



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ARAÇTAN HER ŞEYE (V2X) KABLOSUZ HABERLEŞME
TEKNOLOJİSİ İLE TRAFİK GÜVENLİĞİ

Yüksek Lisans Tezi

Nur Seda Şahkulubey

Temmuz 2023



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ARAÇTAN HER ŞEYE (V2X) KABLOSUZ HABERLEŞME
TEKNOLOJİSİ İLE TRAFİK GÜVENLİĞİ

Yüksek Lisans Tezi

Nur Seda Şahkulubey

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Doğay Altınel

Temmuz 2023

TEZ JÜRİSİ ONAYI

Nur Seda Şahkulubey tarafından hazırlanan "Araçtan Her Şeye (V2X) Kablosuz Haberleşme Teknolojisi ile Trafik Güvenliği" başlıklı bu Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmış ve jürimiz tarafından kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Doğay Altınel
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Üyeler:

Dr. Öğr. Üyesi Filiz Gürkan Gölcük
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Saliha Büyükçorak Edibali
Gebze Teknik Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 10 / 07 / 2023

BEYANLAR

Yazım ve Kaynak Gösterme Kılavuzu Beyanı

Danışmanlığımda yazılan bu tezin APA yazım ve kaynak gösterme kılavuzunda belirtilen kurallara uygun olarak yapılandırıldığı ve bu kılavuzun APA kaynak gösterme standartlarının bu tezde tutarlı olarak uygulandığı tarafımdan incelenerek teyit edilmiştir.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Doğay Altınel

Etik İlkeler Sadakat Beyanı

Hazırladığım bu tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

İmza

Nur Seda Şahkulubey

ÖZET

Araçtan Her Şeye (V2X) Kablosuz Haberleşme Teknolojisi İle Trafik Güvenliği

Şahkulubey, Nur Seda

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Doğay Altınel

Temmuz 2023

Trafik kazaları nedeniyle oluşan maddi hasar ve can kaybı günümüzde önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kazaların önlenmesi amacıyla birçok teknolojik aygıt ve sistem tasarımı ortaya konulmuştur. Trafik kazalarının engellemesi amacıyla ortaya çıkan en önemli tasarımlardan biri Araçtan Her Şeye (V2X - Vehicle-to-Everything) teknolojisidir. V2X teknolojisi, araçların birbirleriyle veya çevrelerindeki herhangi bir varlık ile haberleşmesini sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında V2X teknolojisi sınıfında yer alan Araçtan Araca (V2V - Vehicle-to-Vehicle) teknolojisi konu edilmiştir. V2V teknolojisinin amacı araçların birbirleriyle haberleşmesini sağlayarak sürücüyü uyarmak ve motora müdahale ederek kazaları en aza indirmektir. V2V teknolojisinin sürücü asistanı amaçlı kullanılan sistemlerinden biri de Adaptif Hız Sabitleme (ACC - Adaptive Cruise Control) sistemidir. Bu sistemin amacı seyir halinde giden bir aracın önündeki araç ile güvenli mesafe sağlayacak şekilde hızını otomatik olarak ayarlamasıdır.

Bu tez kapsamında seyir halinde giden bir aracın önündeki araç ile mesafesi Ultra Geniş Bant (UWB - Ultra-Wideband) teknolojisi ile ölçülmüştür. Ölçülen mesafenin düşük olduğu durumlarda arka araç motorunun otomatik olarak yavaşlatılması ile arkadan çarpışmalı trafik kazalarının minimum hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Araçlar arasındaki mesafe UWB teknolojisine sahip iki UWB etiketi ile ölçülmüştür. İki UWB etiketi arasındaki uzaklıklar 5'er metre arttırılarak 80 metreye kadar 5'er dakika mesafe ölçümleri alınıp istatistiksel hesaplamalar ve grafikler elde edilmiştir. Elde edilen histogram grafikleri incelendiğinde Gauss dağılımı olduğu gözlemlenmiştir. Gauss dağılımı ACC modeline Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsü (AWGN - Additive White Gaussian Noise) bloğu ile gürültü olarak eklenmiştir. Gürültülü ACC

modelinin farklı parametre senaryolarına göre yüksek bir varyans değeri için ivme, hız ve uzaklık grafikleri elde edilmiş ve mesafe ölçüm sonuçlarına göre UWB entegre edilmiş sistemin doğruluğu yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adaptif hız sabitleme, araçtan araca haberleşme, araçtan her şeye haberleşme, trafik güvenliği, ultra geniş bant

ABSTRACT

Traffic Safety with Vehicle to Everything (V2X) Wireless Communication Technology

Sahkulubey, Nur Seda

Master's Thesis, Department of Electrical/Electronic Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dogay ALTINEL

July 2023

Material damage and loss of life due to traffic accidents are an important problem today. In order to prevent these accidents, many technological devices and system designs have been put forward. One of the most important designs to prevent traffic accidents is Vehicle-to-Everything (V2X) technology. V2X technology enables vehicles to communicate with each other or with any entity around them.

In this thesis study, Vehicle-to-Vehicle (V2V) technology, which is in the V2X technology class, is the subject. The purpose of V2V technology is to warn the driver by enabling vehicles to communicate with each other and to minimize accidents by interfering with the engine. One of the systems of V2V technology used for driver assistance purposes is Adaptive Cruise Control (ACC). The purpose of this system is to automatically adjust the speed of a vehicle while driving in order to maintain a safe distance from the vehicle in front of it.

Within the scope of this thesis, the distance between the moving vehicle and the vehicle in front of it was measured with Ultra-Wideband (UWB) technology. It is aimed to minimize rear-collision traffic accidents by automatically slowing down the rear vehicle engine in cases where the measured distance is low. The distance between vehicles was measured with two UWB tags with UWB technology. By increasing the distances between two UWB tags by 5 meters, distance measurements were taken up to 80 meters for 5 minutes, and statistical calculations and graphics were obtained. When the obtained histogram graphics were examined, it was observed that a Gaussian distribution was formed. The Gaussian distribution is added to the ACC model as noise with an Additive White Gaussian Noise (AWGN) block. Acceleration, velocity and distance graphs were obtained according to different parameter scenarios of the

noisy ACC model for a high variance value and the accuracy of the UWB integrated system was interpreted according to the distance measurement results.

Keywords: Adaptive cruise control, traffic safety, ultra-wideband, vehicle-to-vehicle, vehicle-to-everything

TEŞEKKÜR

Uzun zamandır ciddi bir emek ve özveri ile hazırladığım yüksek lisans tezimi tamamlamanın heyecanını ve gururunu yaşamaktayım. Bu bölümü yardımlarıyla bana destek olan kişilere teşekkür etmek için kullanacağım.

Çalışma sürecim boyunca bana yol gösteren, bilgi birikimiyle çalışmama farklı perspektiflerden bakmama olanak sağlayan, yardım ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Doğay ALTINEL'e teşekkür ederim.

Bu çalışmayı yapmama ilham olan, sektördeki bilgi ve tecrübeleriyle bana destek olan ve eğitim hayatım boyunca bana her konuda motivasyon sağlayan yılmadan devam etmemi sağlayan arkadaşlarıma ayrıca teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca beni cesaretlendiren, manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve aldığım her kararda beni destekleyen başta annem Zeynep ŞAHKULUBEY olmak üzere tüm aile bireylerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nur Seda Şahkulubey

Temmuz 2023, İSTANBUL

İÇİNDEKİLER

TEZ JÜRİSİ ONAYI.....	3
BEYANLAR	4
ÖZET.....	5
ABSTRACT	7
TEŞEKKÜR	9
SİMGE LİSTESİ	13
KISALTMA LİSTESİ.....	14
TABLolar LİSTESİ	18
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	19
1. GİRİŞ	21
2. ARAÇTAN ARACA (V2V) HABERLEŞME TEKNOLOJİSİ	23
2.1 Akıllı Ulaşım Sistemleri (ITS)	23
2.2 Araçtan Her Şeye (V2X) Haberleşme Teknolojisi	28
2.3 Araçtan Araca (V2V) Haberleşme Teknolojisi	29
2.3.1 Araçtan Araca Haberleşme Teknolojisi Araştırma Alanları	29
2.3.2 Araçtan Araca Haberleşme Cihazlarının Türleri.....	30
2.3.4 Araçtan Araca Haberleşme Teknolojisinin Dezavantajları	30
2.3.5 Araçtan Araca Haberleşme Teknolojisi Kullanım Alanları	31
3. ADAPTİF HIZ SABİTLEME (ACC) SİSTEMİ	34
3.1 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Tanımı.....	34
3.2 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Haberleşmesi	36
3.3 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Matematiksel Modeli	36
3.4 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Blok Şeması.....	39
3.5 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Kontrol Yapısı	40

3.6	Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Bileşenleri	41
3.6.1	Sensör ve Kontrol Ünitesi	41
3.6.2	Aktüatör.....	41
3.6.3	İnsan-Makine Arayüzü	41
3.7	Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Hedef Tanıma İşlemi	42
3.7.1	Radar Alıcısı-Vericisi (RTC)	42
3.7.2	Sinyal İşleme Birimi (SPU).....	42
3.7.3	Regülasyon İşleme Birimi (RPU)	43
3.7.4	Güç Kaynakları ve Konnektör.....	43
3.8	Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU).....	43
3.9	Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Denetleyici Alan Ağı Veri Yolu (CAN-Bus) ...	43
3.10	Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Güvenliği	44
3.11	Adaptif Hız Sabitleme Sisteminin Avantajları-Dezavantajları	45
4.	ULTRA GENİŞ BANT (UWB) TEKNOLOJİSİ.....	46
4.1	UWB Tarihçesi	46
4.2	UWB Genel Bilgileri	47
4.3	UWB Konsorsiyumları ve İttifakları	49
4.4	UWB Haberleşmesi Sistem Modeli.....	50
4.5	UWB Konum Ölçüm Topolojileri.....	53
4.5.1	İki Yönlü Aralık (TWR).....	54
4.5.2	Varış Zaman Farkı (TDoA).....	55
4.5.3	Ters Varış Zaman Farkı (Ters TDoA).....	56
4.5.4	Varış Faz Farkı (PDoA)	57
4.6	UWB'nin Avantajları – Dezavantajları	58
4.6.1	UWB'nin Avantajları	58
4.6.2	UWB'nin Dezavantajları.....	59

4.7	FMCW Radar ile UWB Teknolojisinin Karşılaştırılması	60
5.	UWB ENTEGRE EDİLMİŞ HIZ SABİTLEME MODELİ	62
5.1	UWB Entegre Edilmiş Adaptif Hız Sabitleme Sisteminin Amacı	62
5.2	UWB Etiketli	63
5.2.1	DWM1000.....	64
5.2.2	İşlemci	64
5.2.3	CAN Alıcı-Verici	65
5.3	UWB Etiketinin Çalışma Mekanizması	65
5.3.1	İki Yönlü Aralık (TWR).....	65
5.3.2	Uçuş Süresi (ToF)	65
5.4	Genel Sistem Tasarımı.....	67
6.	TEST ÇALIŞMALARI	68
7.	SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	79
8.	SONUÇ	93
	KAYNAKÇA	95

SİMGE LİSTESİ

dB: Desibel

Gbps: Saniyede Giga Bit (Giga Bits Per Second)

GHz: Giga Hertz

Kbps: Saniyede Kilo Bit (Kilo Bits Per Second)

Km: Kilometre

m: Metre

Mbps: Saniyede Mega Bit (Mega Bit Per Second)

MHz: Mega Hertz

KISALTMA LİSTESİ

3G: 3. Nesil (3rd Generation)

4G: 4. Nesil (4th Generation)

5G: 5. Nesil (5th Generation)

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

ACC: Adaptif Hız Sabitleme (Adaptive Cruise Control)

ACK: Aldığımı Bildirmek (Acknowledge)

ADAS: Gelişmiş Sürücü Asistan Sistemi (Advanced Driver Assistance System)

AEB: Otonom Acil Frenleme (Autonomous Emergency Braking)

BW: Bant Genişliği (Bandwidth)

CAN: Denetleyici Alan Ağı (Controller Area Network)

CAN-Bus: Denetleyici Alan Ağı Veri Yolu (Controller Area Network-Bus)

CC: Hız Sabitleme (Cruise Control)

CCC: Araç Bağlantı Konsorsiyumu (Car Connectivity Consortium)

CPU: Merkezi İşlem Birimi (Central Processing Unit)

CRC: Döngüsel Artıklık Denetimi (Cyclic Redundancy Check)

C-ITS: Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri (Cooperative Intelligent Transport Systems)

DLC: İndirilebilir İçerik (Downloadable Content)

DSRC: Özel Kısa Menzilli Haberleşme (Dedicated Short-Range Communications)

DWM1000: Decawave Modül 1000

ECU: Elektronik Kontrol Ünitesi (Electronic Control Unit)

EMC: Elektromanyetik Uyumluluk (Electromagnetic Compatibility)

EoF: Çerçeve Sonu (End of Frame)

ERTICO: Avrupa Karayolu Taşımacılığı Telematik Uygulama Koordinasyonu (European Road Transport Telematics Implementation Coordination)

ESD: Elektrostatik Deşarj (Electrostatic Discharge)

FCC: Federal Haberleşme Kurulu (Federal Communications Commission)

FCW: İleri Çarpışma Uyarısı (Forward Collision Warning)

FiRa: Hassas Aralık (Fine Range)

FMCW: Frekans Modüleli Sürekli Dalga (Frequency Modulated Continuous Wave)

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

GPS: Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)

HGS: Hızlı Geçiş Sistemi

IoT: Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)

ID: Kimlik Numarası (Identification Number)

IEEE: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)

I/O: Giriş/Çıkış (Input/Output)

ISO: Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardization)

ITS: Akıllı Ulaşım Sistemi (Intelligent Transportation System)

ITSA: Akıllı Ulaşım Emniyet Birliği (International Transportation Safety Association)

KPI: Anahtar Performans Göstergesi (Key Performance Indicator)

LNA: Low Noise Amplifier (Düşük Gürültülü Yükselteç)

LoRa: Uzun Menzil (Long Range)

LPWAN: Düşük Güç Geniş Alan Ağı (Low Power Wide Area Network)

LTI: Lineer Zamanla Değişmeyen (Linear Time-Invariant)

MIC: Mikrodalga Entegre Devre (Microwave Integrated Circuit)

MPC: Model Öngörölü Kontrol (Model Predictive Control)

NFC: Yakın Alan Haberleşmesi (Near Field Communication)

OEM: Orijinal Ekipman Üreticisi (Original Equipment Manufacturer)

PAN: Kişisel Alan Ağı (Personal Area Network)

PDoA: Varış Faz Farkı (Phase Difference of Arrival)

PSD: Güç Spektral Yoğunluğu (Power Spectral Density)

RF: Radyo Frekansı (Radio Frequency)

RFID: Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio Frequency Identification)

RPU: Regülasyon İşleme Birimi (Regulation Processing Unit)

RTC: Radar Alıcısı (Radar Transceiver)

RTLS: Gerçek Zamanlı Konum Belirleme Sistemi (Real-Time Locating System)

SCU: Sensör ve Kontrol Ünitesi (Sensor and Control Unit)

SNR: Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio)

SOF: Çerçeve Başlangıcı (Start of Frame)

SPU: Sinyal İşleme Birimi (Signal Processing Unit)

TDoA: Varış Zaman Farkı (Time Difference Of Arrival)

TEA: Ulaştırma Eşitlik Yasası (Transportation Equity Act)

ToF: Uçuş Süresi (Time of Flight)

TWR: İki Yönlü Aralık (Two-Way Ranging)

UWB: Ultra Geniş Bant (Ultra-Wideband)

V2I: Araçtan Altyapıya (Vehicle-to-Infrastructure)

V2N: Araçtan Ağa (Vehicle-to-Network)

V2P: Araçtan Yayaya (Vehicle-to-Pedestrian)

V2V: Araçtan Araca (Vehicle-to-Vehicle)

V2X: Araçtan Her Şeye (Vehicle-to-Everything)

VDC: Araç Dinamiği Kontrolü (Vehicle Dynamic Control)

VERTIS: Araç, Yol ve Trafik Bilgi Topluluğu (Vehicle, Road and Traffic Intelligence Society)

WHO: Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)

Wi-Fi: Kablosuz Bağlılık (Wireless Fidelity)

WSN: Kablosuz Sensör Ağı (Wireless Sensor Network)

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: 2009-2020 Yılları Arası Türkiye’deki Trafik Kazası İstatistikleri (TUIK, 2020)	23
Tablo 2: Ortalama, Varyans, Standart Sapma ve Maksimum Sapma Değerleri	70
Tablo 3: 5 m Mesafede Uzaklık Verileri	71
Tablo 4: 25 m Mesafede Uzaklık Verileri	72
Tablo 5: 45 m Mesafede Uzaklık Verileri	73
Tablo 6: 65 m Mesafede Uzaklık Verileri	74
Tablo 7: 80 m Mesafede Uzaklık Verileri	75

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: V2X Haberleşme Türleri (Mason, 2017)	27
Şekil 2: V2X Haberleşme Sistemi Diyagramı (Zorkany vd., 2020)	27
Şekil 3: V2V Haberleşme Sistemi Uygulamaları.....	33
Şekil 4: ACC Sistemi Çalışma Modları	35
Şekil 5: ACC Sistemi CAN Mesajları (Brugnolli vd., 2019).....	36
Şekil 6: ACC Sistemi Bloğu (Petri, Petreus, 2022).....	39
Şekil 7: ACC Sistemi Kontrol Yapısı (Widmann vd., 2000)	40
Şekil 8: ACC Sistemi Radar İle Hedef Tanıma İşlemi (Olbrich, 1998).....	42
Şekil 9: CAN Mesaj Formatı (Hossain vd., 2020)	44
Şekil 10: UWB ve IEEE 802.11.a Güç Spektral Yoğunluğu (Molisch, 2009)	48
Şekil 11: UWB'nin Üç Ana Bloğu (Kshetrimayum, 2009).....	50
Şekil 12: Dar Bant (a) ve UWB (b) Verici Blok Şeması (Kshetrimayum, 2009).....	51
Şekil 13: Dar Bant (a) ve UWB (b) Alıcı Blok Şeması (Kshetrimayum, 2009).....	52
Şekil 14: UWB'nin Çok Yollu Etkilere Karşı Direnci (Qorvo, 2021).....	53
Şekil 15: Mobil Etiket (Tag) ve Sabit Etiket (Anchor) Arasındaki TWR (Qorvo, 2021).....	54
Şekil 16: 2D ve 3D Varlıklar Arasında TWR (Qorvo, 2021)	55
Şekil 17: Veri Etiket Ana Taşıyıcısı ile TWR (Qorvo, 2021).....	55
Şekil 18: TDoA ile Lokasyon Belirleme (Qorvo, 2021)	56
Şekil 19: Ters TDoA (Qorvo, 2021)	57
Şekil 20: PDoA (Qorvo, 2021).....	58
Şekil 21: UWB ve FMCW Doğruluk ve Kesinlik Ölçümleri (Figueroa vd., 2016).....	60
Şekil 22: Güvenli Mesafeyi İhlal Etmiş Araçlar	62
Şekil 23: Güvenli Mesafede İlerleyen Araçlar	63
Şekil 24: UWB Etiketleri	63
Şekil 25: UWB Gömülü Elektronik Kartı (Hodson, 2022).....	64
Şekil 26: İki Araç Arası TWR Metodu İle Haberleşme	66
Şekil 27: Genel Sistem Tasarımı	67
Şekil 28: Araç 1 (Arkadaki Araç).....	68
Şekil 29: Araç 2 (Öndeki Araç).....	68
Şekil 30: Test Ortamı	69

Şekil 31: Lazer Metre Ölçüm Değerleri	69
Şekil 32: 5 m Mesafe Verileri Grafiği.....	71
Şekil 33: 25 m Mesafe Verileri Grafiği.....	72
Şekil 34: 45 m Mesafe Verileri Grafiği.....	73
Şekil 35: 65 m Mesafe Verileri Grafiği.....	74
Şekil 36: 80 m Mesafe Verileri Grafiği.....	75
Şekil 37: Varyans - Mesafe Grafiği.....	76
Şekil 38: 20 m Mesafede Histogram	76
Şekil 39: 40 m Mesafede Histogram	77
Şekil 40: 60 m Mesafede Histogram	77
Şekil 41: 80 m Mesafede Histogram	78
Şekil 42: 60 m Mesafede Histogram Grafiği ve Gauss Dağılımı.....	78
Şekil 43: Gauss Gürültüsüz ACC Sisteminin Simulink Modeli	79
Şekil 44: Gauss Gürültüsü Eklenmiş ACC Sisteminin Simulink Modeli	79
Şekil 45: Sistemin Hız Dinamiği.....	80
Şekil 46: ACC Sistemi Simülasyon Senaryoları Parametreleri	82
Şekil 47: Gürültüsüz İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri.....	83
Şekil 48: Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($V_{arkadaki\ araç} < V_{öndeki\ araç}$).....	84
Şekil 49: Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($V_{arkadaki\ araç} = V_{öndeki\ araç}$).....	85
Şekil 50: Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($V_{arkadaki\ araç} > V_{öndeki\ araç}$).....	86
Şekil 51: Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($V_{set} < V_{arkadaki\ araç}$).....	87
Şekil 52: Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($t_{gap} = 0.9$).....	88
Şekil 53: Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($t_{gap} = 2.08$).....	89
Şekil 54: Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($a_{min} = -0.5, a_{max} = 0.5$).....	90
Şekil 55: UWB İçin Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($V_{arkadaki\ araç} = V_{öndeki\ araç}$)	91
Şekil 56: UWB İçin Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($V_{arkadaki\ araç} < V_{öndeki\ araç}$)	92
Şekil 57: UWB İçin Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($V_{arkadaki\ araç} > V_{öndeki\ araç}$)	92

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında araç sayısı gün geçtikçe artış eğilimi göstermektedir. Araç sayısının artışı özellikle büyük şehirlerde trafik sıkışıklığına neden olmaktadır. Bu durum trafik yoğunluğu üzerindeki kontrol gücünün azalmasıyla sonuçlanmaktadır. Uzun süreli trafikte kalan sürücülerin anlık aceleci davranışları kazalara neden olabilmektedir. Sürücülerin kontrol sağlamakta güçlük çektiği durumlarda kontrolün aracın mekanizması tarafından yapılması bu tür kazaların önlenmesini kolaylaştırmaktadır.

Akıllı Ulaşım Sistemleri (ITS - Intelligent Transportation Systems) bünyesindeki Araçtan Her Şeye (V2X - Vehicle-to-Everything) teknolojisi bu ihtiyacın sonucunda doğmuş bir teknolojidir. Araçların altyapıyla, yayalarla, mevcut ağ ile ve birbirleriyle kablosuz sinyaller kullanarak haberleşmesini sağlayan bu teknoloji konum, hız, çevresel koşullar ve benzeri birçok bilginin iletilmesini sağlamaktadır. V2X teknolojisinin alt başlığında yer alan Araçtan Araca (V2V - Vehicle-to-Vehicle) teknolojisinde ise bilgi iletimi araçlar arasında gerçekleşmektedir. V2V haberleşme teknolojisi ağ altyapısına ihtiyaç duymadığı için daha kolay ve çabuk bir şekilde kurulum avantajı sağlamaktadır. V2V haberleşme teknolojisi trafik yönetimi, yol güvenliği, yön-rota optimizasyonu ve sürücü yardımı sınıfında birçok çözüm sunmaktadır.

Sürücü yardımı sınıfındaki çözüm önerilerinden biri de Adaptif Hız Sabitleme (ACC - Adaptive Cruise Control) sistemidir. ACC sistemi, standart hız sabitleme sistemlerinin gelişmiş sürümü olarak özetlenebilir. Standart hız sabitleme sistemleri aracın belli bir hızda gidebilmesini sağlamaktadır. ACC sistemlerinde iki farklı çalışma modu bulunmaktadır. İlk çalışma modu seyir halindeki aracın önünde herhangi bir aracın bulunmadığı “seyir modu”dur. Sistem bu modda iken araç sürücünün belirlediği belirli bir hızda gitmektedir. İkinci çalışma modu ise “takip modu”dur. Arkadaki araç bu modda çalışırken öndeki araç ile arasındaki güvenli takip mesafesini koruyarak hızını öndeki araca göre ayarlamaktadır. Bu sistem takip mesafesinin korunmasını amaçlayarak arkadan çarpışmalı trafik kazası riskinin büyük oranda önlenmesini sağlamaktadır (Petri, Petreus, 2022). ACC sisteminde aracın önündeki sensörler ile toplanan veriler aracın kontrol merkezine gönderilmektedir. Seyir halindeki bir aracın önündeki araçla mesafesinin azaldığı durumda otomatik olarak araç hızını düşürmektedir. Araç önü boş olan başka bir şeride geçtiği durumda hızını tekrar yükseltebilir veya sürücünün belirlediği standart hızda yoluna devam edebilir. ACC sistemlerinde araçların ön kısmında veri toplamayı sağlayan ve birçok farklı türü olan sensörler mevcuttur. Uzun ve kısa menzilli radar,

lidar, kameralar, ultrasonik ve lazer sensörler çarpışma önleyici sensör türlerinden bazılarıdır. Bu sensör türlerinden en popüler ve kullanım sıklığı en fazla olanı Frekans Modüleli Sürekli Dalga (FMCW - Frequency Modulated Continuous Wave) radar teknolojisidir.

Bu tez çalışmasında ACC sistemlerinde kullanılabilecek alternatif bir sensör ile test çalışmaları yapılarak alternatif sistemin performansı değerlendirilmiştir. Aracın ön ve arka yüzüne takılacak Ultra Geniş Bant (UWB - Ultra-Wideband) sensörler ile seyir halindeki iki araç arasındaki mesafe ölçülerek arkadaki aracın hızının mesafeye göre ayarlanması amaçlanmaktadır. UWB sinyalleri iki araç arası mesafenin yüksek hassasiyetle ölçülmesini sağlamaktadır. Ölçülen mesafe bilgisi aracın kontrol mekanizmasına iletilerek araç hızının ayarlanması hedeflenmiştir. Mesafe ölçümlerinde UWB teknolojisinin İki Yönlü Aralık (TWR - Two-Way Ranging) tekniğinden yararlanılmaktadır. Arkadaki araç öndeki araca yoklama (poll) mesajı atarak aralarındaki haberleşmeyi başlatmaktadır. Öndeki araç arkadaki araca yanıt (response) mesajı ile cevap dönmektedir. Son olarak arkadaki araç final mesajını göndererek haberleşmeyi sonlandırmaktadır. İki sensör arası bu sinyalleşme süresinin ışık hızı ile çarpımından mesafe verisi elde edilmektedir (Figueroa vd., 2016).

Tez çalışması kapsamında iki adet UWB sensörü içeren aygıt ile farklı konumlarda mesafe ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen mesafe verilerinde istatistiksel hesaplamalar yapılarak Gauss dağılımlı histogram grafiği elde edilmiştir. Gauss dağılımı MATLAB/Simulink ortamındaki ACC sistem modeline gürültü olarak girilmiştir. Bu model ile ölçülen mesafeye göre araçların ivme, hız ve araçlar arası uzaklık grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler UWB'nin ACC sistemi üzerindeki etkileri hakkında yorum yapılmasını sağlamıştır. UWB'nin FMCW'ye alternatif bir sensör veya destekleyici bir sistem olabilirliği ile ilgili yeni bir bakış açısı getirmiştir.

Tez kapsamında Bölüm 2 V2V haberleşme sisteminin teknik özelliklerinin, Bölüm 3 ACC mekanizması detayının, Bölüm 4 UWB sisteminin kendine has özelliklerinin anlatıldığı kısımları içermektedir. Bölüm 5'te bu tez çalışmasında kullanılan yöntem, ölçümlere ilişkin test çalışmaları ve ACC sistemi simülasyon çalışmaları yer almaktadır. Bölüm 6'da Bölüm 7'deki çalışmanın sonucunda elde edilen grafikler ve grafik yorumları mevcuttur. Bölüm 7'de tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ve gelecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

2. ARAÇTAN ARACA (V2V) HABERLEŞME TEKNOLOJİSİ

2.1 Akıllı Ulaşım Sistemleri (ITS)

Yıllar ilerledikçe nüfus yoğunluğunun artması araç sayısının da artmasına sebep olmaktadır. Araç sayısının artması ise trafik kazalarının artmasına neden olmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO - World Health Organization) verilerine göre her yıl yaklaşık 1.300.000 kişi trafik kazası nedeniyle hayatını kaybetmektedir (WHO, 2022). Şekil 1’de 2009-2020 yılları arasında Türkiye’deki trafik kazası istatistikleri mevcuttur (TUIK, 2020). Türkiye’deki trafik kazası istatistiklerini inceleyecek olursak her yıl ortalama 150.000 ölüm ve yaralanma ile sonuçlanan kazalar olmaktadır. Ortalama 5000 civarı insan kaza yerinde veya kaza sonrası 30 gün içinde hayatını kaybetmektedir. WHO’ya göre trafik kazalarındaki en önemli risk faktörlerinden biri insan davranışı ve hatasıdır. Bu risk faktörünün azaltılması amacıyla ITS uygulamaları ortaya çıkmıştır. ITS sadece trafik kazalarının azaltılmasını değil enerjinin verimli kullanılarak çevreye verilen zararın azaltılması, kullanıcı-araç-altyapı-yolcu arasındaki veri alışverişinin kontrolü, daha kısa seyahat sürelerinin sağlanması gibi birçok konuyu içinde barındırmaktadır (UAB, 2022).

Trafik kaza istatistikleri, 2009-2020

Yıl	Toplam kaza sayısı	Ölümlü yaralanmalı kaza sayısı	Maddi hasarlı kaza sayısı	Ölü sayısı			Yaralı sayısı
				Toplam	Kaza yerinde	Kaza sonrası ⁽¹⁾	
2009	1 053 346	111 121	942 225	4 324	4 324	-	201 380
2010	1 106 201	116 804	989 397	4 045	4 045	-	211 496
2011	1 228 928	131 845	1 097 083	3 835	3 835	-	238 074
2012	1 296 634	153 552	1 143 082	3 750	3 750	-	268 079
2013	1 207 354	161 306	1 046 048	3 685	3 685	-	274 829
2014	1 199 010	168 512	1 030 498	3 524	3 524	-	285 059
2015	1 313 359	183 011	1 130 348	7 530	3 831	3 699	304 421
2016	1 182 491	185 128	997 363	7 300	3 493	3 807	303 812
2017	1 202 716	182 669	1 020 047	7 427	3 534	3 893	300 383
2018	1 229 364	186 532	1 042 832	6 675	3 368	3 307	307 071
2019	1 168 144	174 896	993 248	5 473	2 524	2 949	283 234
2020	983 808	150 275	833 533	4 866	2 197	2 669	226 266

(1) Trafik kazasında yaralanıp sağlık kuruluşuna sevk edilenlerden kazanın sebep ve tesiriyle 30 gün içinde ölenleri kapsamaktadır.

Tablo 1: 2009-2020 Yılları Arası Türkiye’deki Trafik Kazası İstatistikleri (TUIK, 2020)

ITS, basit bilgi uyarım sistemlerinden gelişmiş kullanıcı destek fonksiyonlarına sahip kontrol sistemlerine kadar geniş yayılım gösteren bir teknolojidir. ITS sistemleri ilk olarak ulaşım sistemlerinden verileri toplar, toplanan verileri işler ve işlenmiş verileri kullanarak ITS

kullanıcılarına kolaylık sağlar (Jarasuniene, 2007). Sistem kara taşımacılığında güvenliğin, hareketliliğin ve performansın en üst düzeye çıkarılması için mevcut bilgi teknolojilerini kullanmaktadır. Araç, altyapı, yaya, sürücü, ağ ve diğer tüm bileşenlerin birbiriyle bağlantı kurması sağlanarak ulaşımın iyileştirilmesi hedeflenmektedir (Mallik, 2014).

