



İLERİ SÜRÜŞ DESTEK SİSTEMLERİNİN DİNAMİK TAŞIT MODELİ İÇİN GELİŞTİRİLMESİ

**2024
DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Tevfik ATAMAN

**Tez Danışmanları
Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali BİBERCİ**

**İLERİ SÜRÜŞ DESTEK SİSTEMLERİNİN DİNAMİK TAŞIT MODELİ
İÇİN GELİŞTİRİLMESİ**

Tevfik ATAMAN

Tez Danışmanları

**Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali BİBERCİ**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Ağustos 2024

Tevfik ATAMAN tarafından hazırlanan “İLERİ SÜRÜŞ DESTEK SİSTEMLERİNİN DİNAMİK TAŞIT MODELİ İÇİN GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali BİBERCİ
İkinci Danışman, ÇAKÜ Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 28/08/2024

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Doç. Dr. Mehmet ŞEN (BAİBÜ)	
Üye : Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK (KBÜ)	
Üye : Doç. Dr. Bahadır ACAR (KBÜ)	
Üye : Doç. Dr. Samet USLU (KBÜ)	
Üye : Doç. Dr. Mustafa Kemal BALKİ (SNÜ)	

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Tevfik ATAMAN

ÖZET

Doktora Tezi

İLERİ SÜRÜŞ DESTEK SİSTEMLERİNİN DİNAMİK TAŞIT MODELİ İÇİN GELİŞTİRİLMESİ

Tevfik ATAMAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanları:

Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali BİBERCİ

Ağustos 2024, 118 sayfa

Dünya çapında, 2016 yılında yaklaşık 1,4 milyon kişi, Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre 8. en ölümcül ölüm nedeni olan ulaşım ile ilgili yaralanmalar ya da kazalar nedeniyle ölmüştür. Araçlar ile ulaşım, modern bir dünyada yaşayan çoğu insan için bir zorunluluk olmaya devam edecek, bu nedenle araçla ilgili yaralanmalar öngörülebilir gelecekte de devam edecektir. Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi'ne (NHTSA) göre, kritik kaza öncesi olayların %94'ü sürücü hatalarından kaynaklanmaktadır. Geniş anlamda; NHTSA sürücüyü ilgili kazaları tanıma hataları, karar hataları, performans hataları ve performans dışı hatalar olarak sınıflandırmaktadır. Bu sürücüyü ilgili hataların çoğu önlenabilir düzeydedir. Dünya çapındaki düzenleyici kurumlar ve otomobil üreticileri, araçla ilgili yaralanmaları ve ölümleri azaltmakla görevlendirilmiştir. Yaralanmaları ve ölümleri ortadan kaldırmak için elimizde olan araçlardan bazıları çarpışma dayanıklılığı, güvenlik destek

özellikleri, tüketici eğitimi ve daha güvenli yollardır. Bu araçların hiçbiri tek başına yaralanmaları ve ölümleri ortadan kaldıramayacaktır. Bu mekanizmalardan İleri Sürüş Destek Sistemleri (ADAS), bu amaca yardımcı olmak için umut verici bir alan oluşturmaktadır. ADAS işlevleri, sürücünün ihtiyaç duyduğu dikkat talebini azaltır ve diğer kritik koşullara müdahale eder. Kameralar ve sensörler, sürücünün etrafındaki dünyayı görmesine ve kazaları önlemesine yardımcı olur. Örneğin; bu özellikler sürücülerin güvenli takip mesafelerini korumasına, işaretli şeritlerde kalmasına ve ileri çarpışmaları sınırlamasına yardımcı olur. Bu tür sistemler, güvenlik risklerini yöneten Otomatik Sürüş Sistemleri (ADS) için temel oluşturur.

Çalışma kapsamında; MATLAB-Simulink ortamında elektrikli bir taşıt modellemesi ile ADAS modellemeleri yapılarak standart sürüş çevrimleri ve Avrupa Yeni Otomobil Değerlendirme Programı (Euro NCAP) standartlarındaki sürüş senaryoları da modellemelere dahil edilerek analizler yapılmıştır. İlk etapta elektrikli araç modellemesi Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC) ve Hafif Taşıtlar için Dünya Geneline Uyumlu Test Prosedürü (WLTP) olmak üzere iki farklı sürüş çevriminde simüle edilmiştir. NEDC sürüş çevrimini tamamlamak için gereken enerji 2,8 kW iken, tüketilen enerjinin 2,64 kW olduğu bulunmuştur. 0,16 kW'lık fark rejeneratif frenleme ile sağlanmaktadır. Bu modelde enerjinin %5,71'i geri kazanılmaktadır. WLTP sürüş çevrimini tamamlamak için ise gereken enerji 5,62 kW iken, tüketilen enerjinin 5,22 kW olduğu bulunmuştur. 0,4 kW'lık fark rejeneratif frenleme ile sağlanmaktadır. Bu modelde enerjinin %7,04'ü geri kazanılmaktadır.

Bu çalışmada ayrıca ADAS modellemeleri de yapılmış, farklı sürüş senaryolarında 4 farklı sistem bir arada değerlendirilerek analizler yapılmıştır. Adaptif Hız Sabitleyici (ACC), Şerit Takip Asistanı (LKA), Otonom Acil Fren (AEB) ve Şerit Değiştirme Asistanı (LCA) farklı sürüş senaryolarındaki durumları incelenmiştir. Sürüş senaryosu olarak Euro NCAP standartlarındaki senaryolar modellemeye dahil edilmiştir. Öncü araç hızı olarak 80 km/h, 90 km/h, 100 km/h, 110 km/h ve 120 km/h durumları değerlendirilmiş ve güvenli durum, kritik durum, tehlikeli durumlar analiz edilmiştir.

Yapılan ADAS modellemesi ile, nesnelerin tespitine dair süreler kısalmış ve başarılı durumların başarısız durumlardan daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Modellemelerden 2. konfigürasyon daha güvenilir sonuçlar vermiş ve tezde test edilen her hız için araçlar arası mesafenin 30 metreden büyük olduğu durumlarda modelleme başarılı bir şekilde çarpışmayı önlemektedir.

Anahtar Sözcükler : MATLAB, ileri sürüş destek sistemleri, taşıt güvenliği.

