş Sugeno Testi

Dağa tırmanış belirli bir yüksekliğe ulaşıldıktan sonra ulaşılan konumdan tekrar aynı yolu izleyerek dağdan iniş gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.19'deki grafik incelenecek olursa ortalama RPM değerlerini 150 ila 200 arasında olduğu gözlemlenmektedir. Yunuslama açısı yani eğim bilgilerinde yokuş aşağı yönde yüksek olduğu görülmektedir. Yokuş aşağı aşağı eğim bilgilerinin yüksek olmasından dolayı araç hareket halinde olmasına rağmen gaz keleş değeri 0 bandına yakın bölgede olduğu grafikten gözlemlenmektedir. Araç kendi ataleti ile herhangi bir itki kuvvetine ihtiyaç duymadan yokuş aşağı bir şekilde hareket ettiği gözlenmektedir. Hız yükseltilecek aracın ataletinin dışında itki kuvvetine ihtiyaç duyulduğu noktada sistem gaz keleş değeri üretmek sistemi hareketine destek olmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Elektrikli treyler sistemini gerçekleştirmek amacı ile Crawler IZZ458 çekme tip karavan modeli mekanik olarak değişiklikler yapılarak üzerine 2 adet HUB motor yerleştirilmiştir. HUB motorların sürüşünü gerçekleştirmek amacı ile iki adet elektrikli motor sürücü kullanılmıştır, elektrikli motor sürücülerin kontrolü gerçekleştirmek amacı ile elektrikli treyler üzerine yerleştirilen EKÜ ile giriş çıkış pinleri ve can ağı bağlantıları gerçekleştirilmiştir. Sistem yeterli gücü sağlaması amacı ile 20kWh 250 kg ağırlığında bir batarya kullanılmış ve sistemde bulunan EKÜ, elektrikli motor sürücüler ve sistemin doğru bir şekilde çalışması için üretilmiş tüm PCB kartlar ve sensör bağlantıları yapılmıştır. Sistem fonksiyonları doğru bir şekilde çalıştığı test edildikten sonra sistemin sürüş sırasında çeşitli yol rejimlerine karşı göstermiş olduğu girdi ve çıktı değerlerine bakılarak deneysel çalışmalar yapılarak veriler toplanmıştır. Bu verilere dayanarak araç ve elektrikli treyler sisteminin uyumlu bir şekilde çalışması için çeki demiri üzerinde oluşan gerilme kuvvetlerini sabit tutmak amacı ile sisteme PID kontrol uygulanmıştır.

PID kontrol algoritmasının temel amacı araç ile elektrikli treyler arasında bulunan çeki demiri üzerinde oluşan ve hassas bir şekilde ölçülen verilere dayanarak elektrikli treyler üzerinde bulunan HUB motorlar için gaz kelebeği değerleri üretmektir. Elektrikli treylerin araca uyumlu bir şekilde çalışması için dinamik olarak elektrikli treyler belirli bir hızda iken çeki demiri üzerindeki gerilimler örneklemiştir bu örneklemlere bakılarak sistemin hareket etmesi için belirli bir referans noktası belirlenmiştir. Araç hareketini artırmaya başladıktan sonra anlık ve gerçek zamanlı olarak çeki demirindeki kuvvetler ölçülmüştür. Anlık ölçülen ve referans kuvvet arasında ki hata hesaplanarak PID kontrolcüsünden geçirilmiştir ve oluşan bu hatayı düzeltmek amacı ile PID kontrolcüsü ile gaz kelebeği çıkış değerleri üretilmiştir.

Şekil 4.13’de grafiği inceleyecek olursak PID kontrolcüsünün oluşan hataları giderici yönde tepki verdiği gözlemlenmektedir, ancak çeki demirindeki çeşitli mekanik problemler olması ve elektrikli motor sürücülerin motorları hareket ettirmek amacı ile kendi kapalı çevrim kontrol algoritmalarından dolayı PID kontrol her zaman doğru ve kararlı bir şekilde çalışmamıştır. PID algoritmasının kararlı bir şekilde çalışmamasında dolayı elektrikli karavan treyler sisteminde PID algoritması kullanımından verim alınamamıştır.