ITS 1970'li yıllarda başlamış olmasına rağmen başta gelişmiş ülkelerde olmak üzere yaygın olarak kullanımı 1990'lı yıllardan sonrasındır. 1990 yılında Avrupa'da ITS standartlarının belirlenmesi ve araştırma-geliştirme çalışmalarının desteklenmesi için Avrupa Karayolu Taşımacılığı Telematik Uygulama Koordinasyonu (ERTICO - European Road Transport Telematics Implementation Coordination Europe) kurulmuştur. Amerika kıtasında ise ITS America aynı amaç ile kurulmuştur. 1994 yılında Japonya'nın Akıllı Ulaşım Sistemleri temalı topluluğu olan Araç, Yol ve Trafik Bilgi Topluluğu (VERTIS - Vehicle, Road and Traffic Intelligence Society) kurulmuş, kurum 2001 yılında ITS Japan adını almıştır. ITS Japan teşkilatına diğer Asya-Pasifik bölgesindeki ülkeler de dâhil olmuştur. 1994 yılından beri ERTICO, Akıllı Ulaşım Emniyet Birliği (ITSA - International Transportation Safety Association) ve ITS Japan teşkilatlarının ortak çalışması ile her yıl ITS Dünya Kongresi (ITS World Congress) düzenlenmektedir (Tektaş vd., 2016). 90'lı yıllarda hız tespiti, navigasyon sistemleri, otomatik geçiş sistemleri, trafik bilgi sistemleri ITS'in ağırlıklı çalışma konuları iken, 2000'li yıllardan sonra otonom (sürücüsüz) araç çalışmaları popülerleşmiştir. 2013 yılından itibaren tamamen otonom araçlar halka açık olmamasına rağmen yarı otonom özelliklere sahip pek çok otomobil modeli piyasaya sürülmüştür. Özellikle 2015 yılından itibaren ITS pazarında ülkeler arasında bir rekabet başlamış, bu alana ayrılan bütçeler artırılmış ve birçok ITS projesine başlanmıştır. 2017'de ise Audi A8 modeliyle sürücünün direksiyon kullanım becerisine ihtiyaç duymayan ilk tam-otomatik otomobil piyasaya sürülmüştür (Tektaş, 2019).

Ülkemizde Kocaeli ve Gaziantep illerinde ITS uygulamaları yapılmaya başlanmıştır. Kocaeli ilindeki trafik yönetim merkezi, trafik görüntüleme sistemleri, tam ve yarı adaptif kavşak çalışmaları, elektronik denetleme sistemleri, yüksek hız kontrol sistemi, elektronik azami hız uyarı sistemi, bluetooth tabanlı trafik sensörleri, trafik kazaları analiz sistemi, akıllı otopark yönlendirme sistemi, engelli vatandaşlar için akıllı ulaşım çözümleri, yolcu ve sürücü bilgilendirme sistemleri ve ödeme sistemleri ülkemizdeki ITS örneklerindendir. Benzer şekilde Gaziantep ilimizdeki, trafik kontrol merkezi, otonom akıllı ulaşım projeleri, yolcu

bilgilendirme-ödeme sistemleri, trafik kaza ve güvenliğinin takibi akıllı ulaşım sistemlerine örnek olacak projelerdir (UAB, 2022).

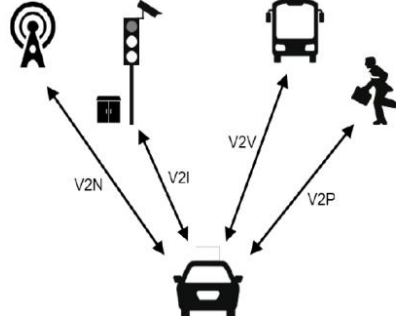
Akıllı ulaşım sistemleri, durum yönetim modelleri kullanarak gerçek zamanlı trafik verilerinin işlenip yönetilmesi için gerekli altyapıyı sağlamayı amaçlar. Sık kullanılan ITS teknolojilerini 11 farklı başlıkta sınıflandırabiliriz.

- Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS - Global Navigation Satellite System): Kullanıcının coğrafi konumunu küçük uydular kullanarak belirleyen uydu navigasyon sistemidir. GNSS uyduları atomik saatlerle senkronize olur. Yörünge verileri ile alıcı her uydunun yerini hesaplar. Rota belirleme uygulamaları, konum bilgisine ihtiyaç duyulan uygulamalar, araç takip sistemleri gibi uygulamalar bu teknolojinin örneklerindendir.
- Radyo Frekansıyla Tanımlama (RFID - Radio Frequency Identification): Bazen aktif bazen de pasif sistemler olarak kullanılan bu teknoloji genellikle ücret toplama sistemlerinde kullanılmaktadır. Hızlı Geçiş Sistemi (HGS) etiketleri bu teknolojiye en iyi örneklerdendir.
- Özel Kısa Mesafeli Haberleşme Teknolojisi (DSRC - Dedicated-Short Range Communications): 5.8 GHz veya 5.9 GHz spektrumunda tek ya da çift yönlü kablosuz iletim kanalı olan bu teknoloji otomotiv kullanımları için özel tasarlanmıştır. RFID teknolojisinin bir alt kümesi olan DSRC, araçtan altyapıya, araçtan araca, elektronik ücret toplama, trafik sıkışıklığı gibi birçok sistemde ana rol oynamaktadır.
- Kablosuz Ağlar: Araçlar arası ve yol kenarındaki ekipmanlar arasında hızlı haberleşme sağlanması amacıyla kullanılmaktadır. Kablosuz ağların kapsama alanlarının birkaç yüz metre olması nedeniyle araç veya yol kenarındaki düğümlerin verileri birbirlerine aktarmasıyla haberleşmesi sağlanmaktadır.
- Mobil Haberleşme: Standart Üçüncü/Dördüncü/Beşinci Nesil (3G/4G/5G – 3rd/4th/5th Generation) teknolojilerin kolay erişilebilirlik özelliğiyle bilgi iletimi için kullanıldığı teknolojidir.
- Radyo Dalgası ve Kızılötesi İşaretler: Otoyollarda radyo dalgası işaretleri ve ana yollarda kızılötesi işaretleri kullanılarak gerçek zamanlı trafik bilgileri iletilmektedir.
- Yol Kenarındaki Kamera Tanıma: Trafik tıkanıklığı olan bölgelere müdahale edebilmek için karayollarında bulunan kameralar ile dijital bilgi sağlanan teknolojilerdir. Otomatik Plaka Tanıma örnek verilebilir (Açıkgöz, 2020).

- Yakın Alan Haberleşmesi (NFC - Near Field Communication): Yeni nesil yakın mesafe kablosuz haberleşme teknolojisi olan NFC akıllı ulaşım sistemlerinde veri alışverişi, bilgi paylaşımı ve ödeme gibi alanlarda kullanılmaktadır. Toplu taşımada cep telefonu ile ödeme yapmak buna örnek verilebilir.
- Düşük Güç Geniş Alan Ağı (LPWAN - Low Power Wide Area Network): Makineden Makineye (M2M - Machine-to-Machine) ve Nesnelerin İnterneti (IoT – Internet of Things) cihazlarının haberleşmesini sağlayan düşük güçlü ancak çok geniş alanlara dağılabilen teknolojilerdir. Dar Bant-IoT (NB-IoT – NarrowBand-IoT), Uzun Menzil (LoRa – Long Range) ve Sigfox bu teknolojilere örnektir. NB-IoT, kablolu kullanılmadan trafik kontrol merkezlerine iletim sağlamaktadır. Otomatik ücret toplama sistemleri, akıllı otopark sistemleri, araç-içi bilgi anons sistemleri bu teknoloji ile sağlanabilmektedir. LoRa, geniş alanda çalışan IoT aygıtlarında kullanılan bir teknolojidir. Madencilik, yenilenebilir enerji, lojistik yönetiminde bu teknolojiden faydalanılmaktadır. Sigfox, şehirlerde 10km'ye kırsal alanlarda 50km'ye kadar veri iletimi yapabilmektedir. Bu teknoloji anlık yol çalışması bilgilendirmesi, bisiklet paylaşımı gibi uygulama alanlarında kolaylık sağlamaktadır.
- Algılama Teknolojileri: Endüktif sensör, ultrasonik sensör, lidar, video kamera, radar gibi teknolojiler trafik yoğunluğu, hava durumu hakkında veri sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.
- Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri (C-ITS - Cooperative Intelligent Transport Systems): Karayolu taşımacılığının verimliliğinin, güvenliğinin ve performansının artmasına katkı sağlayan yenilikçi teknolojilerden biridir. Karayolunda meydana gelen olaylara müdahalenin hızlandırılması, ambulans polis gibi araçlara öncelik sağlanması, sürücüsüz araç uygulamalarının kullanımı sağladığı faydalardan bazılarıdır (UAB, 2022). C-ITS, ITS istasyonları arasında haberleşmeyi sağlayan güvenliği, sürdürülebilirliği ve verimliliği arttırmayı sağlayan teknolojilerdir. ITS'in alt kümesi olan C-ITS'in temel bileşenleri haberleşme teknolojileridir. C-ITS'in kullandığı haberleşme teknolojileri şunlardır:
- Araçtan Her Şeye (V2X - Vehicle to Everything) Haberleşme Sistemleri
 - Araçtan Araca (V2V - Vehicle to Vehicle) Haberleşme Sistemleri
 - Araçtan Altyapıya (V2I - Vehicle to Infrastructure) Haberleşme Sistemleri
 - Araçtan Yayaya (V2P - Vehicle to Pedestrian) Haberleşme Sistemleri

- Araçtan Yol Kenarı Ünitelerine (V2RSU - Vehicle to Road Side Unit) Haberleşme Sistemleri
- Araçtan Şebekeye (V2N - Vehicle to Network) Haberleşme Sistemleri

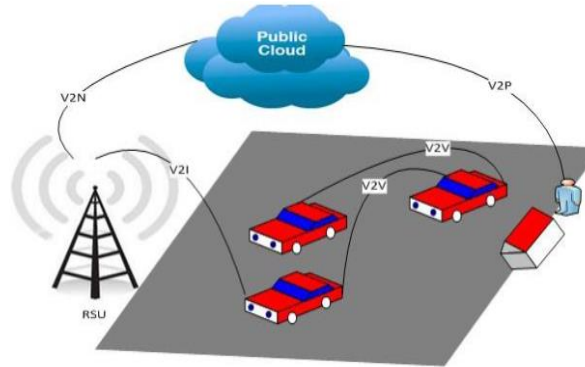
Şekil 1’de C-ITS uygulamalarının temelini oluşturan V2X haberleşmesi türleri gösterilmektedir (Mason, 2017).



Şekil 1: V2X Haberleşme Türleri (Mason, 2017)

- V2V genellikle güvenlik uygulamalarında kullanılan iki araç arası veri alışverişidir.
- V2I araç-altyapı arasındaki veri alışverişidir. Karayolu güvenliği, trafik verimliliği ve enerji tüketiminin azalması hizmetlerinde kullanılır.
- V2P yaya- araç veri alışverişidir. Genellikle güvenlik uygulamalarında kullanılır.
- V2N araç-şebeke veri alışverişidir. Yol güvenliği, trafik verimliliği ve yolcu konforunun geliştirilmesi uygulamalarında kullanılır.

Araç haberleşme çeşitlerini kapsayacak teknoloji V2X olarak adlandırılmaktadır. (Koyuncu, 2018). Şekil 2’de araçların birbirleriyle, yol kenar birimleriyle, yayalarla ve ağ ile bağlantısı gösterilmiştir. Veriler internet ile kolaylıkla ulaşım sağlanabilen bulut bilişim (public cloud) ile depolanmaktadır (Zorkany vd., 2020).



Şekil 2: V2X Haberleşme Sistemi Diyagramı (Zorkany vd., 2020)

2.2 Araçtan Her Şeye (V2X) Haberleşme Teknolojisi

V2X, bu teknolojiye uyumlu sistemlerle etkileşim kuran, kısa menzilli ve kablosuz sinyal kullanan bir haberleşme teknolojisidir. Öncelikli hedefi çarpışmaları azaltmak olmasına karşın, otoyol geçiş ücretlerinin otomatikleştirilmesi, yolcu bilgilendirilmesi gibi farklı alanlarda da avantaj sağlamaktadır. 2016'dan beri pazar potansiyeli ekonomik açıdan çok artmaya başlamıştır. Delphi, Denso, Qualcomm ve Continental gibi satıcıların büyük ölçekli planlarının olması nedeniyle önümüzdeki yıllarda bu teknolojinin yaygınlaşması muhtemeldir. Ancak V2X teknolojisinin pratikte tüm araçlar tarafından benimsenmemesi, V2X teknolojisine sahip olmayan otomobillerle bir arada olması zorunluluğu sebebiyle sınırlı kullanışlılığa sahip olduğu da gerçektir. V2X'in kullanışlılık sınırlarının belirlenmesi için testlerden geçmesi oldukça önemlidir. Performans uygunluk test yöntemlerini kullanarak sanal ve gerçek ortamları birleştiren uçtan uca test çözümü uygulanmalıdır (Boovarahan, 2021).

V2X teknolojisinin hızla gelişmesi vatandaşların ulaşım ihtiyaçlarının karşılanmasını ve ekonomik büyümenin artışı simgelemektedir. Şehirlerin gelişmesi ve küresel hareketliliğin artması yollardaki araç sayısını arttırmaktadır. Araç sayısının artması trafik kazalarının ve trafik sıkışıklığının önemli ölçüde artmasına sebep olmaktadır. Bu gibi sorunlar akıllı trafik yönetimi stratejilerinin oluşmasına yol açmıştır. Sürücü yardımı, güvenlik, trafik verimliliği bilgi amaçlı uygulamalar akıllı trafik yönetimi stratejilerindendir. Modern araçlar şerit merkezlenme sistemi, hız sabitleyici, fren sistemi, park destek sistemi, sürücü izleyen teknoloji, otomatik far ve ön cam silecekleri gibi otomasyonlara sahiptir. Arabalar geliştikçe farklı otomasyon teknolojileri de yaygınlaşmaktadır. Otonom araçlar, diğer araçlar veya yol kenarı altyapısı ile haberleşmesini sağlayarak çeşitli haberleşme teknolojilerinin herhangi birini kullanan araçlardır. Araç güvenliğini, araç verimliliğini ve yolda kalma sürelerini iyileştirmek amacıyla kullanılırlar. Yaralanma ve ölümlerin azalması, yol verimliliğinin artması, hareketlilik, trafik güvenliğinin iyileştirilmesi, trafik akışının dengelenmesi, tehlikeli durumlarda araç kontrolünün üstlenmesi gibi avantajlara sahiptir. (Ameen vd., 2020).

Bu tez kapsamında V2X teknolojisinin alt dalı olan V2V teknolojisi ele alınmıştır.

2.3 Araçtan Araca (V2V) Haberleşme Teknolojisi

V2V teknolojisi, bir aracın yakınındaki diğer araçlar ile bilgi alışverişinde bulunduğu bir haberleşme teknolojisidir. V2V potansiyel çarpışmalara neden olabilecek durumların önlenmesi için sürücülerini önceden uyararak kaza önleme sistemlerine sahiptir. V2V haberleşme teknolojisinde araçların hızları, konumları, gitmek istedikleri rota ve benzeri bilgiler kablosuz olarak aktarılabilmektedir. Sürücülerin uyarılması, aracın kontrolü, çarpışmaların önlenmesi, trafik sıkışıklığının hafifletilmesi ve çevresel faktörlerin iyileştirilmesi bu bilgi aktarım teknolojisinden faydalanarak sağlanmaktadır (Meşedilci, 2019).

2.3.1 Araçtan Araca Haberleşme Teknolojisi Araştırma Alanları

V2V teknolojisi, performans değerlendirilmesi, entegrasyon, tasarım, güvenlik ve uygulanabilirlik gibi birçok araştırma konularına sahiptir. V2V haberleşme teknolojisi için anahtar performans göstergeleri (KPI - Key Performance Indicator), paket gecikmesi, paket düşme hızı, işlem süresi, ağ gecikmesi ve radyo spektrum miktarıdır. Bu kriterlere bakılarak sistemin güçlendirilmesi ve geliştirilmesi konusunda katkı sağlanabilmektedir. Paket gecikmesi, işlem süresi, paket düşme hızı gibi performans kriterlerinin standart protokolde uygun olmaması durumunda yeni protokol tasarlanabilir. V2V ağlarla kritik verilerin güvenliğini sağlamak için bir güvenlik altyapısı gereklidir. V2V ağların siber saldırılardan uzak olmaması ölümcül krizlere yol açabilir. Kişisel verileri korumak ve verilerin saklanabilmesi de önemli bir husustur. V2V güvenliği sağlamak için güvenlik ölçeklenebilirliği, bağlantıların doğrulanabilir olması ve bağlantıların şifrlenmesi temel hedefler arasında yer almaktadır. V2V ağ güvenlik modelleri esnek olmasına karşın çok sayıda aracı yönetebilmelidir. Trafik yönetim merkezi tarafından önceden tanımlanmış izinler üzerinden onaylanmış veya reddedilmiş eylemleri kontrol ederek bağlantıların doğrulanabilir olması sağlanmalıdır. Arabalar arasındaki tüm bağlantılar şifreli olarak gerçekleşmeli ve güvenlik parametrelerinin iletilen mesajlar aracılığıyla kontrol edilmesi gerekmektedir. V2V kaynak yönetimi ilgili durumlarda farklı teknolojilere entegrasyon sağlamaktadır. Depolama ve sunucu kaynakları bu entegrasyona örnek verilebilir. Bulut bilişim de mevcut bilgi işlem teknolojileriyle bütünleşmek için kullanılan teknolojilerdendir. Bulut bilişim kişisel verilerin saklanması en güvenilir ve en güçlü teknolojidir (Zorkany vd., 2020).

2.3.2 Araçtan Araca Haberleşme Cihazlarının Türleri

1. Orijinal Ekipman Üreticisi (OEM - Original Equipment Manufacturer) Cihazları

OEM cihazları, araç üretimi sırasında araca entegre edilmiş elektronik cihazlardır. Temel güvenlik mesajlarını doğru bilgilerle sağlayarak tescilli veri yolları ile iletmektedir. Sürücüye tavsiye ve uyarı sağlayan mesajların içeriğini işleyebilmektedir. Kör Nokta İzlemeleri (Blind Spot Monitoring) hem alır hem de yayınlar. Sesli ve görsel uyarılara ek olarak araç içi uyarıları da sağlayabilmektedir. Entegre OEM cihazı, bir işlemci, radyo alıcı-vericisi, antenler, araç sensörüne yönelik ara yüzler ve GPS alıcısından oluşmaktadır. Bu cihazlar araçta yerleşik bulunarak çarpışmadan kaçınma sistemleri ile birlikte çalışabilmektedir.

2. Satış Sonrası Cihazları

Bir motorlu araca sonradan eklenen genellikle konfor, performans, güvenlik gibi alanlarda işlev sağlayan cihazlardır. Satış sonrası V2V cihazları da OEM cihazları gibi sürücüye tavsiye ve uyarılar verebilmektedir. Bu cihazlar bir araca yetkili satıcılar veya otomotiv ekipmanı montajcıları tarafından eklenebilir. Ancak bazı satış sonrası V2V cihazları yolcu ve yayalar tarafından bağımsız olarak taşınabilir cihazlardır (Harding vd., 2014).

2.3.4 Araçtan Araca Haberleşme Teknolojisinin Dezavantajları

- V2V haberleşmesinin yaygınlaşması araç ve bakım maliyetlerini artırmaktadır.
- Sürücünün sık sık uyarı alması kullanıcıların uyarıları görmezden gelme ihtimaline yol açabilir.
- V2V spektrumu açmak Wi-Fi, kablosuz telefonlar gibi lisanssız bilgi altyapısını potansiyel olarak engelleyebilir.
- Bağlantılı güvenlik sertifikalarında GPS bilgilerinin olay sonrası yeniden yapılandırılması yoluyla konum takibi yapılabilir.
- Bir araç diğer araçlara yanlış bilgi yaymak amacıyla yanlış mesajlar gönderebilir.

Bu gibi dezavantajlar yüksek güvenli li erişim prosedürleri, veri koruyucu teknolojiler ve verileri yetkisiz bir şekilde toplama, depolama veya yaymayı önleyici yasalar ile  nlenebilir (Demba, M  ller, 2018).

2.3.5 Araçtan Araca Haberleşme Teknolojisi Kullanım Alanları

21. Yüzyıl için Ulaştırma Eşitliği Yasası'nda (TEA-21) akıllı araçların amaçlarına değinilmiştir. İlk amaç sürücünün dikkat dağınıklılığının önlenmesi diğer amaç ise çarpışmadan kaçınma sistemlerinin yaygınlaşmasıdır. Akıllı araç teknolojisi, araç tabanlı ve altyapı iş birliğine dayalı cihazların geliştirilerek sürücünün yetenek ve sınırlarını dikkate alan sistemlerdir. Sürücü dikkat dağınıklılığının çarpışmalarla ilişkisini inceleyen çalışmalar bu durumun kazaları tahmin ederek nicel bir model geliştirmeyi engellediğini  ne sürmektedir. Akıllı araç teknolojisi araştırmalarında arkadan çarpışmalı kazalar, yoldan ayrılma ve kavşak kazaları konuları incelenmiştir. Radar sensörleri, kamera nesne algılama sistemlerin araştırılması, çarpışmadan kaçınma güvenlik teknolojileri konusunda önemli bir gereksinim olduğu ortaya çıkmıştır (Harding vd., 2014). Tüm kazalar incelendiğinde arkadan çarpışmalı kazalar tüm kazaların %29'unu oluşturarak en sık görülen çarpışma türleri arasında yer almaktadır. 2017'de ölümcül kazaların %7.2'sine arkadan çarpışmalı kazalar neden olmuştur.

İleri  arpışma Uyarısı (FCW - Forward Collision Warning) arkadan çarpışmalı kazaların azaltılması ve hafifletilmesine yardımcı olmaktadır (Yue vd., 2021). FCW, sürücüyü olası kaza durumunda veya yavaş hareket eden araç konusunda uyarmak amaçlı tasarlanmıştır. Yavaş hareket eden bir araca yaklaşıldığında sürücüyü uyarır ve sürücünün hareketini yavaşlatarak aracı takip etmesini sağlar (Harding vd., 2014). Gelişmiş Sürücü Asistan Sistemi (ADAS - Advanced Driver Assistance System), FCW gibi teknikleri kullanarak yolcuların ve araçların güvenliğini arttırmayı sağlamaktadır. Günümüz teknolojisinde radar sensörlerinden yararlanan bu sistemin performansı dar görüş alanı ve zayıf yanal  z n rl k nedenleriyle sınırlanmaktadır (Yuan vd., 2020). ADAS sistemleri bir eylemin gerekli olduğu durumlarda veya yanlış bir eylem yapılması durumunda sesli, görsel veya dokunsal bir sinyalle sürücüyü uyarmayı sağlamaktadır. FCW sistemi sürücüleri olası en yaygın çarpışma türlerinden olan arkadan çarpışmalara karşı uyarak ölümle veya yaralanma ile sonuçlanan çarpışma yüzdelerini düşürmektedir. Zayıf görüş yol tipi, arızalı fren bu kazalara sebep olan faktörlerdendir. Ancak en sık rastlanan faktörler sürücü kaynaklı faktörlerdir. FCW sistemi sensörleri bağlı hız, yanal konum ve iki araç arasındaki mesafe gibi önemli parametreleri izlemeye dayanmaktadır. Aracı

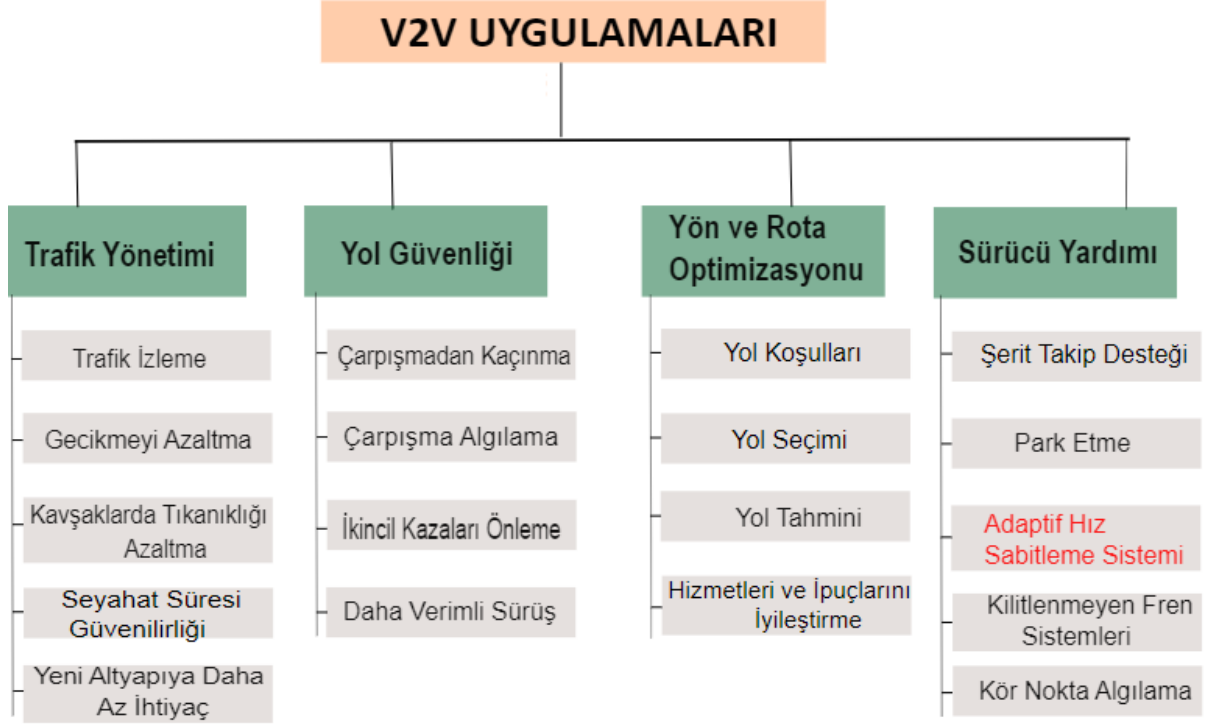
güvenli bir şekilde durdurmak ya da takip eden araç arasındaki çarpışma süresine dayalı çeşitli algoritmalar mevcuttur. FCW sisteminde sürücüyü uyararak yardım sağlayan teknolojiler kullanılmaktadır. FCW sistemi uyarmanın yanı sıra otomatik olarak kısmi veya tam frenleme ile frenleme sürecinde görev alabilmektedir. Sürücünün zamanında gerçekleştiremediği refleksleri bu modüller sayesinde sağlayarak çarpışmanın şiddeti azaltılabilir veya önlenir. Sürücülerin fren pedalına kuvvetlice basmadığı, sadece gaz pedalının bırakıldığı veya tepki vermediği durumlarda aktif kaçınma sisteminin önemi daha çok ortaya çıkmaktadır (Garcia vd., 2013).

Otonom Acil Frenleme (AEB - Autonomous Emergency Braking) sisteminin yeni tip araçlarda standart donanım olarak veya isteğe bağlı olarak ekstra kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. AEB sistemlerine sahip aracın etrafındaki sensörler; olası çarpışmaları tespit etmek, çarpışmayı önlemek amacıyla sürücüye uyarı verir veya müdahale edebilir. AEB sistemleri radar, lidar ve kamera sensörlerini tek başına veya birlikte kullanarak potansiyel tehlikeli araba ya da yayaların menzili veya hareketini belirleyebilmektedir. AEB sistemi eğer potansiyel bir çarpışma tespit ederse önlemek veya çarpışmanın etkisini azaltmak amacı ile bir uyarı veya fren tepkisi sağlamaktadır (Hulsoft vd., 2013).

V2V uygulamaları Trafik Yönetimi, Yol Güvenliği, Yön ve Rota Optimizasyonu ve Sürücü Yardımı olarak 4 ana başlıkta sınıflandırılmıştır.

1. Trafik Yönetimi sınıfına örnek projeler şunlardır: Trafik İzleme, Gecikmeyi Azaltma, Kavşaklardaki Tıkanıklığı Azaltma, Seyahat Süresi Güvenilirliği, Yeni Altyapıya Daha Az İhtiyaç.
2. Yol Güvenliği sınıfına örnek projeler şunlardır: Çarpışmadan Kaçınma, Çarpışma Algılama, İkincil Kazaları Önleme, Daha Verimli Sürüş.
3. Yön ve Rota Optimizasyonu sınıfına örnek projeler şunlardır: Yol Koşulları, Yol Seçimi, Yol Tahmini, Yol Hizmetleri ve Rota İpuçlarını İyileştirme.
4. Sürücü Yardımı sınıfına örnek projeler şunlardır: Şeritte Takip Desteği, Park Etme, Adaptif Hız Sabitleme, Kilitlenmeyen Fren Sistemleri, Kör Nokta Algılama.

Şekil 3'de V2V teknolojilerine dayalı uygulamalar diyagram şeklinde gösterilmiştir (Demba, Möller, 2018).



Şekil 3: V2V Haberleşme Sistemi Uygulamaları

3. ADAPTİF HIZ SABİTLEME (ACC) SİSTEMİ

3.1 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Tanımı

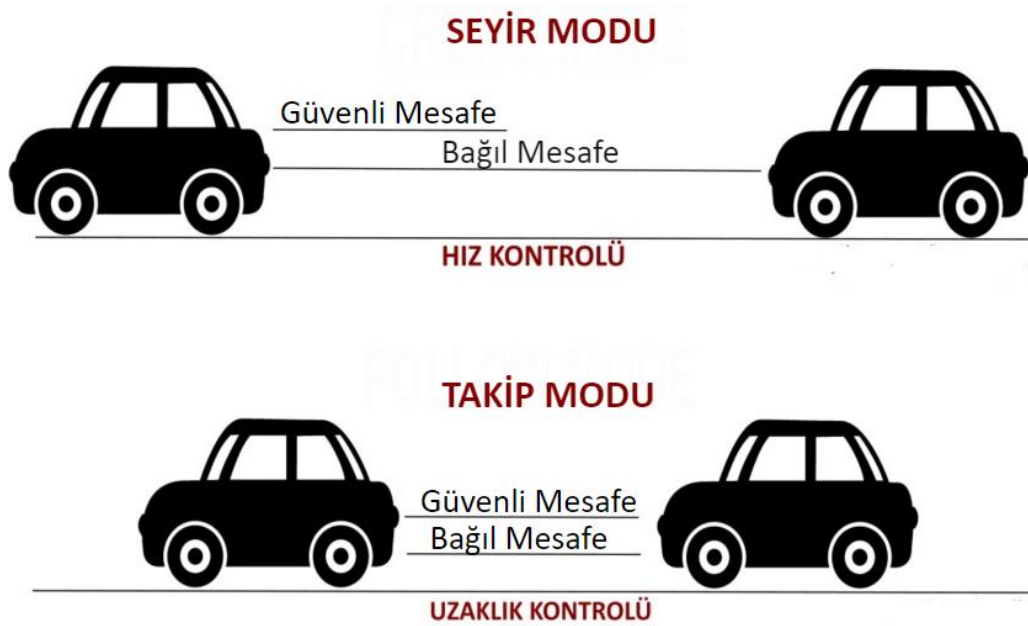
Adaptif hız sabitleme sistemi seyir halinde giden iki araç arasındaki mesafeyi kontrol etmek ve arka aracın hızını ayarlamakla görevlidir. ACC, otomotiv çarpışma uyarı sistemi ürünleri içerisinde odak noktasıdır. Dünya çapında hızla gelişen ve ilgi gören bu pazar, ACC'nin araç platformlarında yaygın olarak kullanılmasıyla sonuçlanacaktır. ACC, geleneksel hız sabitleyicinin işlevselliğinin artırılarak müşteriye kolaylık sağlayan bir ürün haline gelmiş şeklidir. ACC sistemi sayesinde sürüş daha konforlu ve keyifli bir deneyim haline gelmektedir. Seyrek trafiğin olduğu geniş kırsal alanlarda ve trafik koşullarının neredeyse sabit hıza izin verdiği bölgelerde geleneksel hız sabitleyiciler işe yarası da düzensiz trafik modellerine sahip bölgelerde kullanılması mümkün değildir. Tüm sürüş senaryolarında, sürücü ACC sisteminin tüm işleyişini kontrol eder ve gerektiğinde araç üzerinde nihai kontrole sahiptir. (Widmann vd., 2000)

İlk hız sabitleme (CC - Cruise Control) sistemi, 1950 yılında “Hızlandırıcının Çalışmasına Dirençli Hız Kontrol Cihazı”nın patentini alan mühendis Ralph Teetor tarafından geliştirildi. İlk CC sistemlerinde sabit hız gazı sabit tutarak sağlanırdı. Gazın sabit tutulması işlemi mekanik parçalarla sağlanmaktaydı. Standart hız sabitleyicinin görevi yalnızca aracın hızını kontrol etmektir (Petri, Petreus, 2022). Standart hız sabitleyici aracı hızlandırarak veya yavaşlatarak belirli bir hızı korumaktadır. Mevcut bu sistem mikro denetleyici ve kullanıcıya yönelik elektronik bileşenler yardımıyla gaz kelebeği aktüatörünün kontrolünün sağlanacağı bir düzenek haline getirildi. ACC sistemi fren, direksiyon, gaz kelebeği, motor yönetimi vb. sistemlerin entegrasyonunu gerektirmektedir. ACC cihazları sensör verilerine göre motor gazını ve freni kontrol ederek sürücünün öndeki aracı güvenli bir mesafe ile takip etmesine yardımcı olmaktadır. ACC sisteminde öndeki diğer hareket eden araçların davranışlarına göre fren uygulayarak veya gerekli hıza ulaşmak için gaz kelebeği ayarlanarak araç hızı ayarlanabilmektedir (Sankar, 2014).