Bilim Kodu : 91404



ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DEVELOPMENT OF ADVANCED DRIVING ASSISTANCE SYSTEMS FOR DYNAMIC VEHICLE MODEL

Tevfik ATAMAN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisors:

Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK

Assist. Prof. Dr. Mehmet Ali BİBERCİ

August 2024, 118 pages

Worldwide, in 2016, approximately 1.4 million people died due to road-related injuries or crashes, which are the 8th leading cause of death according to the World Health Organization. Transportation by vehicle will continue to be a necessity for most people living in a modern world, so vehicle-related injuries will continue for the foreseeable future. According to the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 94% of critical pre-crash events are caused by driver errors. Broadly speaking, NHTSA classifies driver-related crashes as recognition errors, judgment errors, performance errors, and non-performance errors. Most of these driver-related errors could have been prevented. Regulatory agencies and automakers worldwide are tasked with reducing vehicle-related injuries and deaths. Some of the tools we have at our disposal to eliminate injuries and deaths are crashworthiness, safety assist features, consumer education, and safer roads. None of these tools alone will eliminate injuries and deaths.

Of these mechanisms, Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) are a promising avenue to help achieve this goal. ADAS systems reduce the driver's attention demand and intervene in other critical conditions. Cameras and sensors help drivers see the world around them and prevent accidents. For example, these features help drivers maintain safe following distances, stay in marked lanes, and limit forward collisions. Such systems form the basis for Automated Driving Systems (ADS) that manage safety risks.

Within the scope of the study, ADAS models were made with an electric vehicle model in the MATLAB-Simulink environment, and analyses were made by including standard driving cycles and driving scenarios in Euro NCAP standards in the modeling. In the first stage, the electric vehicle model was simulated in two different driving cycles, NEDC and WLTP. While the energy required to complete the NEDC driving cycle was 2.8 kW, the energy consumed was found to be 2.64 kW. The 0.16 kW difference is provided by regenerative braking. 5.71% of the energy is recovered in this model. The energy required to complete the WLTP driving cycle was found to be 5.62 kW, while the energy consumed was found to be 5.22 kW. The difference of 0.4 kW is provided by regenerative braking. 7.04% of the energy is recovered in this model.

In this study, ADAS modeling was also performed, and 4 different systems were evaluated together in different driving scenarios and analyses were performed. The situations of ACC, LKA, AEB and LCA in different driving scenarios were examined. The scenarios in Euro NCAP standards were included in the modeling as driving scenarios. The leading vehicle speeds of 80 km/h, 90 km/h, 100 km/h, 110 km/h and 120 km/h were evaluated, and safe situations, critical situations and dangerous situations were analyzed. With the ADAS modeling, the times for detecting objects were shortened and it was determined that successful situations were more than unsuccessful situations. The second configuration from the modeling gave more reliable results and the modeling successfully prevented the collision when the distance between the vehicles was greater than 30 meter for each speed tested in the thesis.

Key Word : MATLAB, advanced driving assistance systems, vehicle safety
Science Code : 91404



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, yıllardır engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, her daim olumlu tutumuyla beni motive eden çok kıymetli hocam Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez konusunu seçmemde büyük emeği ve desteği olan, her daim bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, kendisini tanımaktan mutluluk duyduğum sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali BİBERCİ'ye özellikle teşekkür etmek istiyorum.

Sevgili eşim ve aileme, manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 3	11
KONU KAPSAM VE GENEL BİLGİLER.....	11
3.1. OTONOM SÜRÜŞE GENEL BAKIŞ	11
3.1.1. Otonom Araç Tanımı.....	11
3.1.2. Otonom Sürüşün Tarihçesi	12
3.1.3. Otonom Araçların Avantajları	13
3.1.3.1 Daha Az Trafik Kazası ve Ölüm Oranı.....	13
3.1.3.2 Daha Az Yakıt Tüketimi	14
3.1.3.3 Daha İyi Trafik Düzeni	14
3.1.3.4 Müşteri Verimliliği ve Zaman Tasarrufu	14
3.1.3.5 Ekonomideki Gelişmeler	14
3.1.3.6 Askeri Uygulamalar	14
3.2. İLERİ SÜRÜŞ DESTEK SİSTEMLERİ	15

	<u>Sayfa</u>
3.2.1. Aracın Duyu Organları	15
3.2.1.1 Kamera	16
3.2.1.2 Radar	17
3.2.1.3 Lidar	18
3.2.1.4 Ultrasonik Sensörler	18
3.2.1.5 Atalet Ölçüm Ünitesi Sensörleri	19
3.2.1.6 Yüksek Çözünürlüklü Haritalar	19
3.3. ADAS ve OTONOM SÜRÜŞ	20
3.3.1. Otoyol Asistanı ve Trafik Sıkışıklığı Asistanı (Seviye 2)	21
3.3.2. Uzaktan Park Etme (Seviye 2)	22
3.3.3. Trafik Sıkışıklığı Şoförü (Seviye 3)	22
3.3.4. Karayolu Şoförü (Seviye 3)	23
3.3.5. Şehir ve Kenarkent Pilotu (Seviye 4)	23
3.3.6. Otoyol Otopilotu (Seviye 4)	23
3.3.7. Vale Park Hizmeti (Seviye 4)	24
3.4. SEVİYE 5: TAM OTOMASYON	25
3.5. OPERASYONEL TASARIM ALANI	25
3.6. DİNAMİK SÜRÜŞ GÖREVİ	27
3.7. NESNE-OLAY ALGILAMA VE TEPKİ	27
3.8. MODEL TAHMİNİ KONTROLÜ	28
3.9. MODEL TABANLI TASARIM	29
3.9.1. Model Tabanlı Tasarımın Temel Kavramları	30
3.10. SENSÖR FÜZYONU	31
3.11. İLERİ SÜRÜŞ DESTEK SİSTEMLERİ (ADAS) FONKSİYONLARI	32
3.11.1. Adaptif Hız Sabitleyici (ACC)	32
3.11.2. Şerit Takip Asistanı (LKA)	33
3.11.3. Şerit Değiştirme Asistanı (LCA)	33
3.11.4. Otomatik Acil Fren (AEB)	34
3.12. OTONOM ARAÇ YAKLAŞIMI	34
3.12.1. Müşteri Onayı	34
3.12.2. Maliyet	34
3.12.3. Teknoloji ve Otonomi Seviyeleri	35