Sistem girdi parametreleri değiştirilerek ve artırılarak bulanık mantık Sugeno kontrol algoritmasına geçilmiştir. Elektrikli karavan treyler sisteminin kararlı ve düzgün bir şekilde çalışması için gerçek zamanlı ve hassas olarak eğim ve hız bilgileri ölçülmüştür ve sistem davranışları izlenmiştir. Eğim ve hız bilgileri baz alınarak Sugeno algoritması için 25 farklı kural tabanı belirlenmiştir ve 25 farklı kural tabanı için sistemi kontrol eden 25 farklı kontrol çıktısı üreten fonksiyon yazılmıştır. Eğim ve hız verileri için deneysel olarak çalışarak veriler toplanmış ve sistemin davranış şekli incelenmiştir. Sistemin davranış eğilimine bakılarak sistemi kontrol eden Sugeno kontrol fonksiyonları geliştirilmiş ve kontrol fonksiyonlarında bulunan q, p ve r ağırlıkları eğitilmiştir.

Şekil 4.17’deki grafik incelenecek olursa eğim ve hızın en yüksek olduğu noktada sistemin en yüksek tepki gösterecek şekilde davranıldığı, eğim ve hız bilgilerinin en az olduğu noktada ise sistemin en az tepkiyi gösterdiği gözlemlenmektedir. Eğim ve hız bilgilerinin ayrı ayrı ve birleşik olarak sisteme etkileri üzerine sürekli deneysel çalışmalar yapılarak veriler toplanmıştır ve sistem kontrol fonksiyonları en iyi tepkileri verecek şekilde eğitilmiştir. Şekil 4.17’deki grafik ve kullanıcı deneyimleri Sugeno kontrol algoritmasının elektrikli treyler sisteminin istenildiği gibi çalışması noktasında başarılı olduğu göstermektedir. Çekici araçtan elde edilen verilere göre, elektrikli itki sisteminin kapalı ve araç elektrikli treyleri çeker durumu ve elektrikli itki sistemi aktif olup elektrikli karavanın çekici araca destek olarak çalışan durumlar göz önüne alındığında da %50 ile %80 arasında yakıt tasarrufu sağlandığı gözlenmiştir.

5.2. Öneriler

Mevcut sistemin üzerinde bulunan tüm sensörler ile sensör füzyonu kurularak ve kontrol algoritması yapay zeka algoritmaları ile desteklenerek verimliliği artırılabilir. Çeki demirindeki gerilimler yanal ve dikey hızlar sistemin hızlanma davranış gibi bir çok paramet-

reler ile sistem eğitilerek mevcut sistemde bulunan batarya daha verimli bir şekilde kullanılarak sistemin kat edebileceği yol artırılabilir aynı zamanda asfalt yol ve arazi şartlarındaki yollar için daha konforlu sürüş gerçekleştirilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] <https://worstroom.com/types-of-trailers.>(01.01.2022).
- [2] [https://www.saloodo.com/logistics-dictionary/flatbed-trailer/.](https://www.saloodo.com/logistics-dictionary/flatbed-trailer/)(01.01.2022).
- [3] [https://www.gwtrans.com/stretch-and-extendable-trailers/.](https://www.gwtrans.com/stretch-and-extendable-trailers/)(01.01.2022).
- [4] [https://usatruckloadshipping.com/definitions/dry-van/.](https://usatruckloadshipping.com/definitions/dry-van/)(02.01.2022).
- [5] <https://www.tip-group.com/en/fleet/trailers/refrigerated-trailer.>(02.01.2022).
- [6] [https://www.ecutesting.com/categories/ecu-explained/.](https://www.ecutesting.com/categories/ecu-explained/)(03.01.2022).
- [7] <https://nitroobilisim.com.tr/what-is-ecu-how-to-repair-what-to-do-on-ecu.>(03.01.2022).
- [8] <https://www.futek.com/what-is-a-load-cell.>(04.01.2022).
- [9] [www.esit.com.tr.](http://www.esit.com.tr)(04.01.202).
- [10] G R Higson. Recent advances in strain gauges. *Journal of Scientific Instruments*, 41(7):405, 1964.
- [11] [https://www.michsci.com/what-is-a-strain-gauge/.](https://www.michsci.com/what-is-a-strain-gauge/)(15.01.2022).
- [12] <https://en.wikipedia.org/wiki/Wheatstone-bridge.>(17.01.2022).
- [13] <http://polarmak.com/tr/pa-10-load-cell-sinyal-donusturucu.>(19.01.2022).
- [14] <https://en.wikipedia.org/wiki/CAN-bus.>(21.01.2022).
- [15] Ali Shuja Siddiqui, Yutian Gui, Jim Plusquellic, and Fareena Saqib. Secure communication over canbus. pages 1264–1267, 2017.
- [16] Egemen Evin, Mehmet Burak Aydin, and Geylani Kardas. Design and implementation of a canbus-based eco-driving system for public transport bus services. *IEEE Access*,

8:8114–8128, 2020.