Başarılı bir ACC sisteminde arkadaki aracın önündeki aracın kinematik özelliklerini (mesafe, bağıl hız) algılama özelliğine sahip olması gerekmektedir. Arkadaki araç bu özelliği sağlamak için kızıl ötesi lazer veya milimetre dalga sinyalleri kullanan algılama sensörleri

kullanmaktadır. Radar ve lidar algılama sensörlerine örnek olarak gösterilebilir (Widmann vd., 2000). Lidar veya radar sistemi kullanarak öndeki araçla arasındaki mesafe ve öndeki aracın hızı tespit edilebilmektedir. Mesafe ölçümünde Doppler etkisi ile yansıyan ışının frekansındaki kayma hızı ile ölçüm yapılır, iletim ve alım tarafından geçen süre esas alınmaktadır. Fren ve gaz kontrolleri ile araçlar arasındaki mesafe güvenli bir seviyede tutulmaktadır (Sankar, 2014).

ACC sisteminin “Seyir Modu” ve “Takip Modu” olmak üzere iki farklı modu bulunmaktadır. Seyir modu durumunda araç sürücünün kullandığı veya sabit ayarladığı hızda gider. ACC sisteminin seyir modu ile klasik hız sabitleyiciler arasında önemli bir fark bulunur. Klasik hız sabitleyiciler yalnızca sürücünün ayarladığı hızda gider. ACC sisteminde araç yolu tarayarak önde araç olup olmadığını kontrol eder. Eğer önde bir araç yoksa seyir modu aktif olur. Eğer önde giden araç varsa takip modu aktif olur ve önde giden araç arasında güvenli mesafenin korunması için ayarlanır. ACC sistemi arkadaki aracın önündeki araçları ve engelleri algılaması için radar veya lazer sensörleri kullanır. Seyir modunda iken aracın önünde giden başka bir araç algılandığında ilk olarak iki araç arası mesafe ölçülür. Sensör tarafından ölçülen mesafe değeri referans alınan güvenli mesafe değeri ile karşılaştırılır. Araçlar arasındaki mesafe arka aracın hız değerinde gittiği güvenli mesafe değerinden fazla olduğu durumda seyir modunda çalışır. Araçlar arası mesafe güvenli mesafe değerinden düşükse, ana aracın hızı araçlar arasında güvenli bir mesafe sağlayacak şekilde ayarlanır. Şekil 4, bir ACC sisteminin iki çalışma modunu göstermektedir (Petri, Petreus, 2022).



Şekil 4: ACC Sistemi Çalışma Modları

3.2 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Haberleşmesi

ACC sisteminde sensör, kontrol ünitesi ve diğer bileşenler arasındaki tüm veri akışı Kontrol Alan Ağı (CAN - Controller Area Network) veri yolu ile sağlanmaktadır. Bu işlem için kablo, konnektör gibi bileşenlere ihtiyaç duyulmamaktadır. Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU – Electronic Control Unit) yazılım tarafından bazı fonksiyonlar ile kontrol edilmektedir. Öndeki araçlarla güvenli bir mesafeyi korumak için aracın önüne yerleştirilmiş bir radar, lidar, sensörler tarafından ölçülen bir seyir hızı hesaplanır. Bu kontrol sistemi sayesinde seyir hızının her örneklemede uyum sağlayarak sürekli değişim halinde olması izlenmektedir. ECU, üç mikro denetleyiciden oluşan merkezi olmayan bir mimariye sahiptir. Mikro denetleyicilerden birincisi yönetim, ikincisi senkronizasyon ve üçüncüsü haberleşmeden sorumludur. Bu ECU son yıllarda geliştirilmiştir. Araç fabrikası ECU'suna eşdeğer bir güç ve tork performansı ve sürüş özellikleri sunmaktadır.

ACC sisteminde kullanılan CAN mesajları Şekil 5’de gösterilmiştir (Brugnolli vd., 2019).

CAN Message	ID (Hex)	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
Input Signal	200	“E” Token	“C” Token	“U” Token	Input Accelerator Pedal (0-100%)				
Configuration	201	“E” Token	“C” Token	“U” Token	Input Pedal Mode (On or Off)	Set Operation Mode	Idling Speed Mode	-	-
Output Signal	590	Accelerator Pedal (0-100%)	Pedal Factor 0.01	Measured Speed (Km/h)	Factor 0.01	Engaged Gear	Read Operation Mode	-	Error Code

Şekil 5: ACC Sistemi CAN Mesajları (Brugnolli vd., 2019)

3.3 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Matematiksel Modeli

Seyir halinde ardışık olarak giden her iki aracın da model dinamikleri aynıdır. Araçların konumu x , araçların hızı $v = \dot{x}$ ve araçların ivmesi $a = \dot{v} = \ddot{x}$ şeklinde gösterilmektedir. Öndeki araç konumu x_{lead} ve arkadaki aracın konumu x_{ego} olarak verilmiştir. Araç seyir kontrolünü ifade eden birinci dereceden basit bir denklem (1) nolu denklemde, D_{rel} ise (2) nolu denklemde gösterilmiştir:

$$\dot{x}_{ego}(t) = F_V(D_{rel}(t)) \quad (1)$$

$$D_{rel}(t) = x_{lead}(t) - x_{ego}(t) \quad (2)$$

F_V , öndeki araca olan mesafenin D_{rel} olduğu göz önüne alındığında, arkadaki aracın nasıl yol almayı seçtiğini açıklayan bir hız fonksiyonudur. $F_V(D_{rel})$ fonksiyonu yol boyunca toplanan sensör verileri ve sürücü davranışlarından ortaya çıkmaktadır. Birinci dereceden modelde sürücülerin hızlarını seçmeleri tam olarak mümkün değildir, çünkü araçların kütlelerinden kaynaklı eylemsizlikleri vardır. Farklı hızlara genellikle yalnızca kademeli hızlanma veya yavaşlama yoluyla ulaşılabilir. Bu durum Newton'un hareket yasalarından yola çıkarak ikinci dereceden denklem ile aşağıdaki gibi açıklanmaktadır:

$$\ddot{x}_{ego} = F_a(x_{lead} - x_{ego}, \dot{x}_{lead} - \dot{x}_{ego}, \dot{x}_{ego}) \quad (3)$$

$F_a(D_{rel}, v_{rel}, v_{ego})$, araçlar arası mesafenin, öndeki araca göreli hızın ve arkadaki aracın hızının doğrusal olmayan bir fonksiyonudur. İkinci dereceden model, öndeki aracı takip etme ve optimum hız modelleridir. Öndeki aracı takip etme modeli aşağıdakilerle karakterize edilir:

$$\ddot{x}_{ego} = \alpha \frac{\dot{x}_{lead} - \dot{x}_{ego}}{x_{lead} - x_{ego}} \quad (4)$$

Burada α sabit bir parametredir. Optimum hız fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\ddot{x}_{ego} = \beta (F_V(\dot{x}_{lead} - \dot{x}_{ego}) - \dot{x}_{ego}) \quad (5)$$

Denklemin başında yer alan β sabit bir parametredir. Öndeki aracı takip etme modelinde, her aracın kendi hızı, lider aracın hızına bağlıdır. Optimum hız modelinde, bir hız fonksiyonu $F_V(D_{rel})$ vardır ve arkadaki aracın hızı, verilen $x_{lead} - x_{ego}$ aralığına karşılık gelen bu optimum hızla ilişkilidir.

İki model aşağıdaki şekilde birleştirilebilir (Farivar vd., 2020):

$$\ddot{x}_{ego} = \alpha \frac{\dot{x}_{lead} - \dot{x}_{ego}}{x_{lead} - x_{ego}} + \beta (F_V(\dot{x}_{lead} - \dot{x}_{ego}) - \dot{x}_{ego}) \quad (6)$$

Seyir modu ve takip modu arasında geçiş yapabilmesi dış döngü denetleyicisi sayesinde sağlanır. Aracın seyir modunda çalışabilmesi için kullanıcı tarafından belirlenmiş bir seyir hızı olmalıdır. Takip modunda ise yeni bir seyir hızı hesaplanarak güvenli mesafe korunmaktadır.

Dış döngü için kontrolör, öndeki araca deneysel olarak güvenli bir mesafeyi koruması için D_{safe} hesaplamalıdır.

$$D_{safe} = D_{default} + t_{gap} * V_{ego} \quad (7)$$

D_{safe} : En Yakın Araçla Güvenlik Mesafesi

$D_{default}$: Çarpışmaları Önlemek İçin Ek Mesafe

t_{gap} : Zaman Sabiti

V_{ego} : Arkadaki Aracın Hızı

Denklem (8)'de gösterildiği gibi, v_{ref} olarak adlandırılan bir referans hız hesaplanmıştır. v_{ref} arkadaki aracın adaptif hızıdır.

$$v_{ref} = v_l - K_p(D_{safe} - d) \quad (8)$$

v_{ref} : Güvenli Adaptif Hız

v_l : En Yakın Aracın Hızı

K_p : Kazanç

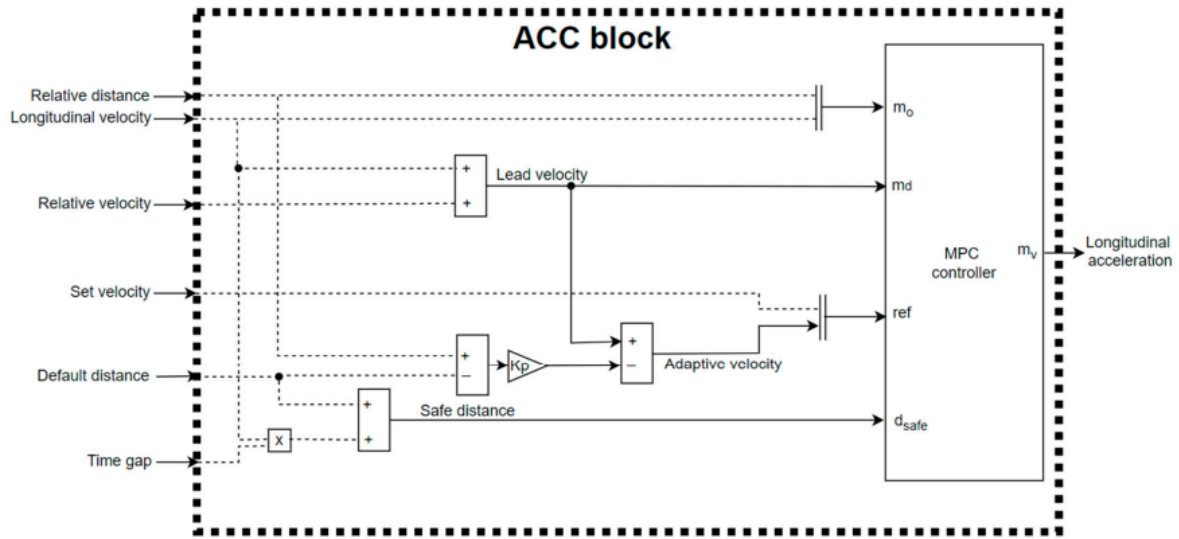
d : En Yakın Araç İle Mesafe

$$v_{ref} > v_{user} \text{ ise } v_{cruise} = v_{user} \quad (9)$$

$$v_{cruise} = v_{ref} \quad (10)$$

İlk olarak, kontrolör v_{ref} 'i hesaplar. Referans hızı (v_{ref}) ile kullanıcının belirlediği hız (v_{user}) karşılaştırılır. Eğer referans hız kullanıcının belirlediği hızdan büyük ise kullanıcının belirlediği seyir hızı (v_{user}) sınırlandırılarak sistemin seyir modunda çalışması gerekmektedir. Ters durumda seyir hızı referans hıza eşit olarak ayarlanır ve öndeki araçla güvenli mesafe korunur takip modunda çalışır. (Brugnolli vd., 2019).

3.4 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Blok Şeması



Şekil 6: ACC Sistemi Bloğu (Petri, Petreus, 2022)

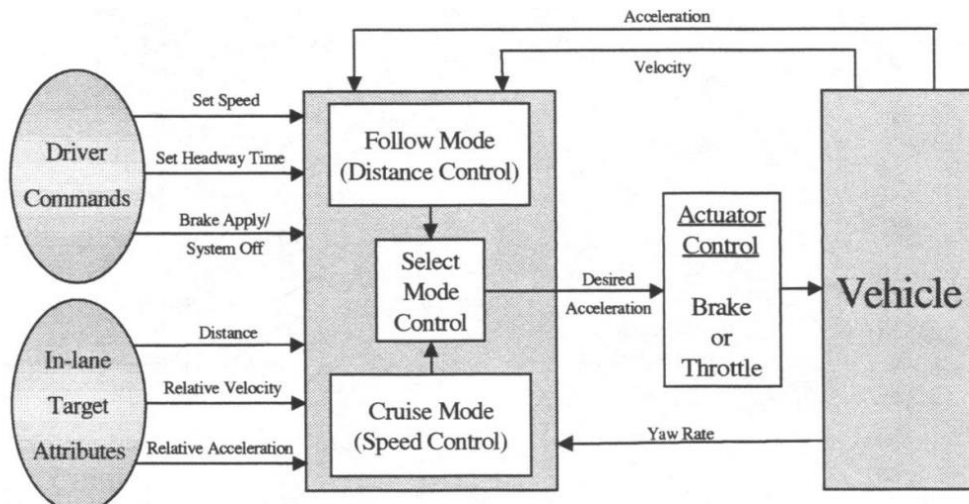
Şekil 6’da bulunan ACC sistemi bloğu, sürücü tarafından ayarlanan hız değerini, zaman sabiti değerini, arkadaki aracın boylamasına hızının geri bildirim değerini, öndeki aracın boylamasına hızını ve araçlar arasındaki bağıl mesafeyi gerektirir. Bu değişkenler sistemleri denetlemede kullanılan kontrol stratejisi Model Öngörülü Kontrol (MPC - Model Predictive Control) uygulanır. MPC’nin çıkışı, bir diğer blok olan alan yönelimli kontrol bloğunun girişine uygulanan boylamasına ivmedir. ACC bloğunun çıkışını veren MPC çıkışı pozitif ya da negatif değer alabilmektedir. Eğer çıkış pozitif bir değerse, referans hızın artmasına sebep olan bir ivme değerini ifade eder. Eğer çıkış negatif bir değerse, bu aracın yavaşlamasına yol açar. Bunun nedeni referans hıza negatif bir değer eklenmesi ile referans hızın daha küçük bir değere düşmesine sebep olmasıdır. Özetle ACC sisteminin çıkışının negatif olması referans hızını düşürür. MPC sisteminde giriş olarak kullanılan değişkenler, hem sistem tarafından ölçülen değerlere bağlı değişkenler, hem de referans olarak girilen değişkenlerdir. Ölçülen değişken değerleri sistemi etkileyen bozulma sinyali girişlerini de içermektedir. MPC bloğunu içinde bulunduran ACC sistemi bu girdilere göre aşağıdaki aşamalara gereksinim duyar.

- Güvenli mesafe denklemi ile adaptif hız hesaplanır.
- Adaptif hız referans hız ile karşılaştırılır.

- Adaptif hız ayarlanan hızdan büyükse, hız kullanıcı tarafından ayarlanan değer olarak kabul edilir.
- Araç hız kontrol modundaki hıza ulaşabilmek için hızlandırılır.
- Adaptif hız kullanıcının ayarladığı araç hızından düşük ya da eşitse, referans değer adaptif hızdır. Araçlar arasındaki referans alınan güvenli mesafenin korunması amacıyla arkadaki araç hızlandırılır veya yavaşlatılır.
- MPC bu değişkenlere göre hızlanma/yavaşlama değerini hesaplar. (Petri, Petreus, 2022).

3.5 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Kontrol Yapısı

ACC'nin iki çalışma modu bulunmaktadır; bunlar seyir modu ve takip modudur. Şerit içi herhangi bir araç olmadığında ayarlanan hıza göre seyir modu aktif olarak “hız kontrolü” sağlayacaktır. Şeritte önde giden bir aracın varlığında takip modu aktif olarak öndeki araç ile mesafeye göre “mesafe kontrolü” sağlayacaktır. ACC sistemi trafik durumuna göre hız kontrolü ve mesafe kontrolü seçenekleri arasında otomatik geçiş yapmaktadır. ACC sisteminin çıkış değişkenleri fren veya gaz kelebeği kontrol ünitelerine bağlıdır. Çıkış değişkenlerine göre aracın hızlanması/yavaşlaması sağlanır. Şekil 8’de hız ve mesafe kontrol yapısı gösterilmiştir (Widmann vd., 2000).



Şekil 7: ACC Sistemi Kontrol Yapısı (Widmann vd., 2000)

3.6 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Bileşenleri

3.6.1 Sensör ve Kontrol Ünitesi

ACC sisteminde hali hazırda var olan ACC sensör ve ACC kontrolöre de sahip Sensör ve Kontrol Ünitesi (SCU - Sensor and Control Unit) bulunmaktadır. Sensör, arabanın ön kısmında bulunmaktadır. Öndeki aracın hız, mesafe, açısal konum veya yanal ivme gibi verileri sensörler yardımıyla toplanır. Dört tekerlek sensör, fren pedalı sensörü, gaz pedalı sensörü, radar ya da lidar bu sensörlere örnek gösterilebilir. Araç Dinamiği Kontrolü (VDC - Vehicle Dynamic Control) sensörleri viraj algılama amacıyla kullanılarak aracın bir sonraki rotasını tahmin etmeye yardımcı olmaktadır.

3.6.2 Aktüatör

Aktüatörler, motor kontrolü, şanzıman kontrolü ve aktif fren kontrolü sağlayan ECU tarafından kontrol edilen sistem bileşenleridir. Fren gaz kelebeği veya vites kutusu aktüatörlerine CAN kullanarak sensör verilerine göre komutlar oluşturmak için işlenir. Aktüatör, mekanizmanın kontrolünü veya hareketini sağlayan motor türüdür. Fren aktüatörü ve gaz kelebeği aktüatörü örnek verilebilir.

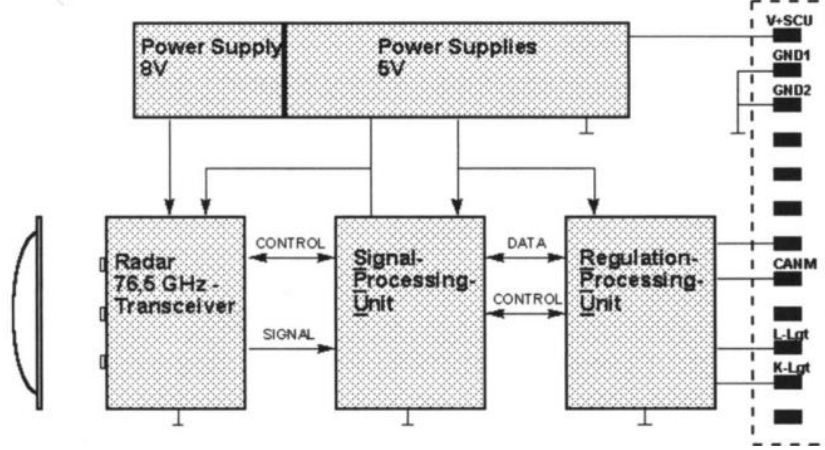
3.6.3 İnsan-Makine Arayüzü

Çalıştırma anahtarları, ekran, gaz pedalı, fren gibi sürücüye yönelik ara yüzleri içermektedir. SCU ve diğer bileşenler arasındaki tüm veri akışı CAN veri yolu ile sağlanmaktadır. Böylelikle kablolama veya konnektöre gerek duymadan yazılım ile desteklenebilmektedir.

ACC sistemi modülü mikro denetleyici ile araç ECU'su ve radar ile haberleşecek şekilde geliştirilmiştir. ACC modülünde yer alan diğer birimler ise CAN alıcı-vericisi, güç kaynaklarının daha verimli çalışmasını sağlayan kuplaj kapasitörler, araç CAN ağı ve radar ağı için iki adet konnektör ve dirençlerdir (Brugnolli vd., 2019).

3.7 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Hedef Tanıma İşlemi

Sistemin radar ile hedef tanıma işlemi Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8: ACC Sistemi Radar İle Hedef Tanıma İşlemi (Olbrich, 1998)

3.7.1 Radar Alıcısı-Vericisi (RTC)

Radar Alıcısı-Vericisi (RTC - Radar Transceiver), kuartz bir substratın üzerinde yer alan Mikrodalga Entegre Devre (MIC - Microwave Integrated Circuit)’ye sahiptir. MIC, enerjinin üç yama anten beslemesine dağıtılmasını sağlar. MIC, alınan ve gönderilen sinyalleri birbirinden ayırır. MIC, üzerinde bulunan üç dengeli mikser ile alınan sinyalleri temel banda çevirir. Temel banda çevrilen sinyaller yükseltici ve filtreden geçirilerek sinyal işleme birimine aktarılır.

3.7.2 Sinyal İşleme Birimi (SPU)

Sinyal İşleme Birimi (SPU - Signal Processing Unit), RTC’yi kontrol ederek öndeki araçların mesafesini, bağlı hızını ve yanal konumunu hesaplamaktadır. SPU üç analog radar sinyalini dijital sinyallere dönüştürür. Ayrıca RTC için giriş sinyali üretir. SPU hızlı seri haberleşme özelliğini kullanarak RPU ile haberleşmektedir.

3.7.3 Regölasyon İşleme Birimi (RPU)

Regölasyon İşleme Birimi (RPU - Regulation Processing Unit), ACC'nin kontrol işlevinin yürütölmesini sağlayan birimdir. Aracın motor ve fren kontrolünü sağlanmakla görevlidir. Ayrıca RPU araca ya da uygulamaya özel verileri depolamak, ara yüz ve arıza belleği oluşturmakla da görevlidir.

3.7.4 Güç Kaynakları ve Konnektör

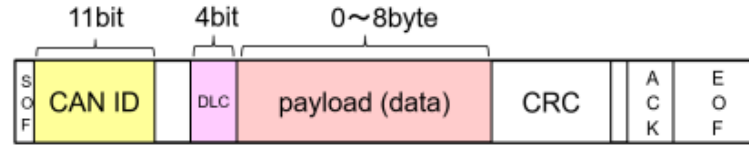
Sistem dijital ve analog devreler için 5 Volt güç kaynağına ihtiyaç duyarken, RTC 8 Volt güç kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Standart ACC 12 pinli konnektöre sahiptir. Ek I/O'lar gerekirse ekstra pinler kullanılabilmektedir (Olbrich vd., 1998).

3.8 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU)

ECU, sürücülerin araçlarının günlük operasyonlarını karmaşık olmayan, ergonomik ve konforlu bir şekilde gerçekleştirmelerine yardımcı olur. Modern araçlardaki pek çok temel işlev araç gövdesi ve güvenlik elektroniği tarafından kontrol edilerek düzenlenmektedir. (Hong-qiang vd., 2007).

3.9 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Denetleyici Alan Ağı Veri Yolu (CAN-Bus)

Modern araç, ECU'ler arasındaki ara bağlantıyı kolaylaştıran milyonlarca kod satırı içeren karmaşık bir teknoloji parçasıdır. ECU'lar arasındaki merkezi haberleşme sistemi CAN veri yolu protokolü ile sağlanmaktadır. CAN mesajı Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO - International Organization for Standardization) tarafından tanımlanmış bir veri yolu protokolünü kullanmaktadır. Modern aracın motor, frenler, direksiyon simidi arasındaki hareketlerinin koordine edilmesi ile sorumlu bu CAN protokolü endüstriyel makineler için tasarlanmıştır. Ancak CAN-Bus protokolünün düşük maliyetli olması ve merkezi sisteme sahip olması nedeniyle araç ağı sistemleri tarafından benimsenmiştir. 11 bit modundaki standart CAN mesajı formatı Şekil 9'da gösterilmiştir (Hossain vd., 2020).



Şekil 9: CAN Mesaj Formatı (Hossain vd., 2020)

Standart CAN çerçevesi, Çerçeve Başlangıcı (SOF - Start of Frame), CAN ID alanı, İndirilebilir İçerik (DLC - Downloadable Content) alanı, veri (payload/data) alanı, Döngüsel Artıklık Denetimi (CRC - Cyclic Redundancy Check) alanı, Onay (ACK - Acknowledge) alanı ve Çerçeve Sonu (EOF - End of Frame) olmak üzere birkaç alandan oluşmaktadır. SOF, tüm düğümlerin sekronize çalışması ve tüm düğümleri bilgilendirmek amacıyla çalışan CAN mesajı iletiminin başlangıç kısmıdır. CAN ID, elektronik kontrol ünitesinin hedef adresidir. DLC, veri alanının bayt uzunluğunu gösteren kısımdır. Veri alanı, ECU tarafından yorumlanan uygulama verilerini içeren alandır. CRC, mesaj iletimi hatalarının tespit etmekten sorumludur. ACK, CAN mesajının uygun şekilde alındığında onaylayan kısımdır. Eğer iletim hatası tespit edilirse gönderici CAN mesajını tekrar göndermektedir. EOF, CAN mesajının sonuna gelindiği gösteren kısımdır. CAN protokolü veri alanı kısmının kapasitesinin 8 byte olması nedeniyle kimlik doğrulama ve şifreleme yapamamaktadır. Kimlik doğrulama ve şifrelemenin olmaması modern araçlar için önemli bir güvenlik sorunu oluşturmaktadır (Hossain vd., 2020).

3.10 Adaptif Hız Sabitleme Sistemi Güvenliği

ACC sistemlerinin iki farklı güvenlik açığı mevcuttur. Güvenlik sorunu oluşturmak isteyen kişi referans aracın hızının düşürüldüğü durumda tam tersi olarak hızını artırarak veya kontrolör referansına müdahale ederek ani bir artış yaratırsa, bir kazaya neden olma şansını artırabilir. Farklı bir güvenlik açığı sorununda saldırgan hız sabitleyiciyi devralarak öndeki arabaya olan mesafeyi ayarlayan referans sinyalinin manipüle edebilir. Manipüle edilmiş sinyal sonucunda çarpışma riski artabilir (Farivar vd., 2020). Modern araçların farklı teknolojiler ile bağlantılı olma özelliği gün geçtikçe artmaktadır. Bağlantılı olma özelliği birden çok ECU ile genişletilebilmektedir. Modern bir arabanın elektronik kontrol üniteleri arasındaki haberleşme CAN-Bus sistemi tarafından sağlanmaktadır. CAN-Bus sisteminin çok sayıda güvenlik saldırısına maruz kalma olasılığının yüksek olmasına rağmen güvenlik koruma mekanizmalarından yoksundur. IoT gibi teknolojilerin hızla büyümesi, internetin hemen hemen

her yerde bulunabilmesi hayatı insanlar için kolay hale getirmiştir. Bu durum temel düzeyde bilgisayar okuryazarlığı olan herkesin kullanabileceği teknolojik kitle imha silahlarının artışına sebep olmaktadır. Arabaların giderek daha fazla birbirleriyle bağlantılı hale gelmesi, bilgisayar korsanları için yeni bir oyun alanı haline gelmektedir (Hong-qiang vd., 2007).

3.11 Adaptif Hız Sabitleme Sisteminin Avantajları-Dezavantajları

Adaptif Hız Sabitleme Sisteminin Avantajları

1. Sıkışık bir trafikte dikkatli hızlanma, yavaşlama ve fren yapma durumlarına yardımcı olur.
2. Kazaları önlemek için kendini ayarlayan trafik sistemi geliştirir.
3. Frenleme ve hızlanma sistematik olduğu için yakıt verimliliği sağlar.

Adaptif Hız Sabitleme Sisteminin Dezavantajları

1. Maliyetli bir sistemdir.
2. Akıllı araç topluluğu oluşturulması için yüksek bir pazar alanı olması gereklidir.
3. Sürücü sisteme güvenerek daha dikkatsiz davranabilir. Sistemin arızalanması kazayla sonuçlanabilir.
4. ACC diğer araçlarla haberleşebilmekte ancak trafik ışıklarıyla doğrudan haberleşememektedir (Sankar, 2014).

4. ULTRA GENİŞ BANT (UWB) TEKNOLOJİSİ

4.1 UWB Tarihçesi

1864 yılında James Clerk Maxwell, zaman ve uzayda hareket eden elektrik ve manyetik dalgaların etkisiyle enerjinin belirli bir hızda taşınabilmesi ile ilgili matematiksel formüller elde etmiştir. Ancak Maxwell bu formülleri deneylerle doğrulayamadığı için sonuçlar netleşmemiştir. Matematiksel teoriyi doğrulama amacıyla 1886-1891 yılları arasında Heinrich Rudolf Hertz bir dizi tarihsel deney yapmıştır. 1886 yılında radyo enerjisi üretmek amacıyla kıvılcım aralığı kullanarak bu tür salınımlar tespit etmiştir. Böylelikle kablosuz haberleşme dönemi başlamıştır. Erken kablosuz haberleşme elle oluşturulan Mors kodu sinyalleşmesine dayanıyordu. 1901 yılında G. Marconi tarafından radyo vericileri ile Atlantik Okyanusu boyunca Mors kodu dizilerini iletmek amacıyla UWB kullanılmıştır. Mors sinyali, alfabetik karakterleri temsil eden nokta ve tire kombinasyonlarında bir taşıyıcı sinyali açıp kapatmaktan oluşur (Siwiak, 2004). 1960-1990 yılları arasında UWB teknolojisi, yüksek güvenli ve haberleşme kapsamında askeri ve savunma uygulamalarında kullanılmıştır. O dönemde Lineer-Zamanla Değişmeyen (LTI - Linear Time-Invariant) sistemleri, bir dürtü uyarısını çıkış tepkileriyle karakterize etmek amaçlanmaktaydı. Darbe uyarı ve ölçüm teknikleri gelişmediği için dürtü yanıtını ölçmek mümkün değildi. Bir LTI sisteminin herhangi bir $x(t)$ girdi yanıtına çıkış yanıtı $y(t)$ konvolüsyon teoremi ile belirlenir.