	<u>Sayfa</u>
3.12.4. Yükümlülük	35
3.12.5. Mevzuat	35
3.12.6. Penetrasyon Zaman Çizelgesi	36
3.12.7. Altyapı	36
3.12.8. Güvenlik	36
3.12.9. Bölgesel Farklılıklar	36
 BÖLÜM 4	 37
MATERYAL VE YÖNTEM	37
4.1. TAŞITIN MODELLENMESİ	37
4.1.1. Taşıta Etkiyen Direnç Kuvvetleri	39
4.1.1.1. Aerodinamik Direnç	40
4.1.1.2. Yuvarlanma Direnci	41
4.1.1.3. Yokuş Direnci	41
4.1.1.4. İvmelenme Direnci	42
4.1.1.5. Taşıta Etki Eden Toplam Direnç Kuvveti	42
4.1.2. Rejeneratif Frenleme	42
4.1.3. Sürüş Çevrimleri	43
4.1.3.1. NEDC ve WLTP Arasındaki Farklar	45
4.1.4. Simülasyon Parametreleri	47
4.1.5. Elektrik Motor Modeli	48
4.1.6. Taşıt Dinamik Modeli	49
4.2. OTONOM ARAÇ TEST ORTAMININ OLUŞTURULMASI	50
4.2.1. Sensör Füzyonu ve Denetleyici Blokları	54
4.2.1.1. Aktüatörler ve Sensörler	55
4.2.1.1. İzleme ve Sensör Füzyonu	56
4.2.1.2. Şerit Merkezi Tahmini	58
4.2.1.3. ACC ve LKA İçin MPC Denetleyici	59
4.2.1.4. Şerit Değiştirme Yardımcısının Uygulanması	62
4.2.1.5. Otonom Acil Fren (AEB) Modelinin Uygulanması	66
4.3. OTONOM ACİL FREN SİSTEMİNİN EURO NCAP STANDARTLARINA GÖRE ANALİZİ	 68

4.3.1. Araçtan Araca Arka Test Protokolü Standart Koşulları	69
BÖLÜM 5	71
BULGULAR VE TARTIŞMALAR	71
5.1. ELEKTRİKLİ ARAÇ SİMÜLASYON ANALİZLERİ.....	71
5.1.1. NEDC Sürüş Çevrimi Boyunca Elde Edilen Veriler	71
5.1.1.1. NEDC Çevrimi Boyunca Elde Edilen Elektrik Motoru Verileri	71
5.1.1.2. NEDC Çevrimi Boyunca Araç İvme ve Hızı.....	72
5.1.1.3. NEDC Çevrimi Boyunca Batarya Şarj Durumu ve Alınan Yol	73
5.1.1.4. NEDC Çevrimi Analiz Verilerine Genel Bakış	73
5.1.2. WLTP Sürüş Çevrimi Boyunca Elde Edilen Veriler	76
5.1.2.1. Çevrim Boyunca Elde Edilen Elektrik Motoru Verileri	76
5.1.2.2. WLTP Çevrimi Boyunca Araç İvme ve Hızı.....	76
5.1.2.3. WLTP Çevrimi Boyunca Batarya Şarj Durumu ve Alınan Yol	77
5.1.2.4. WLTP Çevrimi Analiz Verilerine Genel Bakış	78
5.2. ADAS MODELLEMELERİ SİMÜLASYON ANALİZLERİ	79
5.2.1. Sürüş Senaryoları Sonucu Elde Edilen Veriler.....	80
5.2.1.1. Araçtan Araca Arkadan Sabit Senaryo	81
5.2.1.2. Araçtan Araca Arkadan Hareketli Senaryo.....	82
5.2.1.3. Araçtan Araca Arka Frenleme Senaryosu (Başlangıç Mesafesi 12 m).....	82
5.2.1.4. Araçtan Araca Arka Frenleme Senaryosu (Başlangıç Mesafesi 40 m).....	83
5.2.1.5. Araçtan Yayaya (Çocuk), Sağ Şerit, %50 Temas	84
5.3. SÜRÜŞ SENARYOLARI SİMÜLASYON ANALİZLERİ.....	85
5.3.1. Şerit Değişiminin Olmadığı 1. Durum (Yapılandırma 1).....	92
5.3.2. Başarılı Şerit Değişimi Durumu (Yapılandırma 2).....	94
5.3.3. Başarılı Otonom Acil Fren (AEB) Durumu (Yapılandırma 1 veya 2) ...	98
BÖLÜM 6	101
SONUÇ VE ÖNERİLER	101

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	104
EK AÇIKLAMALAR A.	110
ELEKTRİKLİ TAŞIT MATLAB SİMÜLASYONU BAŞLANGIÇ KOMUTLARI DOSYASI (.m file)	110
EK AÇIKLAMALAR B.	113
ÖZGEÇMİŞ	118