- [17] <https://www.csselectronics.com/pages/can-bus-simple-intro-tutorial>.(21.01.2022).
- [18] <https://tauvicr.wordpress.com/2019/07/05/reading-car-data-from-the-can-bus/>.(22.01.2022).
- [19] <https://www.csselectronics.com/pages/j1939-explained-simple-intro-tutorial>.(22.01.2022).
- [20] <https://tractorhacking.github.io/IdExplanation/>.(23.01.2022).
- [21] <https://www.csselectronics.com/pages/canopen-tutorial-simple-intro>.(24.01.2022).
- [22] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CAN-Bus-frame_in_base_format_without_stuffbits.svg.
(24.01.2022).
- [23] <https://en.wikipedia.org/wiki/Motor-drive>.(25.01.2022).
- [24] <https://shoptr5.4lakescondo2.org/category?name=brushless>.(25.01.2022).
- [25] <https://byjus.com/physics/dc-motor/>.(05.02.2022).
- [26] <https://www.elprocus.com/what-is-an-asynchronous-motor-construction-its-working/>.(06.02.2022).
- [27] <https://university.listenlights.com/2017/08/03/induction-motors/>.(06.02.2022).
- [28] <https://www.electrical4u.com/brushless-dc-motors/>.(06.02.2022).
- [29] <https://www.linquip.com/blog/permanent-magnet-synchronous-motors/>.(07.02.2022).
- [30] <https://www.linquip.com/blog/switched-reluctance-motor/>.(08.02.2022).
- [31] <https://en.wikipedia.org/wiki/Wheel-hub-motor>.(09.02.2022).

- [32] <http://www.parsmakina.com/hub-motor-projesi/>.(09.02.2022).
- [33] Stuart Bennett. The past of pid controllers. *Annual Reviews in Control*, 25:43–53, 2001.
- [34] S. Bennett. Development of the pid controller. *IEEE Control Systems Magazine*, 13(6):58–62, 1993.
- [35] D.P. Atherton and S. Majhi. Limitations of pid controllers. *Proceedings of the 1999 American Control Conference (Cat. No. 99CH36251)*, 6:3843–3847, 1999.
- [36] Yun Li, Kiam Heong Ang, and G.C.Y. Chong. Pid control system analysis and design. *IEEE Control Systems Magazine*, 26(1):32–41, 2006.
- [37] <https://microcontrollerslab.com/pid-controller-implementation-using-arduino/>.(15.02.2022).
- [38] Karl-Erik Åarżén. A simple event-based pid controller. *IFAC Proceedings Volumes*, 32(2):8687–8692, 1999.
- [39] S. Skoczowski, S. Domek, K. Pietruszewicz, and B. Broel-Plater. A method for improving the robustness of pid control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 52(6):1669–1676, 2005.
- [40] Y. Huang and S. Yasunobu. A general practical design method for fuzzy pid control from conventional pid control. *Ninth IEEE International Conference on Fuzzy Systems. FUZZ- IEEE 2000 (Cat. No.00CH37063)*, 2:969–972, 2000.
- [41] J. Ackermann and D. Kaesbauer. Design of robust pid controllers. *2001 European Control Conference (ECC)*, pages 522–527, 2001.
- [42] Maghade D.K. Sondkar S.Y. Borase, R.P. A review of pid control, tuning methods and applications. *2001 European Control Conference (ECC)*, (9):818–827, 2021.
- [43] Ming-Tzu Ho and Chia-Yi Lin. Pid controller design for robust performance. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 48(8):1404–1409, 2003.