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau)x(t - \tau)d\tau \quad (11)$$

1989'da bu teknikler ABD Savunma Bakanlığı tarafından UWB olarak isimlendirilmiştir. 1989 yılına kadar UWB teorisi 30 yıllık bir gelişim yaşamıştır. Kısa darbeleri, düşük güçlü radyo sinyallerini kullanarak geniş frekans spektrumunda çok miktarda dijital verinin iletilmesi için 500 MHz'den fazla bant genişliği kullanır. UWB'nin 3.1-10.6 GHz'de lisanssız kullanımına Federal Haberleşme Kurulu (FCC - Federal Communications Commission) tarafından 14 Şubat 2002 tarihinde izin verilmiştir. Böylelikle hem uzun mesafede düşük veri hızına sahip sistemlerde hem de yüksek veri hızına sahip Kişisel Alan Ağı (PAN - Personal Area Network) sistemlerinde kullanılmaktadır (Kshetrimayum, 2009). UWB haberleşme sistemleri büyük bant genişliğine sahip olması sebebiyle sinyal sağlamlığı, bilgi aktarım hızı, uygulama basitliği özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. UWB'nin tarihi 19. yüzyıla kadar uzansa da teknolojik,

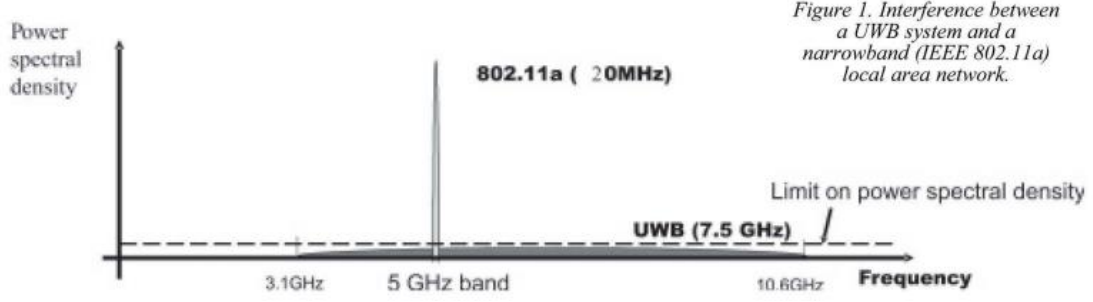
politik ve ekonomik koşulların bir araya gelmesi UWB sistemlerinin yaygın ticari kullanımının daha geç bir tarihte olmasını mümkün kılmıştır (Molisch, 2009). Sonuç olarak, UWB'deki araştırmalar son zamanlarda çarpıcı bir şekilde yayılmıştır.

4.2 UWB Genel Bilgileri

Mikroişlemci ve yarı iletken teknolojisindeki son gelişmeler UWB'yi ticari uygulamalar için hazır hale getirmiştir. Radyonun iletilen gücü 50 kW, televizyonun 100 kW, IEEE 802.11a kablosuz yerel alan ağı 1 W ve 2G hücresel aygıtların 500 mW iken, UWB sistemlerin iletilen gücü çok daha az ve 0.5 mW civarındadır. Güç Spektral Yoğunluğu (PSD - Power Spectral Density), UWB sistemlerinde diğer kablosuz haberleşme sistemlerine göre oldukça azdır. Güç spektral yoğunluğu Hertz başına denk gelen Watt olarak ifade edilir. UWB'nin güç spektral yoğunluğunun az olması diğer radyo haberleşme araçlarıyla aynı ortamda sorunsuz çalışabilmesini ve dar bant kablosuz haberleşme alıcıları tarafından tespit ve müdahaleye karşı bağışıklık kazanmasını sağlamaktadır.

$$C = BW \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (12)$$

Bilgi iletim kanalının kanal kapasitesi C (bit/saniye), ortalama sinyal gücü S (Watt), bant genişliği BW (Hz) ve gürültü N olarak ifade edilmektedir. Shannon denkleminde göre kanal kapasitesi arttıkça bant genişliği de doğrusal olarak artmaktadır. Kapasite arttıkça güçte üstel artışlar gerektirir. UWB teknolojisi çok düşük güçle yüksek veri hızına ulaşabilmektedir (Kshetrimayum, 2009). UWB teknolojisi sayesinde kişisel alan ağı üzerinden yüksek hızlı haberleşme sağlanarak çok geniş bir spektrum alanına erişim sağlanır. Dar bant sistemleri, bir sinyali diğerinden kanalize edilmiş frekanslarla ayırırken, UWB geleneksel olarak birbirinden ayrılma şekli olarak zaman içinde ayırmayı kullanır. UWB sinyallerinin bant genişliği, veri modülasyonunun bant genişliğinden fazla olduğu için büyük kapasiteye sahip sistemler ortaya çıkarabilir (Siwiak, 2004). UWB sistemlerine olan ilgi, esas olarak, mevcut sistemlerin üzerine bindirme olarak kullanılabilmelerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 10'da görüldüğü gibi UWB eski sistemlere paralel olarak yeni spektrum gerektirmeyen sistemlerdir.



Şekil 10: UWB ve IEEE 802.11.a Güç Spektral Yoğunluğu (Molisch, 2009)

Herhangi bir sistemin iletim gücü güç spektral yoğunluğu ve bant genişliğinin çarpımı olarak ifade edilebilir. Büyük bir bant genişliği böylece makul iletim gücüne sahip bir sistemin (örneğin, 1 mW veya daha az mertebesinde) son derece düşük bir güç spektral yoğunluğu sergilemesini sağlar. Bir dar bant alıcısı toplam iletim gücünün küçük bir kısmını görebilmektedir. Bu, dar bant sistemlere müdahalenin çok küçük olduğu anlamına gelir. Büyük bant genişliği 10 metreden kısa mesafelerde 100 Mbit/s'den büyük veri hızlarının iletilmesine izin verir. Buna karşın, bant genişliği ve veri hızı arasındaki orandan yararlanarak geniş mesafelerde 1 Mbit/s'den düşük veri hızıyla haberleşme sağlar. Büyük bir mutlak bant genişliği, büyük veri hızlarını veya yayılma faktörlerini etkinleştirmenin yanı sıra başka önemli faydalara da sahiptir:

- Radar ve coğrafi konum belirlemede çok iyi çözünürlük sağlar.
- Yüksek derecede frekans çeşitliliği ve çözülebilir çok yollu bileşenlerin sönümlenme derinliğinde bir azalma sunarak sönümlenmeye karşı yüksek bir esneklik yaratır ve geleneksel dar bant sistemlerine göre önemli avantajlar sağlar.
- Sinyallerin farklı frekans bileşenleri, farklı yayılma koşullarından dolayı engelleri aşma veya başka bir şekilde vericiden alıcıya geçme olasılığı yüksektir. Sinyal gölgeleme etkilerine karşı daha sağlamdır (Molisch, 2009).

Elektromanyetik spektrum, çeşitli haberleşme biçimleri için kullanılan sonlu bir frekans aralığına sahiptir. UWB, geniş bir frekans aralığında çalışan piko saniye ya da nano saniye darbelerini kullanmaktadır. Geniş bant antenler, bu tür darbeleri kısa bir süre için iletemezler ve bu da dağılmaya ve haberleşmenin bozulmasına yol açar. Bu durum UWB teknolojisinin son birkaç yılda ivme kazanmasını sağlamıştır. FCC, bir UWB spektrumunu kesirli bant genişliğini 0,2'den büyük olarak tanımlamıştır. Kesirli Bant Genişliği (FBW – Fractional Bandwidth)

formülü aşağıdaki gibidir. Burada üst 10 dB kesme frekansı f_H ile gösterilirken, alt 10 dB kesme frekansı f_L ile gösterilir.

$$FBW = 2 * \frac{(f_H - f_L)}{(f_H + f_L)} \quad (13)$$

UWB teknolojisinde mutlak bant genişliği 500 MHz'den büyüktür. Bu teknolojiye kullanılan darbeler kısa darbe genişliğine sahiptir ve büyük bir bant genişliği işgal eder. Hızları, Kablosuz Sensör Ağında (WSN - Wireless Sensor Network) kullanılan tipik olarak 100 Kbps'den 1 Gbps'lik diğer yüksek hızlı haberleşmelere kadar değişir. Deprem veya çığ sırasında acil iletişim, patlamamış mayın tespiti, otoyol ve bina gibi inşaat mühendisliği yapılarının sağlık kontrolü ve etkin tarım uygulamaları için yeraltı toprak katmanlarındaki su tespiti gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır (Kumar vd., 2022).

4.3 UWB Konsorsiyumları ve İttifakları

Birlikte çalışabilirlik, UWB'nin toplu olarak benimsenmesini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle farklı ürünlerin, sistemlerin veya uygulamaların birlikte güvenle çalışması önemli bir detaydır. Yarı iletken tedarikçilerinden cihaz üreticilerine ve test ekipmanı satıcılarına kadar UWB endüstrisindeki farklı oyuncular, birlikte çalışabilirlik ihtiyacını karşılamaya şimdiden başlamıştır. Bazı konsorsiyumlar UWB ürünlerinin birlikte çalışabilmesi için iş birliği yapmaktadır. Aracınızın telefonunuzla konuşmasını, telefonunuzun kapı kilidinizle konuşmasını ve telefonunuzun konum altyapısı ile haberleşme kurmasını sağlayan protokoller oluşturmak amaçlananlar arasındadır.

- **FiRa Konsorsiyumu:** UWB teknolojisinin yaygın olarak benimsenmesini üstlenen Hassas Aralık (FiRa - Fine Range), UWB teknolojisinin bir hedefe olan mesafeyi ölçerken veya konumu belirlerken doğruluk ve güvenlik sağlama konusundaki benzersiz yeteneğini vurgulamaktadır. İç mekân konum ve navigasyonu gibi birçok uygulama endüstride kullanım örneklerindendir. Bu konsorsiyumun misyonu, UWB ürünleri ile birlikte çalışabilirliği arttırmak için test spesifikasyonları, sertifika programları ve etkinlikler geliştirmektir.
- **Araç Bağlantı Konsorsiyumu (CCC):** Akıllı telefondan araca bağlantı çözümleri için küresel teknolojiler geliştiren sektörler arası bir kuruluştur. Otomobil üreticileri veya tedarikçileri, yarı iletken malzeme tedarikçileri ve uygulama geliştiricileri bu

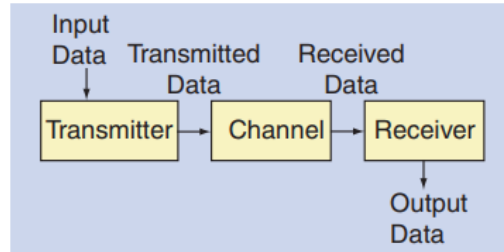
konsorsiyumdur. CCC, akıllı telefonlar, akıllı saatler ve benzeri cihazların bir araç anahtarı görevi görmesine olanak tanıyan bir dijital anahtarı geliştirmektedir. UWB kullanarak dijital anahtarların güvenli, depolanabilir ve paylaşılabilir olarak çalışmasını sağlar.

- **UWB İttifakı:** UWB'ye uygun bir spektrum yönetimi ortamı sağlamak amacıyla küresel düzenleme organları ve organizasyonları birlikte çalışmaktadır. Diğer standartlardan gelen girişimleri azaltmak için spektrum paylaşımı optimize edilmektedir.

UWB, önde gelen akıllı telefonlara ve çok çeşitli diğer cihazlara dahil edilmektedir bu nedenle ileriki yıllarda her yerde bulunacaktır. UWB, iç ve dış mekanlarda güvenli ve gerçek zamanlı olarak benzersiz bir doğrulukla konum, mesafe ve yön hesaplama yeteneğine sahiptir (Qorvo, 2021).

4.4 UWB Haberleşmesi Sistem Modeli

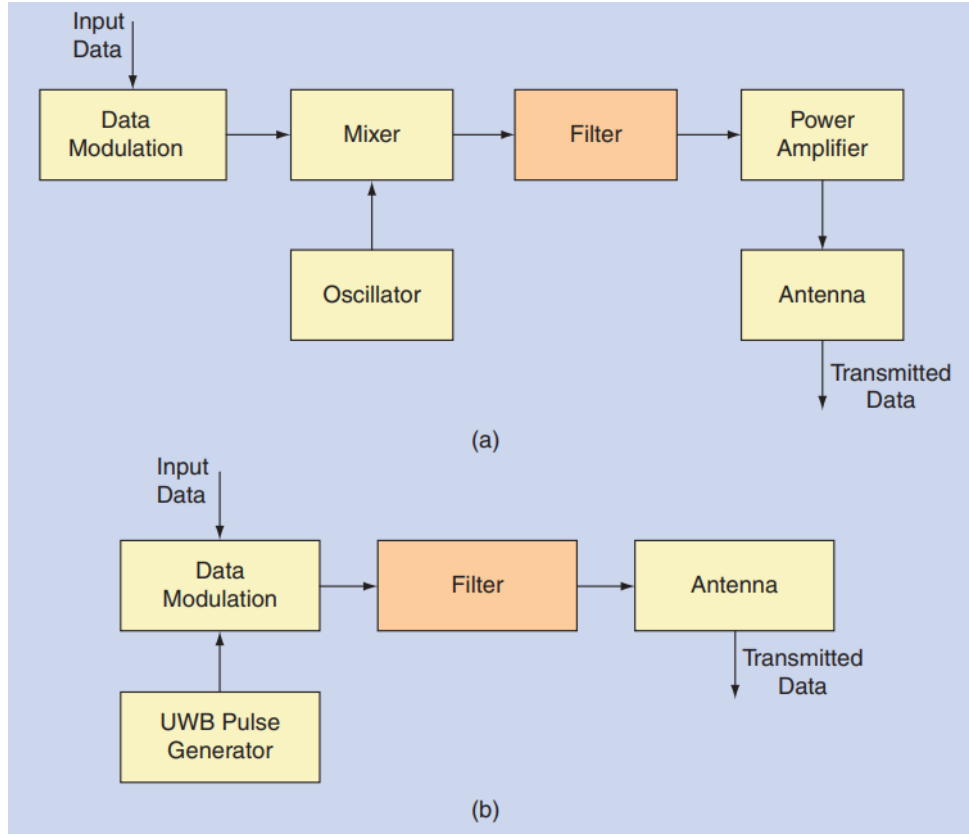
UWB haberleşme sistemleri, tek hatlı (single-link) haberleşme sisteminin genel bir modelini göstermektedir. Şekil 11'de gösterildiği gibi sistem modeli transmitter (verici), channel (kanal) ve bir receiver (alıcı) olmak üzere üç ana bloktan oluşur.



Şekil 11: UWB'nin Üç Ana Bloğu (Kshetrimayum, 2009)

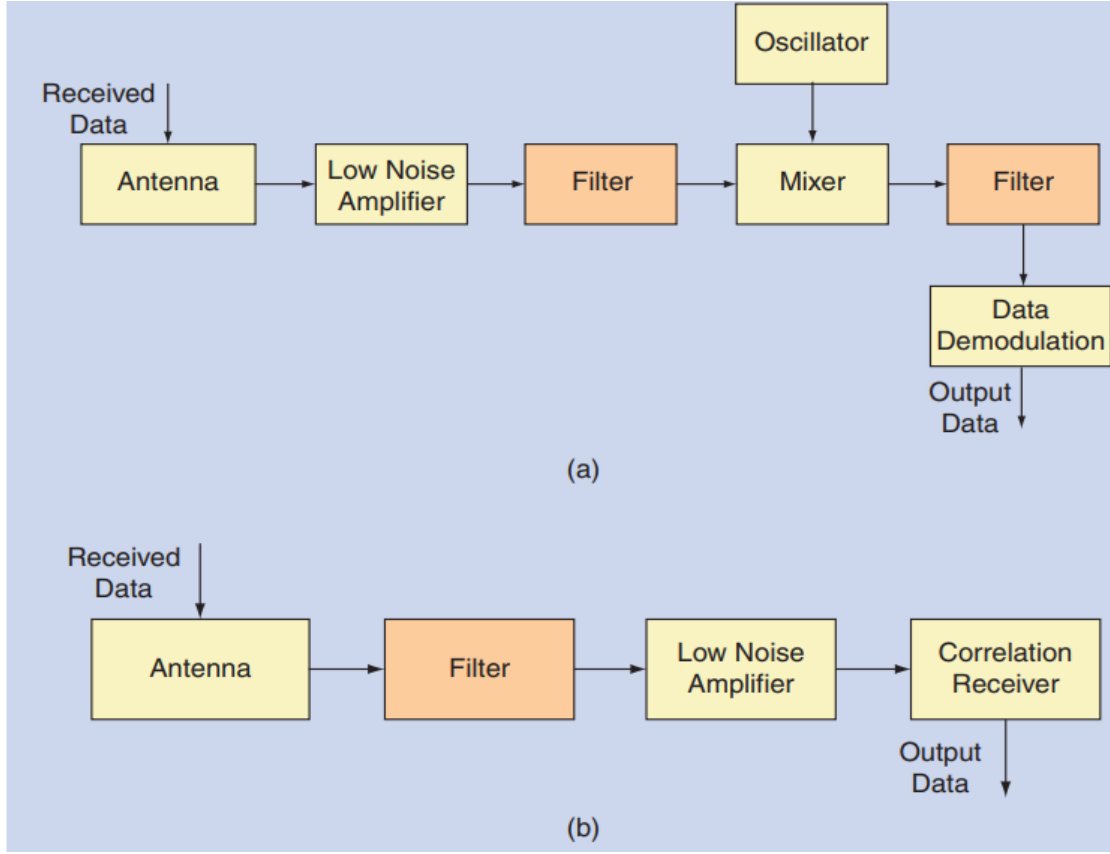
Kaynaktan hedefe gönderilecek mesajlar giriş verisi (input data) olarak vericiye gönderilir. Vericinin görevi, radyo dalgalarını yaymayı veya almayı sağlayan anten yardımıyla mesajı kanala iletme. Veri modülasyonu ile taşıyıcı sinyalin genlik, faz veya frekans gibi özelliklerinin mesaj sinyaline göre sistematik olarak değişimi sağlanabilir. Gürültüyü azaltmak veya gürültüye müdahale etmek, iletişim gibi amaçlarla bir mesaj modüle edilebilmektedir. Ayrıca Şekil 12(a)'da gösterildiği gibi verici karıştırıcı (mixer), filtre (filter) ve yükselteç (amplifier) görevlerini üstlenmektedir. İdeal bir karıştırıcı iki giriş sinyalinin toplam ve fark

frekanslarından oluşan bir çıkış üretir. Daha sonra filtreleme ve sinyal gücünün yükseltilmesi amacıyla güç yükselteci (power amplifier) kullanılır.



Şekil 12: Dar Bant (a) ve UWB (b) Verici Blok Şeması (Kshetrimayum, 2009)

İletilen verilerin alıcıya ulaşmasında kanallar rol oynar. Aktarılan veriler kanaldan geçtiğinde istenmeyen etkiler oluşabilir. Ortamdaki gürültü veya engeller nedeniyle vericiden gelen sinyaller engellenebilir. Alıcı, alınan sinyalden istenen mesajın oluşturulmasını sağlamakla görevlidir. Sinyalin çok zayıf olduğu durumda Düşük Gürültü Yükselteci (LNA - Low Noise Amplifier) ile sinyal yükseltilebilir. LNA kullanılırken sinyal ile birlikte sinyalin gürültüsünün de yükseltilmemesi için filtre yardımıyla sinyalin gürültü bileşenleri filtrelendir. Sinyal karıştırıcıdan geçirilerek sinyalin iki frekansı elde edilir. Karıştırıcıdan sonraki filtre daha yüksek frekanslı bileşeni filtreler. Verici tarafından gönderilen mesajın alınması için alıcı sinyali demodüle eder. Veri demodülasyonundan sonra kaynaktan gelen mesaj alınabilir.



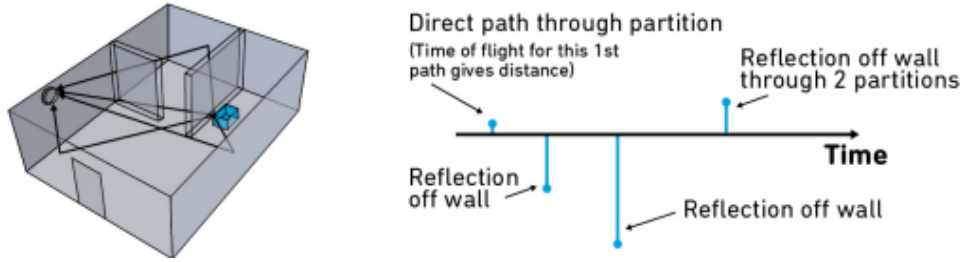
Şekil 13: Dar Bant (a) ve UWB (b) Alıcı Blok Şeması (Kshetrimayum, 2009)

UWB haberleşmesinin diğer haberleşme tekniklerinden temel farkı verici-alıcı haberleşmesinin sağlaması için UWB darbe üreticinden (pulse generator) üretilen Radyo Frekansı (RF - Radio Frequency) darbeleridir. Fourier analizinde zaman alanındaki kısa sinyal frekans alanında geniş bir spektrum üretir, dolayısıyla kısa süreli darbeler kullanılarak çok geniş bir bant genişliğinin üretilmesi sağlanmaktadır. Geleneksel iletimler modülasyon olarak bilinen sinüzoidal dalganın gücünü/frekansını/fazını değiştirerek bilgi iletmesi açısından UWB radyo iletiminden farklı bir özelliğe sahiptirler. UWB iletimleri belirli zamanda radyo enerjisi üreterek ve geniş bant alanını işgal ederek bilgi iletebilir. UWB iletimi belirli bir taşıyıcı frekansına sahip ve sürekli bir dalga biçiminde modüle edilmediği için taşıyıcısız iletimdir. Taşıyıcısız iletim taşıyıcılı iletme göre daha az RF bileşenine ihtiyaç duymaktadır. RF bileşenine ihtiyacın az olması UWB alıcı-verici mimarisinin daha basit ve ucuza inşa edilmesini sağlar. UWB iletimi taşıyıcısız olduğu için karıştırıcılara ve yerel osilatörlere gerek yoktur. Karıştırıcılar ve yerel osilatörler mevcut frekansı gerekli frekans bandına çevirmek için kullanılırlar. UWB alıcı

verici mimarisi daha az karmaşık bir yapıya sahiptir. UWB vericilerinde düşük güçlü darbelerin iletimi güç yükselteci ihtiyacını ortadan kaldırmıştır (Kshetrimayum, 2009).

4.5 UWB Konum Ölçüm Topolojileri

UWB, zaman damgalı sinyalleri kullanarak sinyallerin cihazlar arasında seyahat etme süresini hesaplar ve ardından mesafeyi elde etmek için süreyi sinyal hızıyla (ışık hızı) çarpar.

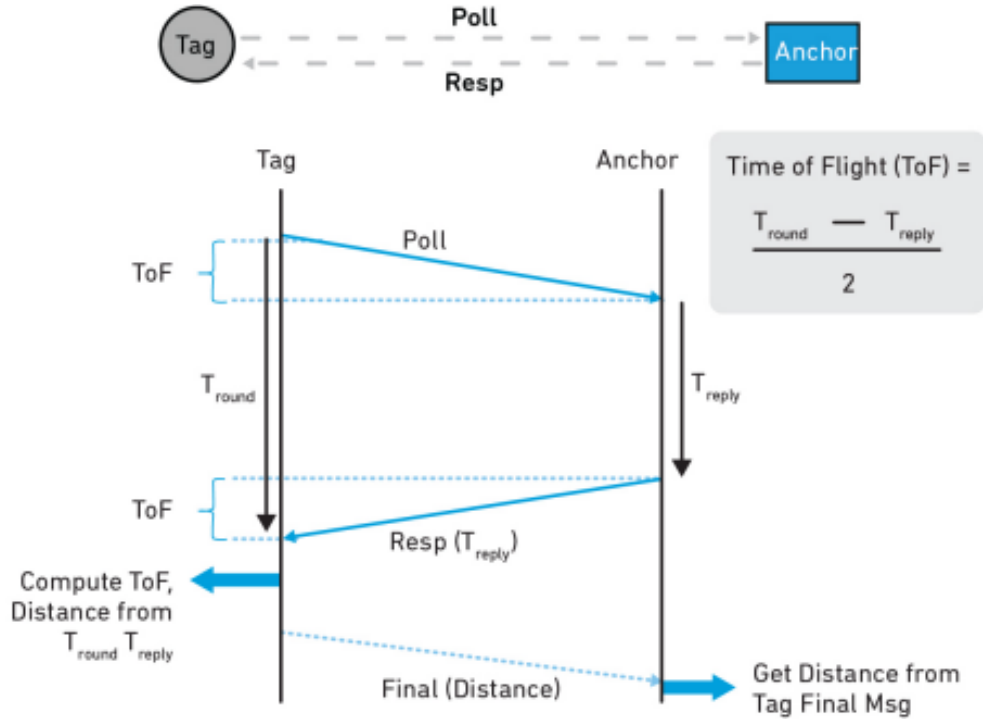


Şekil 14: UWB'nin Çok Yollu Etkilere Karşı Direnci (Qorvo, 2021)

Şekil 14'ü incelediğimizde Uçuş Süresi (ToF - Time of Flight) kullanımının iç mekân ortamında mesafe hesabına oldukça katkı sağladığı görülebilmektedir. Mavi cihaz tarafından yollanan UWB sinyalleri, birkaç farklı yoldan gri cihaza ulaşır. İlk yol araya giren duvardan doğrudan gri cihaza ulaşan yoldur. Diğer yollar yansımalar içeren uzun yollardır. Doğrudan yol en kısa yol olması nedeniyle diğer yollar göz ardı edilerek ToF hesaplamak amaçlı kullanılır. Bu yöntemin sinyal gücü ile herhangi bir ilişkisi yoktur. Alınan sinyal gücüne dayanan konum ölçüm teknolojileri, iç mekânlarda yanıltıcı mesafe ve konum ölçümleri üretebilir. Zayıf bir sinyal gücü, sinyal bir duvardan geçtiği için zayıflatılmış olmasına rağmen verici nesnenin daha uzakta olduğunun düşünülmesine neden olabilir. Bu nedenle UWB teknolojisi farklı ihtiyaçları karşılamak amacıyla farklı yöntemlerde uygulanabilir bir teknolojidir. UWB ile mesafe ve konum ölçümünü anlamak için "sabit etiket" ve "mobil etiket" terimlerini bilmek önemlidir. Sabit etiket cihazı daha önceden konumu belirlenmiş bir alanda sabit şekilde duran UWB cihazlarıdır. Mobil etiket ise konumu sürekli olarak değişen ve konumunun belirlenmesi istenen cihazdır. Mobil etiketler ve sabit etiketler aralarındaki mesafeyi belirlemek amacıyla birbirleriyle bilgi alışverişinde bulunurlar. UWB'nin başlıca topolojileri alt başlıklarda anlatılmıştır.

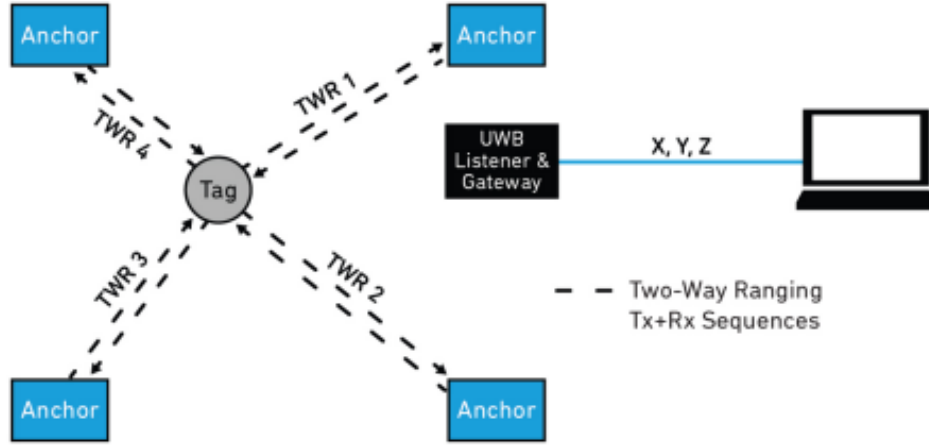
4.5.1 İki Yönlü Aralık (TWR)

TWR yöntemi, UWB RF sinyallerinin aralarında sinyal alışverişi için geçen uçuş süresini belirler ve ardından bu süreyi ışık hızıyla çarparak bir mobil etiket ile bir sabit etiket arasındaki mesafeyi hesaplar. TWR metodu kullanımına anahtarsız araç giriş sistemi, güvenli ve doğru mesafe tespit uygulamaları örnek gösterilebilir.

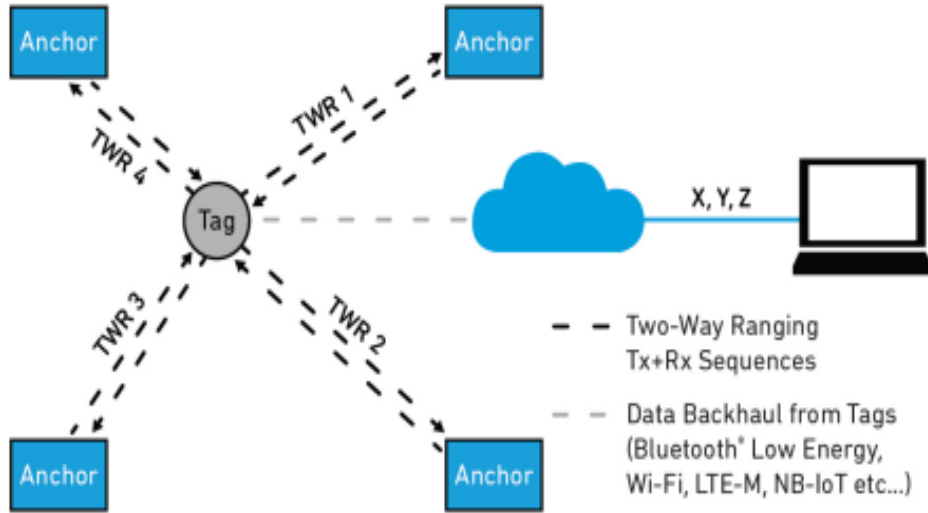


Şekil 15: Mobil Etiket (Tag) ve Sabit Etiket (Anchor) Arasındaki TWR (Qorvo, 2021)

Şekil 15’de gösterildiği gibi mobil etiket, adresi belli olan bir sabit etikete mesaj göndererek TWR’yi başlatır. Sabit etiket, yoklama mesajını aldığı zamanı kaydeder ve bir yanıt gönderir. Sinyalin gidiş-dönüş süresi T_{round} ve ilk yoklama mesajının işlemesi ve yanıtlanması için geçen süreye T_{reply} olarak ifade edilir. ToF bu iki süreye göre hesaplanır. Mobil etiket ve sabit etiket arasındaki mesafe ışık hızı ile ToF’nin çarpımıdır. Bazı durumlarda mobil etiket son mesajında hesaplanan mesafeyi iletebilmektedir. Her sabit etiketin kendine ait bir anteni bulunmaktadır. TWR ile doğru konumu belirlemek için birden fazla sabit etiket kullanılabilir. Adresleri belirli üç veya daha fazla sabit etiket konumun doğruluğunu artırır.



Şekil 16: 2D ve 3D Varlıklar Arasında TWR (Qorvo, 2021)



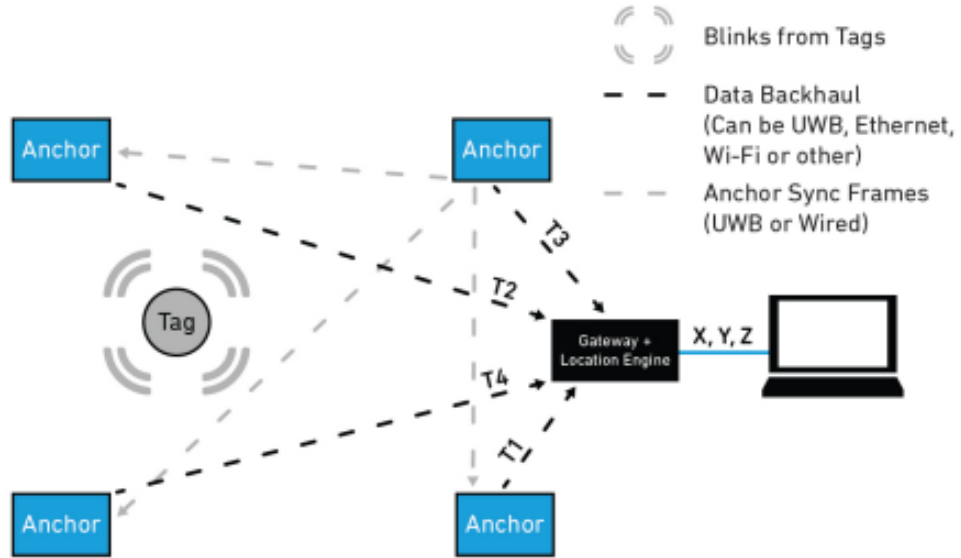
Şekil 17: Veri Etiket Ana Taşıyıcısı ile TWR (Qorvo, 2021)

Ayrıca Şekil 16 ve Şekil 17'de gösterildiği gibi, UWB veya diğer kablosuz teknolojiler aracılığıyla konum tabanlı uygulamalara veya ağ geçitlerine mesafeyi iletebilir. Konum ölçümü için TWR'yi bu şekilde kullanmanın dezavantajı, mobil etiket çok fazla haberleşme yapmasının gerekmesidir, bu da güç tüketimini artırır ve ölçeklenebilirliği sınırlar.