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1.	Otonom araç.....	11
Şekil 3.2.	İleri sürüş destek sistemleri.....	16
Şekil 3.3.	İleri sürüş destek sistemlerinin tarihsel gelişimi.....	19
Şekil 3.4.	Otonom sürüş seviyeleri.	20
Şekil 3.5.	Otonom sürüş seviyeleri.	24
Şekil 3.6.	Farklı otomasyon seviyelerine ulaşmak için araçlarda sensör kurulumu	25
Şekil 3.7.	Model Tabanlı Tasarım süreci iş akışı	29
Şekil 4.1.	Elektrikli araç modeli.....	38
Şekil 4.2.	Bir eğimde taşıta etkiyen kuvvetler.	39
Şekil 4.3.	NEDC sürüş çevrimi hız-zaman grafiği.....	44
Şekil 4.4.	WLTP sürüş çevrimi hız-zaman grafiği.....	45
Şekil 4.5.	NEDC-WLTP hız-zaman karşılaştırması.	46
Şekil 4.5.	Elektrik motoru verim haritası.....	48
Şekil 4.6.	Elektrik motoru modeli.....	49
Şekil 4.7.	2 serbestlik dereceli taşıt modeli.....	49
Şekil 4.7.	Taşıt dinamik modeli.	50
Şekil 4.8.	Test ortamı modeli.	51
Şekil 4.9.	Ego araç sensör yerleşimi.	56
Şekil 4.10.	Tahmini yapılan eğriliğin hesaplanması.	59
Şekil 4.11.	ACC’de güvenli mesafe ve bağlı mesafe tanımı.	61
Şekil 4.12.	LKA için şerit kavisi tahmin şeması.....	62
Şekil 4.13.	AEB aktivasyon mantığı.....	67
Şekil 4.14.	AEB frenleme aşamaları.....	67
Şekil 4.15.	FCW/AEB algoritması.....	68
Şekil 4.16.	EURO NCAP test protokolü.....	69
Şekil 4.17.	EURO NCAP test protokolü.....	70
Şekil 5.1.	NEDC çevriminde elektrik motoru verileri.	72
Şekil 5.2.	NEDC çevrimi boyunca taşıt ivme ve hız grafiği.....	72
Şekil 5.3.	NEDC çevrimi boyunca batarya şarj durumu ve alınan yol.	73

Şekil 5.4.	NEDC çevrimi boyunca taşıt hızı, motor gücü ve batarya şarj durumu.	74
Şekil 5.5.	Çevrimin kritik noktaları.	74
Şekil 5.6.	Çevrim boyunca gerekli enerji, tüketilen enerji ve rejeneratif enerji değerleri.	75
Şekil 5.7.	WLTP çevrimi boyunca elektrik motoru değerleri.	76
Şekil 5.8.	WLTP çevrimi boyunca taşıt ivme ve hız grafiği.	77
Şekil 5.9.	WLTP çevrimi boyunca batarya şarj durumu ve alınan yol.	77
Şekil 5.10.	WLTP çevrimi boyunca taşıt hızı, motor gücü ve batarya şarj durumu.	78
Şekil 5.11.	WLTP çevrimi kritik noktaları.	78
Şekil 5.12.	WLTP çevrimi boyunca gerekli enerji, tüketilen enerji ve rejeneratif enerji değerleri.	79
Şekil 5.13.	AEB test ortamı ile değerlerin anlık olarak takip edilmesi.	80
Şekil 5.14.	Araçtan araca arkadan sabit senaryo sonucu elde edilen değerler.	81
Şekil 5.15.	Araçtan araca arkadan hareketli senaryo sonucu elde edilen değerler.	82
Şekil 5.16.	AEB araçtan araca arka frenleme senaryosu (başlangıç boşluğu 12 m)	83
Şekil 5.17.	AEB araçtan araca arka frenleme senaryosu (başlangıç boşluğu 12 m)	84
Şekil 5.18.	AEB araçtan yayaya, sağ şerit, %50 temas durumu.	85
Şekil 5.19.	Modellenen senaryo.	86
Şekil 5.20.	Çarpışma 1'in 3. şeritte LCA ile önlendiği durum.	88
Şekil 5.21.	Çarpışma 1'in 3. şeritte ACC ya da AEB ile önlendiği durum.	89
Şekil 5.22.	Çarpışma 2'nin 4. şeritte ACC ya da AEB ile önlendiği durum.	89
Şekil 5.23.	Güvenli mesafeyi ve istenilen hızı korurken ACC sistemi.	92
Şekil 5.24.	Şerit değişiminin olmadığı 1. durum (yapılandırma 1) için simülasyon grafikleri.	93
Şekil 5.25.	Ego aracın şerit değişimi yaptığı durum (1. aşama).	95
Şekil 5.26.	Ego araç şerit değişimi yaptıktan ve öncü aracı bulduktan hemen sonra (2. aşama).	96
Şekil 5.27.	Ego aracın 4. Şeritteki yeni öncü araca göre son konumu.	97
Şekil 5.28.	Başarılı şerit değişiminin yapıldığı 2. Durum için simülasyon grafikleri (yapılandırma 2).	97
Şekil 5.29.	Başarılı otonom acil fren durumu simülasyon grafikleri.	99
Şekil 5.30.	Başarılı otonom acil fren durumu simülasyon grafikleri (Yapılandırma 1 ve Yapılandırma 2)	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. NEDC ve WLTP arasındaki farklar	46
Çizelge 4.2. NEDC ve WLTP arasındaki parametrik farklar.	47
Çizelge 4.3. Simülasyon parametreleri.	47
Çizelge 4.4. Test ortamındaki ana bloklar ve sistem girdi-çıktıları.	52
Çizelge 4.5. Simulink modelinde sensör füzyonu ve denetleyici blokları için giriş / çıkışların açıklaması.	54
Çizelge 4.6. Ego araç şeridi tanımlama kuralı.	57
Çizelge 4.7. Ego araç şeridi tanımlama kuralı.	60
Çizelge 4.8. Şerit değiştirme mantığı.	62
Çizelge 4.9. Ego aracın şerit değiştirme davranışı.	64
Çizelge 4.8. Şerit değiştirme mantığı.	67
Çizelge 5.1. Sistem performansını test etmek için yapılandırma eşik değerleri.	88
Çizelge 5.2. Yapılandırma 1 simülasyon sonuçları.	90
Çizelge 5.3. Yapılandırma 2 simülasyon sonuçları.	91

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C_d	: aerodinamik direnç katsayısı
A	: taşıt ön izdüşüm alanı (m^2)
V	: taşıt hızı (m/s)
ρ	: yoğunluk (kg/m^3)
F_r	: yuvarlanma direnci (N)
m	: kütle (kg)
C_r	: yuvarlanma direnç katsayısı
F_t	: yokuş direnci (N)
α	: yol eğimi (%)
F_i	: ivmelenme direnci (N)
F_{load}	: taşıta etki eden toplam direnç kuvveti (N)
r_w	: tekerlek yarıçapı (m)
μ	: sürtünme katsayısı
V_{set}	: aracın ulaşması istenen hız
V_{ego}	: ego araç hızı
T_s	: ilerleme zamanı