- [44] L.A. Zadeh. Fuzzy logic. *Computer*, 21(4):83–93, 1988.
- [45] ZLotfi A. Zadeh. Is there a need for fuzzy logic? *Information Sciences*, 178(13):2751–2779, 2008.
- [46] J.M. Mendel. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. *Proceedings of the IEEE*, 83(3):345–377, 1995.
- [47] C.C. Lee. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. i. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 20(2):404–418, 1990.
- [48] J. Yen. Fuzzy logic—a modern perspective. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 11(1):153–165, 1999.
- [49] Lotfi A. Zadeh. Fuzzy logic—a personal perspective. *Fuzzy Sets and Systems*, 281:4–20, 2015.
- [50] K. Self. Designing with fuzzy logic. *IEEE Spectrum*, 27(11):42–44, 1990.
- [51] <https://www.geeksforgeeks.org/fuzzy-logic-introduction/>(10.03.2022).
- [52] <https://www.geeksforgeeks.org/fuzzy-logic-introduction/>(13.03.2022).
- [53] <https://www.investopedia.com/terms/f/fuzzy-logic.asp>.(17.03.2022).
- [54] <https://researchhubs.com/post/engineering/fuzzy-system/mamdani-fuzzy-model.html>.(25.03.2022).
- [55] Akrom Tegar Khomeiny, Tegar Restu Kusuma, Anik Nur Handayani, Aji Prasetya Wibawa, and Agus Hery Supadmi Irianti. Grading system recommendations for students using fuzzy mamdani logic. *2020 4th International Conference on Vocational Education and Training (ICOVET)*, pages 1–6, 2020.
- [56] Mohammad Saeid Akbari, Ali Akbar Safavi, Navid Vafamand, Tomislav Dragičević, and Jose Rodriguez. Fuzzy mamdani-based model predictive load frequency control. *2020*

IEEE 11th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), pages 7–12, 2020.

- [57] Isaac O. Olayode, Lagouge K. Tartibu, and Modestus O. Okwu. Application of fuzzy mamdani model for effective prediction of traffic flow of vehicles at signalized road intersections. *2021 IEEE 12th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies (ICMIMT)*, pages 219–224, 2021.
- [58] <https://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall07/cos436/HIDDEN/Knapp/fuzzy004.htm>. (27.03.2022).
- [59] <https://researchhubs.com/post/engineering/fuzzy-system/takagi-sugeno-fuzzy-model.html>. (01.04.2022).
- [60] Fatih Topaloğlu and Hüseyin Pehlivan. Comparison of mamdani type and sugeno type fuzzy inference systems in wind power plant installations. *2018 6th International Symposium on Digital Forensic and Security (ISDFS)*, pages 1–4, 2018.
- [61] Umar Farooq, K. M. Hasan, Ghulam Abbas, and Muhammad Usman Asad. Comparative analysis of zero order sugeno and mamdani fuzzy logic controllers for obstacle avoidance behavior in mobile robot navigation. *The 2011 International Conference and Workshop on Current Trends in Information Technology (CTIT 11)*, pages 113–119, 2011.
- [62] Deepak Kumar and Pankaj Verma. Comparative study of mamdani and takagi-sugeno models for spectrum access in cognitive radio networks. *2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICIC)*, pages 1–5, 2015.
- [63] Jimmy Singla. Comparative study of mamdani-type and sugeno-type fuzzy inference systems for diagnosis of diabetes. *2015 International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications*, pages 517–522, 2015.
- [64] <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/types-of-fuzzy-inference->

systems.html(03.04.2022).

- [65] Hao Ying, Yongsheng Ding, Shaokuan Li, and Shihuang Shao. Comparison of necessary conditions for typical takagi-sugeno and mamdani fuzzy systems as universal approximators. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 29(5):508–514, 1999.
- [66] S.P. Cherniy, A.V. Buzikayeva, and A.S. Gudim. A model of multi-cascade fuzzy logic controller implemented using different variations of inference algorithms. *2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (Far-EastCon)*, pages 1–4, 2019.
- [67] Harsha Vanjani, U. K. Choudhury, Meha Sharma, and Bhavesh Vanjani. Takagi-sugeno (ts)-type fuzzy logic controller for three-phase four-wire shunt active power filter for unbalanced load. *2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON)*, pages 1–4, 2016.
- [68] Sardjoeni Moedjiono, Suhaemi, and Aries KUSDARYONO. Critical server determination using fuzzy mamdani and fuzzy sugeno methods. *2019 Fourth International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, pages 1–7, 2019.
- [69] Jose V. dos Reis, Thiago R. Raddo, Anderson L. Sanches, and Ben-Hur V. Borges. Comparison between mamdani and sugeno fuzzy inference systems for the mitigation of environmental temperature variations in ocdma-pons. *2015 17th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, pages 1–4, 2015.
- [70] Shubhechhha Rane, L. K. Ragha, and Deepak Kurule. Analysis of mamdani and sugeno fuzzy inference system for destroying multiple target at high angle of attack using simulink. *2017 International conference of Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, 1:47–52, 2017.
- [71] [https://researchhubs.com/post/engineering/fuzzy-system.\(04.04.2022\).](https://researchhubs.com/post/engineering/fuzzy-system.(04.04.2022).)
- [72] [https://www.kalmanfilter.net/default.aspx.\(15.04.2022\).](https://www.kalmanfilter.net/default.aspx.(15.04.2022).)