4.5.2 Varış Zaman Farkı (TDoA)

Varış Zaman Farkı (TDoA - Time Difference of Arrival) yöntemi, bir mekân içindeki mobil etiketlerin yerini belirlemek için son derece ölçeklenebilir bir yöntemdir. Mobil etiketler konum belirleme sırasında yalnızca bir kez sinyal iletilmesi gerektiği için çok az güç kullanırlar. Çok az güç kullanılması pil ömrünün uzun olmasını sağlamaktadır. Sabit ve adresi bilinen

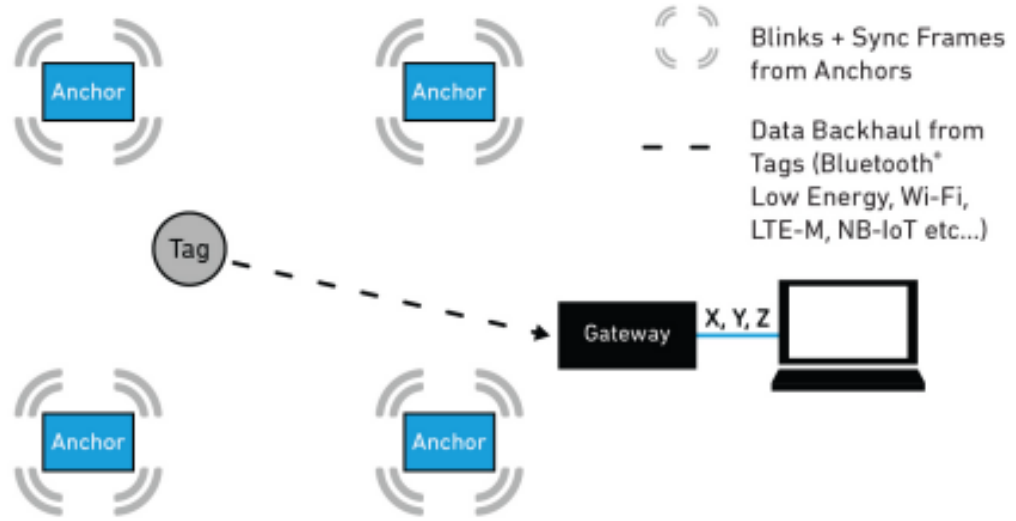
konumlara sabit etiketler yerleştirilerek zaman senkronize edilir. Bir mobil cihaz bir sinyal gönderdiğinde sinyali alan her sabit etiket ortak senkronize zaman tabanına dayalı bir şekilde varış zamanını kaydeder. Birden çok bağlantıdan gelen zaman kayıtları daha sonra, sinyalin her bağlantıya ulaştığı zamandaki farklılıklara dayalı olarak cihazın konumunu belirlemek için çok yönlü algoritmalar çalıştıran bir merkezi konum motoruna iletilir. Şekil 18'de gösterildiği gibi mobil etiket için bir 2 boyutlu veya 3 boyutlu konum belirlenir.



Şekil 18: TDoA ile Lokasyon Belirleme (Qorvo, 2021)

4.5.3 Ters Varış Zaman Farkı (Ters TDoA)

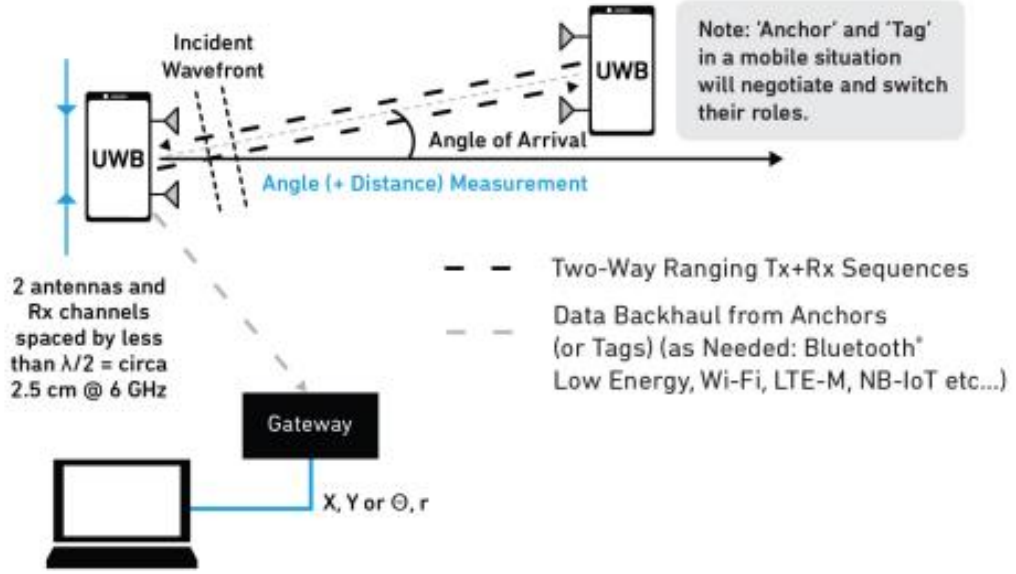
Ters Varış Zaman Farkı (Ters TDoA – Reverse Time Difference of Arrival) yöntemi, GPS sistemine benzer olarak çalışır. Sabit etiketler çarpışmaları önlemek için sabit/bilinen ofsetlerle senkronize sinyalleri iletmekle görevlidir. Mobil etiketlerin konumlarını hesaplamak için Şekil 19'da gösterildiği gibi ters TDoA kullanılır.



Şekil 19: Ters TDoA (Qorvo, 2021)

4.5.4 Varış Faz Farkı (PDoA)

Varış Faz Farkı (PDoA - Phase Difference of Arrival) yöntemi, iki cihazın başka bir altyapıya ihtiyaç duymadan, mesafe ve yön bilgisi kombinasyonunu kullanarak göreceli konumlarını hesaplamasını sağlar. Bu, cihazlar arası uygulamalar için veya altyapı miktarını azaltmak için çok önemlidir. Varış faz farkı hesabı için cihazlardan birinin en az iki antene ihtiyacı vardır. Cihaz diğer cihazdan bir sinyal aldığı anda, her bir antende gelen sinyalin faz farkını ölçer. Bu bilgiler doğrultusunda, gelen sinyalin geldiği açı hesaplanabilir. Alıcı cihaz verici cihazın hem yönünü hem de mesafesini öğrenmiş olur. Yöntem Şekil 20’de gösterilmiştir (Qorvo, 2021).



Şekil 20: PDoA (Qorvo, 2021)

4.6 UWB'nin Avantajları – Dezavantajları

4.6.1 UWB'nin Avantajları

- Gelecek nesil haberleşme sistemlerinde hareketlilik, esneklik ve veri hızı büyük önem taşıyacaktır. Bu nedenle UWB haberleşmesi gelecek nesil haberleşme sistemleri için büyük bir avantaj sağlamaktadır.
- UWB yayımlı spektrumlu sinyalleşmenin bir biçimi olan darbeleri radyo, yoğun çok yollu ortamlarda kısa mesafeli haberleşme için uygundur.
- UWB teknolojisi gürültülü ortamlarda çalıştığında düşük SNR olmasına rağmen yüksek veri hızına ulaşmayı sağlar.
- UWB cihazları basit alıcı-verici mimarisine sahip olduğu için çok düşük iletim gücüne sahiptir. Düşük güç tüketimine sahip cihazlar uzun pil ömrüne de sahiptir.
- UWB sistemler çok düşük güçte güvenli haberleşme sağladığı için UWB cihazları aynı frekans bölgesinde çalışan diğer elektronik kullanıcılarla bir arada bulunabilir.

- UWB teknolojisi yüksek güvenilirlik sağlayan bir sistem olduğu için askeri uygulamalarda kullanıma çok uygundur.
- UWB teknolojisi yonga setleri, osilatörler, karıştırıcılar ve diğer filtreler gerektirmediği için düşük maliyet ve minimum donanım avantajına sahiptir.
- UWB'nin darbeleri çok kısa olduğu için çoğu sinyal yansıması orijinal darbe ile örtüşmez bu nedenle dar bant sinyallerinin geleneksel çok yollu sönümlemesi mevcut değildir.
- UWB, yüksek güvenilirliğe sahip mikro konum tabanlı uygulamalar için optimize edilmiş IEEE 802.15.4a/z standart teknolojisidir. Radyo sinyallerinin cihazlar arasında seyahat etmesi için geçen süreyi ölçerek, mesafe ve konumun iç veya dış mekânlarda birkaç santimetre içinde hesaplanmasını sağlar.
- UWB için en büyük potansiyel, tamamen yeni nesil mikro konum tabanlı sistemlerdedir. Wi-Fi ve GPS birçok popüler uygulamanın gelişmesinde rol oynamıştır. UWB'nin de yeni deneyimler ve yetenekler sunmak için son derece hassas konum ve mesafe algılama kullanan bir uygulama dalgasını mümkün kılacağı düşünülmektedir.
- UWB'nin çok düşük gecikme süresi vardır, bu da Wi-Fi ve Bluetooth'un aksine gerçek zamanlı konum için kullanılabileceği anlamına gelir. Saniyede 1.000 kata kadar güncelleme ile GPS'den 50 kat daha hızlıdır.

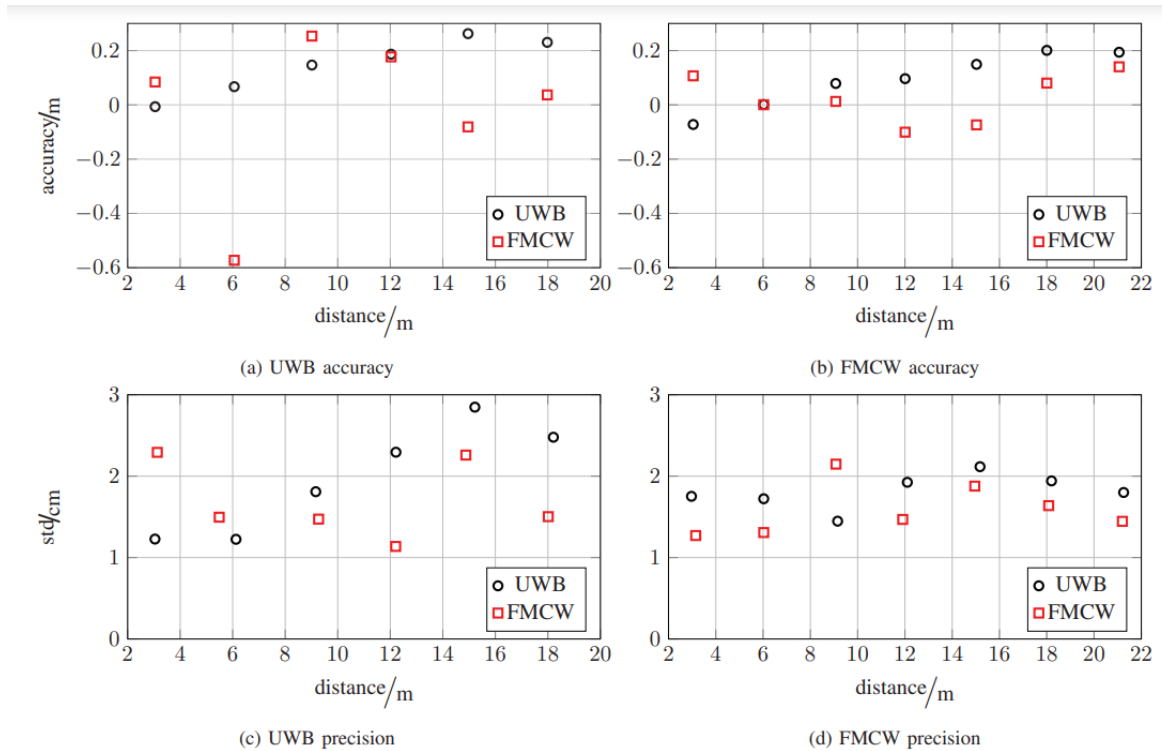
4.6.2 UWB'nin Dezavantajları

- UWB sistemlerinin IEEE 802.11a cihazları diğer radyo sistemlerine müdahale etmemesi için FCC tarafından konulan bazı düzenleyici kuralları vardır.
- UWB haberleşmesi cihazları geniş bir frekans spektrumuna sahip olduğu için, girişimin azaltılması veya bir arada bulunan kullanıcılardan kaçınılması UWB teknolojisinin temel sorunudur.
- Taşıyıcısız sistem, gürültülü ortamlardan veri kurtarması gerektiğinde karmaşık sinyal işleme tekniklerine güvenmek zorunda kalmaktadır.
- Bir verici ve alıcının bit senkronizasyonunu gerçekleştirme süresi birkaç milisaniye kadar yüksek olması nedeniyle kanal edinme süresi çok yüksektir. Bu özellik aralıklı haberleşme için performansı önemli ölçüde etkilemektedir.

4.7 FMCW Radar ile UWB Teknolojisinin Karşılaştırılması

UWB ve FMCW sistemlerinin aynı senkronizasyon protokolü olan TWR kullanarak ve aynı frekans aralığında (2.4 GHz - 9 GHz) doğruluk, maksimum menzil, güncelleme hızı ve güç verimliliği açısından karşılaştırılmıştır (Figuerola vd., 2016).

Aşağıdaki grafikleri incelersek, Şekil 21(a) ve 21(b)'den istisnalar haricinde yoğunlukla FMCW radarı için doğruluğun $\pm 0,1$ m ve UWB için $\pm 0,2$ m aralığında olduğu görülmektedir. FMCW'nin doğruluğu UWB ile kıyaslandığında FMCW'nin az da olsa daha iyi doğruluk oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ancak UWB'nin doğruluk oranı yazılım ile kolayca telafi edilerek iyileştirilebilir. Şekil 21'deki (c) ve (d) grafikleri incelendiğinde iç ve dış mekân ölçümünde hem FMCW hem de UWB için ölçüm mesafesine ilişkin standart sapma görülmektedir. İç mekânlarda yansıma ve çok yollu etkilerin olması UWB sisteminin iç mekânlarda kullanım durumunda ölçüm kalitesinin düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 21: UWB ve FMCW Doğruluk ve Kesinlik Ölçümleri (Figuerola vd., 2016)

UWB kurulumu, 400 Hz alanında çok yüksek hızlara sahiptir. Bu farklı bir donanım kullanımıyla geliştirilebilir. Yansıma kaynaklarının olmadığı bir dış ortamda hareketli hedeflerle ölçümler yapılmıştır. Etiket yavaşça ana bilgisayara doğru hareket ettirilmiştir ve değişen sonuçlar sürekli olarak kaydedilmiştir. UWB uygulamasının daha yüksek güncelleme oranı ve değişen sonuçların tutarlılığı gibi birçok avantajı mevcuttur. FMCW kurulumu, hareket üzerine yansımaların neden olduğu ani yükselmelerden zarar görmüştür.

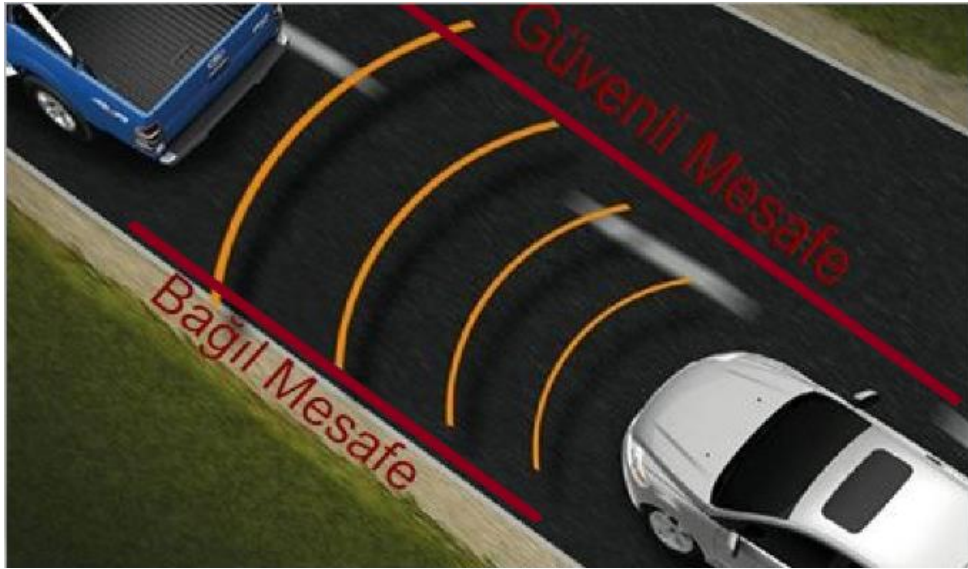
UWB sistemi maksimum menzilde %10 paket kaybı oranında 240 metrelik teorik sınırı sahiptir. FMCW çok daha yüksek iletim gücüne sahip olması nedeniyle yüksek menzillere ulaşım da daha avantajlıdır.

Bu durumda UWB'nin FMCW'ye göre bazı konularda dezavantajları olmasının yanında birçok konuda da avantajının olduğu anlaşılmaktadır.

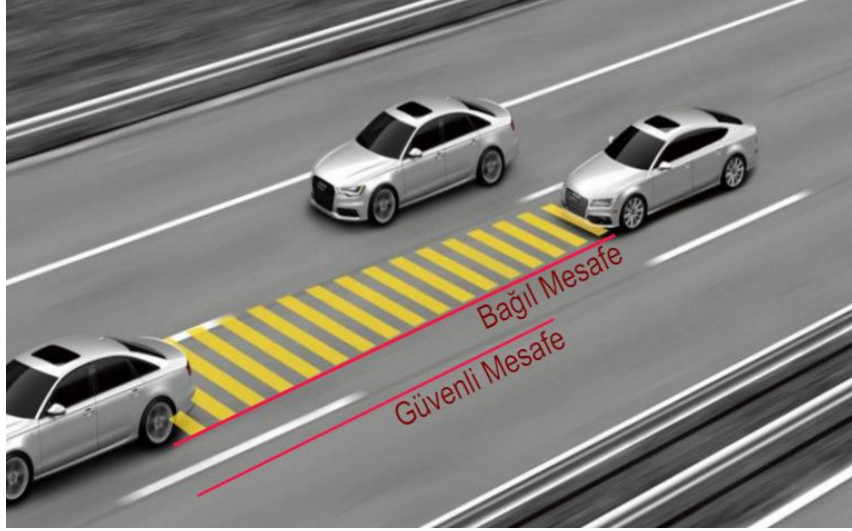
5. UWB ENTEGRE EDİLMİŞ HIZ SABİTLEME MODELİ

5.1 UWB Entegre Edilmiş Adaptif Hız Sabitleme Sisteminin Amacı

Trafikte aynı şeritte arka arkaya seyir halinde giden iki araç arası mesafeye araç takip mesafesi denilmektedir. Arkadaki araç öndeki araca güvenli takip mesafesinden daha yakın olduğunda öndeki aracın ani fren yapması durumunda kaza yapma olasılığı artar. Çok hızlı ilerleyen aracın durması zordur. Bu nedenle seyir halindeki araçların güvenli takip mesafesini koruması trafik güvenliği için oldukça önemlidir. Takip mesafesinin kaç metre olduğunu bilerek takip mesafesi ihlalinin yaşanmasını önlemek mesafe kaynaklı trafik kazalarını azaltmaktadır. Şekil 22’de güvenli mesafeyi ihlal etmiş iki araç görseli bulunmaktadır. Şekil 23’te ise iki araç arası mesafe oldukça uzundur. Arkadaki araç güvenli mesafe kadar öndeki araca yaklaşabilir.



Şekil 22: Güvenli Mesafeyi İhlal Etmiş Araçlar

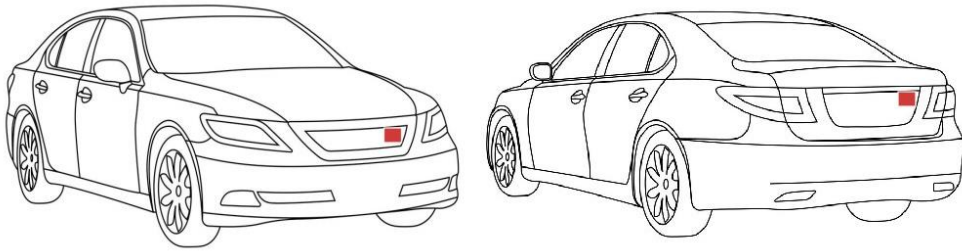


Şekil 23: Güvenli Mesafede İlerleyen Araçlar

Bu tez çalışmasında iki araç arası güvenli mesafenin otonom hale getirilerek takip mesafesi kaynaklı trafik kazalarının en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Araçların ön ve arka yüzüne UWB sinyalleri gönderen UWB etiketi takılarak güvenli mesafenin yüksek doğrulukla hesaplanması sağlanır. UWB teknolojisi yardımıyla elde edilen mesafe verileri ACC sistemine gönderilir. ACC sistemi aracın olması gerekenden daha hızlı gitmesini engeller. Sistemde UWB etiketi kullanılmasının en büyük nedeni UWB sinyallerinin hassas ölçüm yapmadaki başarısıdır. Bu sistem ile güvenli mesafe otonom şekilde sağlanarak mesafe kaynaklı kazaların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

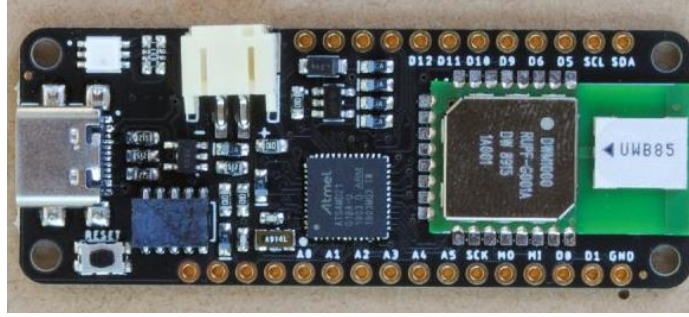
5.2 UWB Etiketi

UWB teknolojisi kullanan UWB etiketleri arabanın hem ön hem arka yüzüne Şekil 24’teki gibi konumlandırılacaktır.



Şekil 24: UWB Etiketleri

UWB etiketlerinin içerisinde UWB haberleşmesini sağlayan DWM1000 modülü, işlemci modülü, CAN alıcı-verici, ECU'ya bağlantı sağlayan elektronik bileşenler bulunmalıdır. Şekil 25'te UWB gömülü elektronik kartı bulunmaktadır. Bu kart DWM1000, ATSAMD21 ARM Cortex M0 işlemci ve MCP2561 CAN alıcı-verici kullanılan arabaların ön ve arkasına yerleştirilebilecek bir UWB etiketi örneğidir (Hodson, 2022).



Şekil 25: UWB Gömülü Elektronik Kartı (Hodson, 2022)

5.2.1 DWM1000

Decawave firmasının DWM1000 modülü UWB alıcı-verici entegresine dayalı çalışan tüm RF devrelerini, güç yönetimini ve saat devrelerini içeren bir antene sahiptir. TWR ya da TDoA konum sistemlerinde 6.8 Mbps'ye kadar veri hızıyla 10 cm hassasiyetle konumlandırmak için kullanılmaktadır. 3.5 GHz - 6.5 GHz aralığında, IEEE 802.15.4-2011 UWB uyumlu bir modüldür. Mevcut anten, analog ve RF bileşenleri sayesinde RF tasarımı gerekmeden düşük maliyet ve düşük güç tüketimi ile hassas konumlandırma sağlar. Gerçek Zamanlı Konum Belirleme Sistemleri (RTLS - Real-Time Locating System) ve konuma duyarlı kablosuz sensör ağlarında kullanılmaktadır (Decawave, 2016).

5.2.2 İşlemci

İşlemci CPU fonksiyonlarını tek devrede birleştiren elektronik bileşendir. Bir veya daha fazla işlemci, bir bilgisayar sisteminde, gömülü sistemde ya da bir mobil cihazda ana işlem birimi olarak görev alır. Veriyi işleyen ve yazılım kodlarının çalışmasını sağlayan ana kısımdır (Wikipedia, 2023).

5.2.3 CAN Alıcı-Verici

Bir CAN protokol denetleyicisi ile fiziksel iki telli CAN veri yolu arasında bir arabirim görevi görür. Cihaz, yüksek hız (1 Mb/s'ye kadar), düşük durgun akım, Elektromanyetik Uyumluluk (EMC - Electromagnetic Compatibility) ve Elektrostatik Deşarj (ESD - Electrostatic Discharge) için otomotiv gereksinimlerini karşılar. CAN protokol denetleyicisi için diferansiyel gönderme ve alma yeteneği sağlar. Bir CAN sistemindeki her düğümün, bir CAN denetleyicisi tarafından üretilen dijital sinyalleri veri yolu kabloları üzerinden iletmeye uygun sinyallere dönüştürecek bir cihazı olmalıdır. Ayrıca CAN denetleyicisi CAN veri yolunda dış kaynaklar tarafından üretilen yüksek voltaj yükselmeleri arasında bir tampon sağlar (Microchip, 2013).

5.3 UWB Etiketinin Çalışma Mekanizması

Araçların ön ve arkasındaki UWB etiketler mesafe ölçümünde TWR tekniği kullanmaktadır.

5.3.1 İki Yönlü Aralık (TWR)

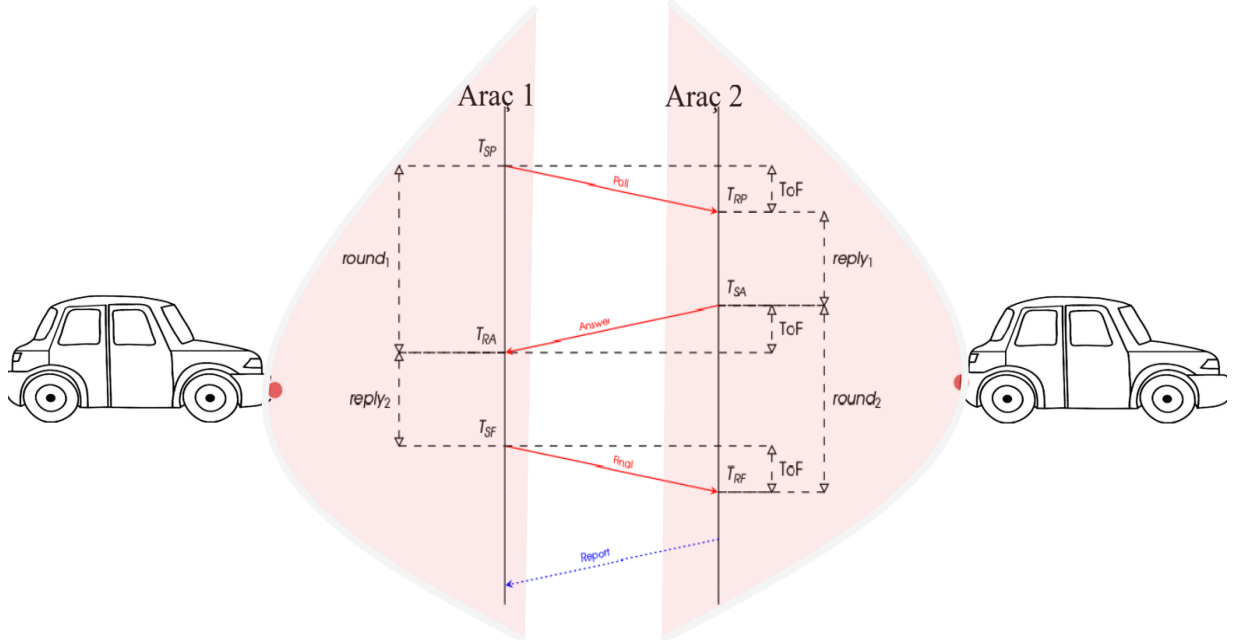
UWB teknolojisi girişime karşı bağışıklık, düşük güç tüketimi gibi konularda avantajlıdır. İki alıcı-verici arasındaki uçuş süresi ve ışık hızıyla aralarındaki mesafe ölçülür.

5.3.2 Uçuş Süresi (ToF)

Bu teknikte mesafe ölçümü için Şekil 26'daki gibi üç mesaj sinyalinin alışveriş yapması gereklidir. İlk olarak Araç 1 T_{SP} zamanında Araç 2'ye Poll mesajı göndererek TWR'yi başlatır. Araç 2 Poll mesajını T_{RP} zamanında alır. T_{SA} zamanında Answer mesajıyla yanıt döner. Gelen mesajı Araç 1 T_{RA} zamanında kaydederek ID, T_{SP} , T_{RA} , T_{SF} bilgilerini içeren son mesajı oluşturur. Son mesaj T_{RF} zamanında alınır ve son mesajdaki bilgilere bağlı olarak UWB sinyalinin uçuş süresi belirlenebilir. Report mesajıyla elde edilen mesafe tekrar Araç 1'e geri dönebilir.

$$\text{Mesafe} = \text{Uçuş Süresi} \times \text{Işık Hızı}$$

$$ToF = \frac{[(T_{RA}-T_{SP})-(T_{SA}-T_{RP})+(T_{RF}-T_{SA})-(T_{SF}-T_{RA})]}{4} \quad (16)$$



Şekil 26: İki Araç Arası TWR Metodu İle Haberleşme

Poll: İlk atılan mesaj

Answer: İlk mesaja cevap mesajı

Final: Son mesaj

Report: Bildiri mesajı

T_{SP} : Poll Mesajının Başlatma Zamanı (Time Start Poll)

T_{RP} : Poll Mesajının Alınma Zamanı (Time Receive Poll)

T_{SA} : Cevap Mesajının Başlatma Zamanı (Time Start Answer)

T_{RA} : Cevap Mesajının Alınma Zamanı (Time Receive Answer)

T_{SF} : Final Mesajının Başlatma Zamanı (Time Start Final)

T_{RF} : Final Mesajının Alınma Zamanı (Time Receive Final)

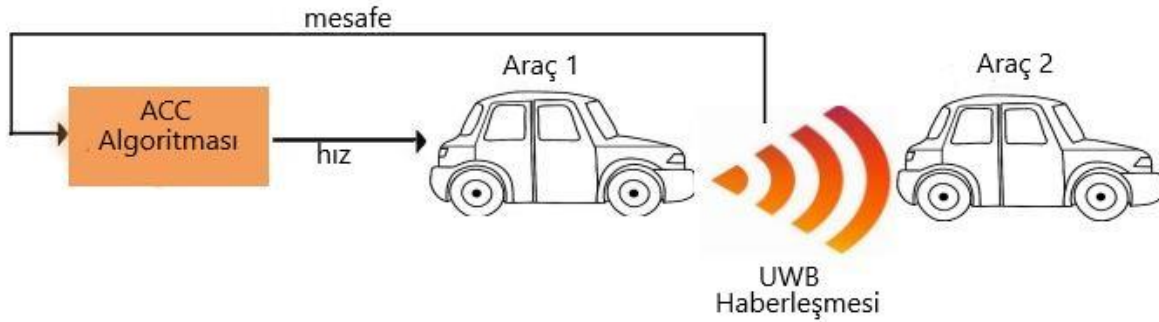
round₁: 2ToF + reply₁

round₂: 2ToF + reply₂

reply₁: Araç 1'deki yanıt süresi

reply₂: Araç 2'deki yanıt süresi

5.4 Genel Sistem Tasarımı



Şekil 27: Genel Sistem Tasarımı

Araçlar hem önünde hem de arkasında UWB etiketlerine sahiptir. UWB etiketlerde bulunan DWM1000 modülü iki araç arasındaki uzaklığın UWB sinyalleri ile ölçülmesini sağlamaktadır. Mesafe ölçümü TWR yöntemi kullanılarak elde edilen ToF'un ışık hızı ile çarpımıyla bulunmaktadır. UWB etiketin içerisindeki işlemci ise UWB etiketin çalışma sisteminin kontrolünü sağlamaktadır. MCP2561 CAN alıcı-verici ile uzaklık verileri kullanıma uygun sinyallere dönüştürülerek ACC algoritmasına giriş olarak gelmektedir. ACC algoritması kullanılarak aracın hızlanma/yavaşlama kontrolü sağlanır. Bu sistem sonucunda UWB sinyallerinin yüksek hassasiyetiyle elde edilen mesafe verilerinden yararlanarak iki araç arasındaki mesafeye göre aracın hızı ayarlanır. Mesafenin azaldığı durumlarda araç hızı azaltılarak arkadan çarpışmalı trafik kazalarının önlenmesi sağlanmaktadır.