KISALTMALAR

- NHTS : The National Highway Traffic Safety Administration (Ulusal Otoyol Trafik Güvenliği İdaresi)
- NEDC : New European Driving Cycle (Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi)
- ECE15: Avrupa Sürüş Çevrimi
- ADAS : Advanced Driving Assistance Systems (İleri Sürüş Destek Sistemleri)
- FCW : Front Collision Warning (Çarpışma Uyarı)
- LDW : Lane Departure Warning (Şeritten Ayrılma Uyarısı)
- CAN : Controller Area Network (Denetleyici Alan Ağı)
- CNS : Car Navigation System (Araç Navigasyon Sistemi)
- V2V : Vehicle to Vehicle (Araçtan Araca)
- V2I : Vehicle to Infrastructure (Araçtan Altyapıya (Araç-Çevre Bağlantısı))
- V2X : Vehicle to X (Araçtan Herşeye)
- GPS : Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
- Radar : Radio Detection and Ranging (Radyo Algılama ve Mesafe Belirleme)
- Lidar : Light Detection and Ranging (Işık Algılama ve Mesafe Belirleme)
- SAE : Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Topluluğu)
- MPC : Model Predictive Control (Model Öngörülü Kontrol)
- MBD : Model Based Design (Model Tabanlı Tasarım)
- AEB : Autonomous Emergency Braking (Otonom Acil Frenleme)
- ACC : Adaptive Cruise Control (Adaptif Hız Sabitleyici)
- LKA : Lane Keeping Assist (Şerit Takip Yardımı)
- LCA : Lane Change Assist (Şerit Değiştirme Yardımı)
- ECU : Electronic Control Unit (Elektronik Kontrol Ünitesi)
- WLTP: Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (Küresel Uyumlu Hafif Taşıt Test Prosedürü)
- REES : Rechargeable Electric Energy Storage System (Şarj Edilebilir Elektrik Enerji Depolama Sistemi)
- DOF : Degree of Freedom (Serbestlik Derecesi)
- PID : Proportional Integral Derivative (Oransal-İntegral-Türev)
- TTC : Time to Collision (Çarpışma Zamanı)
- MIO : Most Important Object (En Önemli Nesne)

İZ : İzleme Zamanı

SIL : Software-in-the-Loop (Döngüde Yazılım)

DIL : Driver-in-the-Loop (Döngüde Sürüş)

MIL : Model-in-the-Loop (Döngüde Model)

NCAP : New Car Assessment Program (Yeni Araç Değerlendirme Programı)



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kara ulaşımı hakkında iki önemli husus vardır: Konfor ve güvenlik. Konfor hem sürücü hem de yolcu açısından rahat seyahat etme anlamına gelse de yakıt tüketimi, haberleşme, yol şartlarına uyum gibi unsurları da içeren, araç-çevre etkileşimine dayanan tüm durumları kapsamaktadır. Güvenlik ise ulaşım esnasında meydana gelebilecek can ve mal kayıplarının en aza indirilmeye çalışılmasıdır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2023 yılı raporuna göre Türkiye'de yaklaşık 235 bin ölümlü yaralanmalı trafik kazası meydana gelmiştir [1]. Bu kazaların 1 milyon 79 bin 65 adedi maddi hasarlı kaza, 235 bin 71 adedi ise ölümlü yaralanmalı trafik kazasıdır. Yıl içerisinde meydana gelen ölümlü yaralanmalı trafik kazalarının %83,1'i yerleşim yeri içinde %16,9'u ise yerleşim yeri dışında meydana gelmiştir. NHTSA kuruluşunun raporlarına göre Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl yaklaşık altı milyon sekiz yüz bin kaza meydana gelmektedir [2]. Ayrıca Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 2018 yılı raporlarına göre her yıl dünyada 1,35 milyon kişi trafik kazalarında yaşamını yitirmektedir [3]. Buradan hareketle ulaşımında öncelikli hedefin tam güvenlik olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır. Tam güvenlikten anlaşılmaması gereken, can kaybının ve maddi kayıpların sıfıra indirilmesidir.

Aktif güvenlik ve pasif güvenlik olmak üzere iki tür güvenlik sistemi mevcuttur. Pasif güvenlik can kaybını en aza indirmek amacıyla araca yerleştirilmiş hava yastığı, emniyet kemeri gibi kaza anında devreye giren ve akıllı olmayan güvenlik unsurlarıdır. Aktif güvenlik ise seyir esnasında sürücüye destek olan, ortamdaki farklı durumları analiz ederek ön kestirimler ve risk hesapları yapabilen, sonuç olarak muhtemel bir kazayı önlemeyi hedefleyen akıllı sistemlerdir. Öte yandan tam güvenli bir sürüşün gerçekleşmesi, aktif güvenliğin başarılı olmasına bağlıdır. Önemli olan kazaların olmamasıdır. Kaza olduktan sonra can ve mal kaybının olmaması garantisi yoktur.

Güvenli sürüş için, araç-sürücü-ortam üçlüsünün birbiriyle ilişkisi önemlidir. Sürücü ve araç dışındaki her şey ortam (çevre) olarak kabul edilmektedir. Sürücü davranışları, aracın donanım ve teknik özellikleri ile çevre şartlarına göre değişebilir. Bir başka ifadeyle aracın özelliklerine ve çevrenin durumuna göre sürücünün nasıl davranacağı, güvenli sürüş için hayati önem taşımaktadır. Bu sebeple sürücünün daha az hata yapmasını sağlamak amacıyla sürüş destek sistemleri geliştirilmiş ve bu konuda çalışmalar yapılmıştır.

Sürüş destek sistemleri genelde araca yerleştirilen donanım ve yazılımların oluşturduğu akıllı sistemlerdir. Bu sistemler yol şartlarını ya da trafikteki farklı durumları algılayarak sürücünün karşılaşabileceği zorlukları hesaplayıp uyan, ya da bir noktadan başka bir noktaya güvenli bir ulaşımın gerçekleşebilmesi için sürücüye yardımcı olan sistemlerdir. Tam güvenlik için varılmak istenen ideal hedef, giderek sürücünün kontrolünü ortadan kaldırmak ve tüm seyahati güvenli bir sürüşe dönüştüren akıllı otonom sürüş sağlamaktır [4].