- [73] <https://thekalmanfilter.com>.(15.04.2022).
- [74] <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Low-pass-filter.php>.(20.04.2022).
- [75] <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Low-pass-filter.php>.(20.04.2022).
- [76] Fereydoon Diba and Ebrahim Esmailzadeh. A new parallel-series configuration for hybridization of a line-haul truck. *2013 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, pages 1–6, 2013.
- [77] Fereydoon Diba. Development of hybrid electric heavy-duty truck with self-propelled trailer. 2018.
- [78] Sibi Visht Sankara Narayanan and Diane Peters. Design and control of vehicle trailer with onboard power supply. *SAE Int. J. Passeng. Cars – Electron. Electr. Syst.*, 8(1), 2015.
- [79] Diane L. Peters Jesse Eisenmann, Joshua Horsley. Small-scale physical modeling and testing of a vehicle trailer with onboard power supply. *Proceedings of the ASME 2016 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 2016.
- [80] F.B. (Boy) Trip. The electrically propelled trailer investigating a method to judge the feasibility of a market introduction. 2016.
- [81] Fereydoon Diba and Ebrahim Esmailzadeh. Development of hybrid electric heavy-duty truck with self-propelled trailer. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, 25(2), 2018.
- [82] Frank Rieck Steven Boonstra. Analysis of a fictive active e-trailer. *World Electric Vehicle Journal*, 7, 2018.
- [83] Bryan Culver Sam Everett Jeff Frary Andrew Frechen Jason Ibarra David Jackson Laura Peters Mohamed El-Sayed Diane L. Peters, Justin Buchholz. Design and development of a semi autonomous trailer concept. *SAE Intl. J CAV*, 2(2):79–85, 2019.

- [84] Kateřina KOPELÉNTOVÁ. Návrh přívěsného vozíku za osobní automobil s kompenzací úbytku výkonu. PhD Thesis, 2020.
- [85] Fereydoon Diba and Ebrahim Esmailzadeh. Components sizing optimisation of hybrid electric heavy duty truck using multi-objective genetic algorithm. *Int. J. Heavy Vehicle Systems*, 27(3):387–404, 2020.
- [86] <https://www.crawler.com.tr/urunler/crawler-offroad-cekme-karavan-modelleri/crawler-izz-458>.(15.06.2022).
- [87] <https://www.mouser.com.tr/ProductDetail/TDK-InvenSense/MPU-6050>.(17.06.2022).
- [88] <https://www.digikey.com/en/products/detail/u-blox-america-inc/NEO-M8N-0-10/>.(18.06.2022).
- [89] <https://www.mouser.com.tr/ProductDetail/Bosch-Sensortec/BMP180>.(19.06.2022).
- [90] <https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics/>.(20.06.2022).
- [91] <https://elitonotomasyon.com.tr/urunler/loadcell-yuk-hucresi/zfa-s-tipi-loadcell.php>.(21.06.2022).
- [92] <https://scaime.com/product/post/enod4-t-din>.(22.06.2022).
- [93] <https://www.kmpdrivetrain.com/paddleshift/practical-tips-can-bus/>(23.06.2022).
- [94] <https://www.engineersgarage.com/understanding-radio-frequency-communication/>.(25.06.2022).
- [95] <https://radio-waves.orange.com/en/using-waves-to-communicate/>.(26.06.2022).
- [96] <https://www.google.com/maps/dir/Kocaeli/>.(28.06.2022).