6. TEST ÇALIŞMALARI

Bu test ortamında ilk hızları, seyir halindeki hızları ve birbirlerine olan uzaklıkları farklı olan iki otomobil için farklı test senaryoları oluşturulmuştur. Test çalışmalarında kullanılması amacıyla iki tekerlekli kutuya UWB etiketleri yapıştırılmıştır. Bu UWB etiketler Wipilot markalı Eagle Eye Sense ve MT-02BDC-IP cihazlarıdır (Wipilot, 2023). Şekil 28'deki Araç 1'in ID'si 1001 iken Şekil 29'daki Araç 2'nin ID'si 1002'dir.



Şekil 28: Araç 1 (Arkadaki Araç)



Şekil 29: Araç 2 (Öndeki Araç)

Test çalışmaları Şekil 30'daki plazanın bahçesinde gerçekleştirilmiştir. Öndeki araç ile arkadaki araç arasındaki mesafeler 5'er metre artırılabilecek şekilde 5 metreden 80 metreye kadar 16 farklı konumda test edilmiştir. UWB sinyalleriyle yaklaşık 5'er dakikalık mesafe ölçümleri alınmıştır.



Şekil 30: Test Ortamı

UWB sinyalleri ile ölçülen uzaklık değerleri SNDWAY SW-T100 lazer metre ile ölçülerek doğrulanmıştır. Şekil 31’de iki farklı uzaklık için örnek lazer metre fotoğrafları yer almaktadır.



Şekil 31: Lazer Metre Ölçüm Değerleri

İki UWB etiketi aralarında 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 ve 80 metre mesafe olacak şekilde test ortamında konumlandırılmıştır. UWB etiketlerine özel olarak geliştirilmiş yazılım ile UWB etiketleri arasındaki mesafe santimetre cinsinden ölçülebilmektedir. Test çalışmalarında yapılan ölçümler sonucu elde edilen mesafelere göre ortalama, varyans, standart sapma ve maksimum sapma değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Mesafe (m)	Ortalama Değer (cm)	Maksimum Sapma Değeri (cm)	Varyans	Standart Sapma
5	504.1883	5.8117	4.4074	2.0994
10	1000.978	13.022	5.3218	2.3069
15	1500.554	6.554	4.6982	2.1675
20	1995.465	7.465	5.5333	2.3523
25	2508.098	5.902	3.1081	1.7630
30	3002.653	5.347	4.3914	2.0956
35	3500.413	11.587	5.4290	2.3300
40	4009.26	6.74	4.8526	2.2029
45	4506.049	8.049	5.6455	2.3760
50	5004.872	9.128	7.2092	2.6850
55	5504.28	11.18	7.2197	2.6870
60	6001.455	10.545	6.3260	2.5152
65	6509.259	11.259	10.1153	3.1805
70	7008.645	9.355	10.1331	3.1833
75	7498.092	8.092	8.5146	2.9180
80	8003.597	8.403	8.1634	2.8572

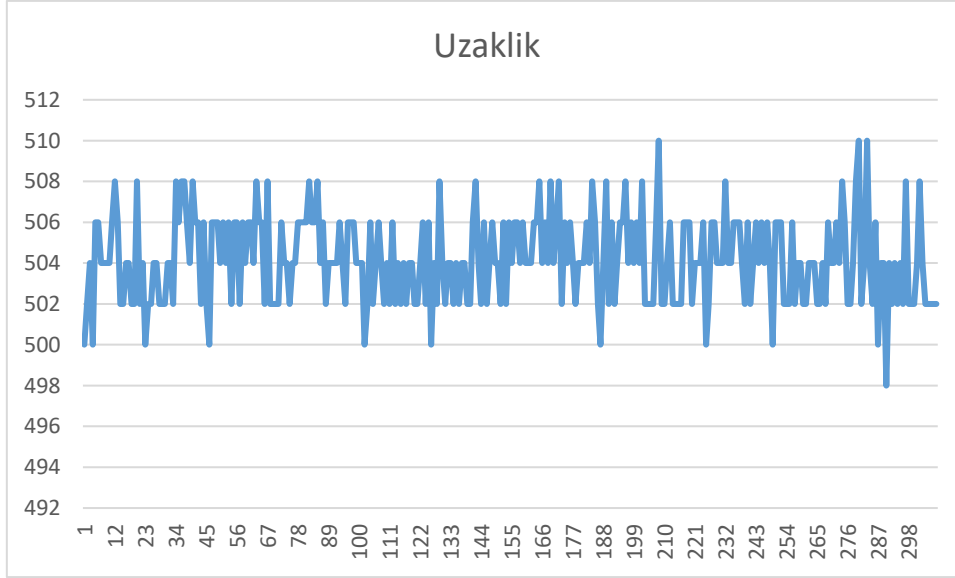
Tablo 2: Ortalama, Varyans, Standart Sapma ve Maksimum Sapma Değerleri

Aşağıda mesafe ölçümleri yapılan test senaryolarından rasgele belirlenen 5, 25, 45 ve 65 metrelik uzaklıklardaki 10 saniyelik örneklemelere yer verilmiştir. Ayrıca bu mesafe verilerinin grafikleri yer almaktadır.

Tablo 3’te 5 metre mesafede 5 dakikalık ölçümlerin 10 saniyelik örneklemeğine yer verilmiştir. Şekil 32’de mesafe verileri grafiği bulunmaktadır. Bu grafik incelendiğinde ortalama göre maksimum sapmanın 5.8117 cm civarında olduğu gözlemlenmiştir.

Etiket 1 ID	Etiket 2 ID	Uzaklık	Veri Artisi	Tarih	Saat
1001	1002	500	1597	18.03.2023	13:42:24
1001	1002	502	1598	18.03.2023	13:42:25
1001	1002	504	1599	18.03.2023	13:42:26
1001	1002	500	1600	18.03.2023	13:42:27
1001	1002	506	1601	18.03.2023	13:42:28
1001	1002	506	1602	18.03.2023	13:42:29
1001	1002	504	1603	18.03.2023	13:42:30
1001	1002	504	1604	18.03.2023	13:42:31
1001	1002	504	1605	18.03.2023	13:42:32
1001	1002	504	1606	18.03.2023	13:42:33

Tablo 3: 5 m Mesafede Uzaklık Verileri

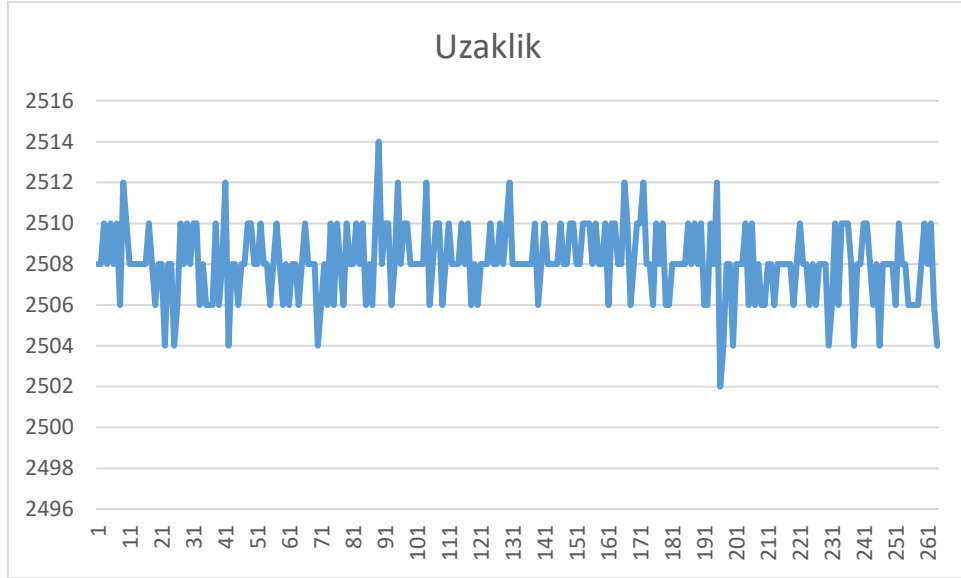


Şekil 32: 5 m Mesafe Verileri Grafiği

Tablo 4’te 25 metre mesafede 5 dakikalık ölçümlerin 10 saniyelik örneklemesine yer verilmiştir. Şekil 33’de mesafe verileri grafiği bulunmaktadır. Bu grafik incelendiğinde ortalamaya göre maksimum sapmanın 5.902 cm civarında olduğu gözlemlenmiştir.

Etiket 1 ID	Etiket 2 ID	Uzaklik	Veri Artisi	Tarih	Saat
1001	1002	2508	3450	18.03.2023	14:13:25
1001	1002	2508	3451	18.03.2023	14:13:26
1001	1002	2510	3452	18.03.2023	14:13:27
1001	1002	2508	3453	18.03.2023	14:13:28
1001	1002	2510	3454	18.03.2023	14:13:29
1001	1002	2508	3455	18.03.2023	14:13:30
1001	1002	2510	3456	18.03.2023	14:13:31
1001	1002	2506	3457	18.03.2023	14:13:32
1001	1002	2512	3458	18.03.2023	14:13:33
1001	1002	2510	3459	18.03.2023	14:13:34

Tablo 4: 25 m Mesafede Uzaklık Verileri

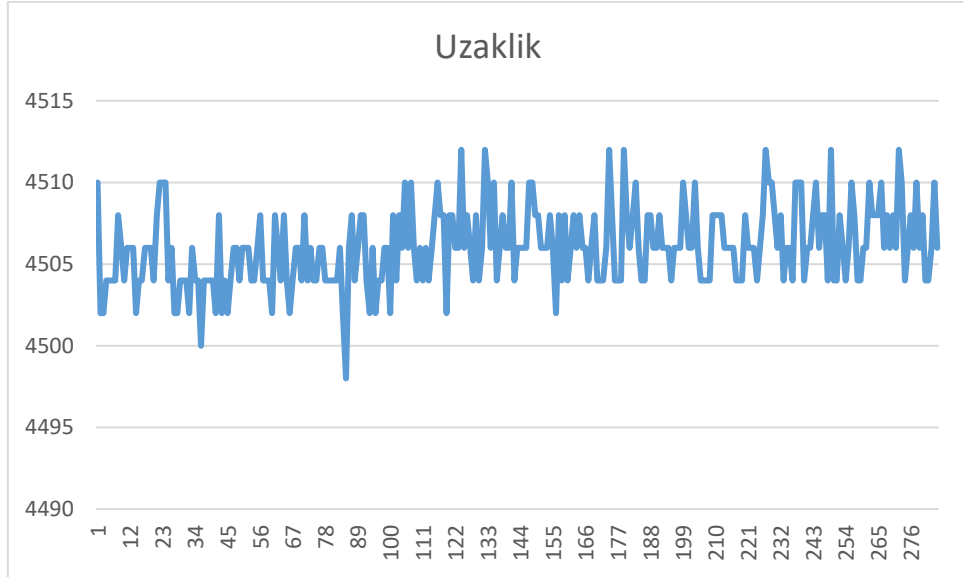


Şekil 33: 25 m Mesafe Verileri Grafiği

Tablo 5’te 45 metre mesafede 5 dakikalık ölçümlerin 10 saniyelik örneklemesine yer verilmiştir. Şekil 34’de mesafe verileri grafiği bulunmaktadır. Bu grafik incelendiğinde ortalamaya göre maksimum sapmanın 8.049 cm civarında olduğu gözlemlenmiştir.

Etiket 1 ID	Etiket 2 ID	Uzaklık	Veri Artisi	Tarih	Saat
1001	1002	4510	5161	18.03.2023	14:42:01
1001	1002	4502	5162	18.03.2023	14:42:02
1001	1002	4502	5163	18.03.2023	14:42:03
1001	1002	4504	5164	18.03.2023	14:42:04
1001	1002	4504	5165	18.03.2023	14:42:05
1001	1002	4504	5166	18.03.2023	14:42:06
1001	1002	4504	5167	18.03.2023	14:42:07
1001	1002	4508	5168	18.03.2023	14:42:08
1001	1002	4506	5169	18.03.2023	14:42:09
1001	1002	4504	5170	18.03.2023	14:42:10

Tablo 5: 45 m Mesafede Uzaklık Verileri

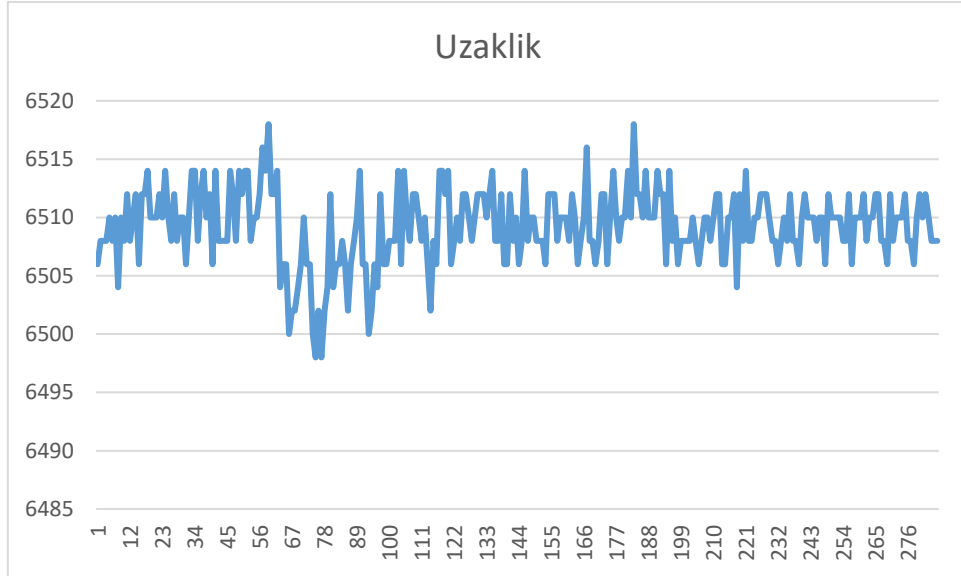


Şekil 34: 45 m Mesafe Verileri Grafiği

Tablo 6’da 65 metre mesafede 5 dakikalık ölçümlerin 10 saniyelik örneklemesine yer verilmiştir. Şekil 35’te mesafe verileri grafiği bulunmaktadır. Bu grafik incelendiğinde ortalamaya göre maksimum sapmanın 11.259 cm civarında olduğu gözlemlenmiştir.

Etiket 1 ID	Etiket 2 ID	Uzaklik	Veri Artisi	Tarih	Saat
1001	1002	6506	6925	18.03.2023	15:11:11
1001	1002	6508	6926	18.03.2023	15:11:12
1001	1002	6508	6927	18.03.2023	15:11:13
1001	1002	6508	6928	18.03.2023	15:11:14
1001	1002	6510	6929	18.03.2023	15:11:15
1001	1002	6508	6930	18.03.2023	15:11:16
1001	1002	6510	6931	18.03.2023	15:11:17
1001	1002	6504	6932	18.03.2023	15:11:18
1001	1002	6510	6933	18.03.2023	15:11:19
1001	1002	6508	6934	18.03.2023	15:11:20

Tablo 6: 65 m Mesafede Uzaklık Verileri

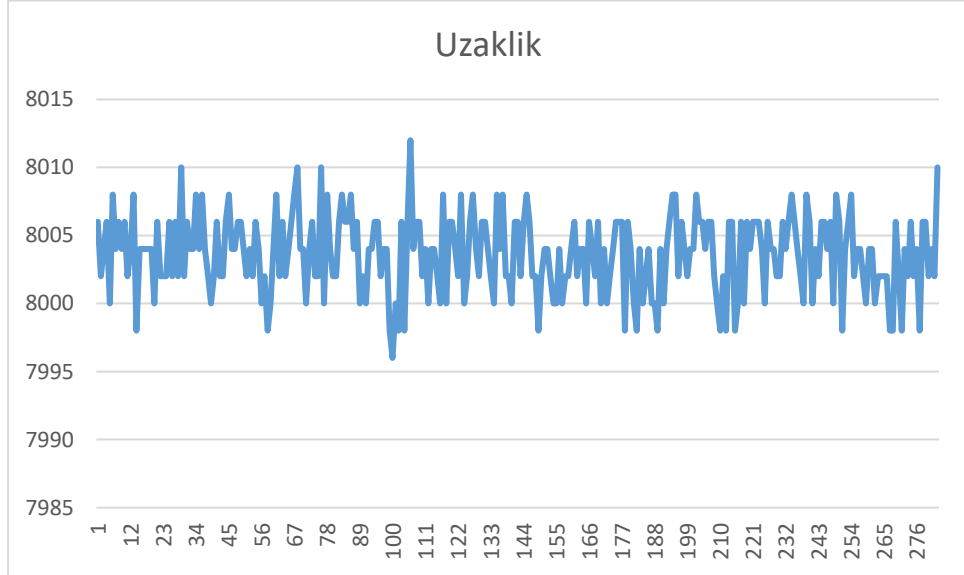


Şekil 35: 65 m Mesafe Verileri Grafiği

Tablo 7’de 80 metre mesafede 5 dakikalık ölçümlerin 10 saniyelik örneklemesine yer verilmiştir. Şekil 36’da mesafe verileri grafiği bulunmaktadır. Bu grafik incelendiğinde ortalamaya göre maksimum sapmanın 8.403 cm civarında olduğu gözlemlenmiştir.

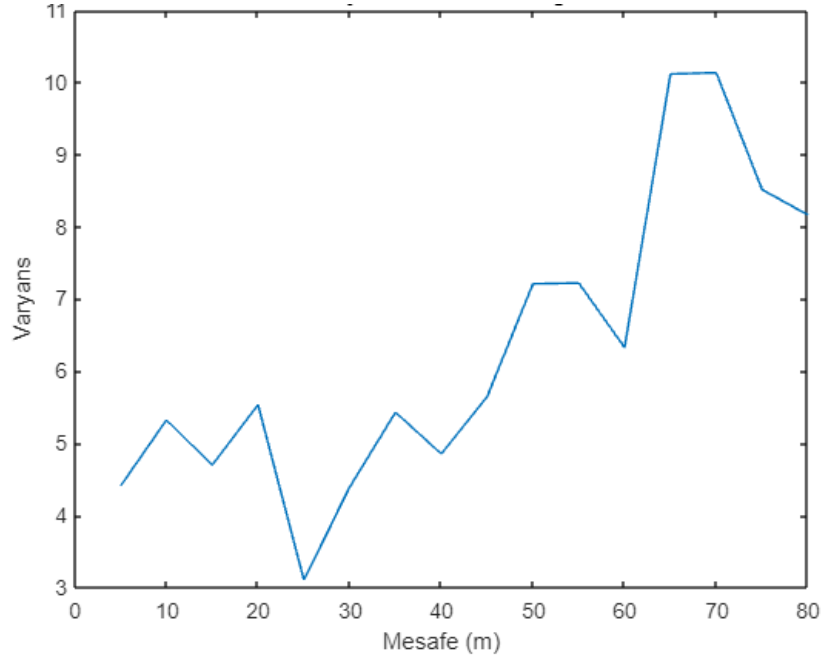
Etiket 1 ID	Etiket 2 ID	Uzaklik	Veri Artisi	Tarih	Saat
1001	1002	8006	9324	18.03.2023	15:50:12
1001	1002	8002	9325	18.03.2023	15:50:13
1001	1002	8004	9326	18.03.2023	15:50:14
1001	1002	8006	9327	18.03.2023	15:50:15
1001	1002	8000	9328	18.03.2023	15:50:16
1001	1002	8008	9329	18.03.2023	15:50:17
1001	1002	8004	9330	18.03.2023	15:50:18
1001	1002	8006	9331	18.03.2023	15:50:19
1001	1002	8004	9332	18.03.2023	15:50:20
1001	1002	8006	9334	18.03.2023	15:50:22

Tablo 7: 80 m Mesafede Uzaklık Verileri



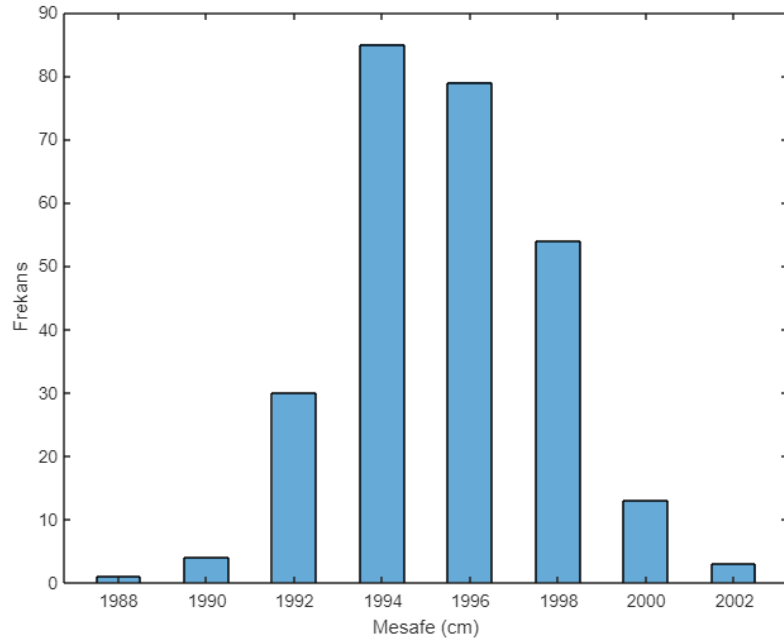
Şekil 36: 80 m Mesafe Verileri Grafiği

Her uzaklık için ölçülen mesafelere göre varyans değerleri bulunarak elde edilen varyans-mesafe grafiği Şekil 37’de gösterilmiştir. Varyans grafiği incelendiğinde, belirli sapmalar olmakla birlikte 50 m mesafeye kadar varyansın hemen hemen sabit kaldığı, sonrasında ise mesafeye bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ölçülen mesafeler için varyansın ortalama değeri 6.3168 olarak hesaplanmıştır.

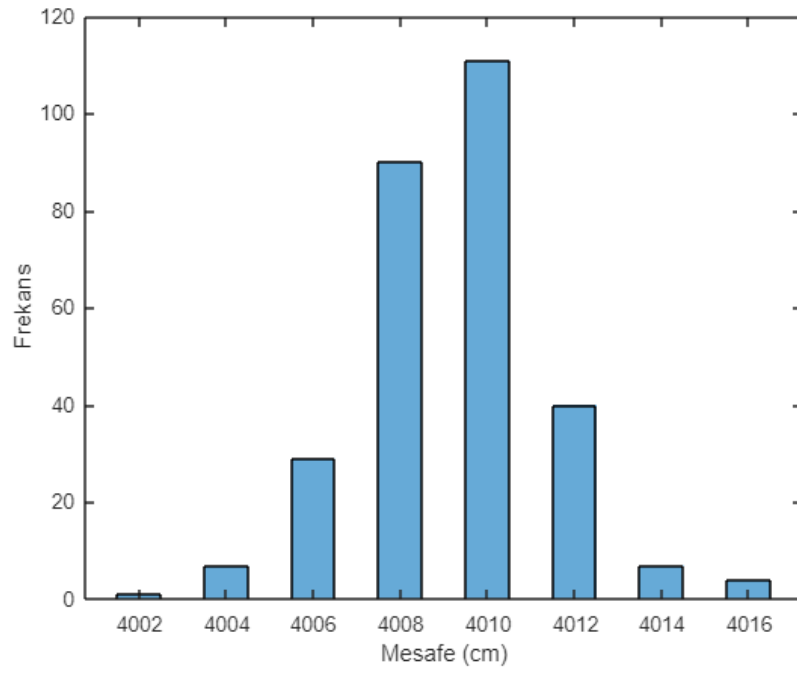


Şekil 37: Varyans - Mesafe Grafiği

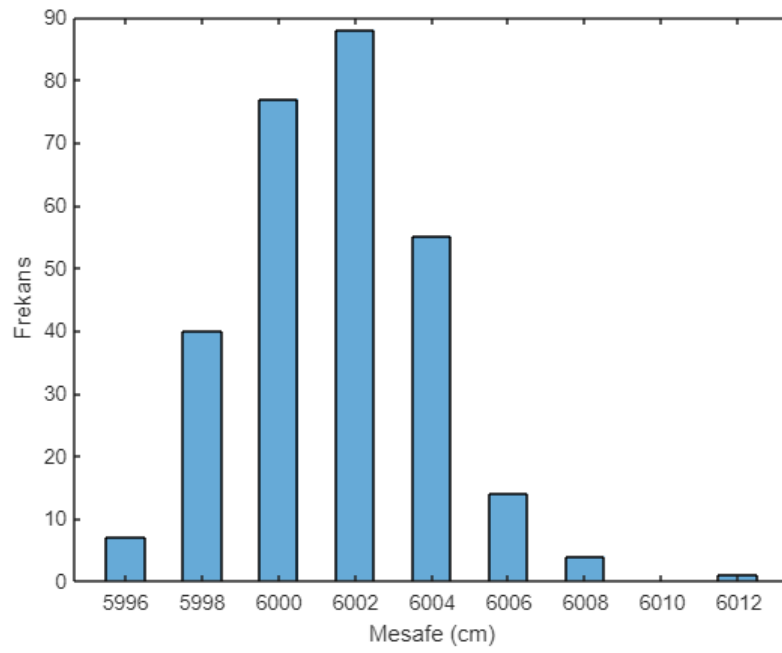
Ölçülen uzaklıkların histogram grafikleri çıkarılmıştır. Şekil 38, Şekil 39, Şekil 40 ve Şekil 41’de dört farklı uzaklık için örnek histogram grafikleri verilmiştir.



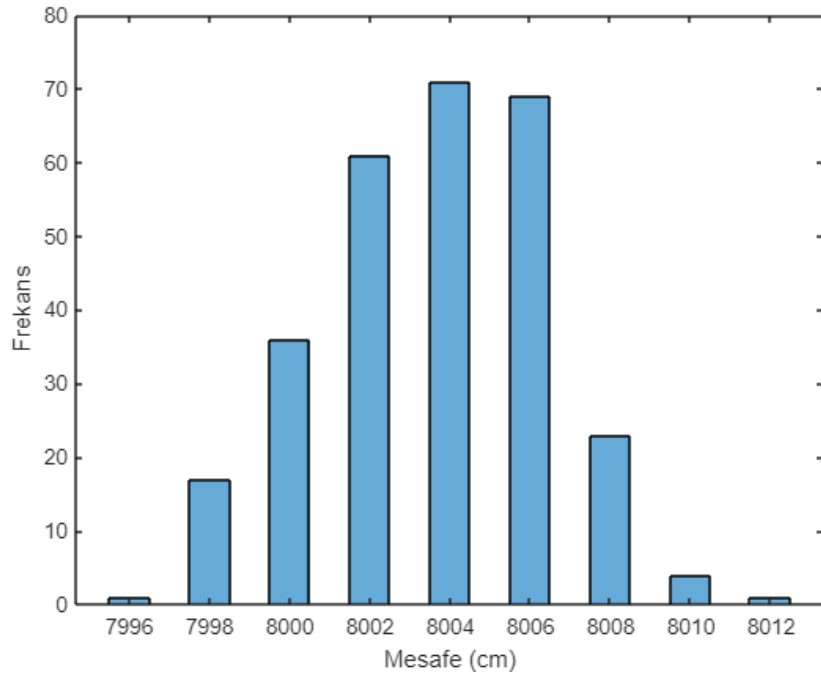
Şekil 38: 20 m Mesafede Histogram



Şekil 39: 40 m Mesafede Histogram

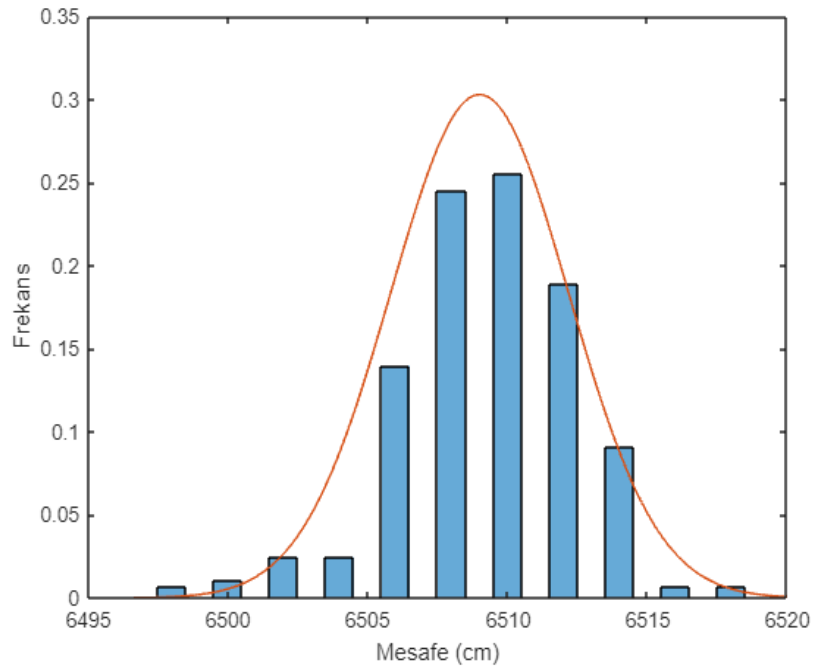


Şekil 40: 60 m Mesafede Histogram



Şekil 41: 80 m Mesafede Histogram

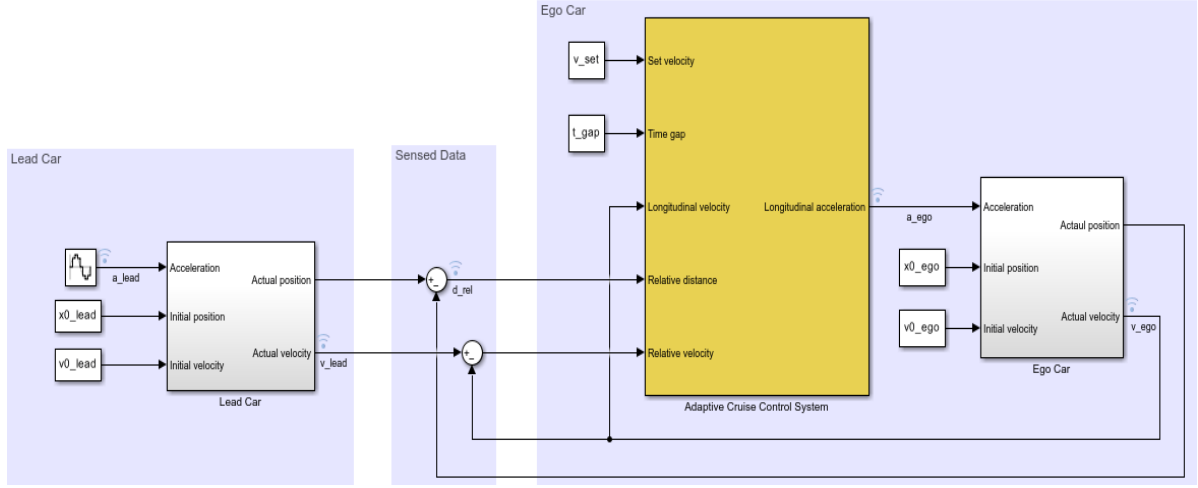
Histogram grafiklerini incelediğimizde Gauss dağılımı olduğu görülmektedir. Şekil 42’de örnek histogram grafiği ve Gauss dağılımı verilmiştir.