Otonom araçlar bir sürücü olmadan kendi kendine karar verebilen, bir noktadan diğer bir noktaya güvenli ve konforlu bir şekilde varılmasını sağlayan araçlardır. Burada bir sürücünün yerine, tüm işlemleri akıllı bir aracın kendi kendine çok daha güvenli bir şekilde gerçekleştirebileceği kabulü ile hareket edilmektedir. Zira sürücülerin dikkatsizlik, yorgunluk, negatif ruh hali, bilgisizlik, kurallara uymama, sorumsuzluk gibi hem psikolojik hem de sosyolojik anlamda beşeri zafiyetleri bulunmaktadır. Oysa iyi kurgulanmış bir akıllı araç, sürücülerin tüm becerilerini gerçekleştirme yeteneğinin yanı sıra, onların tüm insani dezavantajlarının ortadan kaldırılmasını sağlayabilir. Bu anlamda ideal bir sürüş için örnek alınabilecek sürücü davranış modeli akıllı otonom sürüş modeli olabilir. Daha açık bir ifadeyle, ideal bir sürücü davranışı, tam güvenli sürüş sağlayabilecek ileri sürüş destek sistemleriyle donatılmış akıllı araçlarla gerçekleştirilen tam otonom sürüş modelidir. İdeal otonom araçlar sürücünün olmadığı, kendi kendine sürüş gerçekleştiren ve diğer araçlarla da haberleşebilen ve bu sayede tam güvenlik sağlayan akıllı araçlardır.

Bu tez çalışmasında; elektrikli bir taşıtın Matlab-Simulink modellemesi ile ileri sürüş destek sistemleri modellemeleri yapılarak, ileri sürüş destek sistemleri

algoritmalarının standart sürüş çevrimlerinde verdiği sonuçlar irdelenmiştir. Çalışma kapsamında, ilk aşamada NEDC sürüş çevrimi boyunca elektrikli taşıt modeli simüle edilmiş ve verimlilik incelemesi yapılmıştır. İkinci aşamada ise; ileri sürüş destek sistemleri modeli sisteme entegre edilerek NEDC ve WLTP sürüş çevrimleri boyunca benzetimi yapılmış ve simülasyon sonuçları incelenmiştir. İdeal sürücü davranışlarına bir model olmasından dolayı tam otonom sürüş sistemleri örnek alınarak akıllı araç modelleri için yeni sürüş destek sistemleri yaklaşımlarının geliştirilmesi hedeflenmiştir.



BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Dünya üzerinde meydana gelen trafik kazalarının birçoğunda sürücü davranışları önemli rol oynamaktadır. Bu durum varoldukça trafik kazalarının da artarak devam etmesi kaçınılmazdır. Trafik kazalarını en aza indirmenin önemli bir yolu, ileri sürüş destek sistemlerinin geliştirilmesidir.

Jirgl vd., insan faktör değerlendirmesi için benzetim teknolojilerini kullanma olasılığı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu bağlamda, MATLAB/Simulink'te bir araç sürme simülatörü geliştirilmiştir. Bir insan sürücü, görselleştirilmiş sahnedeki mevcut durumun algısından yararlanarak, bir insan-bilgisayar arayüzü cihazı, yani pedallı bir kumanda kolu veya direksiyon simidi aracılığıyla simüle edilmiş bir sürüşü kontrol eder. İnsan faktörü değerlendirmesini sağlamak için çeşitli test senaryoları tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bunlardan bazıları daha sonra sürücünün basit görsel uyaranlara verdiği tepkileri ölçmek için kullanılmıştır. Elde edilen veriler analiz edilmiş ve tepki gecikmesi veya kontrol tutumu gibi insan operatörünün temel parametreleri değerlendirilmiştir [5].

Hagl ve Kouabenan ADAS kullanımının ana hedefinin daha yüksek yol güvenliği olduğunu belirttikleri çalışmalarında ADAS kullanımı ile yol riski algısı arasındaki bağlantıları değerlendirmişlerdir. 101 sürücünden, kaza olasılığını ve risk kontrol edilebilirliğini değerlendirmeleri ve ADAS kullanıp kullanmadıklarının belirtilmesi istenmiştir. Sonuçlar, ADAS kullanımının algılanan kaza olasılığını azalttığını ve riskli sürüş durumları için algılanan kontrol edilebilirliği artırdığını göstermektedir. ADAS'ta otomasyon derecesi günümüzde hala düşük olduğundan, daha güvenli bir uygulama için insan faktörlerinin etkisini tartışmak önemlidir [6].

Fleming vd., sürücü davranışının doğru şekilde anlaşılmasının, gelecekteki ADAS ve otonom sürüş için çok önemli olduğundan bahsettikleri çalışmalarında, kullanıcıların bu sistemleri kabulü için ADAS'ın bireysel sürüş tarzlarına saygı duyması ve buna göre uyarlanmasının önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. Southampton Üniversitesi'nde yürütülen doğal sürüş çalışması sırasında toplanan verileri kullanarak, arabayı takip ederken ve viraj alırken mevcut sürücü hızlanma ve hız seçimi modellerini değerlendirmişlerdir. Otomobil takip durumlarında tercih edilen araçlar arası mesafeyi belirleyen mevcut sürücü davranışı modellerinin, doğal verilerde görülebilen çok çeşitli kabul edilebilir aralıklarla çok kuralcı görüldüğünü gözlemlemişlerdir. Mevcut sürücü modellerinin bu analizi, değişen sürücü davranışına uyum sağlamak için bir ADAS tarafından gerçek zamanlı olarak tahmin edilebilen, otomobil takip ve viraj sürüşünde sürücü davranışını karakterize etmek için yeterli olan küçük bir dizi parametre önermek için kullanılmıştır. Son olarak, yol güvenliğini iyileştirme ve eko-sürüşü geliştirme hedefleriyle uyarlanabilir ADAS uygulamalarını tartışarak gelecekteki araştırmalar için talimatlar önermişlerdir [7].

Lyu vd., sürücülerin davranışlarını ve algısal yeteneklerini iyileştirmek için çeşitli ADAS geliştirilmesi üzerine ADAS'ın sürüş performansı üzerinde ölçülebilir bir etkisinin olup olmadığının, saha operasyonel testleri ile doğrulanması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın amacı, ADAS'ın Çinli sürücüler üzerindeki etkililiğinin yanı sıra, karayolu tipi, cinsiyet ve deneyimin sürüş performansı üzerindeki olası etkilerini, boylamsal, yanal ve frenleme davranışı dâhil olmak üzere çeşitli değişkenlerle ölçülebilecek şekilde değerlendirmektir. Bu çalışmada kullanılan ADAS, önden çarpışma uyarısı (FCW) ve şeritten ayrılma uyarısı (LDW) işlevlerine sahip bir Mobileye M630 idi. Mobileye M630 ile donatılmış bir aracı sürmek üzere otuz iki katılımcı görevlendirildi. Katılımcılar aynı test rotasını iki kez kullandı. Güzergah, 12 km'lik bir şehir yolu, 34 km'lik şehir içi otoban ve 45 km'lik bir otoyolun yanı sıra 14 km'lik bir adaptasyon yolundan oluşuyordu. Araç dinamikleri, çevresel bilgiler ve sürüş operasyonel verileri denetleyici alan ağı (CAN) veri yolu ve video kameralarla kaydedildi. Sonuçlar, ADAS'ın frenleme davranışını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Sürücüler ADAS'a maruz kaldıklarında frenleme süresi arttı ve bağıl hız azaldı. ADAS ayrıca yavaşlama ve takip mesafesi (THW) dahil olmak üzere birçok boylamasına davranışı önemli ölçüde etkilemiştir. Deneyde kritik

derecede düşük THW oluşumu azalmıştır. Bununla birlikte, yanal davranış üzerinde önemli bir etki olmamıştır. Ayrıca, sürücünün FCW işlevini kabulü LDW işlevinden çok daha yüksek olmuştur ve otobandaki kabul, şehir yolundakinden çok daha yüksek çıkmıştır. Sonuçlar aynı zamanda yol tipinin ve deneyimin sürüş davranışları üzerindeki önemli etkisini de ortaya koymaktadır. Bu bulgular, ADAS'ın gelecekteki gelişimi için teknolojik iyileştirmeleri destekler niteliktedir [8].

Qiu vd., yaptıkları çalışmada Değerleme Tabanlı Sistem (VBS) kullanılarak belirsizlik altında sürücü-İleri Sürücü Destek Sistemlerinde (ADAS) meydana gelen kazaların olasılığını değerlendirmek için nicel bir model önermişlerdir. İki tür belirsizlik analizi yapılmıştır: Bileşenlerin durumlarıyla ilgili veri belirsizliği ve sistem yapısıyla ilgili model belirsizliği. Bileşenler ve sistem yapısı değişkenleri, değişken boşlukları ve temel olasılık atamaları ile temsil edilen bir dizi değerlendirme kullanılarak modellenir. Ayrıca, öğrenme ve işbirliği süreçlerinin olumlu etkisi de ölçülmüştür. Son olarak, önerilen yöntem gerçek bir kullanım durumuna uygulanmıştır: Araç Navigasyon Sistemi (CNS) [9].

Abdessalam vd., çalışmalarında, simülasyon ortamında ADAS'ın tasarım süresi testi sorununa odaklanmışlardır. Çok amaçlı aramayı sinir ağlarına dayalı olarak geliştirilen vekil modellerle birleştirilerek ADAS için bir test yaklaşımı sağlamayı amaçlamışlardır. ADAS'ın en kritik davranışlarına yönelik testi yönlendirmek için çok amaçlı arama kullanarak; vekil modelleme ile test yaklaşımlarının sınırlı hesaplama kaynakları içinde girdi arama alanının daha büyük bir bölümünü keşfetmesini sağlamışlardır. Çok amaçlı arama algoritmasının vekil modelleme ile ve bu vekil modelleme olmadan aynı şekilde davrandığı durumu karakterize ederek yaklaşımlarının doğruluğunu ortaya koymuşlardır. Bu yaklaşımı endüstriyel bir ADAS sistemine uygulayarak değerlendirmişlerdir. Deney, yaklaşımın kritik ADAS davranışlarını gösteren test senaryolarını otomatik olarak tanımladığını göstermiştir. Ayrıca, arama algoritmalarını vekil modelleme ile birleştirmenin, özellikle gerçekçi hesaplama kaynakları altında oluşturulan test senaryolarının kalitesini artırdığını göstermişlerdir [10].

Gietelink vd., çalışmalarında, ADAS tasarımı ve doğrulaması için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Araç içi donanım simülasyonları ile akıllı araçların geliştirme süreci ve doğrulama aşamasının daha güvenli, daha ucuz ve daha yönetilebilir olacağı düşüncesi ile araç içi donanım laboratuvarında, tam ölçekli bir ADAS donanımlı araç, bir şasi dinamometresinin yol etkileşimini ve trafiği temsil etmek için robot araçların kullanıldığı bir döngü içi donanım simülasyon ortamı kurmuşlardır. Bu kontrollü ortamda, ileri sürüş destek sisteminin performansı ve güvenilirliği büyük doğruluk ve güvenilirlik açısından test edilmiştir. Yaklaşımın çalışma prensibi ve katma değeri, uyarlanabilir bir hız sabitleyici ve önden çarpışma uyarı sisteminin test sonuçlarıyla kanıtlanmıştır. "V" diyagramı temelinde, ileri sürüş destek sistemlerinin geliştirme sürecindeki araç içi donanımın konumu gösterilmiştir [11].

Abdelgawad vd., gerçek trafik ortamlarında yeni ileri sürüş destek sistemlerinin uygulanması pratik olmadığından ve önemli çaba ile birlikte ciddi maliyetlere yol açtığından; çalışmalarında ADAS sanal prototiplerini uygulamak için kullanılan geliştirilebilir bir sistemin yapısını sunmuşlardır. Tasarım yaklaşımı, yeni ADAS işlevlerini entegre etmek için maksimum esneklik ve geliştirilebilirlik sağlamaktadır. Çalışmanın yapısı; MATLAB/Simulink ile geliştirilen gerçek zamanlı simülasyon modellerini içeren modüler işlevsel birimlerden oluşmaktadır. Fonksiyonel birimlerin tasarımı ve modellerinin girdi-çıkış ilişkileri sunulmuştur. İki yenilikçi ADAS'ın prototip olarak uygulanması, sistemin ADAS gösterimi ve eğitim amaçları için kullanılabilirliğini ve geçerliliğini göstermek için sunulmuştur. Geliştirilen sistem, simüle edilmiş bir trafik ortamı aracılığıyla ADAS'ı etkileşimli olarak göstermek için kullanılan mevcut bir bilgisayar tabanlı sürüş simülatörüne entegre edilmiştir [12].