Şekil 42: 60 m Mesafede Histogram Grafiği ve Gauss Dağılımı

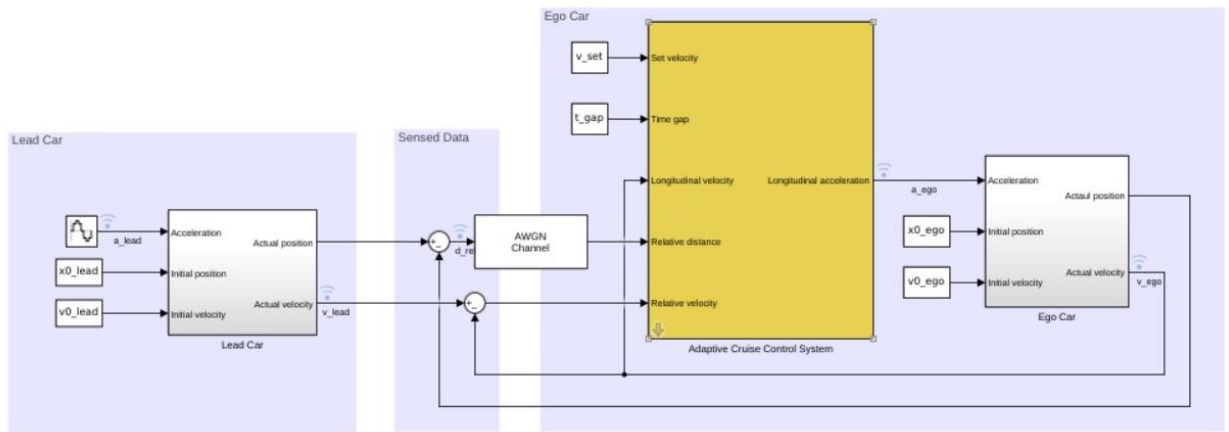
7. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Şekil 43’de Araç 1 (arkadaki araç) ve Araç 2’nin (öndeki araç) bulunduğu bir ACC sisteminin Simulink modeli bulunmaktadır. Sürücünün seyir halindeyken belirlediği hız değeri v_{set} ’tir. Öndeki aracın ilk konumu x_{0_lead} , öndeki aracın ilk hızı v_{0_lead} ’dir. Arkadaki aracın ilk konumu x_{0_ego} ve arkadaki aracın ilk hızı v_{0_ego} ’dur.



Şekil 43: Gauss Gürültüsüz ACC Sisteminin Simulink Modeli

Şekil 44’deki Simulink modelinde uzaklık verilerinin gürültüsü sebebiyle Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsü (AWGN - Additive White Gaussian Noise) bloğu eklenmiştir.



Şekil 44: Gauss Gürültüsü Eklenmiş ACC Sisteminin Simulink Modeli

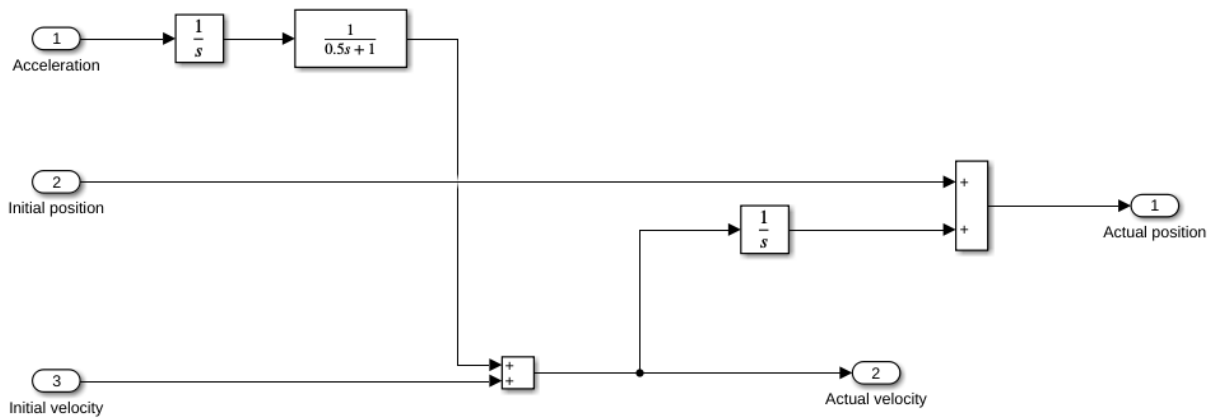
Hem arkadaki araç hem de öndeki araç için hızlanma ve hız dinamiği modeli aşağıdaki gibidir:

$$G = \frac{1}{s(0.5s+1)} \quad (17)$$

(17) nolu denklemdeki ifade, birinci dereceden bir sistemi temsil eden bir transfer fonksiyonunun Laplace dönüşümüdür. Araç hızı dinamiği bağlamında, bu transfer fonksiyonu aracın hızlanması ve hızı arasındaki ilişkiyi temsil eder.

Bu transfer fonksiyonunun araç dinamiği ile nasıl bir ilişkisi olduğunu anlamak için, hızdaki ani değişimi temsil eden adım fonksiyonu gibi bir giriş sinyalini transfer fonksiyonuna uygulayabiliriz. Bu transfer fonksiyonuna bir adım fonksiyonu uygulandığında, çıkış sıfırdan başlayacak ve son değere doğru artacaktır. Bu, aracın hızının zaman sabiti değerine bağlı olarak artış hızı ile istenen hıza ulaşana kadar kademeli olarak artacağı anlamına gelir. Transfer fonksiyonu $G = \frac{1}{s(0.5s+1)}$ bir aracın hız dinamiklerini, örneğin bir duraktan hızlanma veya otoyolda başka bir aracı geçmek gibi çeşitli durumlarda modellemek için kullanılabilir. Transfer fonksiyonu ve parametreleri analiz edilerek aracın davranışı tahmin edilebilir ve belirli uygulamalar için performansı optimize edilebilir.

Test çalışmalarında arkadaki araç 0 konumunda iken öndeki aracın konumu 5'er metre değiştirilmiştir. Şekil 45'de sistemin hız dinamiği yer almaktadır.



Şekil 45: Sistemin Hız Dinamiği

İki araç arası güvenli mesafe formülü aşağıdaki gibidir;

$$D_{safe} = D_{default} + t_{gap} * V_{ego} \quad (18)$$

$D_{default}$ araçlar arası mesafe iken, t_{gap} araçlar arası zaman aralığını gösteren zaman sabitidir. V_{ego} ise arkadaki aracın hızını belirtir. Simulasyonda $D_{default}=10$ ve $t_{gap}= 1.4$ olarak alınmıştır (Matlab, 2023). Ancak t_{gap} değerinin optimum olarak ne olması gerektiği üzerine yapılan çalışmalarda belirlenen 1.6 ve 2.08 gibi iki farklı değer de bulunmaktadır (Lin vd., 2009).

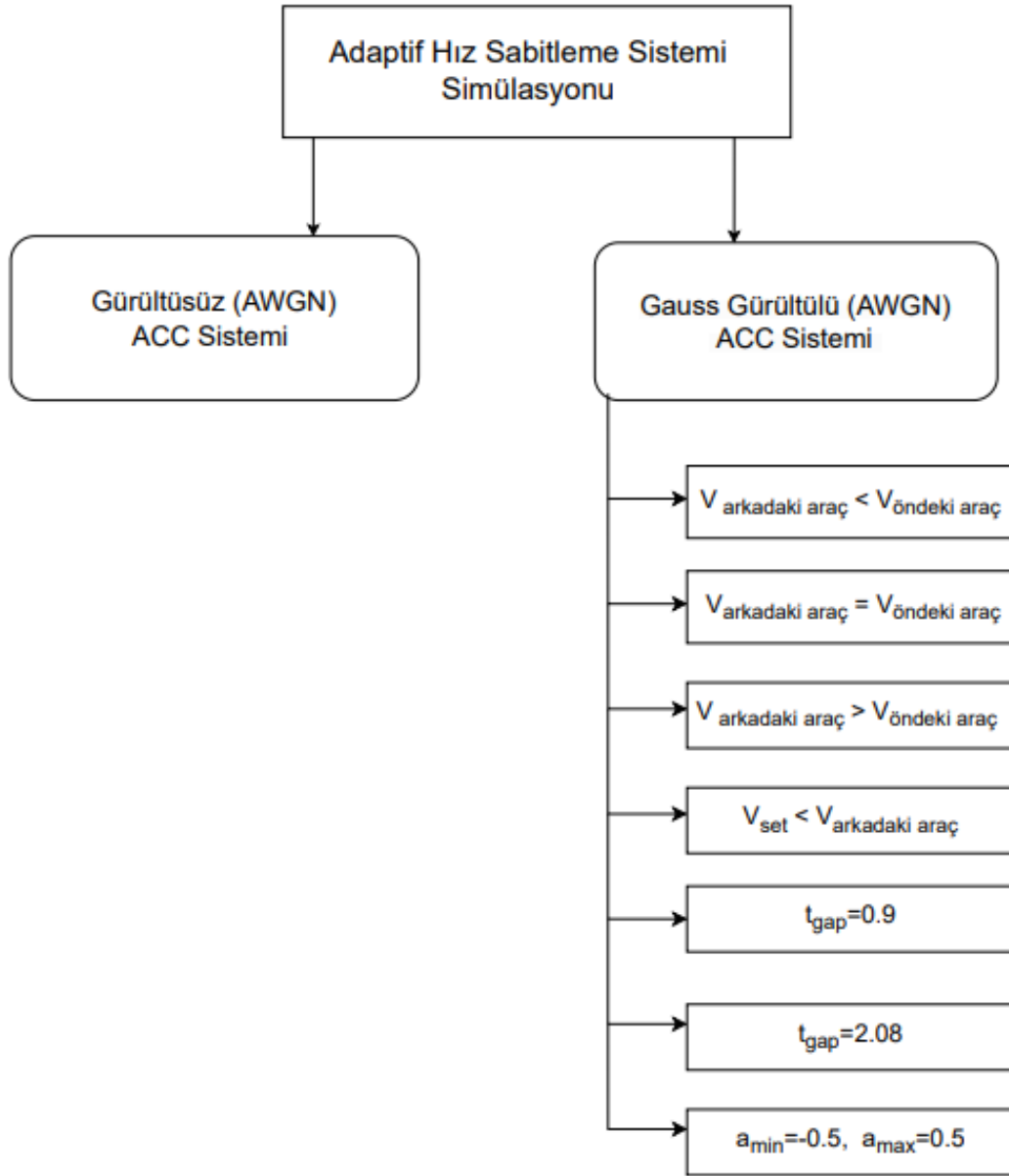
ACC sisteminin çalışma modunu belirlemek için aşağıdaki kurallar kullanılır:

Eğer $D_{relative} \geq D_{safe}$ ise ACC'nin hedefi sürücü tarafından ayarlanan hızı izlemektir.

Eğer $D_{relative} < D_{safe}$ ise ACC'nin hedefi güvenli mesafeyi korumaktır.

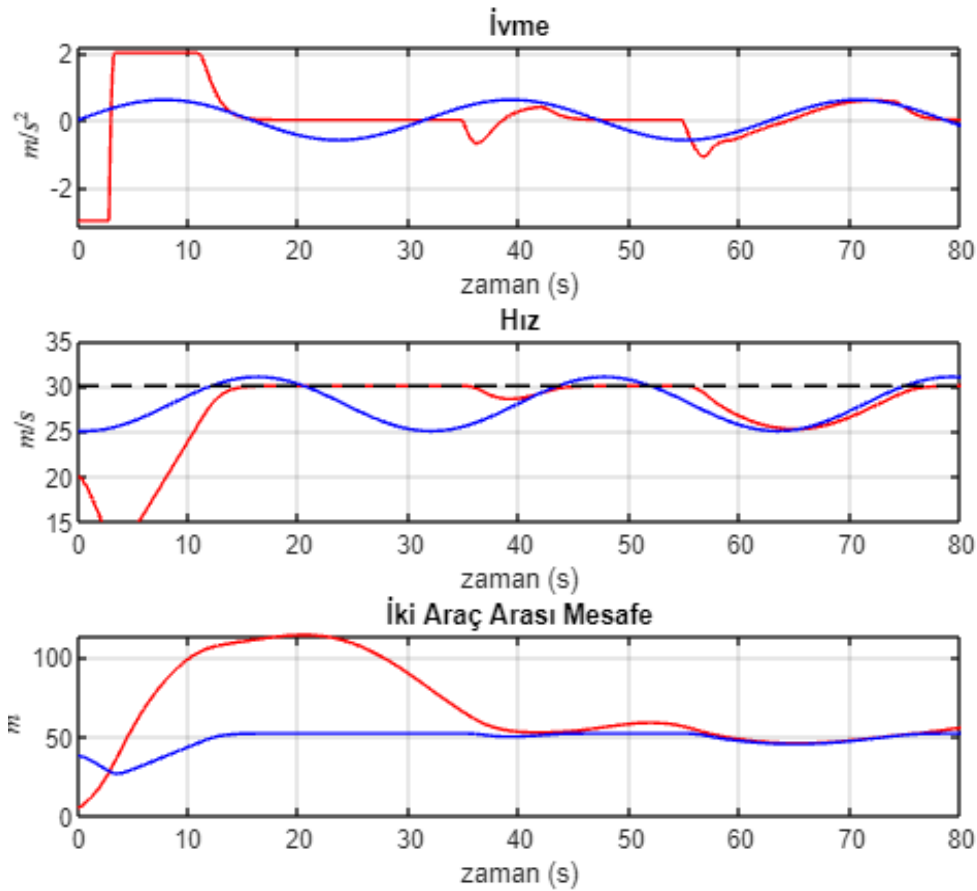
Simülasyon çalışmalarında default değer olarak öndeki aracın ilk hızı 25 m/s iken arkadaki aracın ilk hızı 20 m/s olarak belirlenmiştir. Arkadaki araç için sürücünün belirlediği seyir halindeki default hız ise 30 m/s olarak, ivme aralığı (a_{min}, a_{max}) ise (-3, 2) olarak girilmiştir. İki araç arası mesafedeki Gauss dağılımının varyans değeri olarak, ölçülen mesafeler için elde edilen ortalama varyans değeri olan 6.3168 alınmıştır. Simülasyon senaryolarında, elde edilen grafiklerde aracın ivmesindeki değişimi görmek amacıyla, başlangıçta iki araç arası mesafe değeri 5 metre olarak alınmıştır.

Öncelikle varyansın yüksek olduğu durumlar için default olarak alınan bazı parametre değerleri değiştirilerek farklı test senaryoları oluşturulmuş ve bu parametrelerin ACC sistemi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Daha sonra, yüksek varyans etkisinin mesafe ölçüm sonuçlarımıza göre oluşan ortalama varyans durumunun etkisi ile karşılaştırılarak UWB entegre edilmiş sistemin yorumlanması amaçlanmıştır. Şekil 46'daki tabloda verilen farklı parametrelere dayanan farklı simülasyon senaryolarına göre yapılan simülasyon çalışmaları sonucu elde edilen grafikler aşağıda sunulmuştur.



Şekil 46: ACC Sistemi Simülasyon Senaryoları Parametreleri

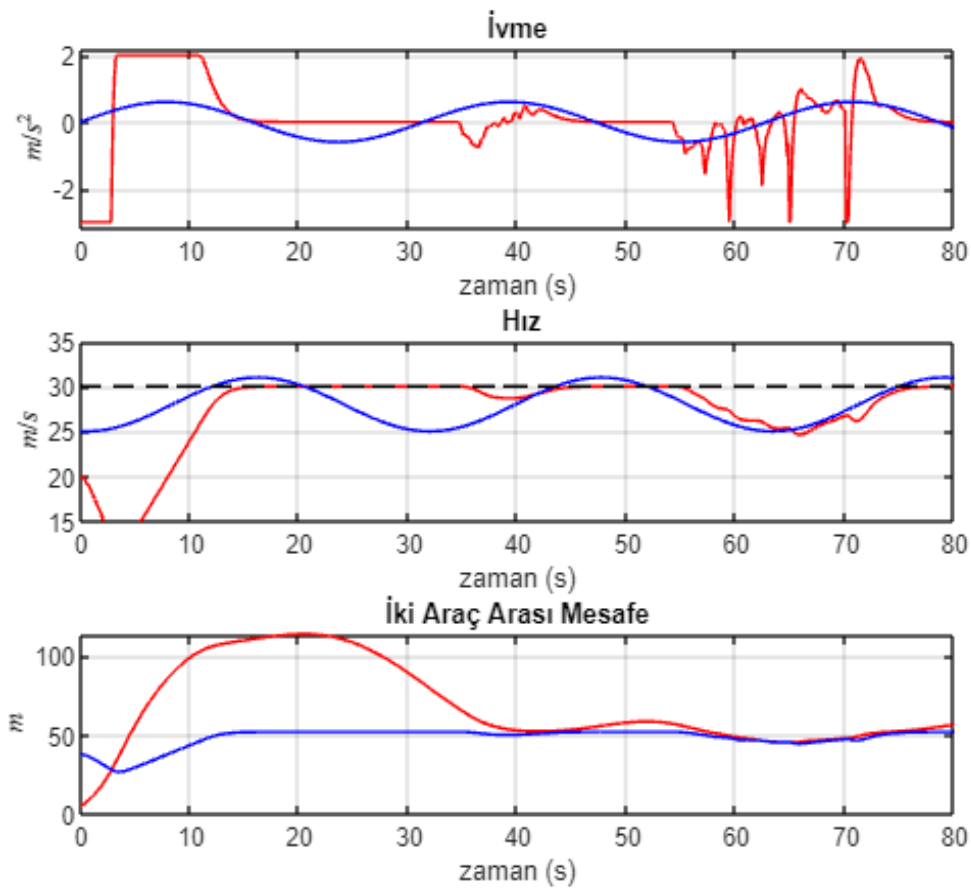
Simülasyon senaryoları sonucu elde edilen sonuçlar “İvme”, “Hız” ve “İki Araç Arası Mesafe” grafikleri olarak gösterilmektedir. İvme grafiğindeki kırmızı çizgi arkadaki aracın ivmesini, mavi çizgi öndeki aracın ivmesini ifade etmektedir. Hız grafiğindeki kırmızı çizgi arkadaki aracın hızını, mavi çizgi öndeki aracın hızını, siyah kesikli çizgi ise arkadaki araç için belirlenen sabit hızı ifade etmektedir. İki araç arası mesafe grafiğinde kırmızı çizgi gerçek mesafeyi belirtirken mavi çizgi olması gereken güvenli takip mesafesini ifade etmektedir. Yüksek varyans durumu için elde edilen grafikler Şekil 48-54’te sunulmaktadır.



Şekil 47: Gürültüsüz İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri

Şekil 47’de UWB sinyalleri ile ölçülen mesafelerin ACC sistemine gürültüsüz bir şekilde entegre edildiği grafikler gösterilmiştir. Arkadaki araç için ayarlanan hız, t_{gap} değeri ve ivme aralığı default değerdedir. Arkadaki aracın ilk hızı öndeki araçtan küçüktür. Arkadaki aracın ivme aralığı öndeki araca göre daha geniş aralıkta değer almaktadır. Bu durum ivme

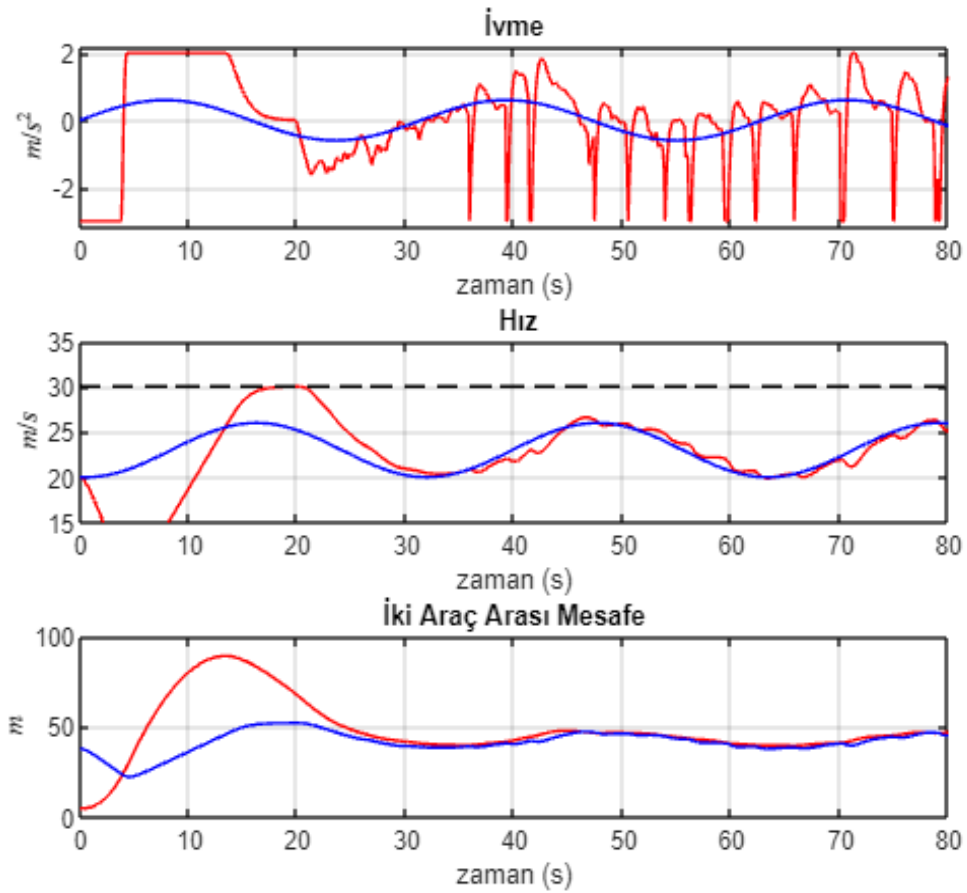
grafiğinde sapmalarının artmasına sebep olmaktadır. Arkadaki araç ilk olarak eksi yönlü ivmelenerek hızını azaltmaktadır. Arkadaki araç en düşük hıza ulaştıktan yaklaşık 10 saniye sonra ayarlanan hıza ulaşarak seyir modunda ilerlemektedir. İvme grafiğindeki sapma arkadaki aracın hızında sapmalara sebep olmuştur. İki araç arası mesafe ilk etapta 5 metredir. Arkadaki aracın eksi yönde ivmelenerek yavaşlaması ve daha sonra ayarlanan hıza ulaşmaya çalıştığı sürede araçlar arası mesafe maksimum seviyedir. Arkadaki araç ayarlanan hızda ilerlemesi sonucu iki araç arası mesafe olması gereken 52 metre civarına kadar azalmıştır. 56. saniyede arkadaki aracın öndeki araca çok fazla yaklaşmamak için hızını ayarlanan 30 m/s'den 25 m/s'ye düşürmeye başlayarak seyir modundan takip moduna geçtiği gözlemlenmektedir.



Şekil 48: Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($V_{\text{arkadaki araç}} < V_{\text{öndeki araç}}$)

Şekil 48'de UWB ile ölçülen mesafelerden elde edilen Gauss gürültüsünün AWGN bloğu ile ACC sistemine entegre edildiği grafikler gösterilmiştir. Arkadaki araç için ayarlanan hız, t_{gap} değeri ve ivme aralığı default değerdedir. Arkadaki aracın ilk hızı öndeki araçtan küçüktür. Arkadaki araç ilk olarak eksi yönde ivmelenerek hızını azaltmaktadır. Ardından

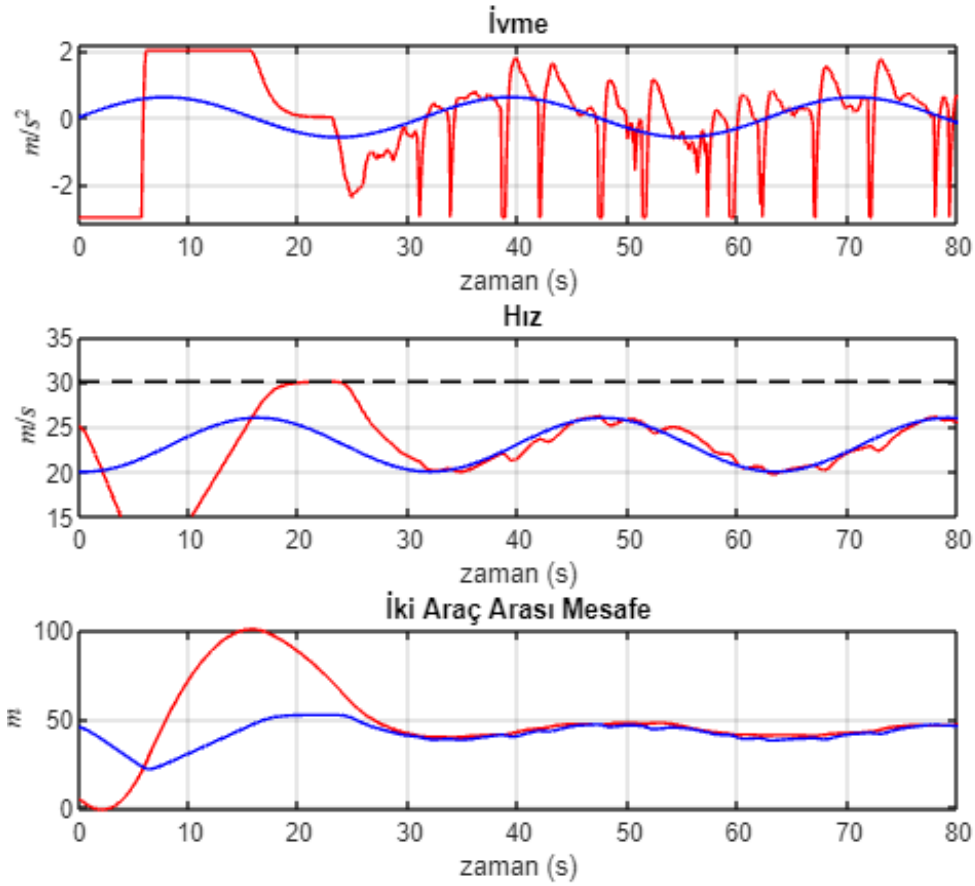
ayarlanan hıza ulaşmaktadır. Belli bir süre seyir modunda ilerledikten sonra öndeki araç ile arasındaki mesafenin güvenli mesafeden daha yakın olmaması için takip moduna geçmektedir. Arkadaki aracın ivme aralığı öndeki araca göre daha geniş aralıkta değer almasının etkisi ve UWB sinyallerinden elde edilen mesafedeki Gauss gürültüsünün de etkisiyle ivme grafiği gürültülüdür. Hız grafiği incelendiğinde aracın seyir modu ve takip modu arasında geçiş yaptığı durumlarda grafiğin gürültülü olduğu gözlemlenmiştir. İki araç arası mesafe grafiği incelendiğinde ise ivme ve hızın gürültülü olduğu durumlarda grafiğin oldukça az miktarda gürültü olduğu görülmektedir.



Şekil 49: Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($V_{\text{arkadaki araç}} = V_{\text{öndeki araç}}$)

Şekil 49 için uygulanan simülasyon senaryosu koşulları, arkadaki aracın ve öndeki aracın ilk hızları dışında Şekil 48’de uygulanan tüm simülasyon koşulları ile aynıdır. Şekil 49’da Şekil 48’den farklı olarak arkadaki aracın ilk hızının öndeki aracın ilk hızından küçük değil eşit olduğu durum için ACC sistemi grafikleri gösterilmiştir. İvme grafiği incelendiğinde arkadaki aracın öndeki araçtan daha yavaş olduğu durumdan daha gürültülü bir grafik ortaya

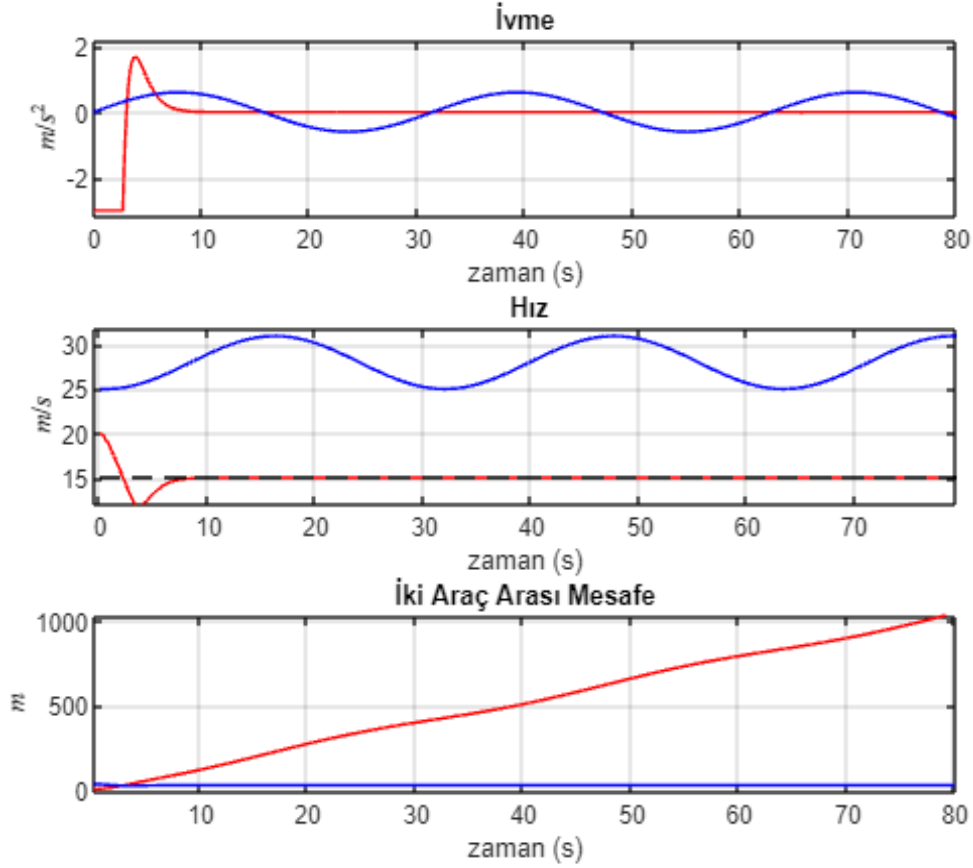
çıkıldığı gözlenmektedir. Arkadaki aracın seyir modunda ilerlemesi ivme grafiğindeki gürültünün azalmasına sebep olmaktadır. Ancak Şekil 49'daki simülasyon senaryosu durumunda, arkadaki araç çok az bir süre seyir modunda kalmış ve öndeki araç ile arasındaki mesafeyi güvenli aralıkta tutabilmek için takip moduna geçmiştir. Arka aracının hızının öndeki araca olan uzaklığa göre belirlenmesi Gauss gürültülü UWB sinyallerinin daha fazla sisteme etki etmesine sebep olmuştur. Böylelikle hız grafiğindeki gürültü artmıştır. Hızların sürekli olarak değişimi iki araç arasındaki güvenli mesafenin de sürekli değişimine sebep olarak mesafe grafiğinde az miktarda da olsa gürültüye sebep olmuştur.



Şekil 50: Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($V_{\text{arkadaki araç}} > V_{\text{öndeki araç}}$)

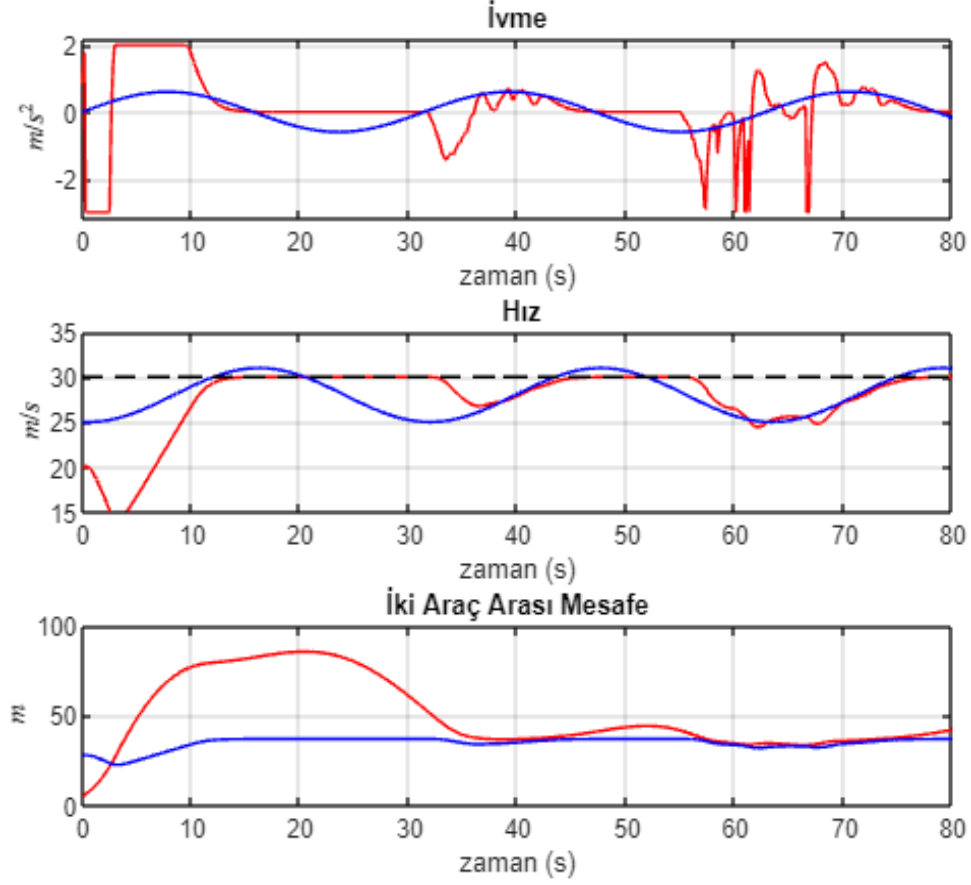
Şekil 50 için geçerli simülasyon senaryosu koşulları arkadaki aracın ve öndeki aracın ilk hızları dışındaki tüm koşulları içerecek biçimde Şekil 48'deki ve Şekil 49'daki simülasyon senaryoları ile aynıdır. Şekil 50'de arkadaki aracın ilk hızı öndeki aracın ilk hızından daha büyüktür. Bu nedenle arkadaki aracın negatif ivmeyle hızının azalması daha fazla zaman almaktadır. Bu noktadan sonra, ivme grafiği arkadaki aracın hızının öndeki araca eşit olduğu

durumdaki grafiğe benzerlik göstermektedir. Negatif ivmenin daha uzun süre devam etmesi, hız ve mesafe grafiklerinde Şekil 50'deki grafiklere göre belirli bir gecikmeye sebep olmakta, sonrasında ise benzer grafiklerin oluşmasına sebep olmaktadır.



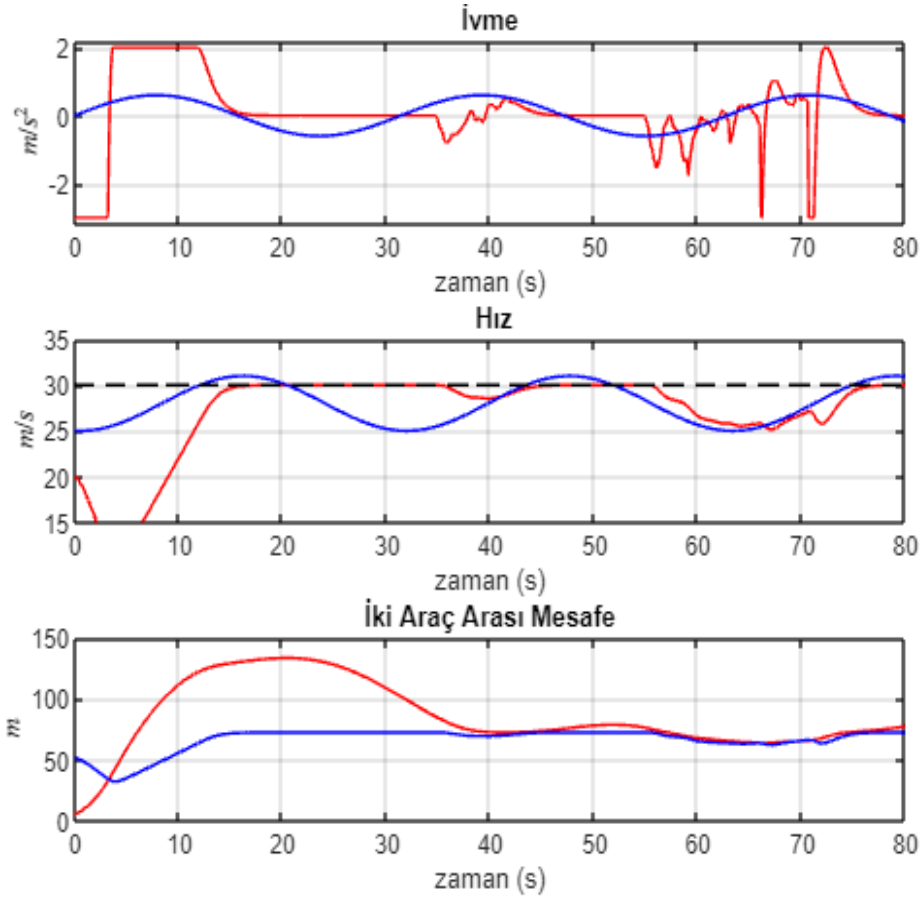
Şekil 51: Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($V_{set} < V_{arkadaki\ araç}$)

Şekil 51'deki simülasyon senaryosunda arkadaki araç için ayarlanan hız dışındaki tüm koşullar Şekil 48'deki simülasyon senaryosu ile aynıdır. Bu grafik setinde arkadaki aracın seyir modundaki hızı öndeki aracın ilk hızından daha küçüktür. Arkadaki araç tüm grafik setlerindeki gibi eksi yönde ivmelenerek yavaşlamış daha sonra çok kısa bir sürede ayarlanan hıza ulaşmıştır. Arkadaki aracın kısa sürede seyir moduna geçerek yolculuk boyunca seyir modunda hareket etmesi ve takip moduna geçmemesi ivme grafiğinin gürültüsüz bir şekilde elde edilmesini sağlamaktadır. Hız grafiği incelendiğinde ise arkadaki aracın 8. saniyeden itibaren yolculuk boyunca ayarlanan hızda gittiği gözlenmektedir. Mesafe grafiği ise öndeki aracın arkadaki araçtan daha hızlı bir şekilde hareket etmesinin sonucunda aralarındaki mesafenin zamanla arttığını göstermektedir.



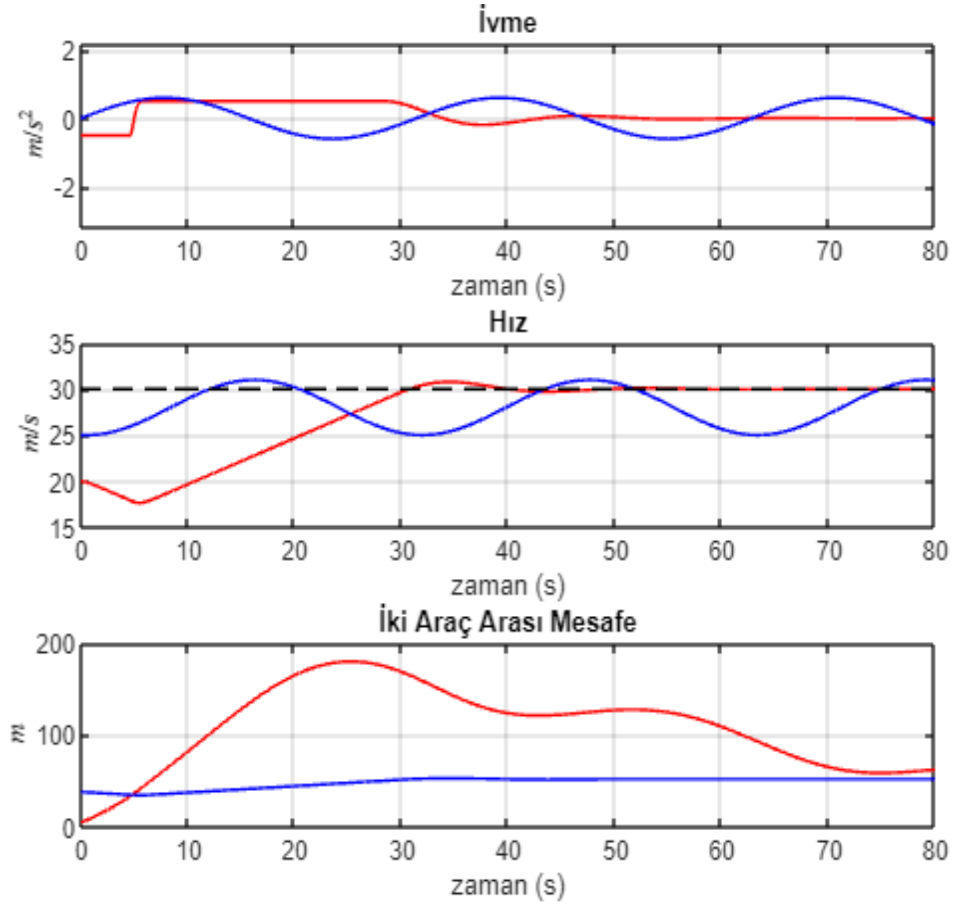
Şekil 52: Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($t_{gap} = 0.9$)

Şekil 52'deki simülasyonda ayarlanan t_{gap} dışındaki tüm koşullar Şekil 48'deki simülasyon senaryosu koşulları ile aynıdır. İki araç arası güvenli takip mesafesinin hesaplanmasında kullanılan t_{gap} değeri, arkadaki araç ile öndeki araç arasındaki zaman aralığını ifade etmektedir. Simülasyonda bu değer default olarak 1.4 olarak belirlenmiştir. Default değerden daha küçük bir değer olması durumunda ACC sisteminin davranışını gözlemlemek için t_{gap} değeri 0.9 olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu değer ve ayarlanan hız değeri için güvenli takip mesafesi 52 m'den 37 m'ye düşmektedir. Buna bağlı olarak hız ve ivme grafiklerindeki değişim Şekil 48'dekilere göre az miktarda olmakla beraber, iki araç arası mesafe en fazla 90 m civarına kadar artmıştır. 58. Saniyeden sonra araç takip moduna geçerek t_{gap} değerinin 1.4 olduğu duruma benzer bir seyir izlemiştir.



Şekil 53: Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($t_{gap} = 2.08$)

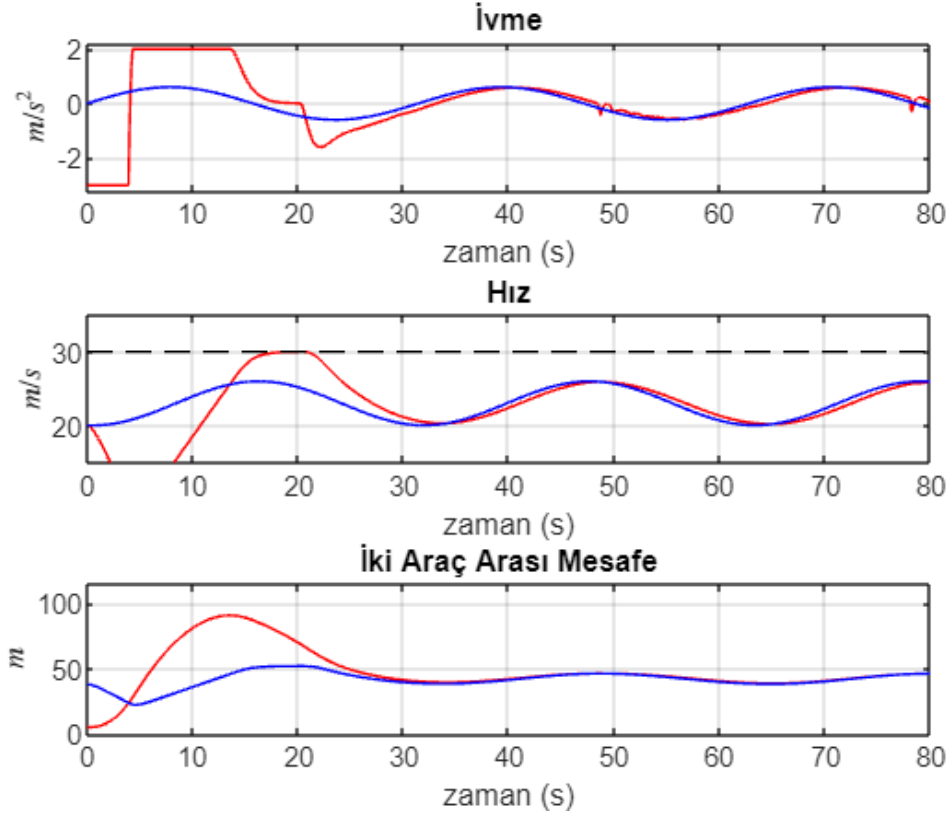
Şekil 53'deki simülasyon senaryosu ayarlanan t_{gap} değeri dışındaki tüm koşullar için Şekil 52 simülasyonu ile aynıdır. Bu grafik seti simülasyona $t_{gap} = 2.08$ değeri girilerek elde edilmiştir. Şekil 53'deki ivme grafiği Şekil 52'deki grafiğe göre başlangıçta biraz daha uzun süre negatif yönde değer almakta ve bunun sonucunda hız grafiği daha düşük bir değere düşmektedir. Daha sonra hız artarak iki araç arası mesafenin 140 m civarına çıkmasına sebep olmaktadır. t_{gap} 'ın 2.08 değeri için güvenli takip mesafesi 72.4 m olarak belirlendiğinden iki araç arası mesafe buraya kadar düşmektedir. 70. saniyeden sonra araç tekrar takip moduna geçerken hız ve ivme grafiği az bir miktarda gürültü olduğu gözlenmektedir.



Şekil 54: Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($a_{min} = -0.5$, $a_{max} = 0.5$)

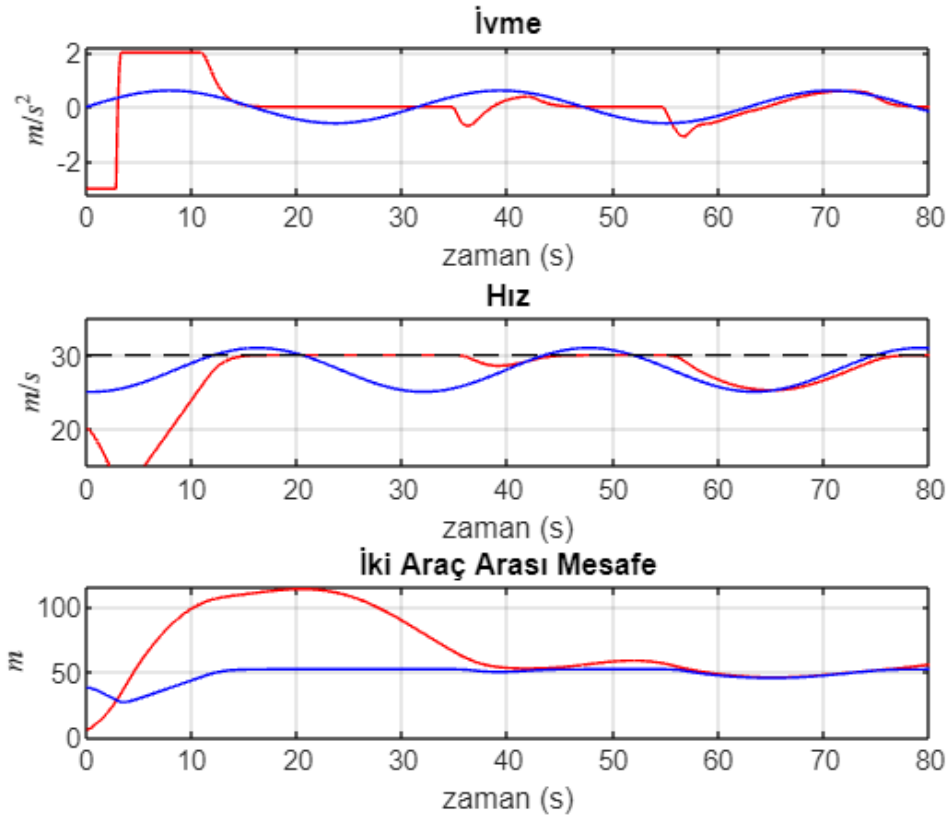
Öndeki aracın ivme aralığının $(-1, 1)$ değerlerinden daha düşük bir ivme aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Arkadaki aracın ivme aralığının öndeki aracın ivme aralığına yakın olması durumunu incelemek için $(-0.5, 0.5)$ ivme aralığı seçilmiştir. Şekil 54'deki simülasyon senaryosunda $a_{min} = -0.5$ ve $a_{max} = 0.5$ olması dışındaki tüm koşullar Şekil 48 simülasyon koşulları ile aynıdır. İvme aralığının default değer olan $(-3, 2)$ 'ye göre daha düşük değer aralığında olması gürültünün etkisini yok denecek kadar azaltmıştır. Arkadaki aracının ivmesi -0.5 değerinden kısa bir sürede sıfıra ulaşmaktadır. Daha sonra $+0.5$ sabit ivme ile hızlanarak arkadaki araç için ayarlanan hıza gelmektedir. Bu hıza ulaştınca sabit ivme ile devam etmektedir. İvmenin pozitif yönde kaldığı sürede hız lineer olarak yükselmiştir. 40. saniyeden sonra araç seyir moduna geçerek 30 m/s hızla sabit olarak hareket etmektedir. İki araç arası mesafe grafiği incelendiğinde 25. saniyeye kadar mesafenin artan grafik gösterdiği ve 25. saniyeden sonra azalan grafik gösterdiği gözlenmektedir. 70. saniyeden itibaren araç güvenli takip mesafesini mesafeyi koruyarak yoluna devam etmiştir.

UWB mesafe ölçüm sonuçlarına göre hesaplanan ortalama varyans durumu için yapılan simülasyon çalışmalarında tüm simülasyon senaryolarına göre grafiklerde anlamlı bir gürültü olmadığı görülmüştür. Şekil 49’da uygulanan arkadaki ve öndeki araçların hızlarının birbirine eşit olduğu simülasyon senaryosu koşulları UWB için uygulandığında Şekil 55’teki sonuçlar elde edilmiştir.

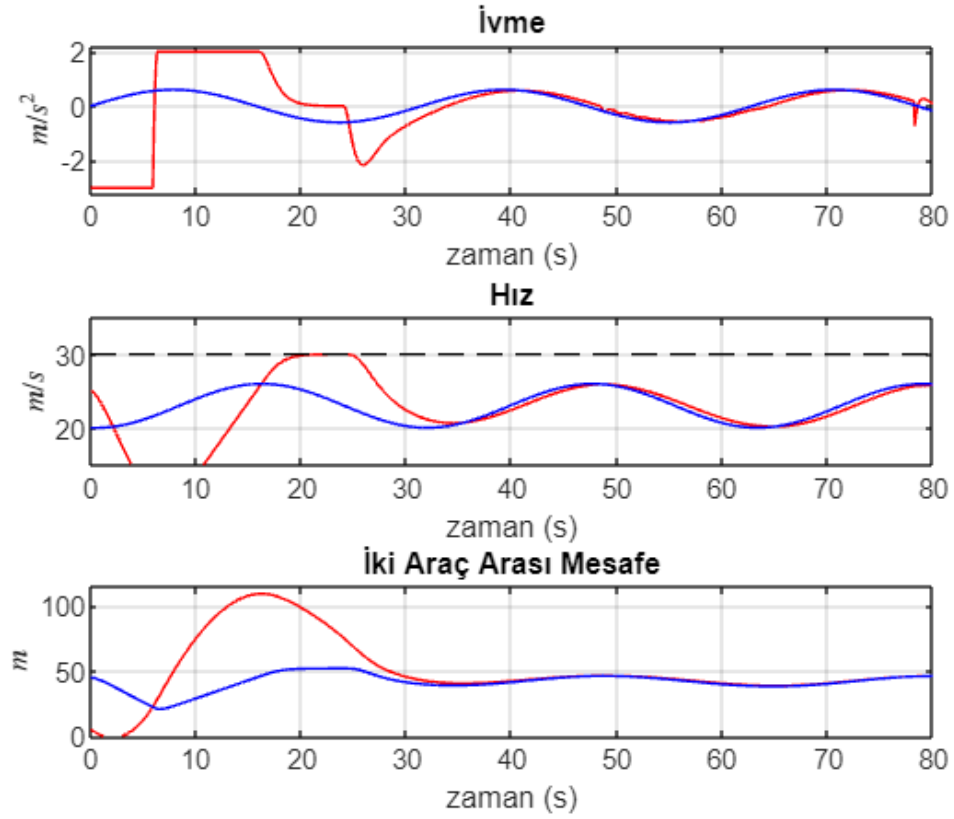


Şekil 55: UWB İçin Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($V_{\text{arkadaki araç}} = V_{\text{öndeki araç}}$)

Şekil 55’teki grafikler incelendiğinde ivme grafiğinde bir iki noktada çok küçük birer gürültü olmakla birlikte diğer kısımlarda gürültü bulunmamaktadır. Hız ve iki araç arası mesafe grafikleri de oldukça düzgün eğriler içermektedir. Şekil 49 ile karşılaştırıldığında grafiklerin aralarındaki fark bariz bir şekilde görülmektedir. Şekil 56 ve Şekil 57’deki gibi tüm simülasyon senaryoları için gürültüsüz grafikler elde edildiğinden diğer senaryolar için elde edilen grafikler burada sunulmamıştır. Bu bağlamda UWB entegre edilmiş ACC sisteminin gürültüsüz bir sistem olduğu görülmektedir.



Şekil 56: UWB İçin Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($V_{\text{arkadaki araç}} < V_{\text{öndeki araç}}$)



Şekil 57: UWB İçin Gürültülü İvme, Hız ve Mesafe Grafikleri ($V_{\text{arkadaki araç}} > V_{\text{öndeki araç}}$)

8. SONUÇ

Araçtan Araca (V2V) haberleşme teknolojisi, araçların hız, konum, seyahat, frenleme gibi parametrelerinin kablosuz bağlantı ile araçlar arasında aktarımına dayanan Araçtan Her Şeye (V2X) kapsamında bir teknolojidir. ACC sistemi ise V2V haberleşme teknolojisinin bir parçası olarak sürücü yardımı uygulaması olarak kullanılan önemli bir sistemdir. Adaptif Hız Sabitleme (ACC) sistemleri, büyük bir çoğunluğu FMCW radar başta olmak üzere kameralar veya ultrasonik sensörler ile önünde engel oluşturan aracı tespit ederek arkadaki aracın hızını otomatik olarak ayarlamayı sağlamaktadır. Böylelikle arkadan çarpışmalı trafik kazalarının önlenmesi ve trafik güvenliğinin artırılması amaçlanmaktadır.

Bu tez kapsamında Ultra Geniş Bant (UWB) haberleşme teknolojisine dayanan test çalışmaları yapılmıştır. Yapılan test çalışmalarında araçlar arası mesafe ölçümü için UWB sinyalleri kullanılmıştır. Test çalışmalarında araçların hem ön hem de arka yüzüne sensör olarak UWB etiketler takılmıştır. Kullanılan bu UWB etiketler ile iki araç arası mesafe ölçümleri İki Yönlü Aralık (TWR) tekniğine göre gerçekleştirilmektedir. Tüm test çalışmalarında araçlar arası uzaklığın 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 ve 80 m olduğu mesafelerde 5'er dakikalık mesafe ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar maksimum sapma değerlerinin 5.347-13.022 cm arasında, standart sapma değerlerinin 1.7630-3.1833 cm arasında ve varyans değerlerinin 3.1081-10.1331 arasında değiştiğini göstermektedir. Bu değerler ölçüm sonuçlarında belirli sapmalar olmakla birlikte UWB sistemi ölçümlerinin yüksek doğruluğa sahip olduğunu ifade etmektedir.

Ayrıca bu tez kapsamında ACC sistemine dayanan simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Bir V2V haberleşme teknolojisi sistemi olan ACC sisteminde mesafe bilgisinin UWB sinyalleri kullanılarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Test çalışmalarında UWB etiketlerinden elde ettiğimiz ölçüm değerlerinin dağılımı ACC simülasyon blok şemasına Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsü (AWGN) bloğu vasıtasıyla eklenerek ivme, hız ve mesafe grafikleri elde edilmesi amaçlanmıştır. ACC sisteminin belirli değişkenleri sabit tutularak, bazı değişkenleri ise değiştirilerek 8 farklı simülasyon senaryosu çalışması gerçekleştirilmiştir. Yüksek varyans değerleri için yapılan simülasyon çalışmalarında mesafe sinyallerindeki gürültünün ACC sisteminde özellikle ivme üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca gürültünün hız ve iki araç arası mesafe üzerinde seyir modunda etkisinin olmadığı, takip modunda ise kısmi etkisinin olduğu görülmektedir. Ancak UWB mesafe sinyalleri kullanılması durumunda ACC sisteminin

gürültüsüz bir şekilde çalıştığı ve sinyallerdeki düşük varyansın ACC sisteminin çalışmasını bozucu herhangi bir etkiye sebep olmadığı görülmektedir.

Bu test ve simülasyon çalışmaları sonucunda ACC sisteminde UWB'nin kullanılabilirliği ile ilgili yeni bir bakış açısı getirilmiştir. Elde edilen bulgulardan UWB teknolojisi entegre edilmiş ACC sistemlerinin mevcuttaki ACC sistemlerine alternatif veya destekleyici bir teknoloji olabileceği gösterilmiştir.

KAYNAKÇA

- Açıkgöz, T. (2020). Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Analizi ve Uygulamaları. İstanbul.
- Ameen H. A., Mahamad A. K., Saon S. (2020). A Review On Vehicle To Vehicle Communication System Applications. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*.
- Boovarahan, N. (2021). Vehicle to Everything an Introduction. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 38-39.
- Brugnolli M. M., Angelico B. A., Lagana A. M (2019). Predictive Adaptive Cruise Control Using a Customized ECU. *IEEE*.
- Bueno M., Fabrigoule C., Fort A. (2013). Effectiveness of Forward Collision Warning Systems: a Contribution from the Cognitive Analysis Combining Behavioral and Electrophysiological Measurements. *Driver Adaptation to Information and Assistance Systems* (s. 239-256). içinde
- Decawave. (2016). *DWM1000*. Kasım 10, 2022 tarihinde <https://www.qorvo.com/products/p/DWM1000#documents> adresinden alındı
- Demba A., P.F. Möller D. (2018). Vehicle-to-Vehicle Communication Technology. *2018 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT)*.
- Farivar F., Haghighi M. S., Jolfaei A., Wen S. (2020). On the Security of Networked Control Systems in Smart Vehicle and its Adaptive Cruise Control. *IEEE*.
- Figuerola A., Al-Qudsi B., Joram N., and Ellinger F.. (2016). Comparison Of Two-Way Ranging With FMCW and UWB Radar Systems. *13th Workshop On Positioning, Navigation And Communications (WPNC)*.
- Harding, J., Powell, G., R., Yoon, R., Fikentscher, J., Doyle, C., Sade, D. (2014). *Vehicle to Vehicle Communications: Readiness of V2V Technology for Application*. Washington: DC: National Highway Traffic Safety.
- Hodson, J. (2022). *UWB Feather*. Ekim 1, 2022 tarihinde <https://github.com/prototyping-corner/UWB-Feather> adresinden alındı

- Hong-qiang L., Chang-yun M., Hua-ping W. (2007). System-On-a-Chip Design of Electronic Control Unit for Car Body Control. *2007 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*. Beijing, China: IEEE.
- Hossain Md. D., Inoue H., Fall D., Kadobayashi Y. (2020). LSTM-Based Intrusion Detection System for In-Vehicle Can Bus Communications. *IEEE Access*.
- Hulsoft W., Knight I., Edwards A., Avery M., Grover C. (2013). Autonomous Emergency Braking Test Results. *23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*. Seoul , Korea, South.
- Jarasuniene, A. (2007). Research Into Intelligent Transport Systems (ITS).
- Koçkan, C. (2008). *Taşıtlar Arası Haberleşme*. İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koyuncu, A. Ş. (2018). *Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri Avrupa Stratejisinin İncelenmesi ve Türkiye Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Stratejisi İçin Öneriler*. Ankara.
- Kshetrimayum, R. S. (2009). An Introduction To UWB Communication Systems. *IEEE Potentials*, (s. 9-13).
- Kumar O.P, Kumar P., Tanweer A., Kumar P., Vincent S. (2022). Ultrawideband Antennas: Growth and Evolution. *Micromachines*, 13-60.
- Mallik, S. (2014). Intelligent Transportation System. *International Journal of Civil Engineering Research*, 367-372.
- Mason, A. (2017). *Socio-Economic Benefits of Cellular V2X*.
- Matlab. (2023). Matlab:
https://www.mathworks.com/help/mpc/ref/adaptivecruisecontrolsystem.html?s_tid=doc_ta adresinden alındı
- Meşedilci, Ö. (2019). *Şerit İzleme ve Araç-Araç Haberleşmeden Faydalanarak Trafik Kaza Önleme Sistemlerinin Geliştirilmesi*. İstanbul.
- Microchip. (2013). *MCP2561/2*. Ekim 1, 2022 tarihinde
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/20005167c.pdf> adresinden alındı

- Molisch, A. F. (2009). Ultrawideband Communications - An Overview. *URSI Radio Science Bulletin*, 31 - 42.
- Olbrich H., Beez T., Lucas B., Mayer H. ve Winter K. (1998). A Small, Light Radar Sensor and Control Unit for Adaptive Cruise Control. *SAE International*, 1127-1132.
- Özdemir, Ö. (2017). *Araç-Araç Haberleşmesi için Veri Link Tasarımı*. Eskişehir.
- Petri A., Petreus D. M. (2022). Adaptive Cruise Control in Electric Vehicles with Field-Oriented Control. *MDPI Applied Sciences*.
- Popa L., Groza B., Jichici C., Murvay P. (2022). ECUPrint—Physical Fingerprinting Electronic Control Units on CAN Buses Inside Cars and SAE J1939 Compliant Vehicles. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security* (s. 1185 - 1200). IEEE.
- Qorvo. (2021). *Getting Back to Basics with Ultra-Wideband (UWB)*. Ağustos 11, 2022 tarihinde <https://www.qorvo.com/resources/d/qorvo-getting-back-to-basics-with-ultra-wideband-uwbb-white-paper> adresinden alındı
- Sankar, V. (2014). Review On Adaptive Cruise Control In Automobiles. *Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res.*
- Siwiak, K. (2004). A Gentle Introduction to Ultra-wide Band Radio Technology. UK.
- Tektaş M., Korkmaz K., Erdal H.. (2016). Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Geleceği (Ekonomik ve Çevresel Faydaları).
- Tektaş M., Tektaş N. (2019). Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) Uygulamalarının Sektörlere Göre Dağılımı. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 32-41.
- Tsang-Wei Lin, Sheue-Ling Hwang, Paul A. Green (2009). Effects of time-gap settings of adaptive cruise control (ACC) on driving performance and subjective acceptance in a bus driving simulator. *Safety Science*, 620-625.
- TUIK. (2020). *Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri*. Mayıs 6, 2022 tarihinde <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2020-37436> adresinden alındı
- UAB. (2022). *Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)*. Ağustos 7, 2022 tarihinde <https://hgm.uab.gov.tr/akilli-ulasim-sistemleri-aus> adresinden alındı

- WHO. (2022). *Road Traffic Injuries*. Kasım 10, 2022 tarihinde <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries> adresinden alındı
- Widmann G. R., Daniels M. K., Hamilton L., Humm L., Riley B., Schiffmann J. K., Schnelker D. E. ve Wishon W. H. (2000). Comparison Of Lidar-Based And Radar-Based Adaptive Cruise Control Systems. *SAE 2000 World Congress*. Detroit, Michigan.
- Wikipedia. (2023). *Mikroişlemci*. Aralık 5, 2022 tarihinde <https://tr.wikipedia.org/wiki/Mikroi%C5%9Flemci> adresinden alındı
- Wipelot. (2023). Wipelot: <https://wipelot.com/> adresinden alındı
- Yuan Y., Yuwei L., Wang Q. (2020). Adaptive Forward Vehicle Collision Warning Based On Driving Behavior. *Neurocomputing*, 64-71.
- Yue L., Abdel-Aty M., Wu Y., Ugan J., Yuan C. (2021). Effects Of Forward Collision Warning Technology in Different Pre-Crash Scenarios. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 336-352.
- Zorkany M. E., Yasser A., Galal A. I (2020). Vehicle To Vehicle “V2V” Communication: Scope, Importance, Challenges, Research Directions and Future. *The Open Transportation Journal*.