Jimenez vd., çalışmalarında sunduğu entegre sistem ile, kilit konular olarak tanımlanan güvenlik ve verimlilik konularını ele almaktadır. Bu amaçla, kırsal ve şehirlerarası ortamlar için entegre bir ADAS geliştirilmesi ve uygulanması önerilmektedir. Bu ortamların otoyollara kıyasla karmaşıklığı ve buralardaki ciddi ve ölümcül kazaların çokluğu göz önüne alındığında, sistem esas olarak tek yönlü yollara odaklanmaktadır. Önerilen sistem, gelişmiş algılama tekniklerine, araç otomasyonuna ve araçlar ve altyapı arasındaki iletişime dayanmaktadır. Çalışmada bilgisayar görüşü ve lazer tarayıcı teknolojilerine dayalı sensör füzyon mimarisi geliştirilerek engellerin gerçek

zamanlı olarak algılanmasına ve sınıflandırılmasına ve olası risklerin tanımlanmasına olanak tanınmıştır. Sürücü bu bilgileri ve sistem tarafından oluşturulan bazı uyarıları alır. Uygun şekilde tepki vermemesi durumunda araç, güvenliği ve/veya verimliliği artırmak için otonom eylemler (hem hız kontrolü hem de direksiyon manevralarında) gerçekleştirebilir. Ayrıca, araçtan araca (V2V) ve araçtan altyapıya (V2I) iletişim sistemi, araçlar arasındaki bilgi akışını kolaylaştırır ve algılama ve bilgi yayınlama süreçlerine yardımcı olur. Tüm bunlar, araç konumlandırma, ayrıntılı dijital haritalar ve gelişmiş harita eşleştirme algoritmalarıyla birleştirildiğinde, farklı ADAS sistemlerinin karar algoritmalarını oluşturur. Geliştirilen uygulamalar şunları içerir: Tüketim optimizasyonlu uyarlanabilir hız sabitleyici, uygun hız gelişimini hesaba katan ve manevra için en uygun yol bölümlerini belirleyen tek yönlü yollarda sollama yardım sistemi, yaklaşma manevraları sırasında hız kontrollü kavşaklarda yardım sistemi ve kaçınma manevraları olan çarpışmadan kaçınma sistemi [13].

Alnaser vd., otonom araç (AV) doğrulamasını donanım tasarımı ile karşılaştırmışlar ve AV çerçevesini ve soyutlamanın senaryo düzeyini bu çerçevenin merkezi olarak tanıtmışlardır. Bu çerçeve; işlevsel doğrulamayı, sensör doğrulamasını, tanılamayı ve endüstri/düzenleyici iletişimi senaryo soyutlama düzeyiyle birleştirmektedir [14].

Ambersbach ve Herman senaryo tabanlı test için gereken test takımlarının boyutunu azaltmak için işlevsel ayrıştırmayı kullanmışlardır. Daha sonra, senaryo tabanlı yaklaşımı, hata ağacı analizine (FTA) dayalı belirli test durumlarını belirtmek için kanıtlanacak yüksek otonom sürüş (HAD) işlevinin işlevsel ayrıştırmasıyla birleştirmişlerdir. Ayrıca, bir gereksinim tanımına dayalı olarak HAD işlevi için genel bir altı katmanlı ayrıştırma önerilmiştir. Dahası, onay çabasını azaltma potansiyeli ana hatlarıyla belirtilmiş ve bu ayrıştırmaya ve ilgili senaryolara dayalı olarak test durumları oluşturmak ve karşılık gelen başarısızlık ölçütlerini tanımlamak için bir metodoloji gösterilmiş ve örnek bir senaryoya uygulanmıştır [15].

Huang vd., test senaryoları üzerinde yaptıkları araştırmalarında, çevredeki araçların sekiz göreceli konumunu ve ego araç ve çevredeki araçların olası hareketlerini ele almışlardır. Daha sonra bir ve iki engelli araç içeren bazı test senaryolarını

açıklamışlardır. Ayrıca iki engelli kavisli yol senaryosunu da ele almışlar ve bu tür senaryolardaki önemli parametreleri sunmuşlardır [16].

Rocklage vd., sanal bir simülasyon ortamında kara kutu sistemi olarak tanımlanan otonom araçların regresyon testi için otomatik senaryo oluşturmayı açıklamışlardır. Bu, değişken kapsama sahip verimli test vakaları oluşturmak için bir olasılık denetleyicisi olarak temel bir yörünge planlayıcısı ile kombinatoryal etkileşim test yaklaşımını birleştirerek yapılmıştır. Son olarak, altta yatan kısıtlama tatmin sorunu basit bir geri izleme algoritmasıyla çözülmüştür [17].

Wang vd., otomatik araçların test edilmesi ve performans değerlendirmesi için büyük veri gereksinimi sorununu ele almışlar ve genellikle yol türleri, sahneler ve belirli özellikler içeren tipik veri kümeleriyle ilgilenen bilişsel algoritmalar için zorluğu dile getirmişlerdir. Her yol parçası için senaryo karmaşıklığını inceleyerek, ayrıca yol semantik karmaşıklığına ve trafik elemanı karmaşıklığına dayanan bir trafik duyusal veri sınıflandırma paradigması önermişlerdir [18].

Xia vd., hem kapsamı hem de etkinliği garanti eden test vakaları oluşturmak için analitik hiyerarşi sürecini kullanan otomatik bir yöntem geliştirmişlerdir. Dahası, hem kombinasyonel kapsamı hem de test vakalarının karmaşıklığını garanti eden çiftler halinde bağımsız kombinasyonel test aracına dayalı iyileştirilmiş bir test vakası oluşturma algoritması önerilmiştir. Sonuç olarak, benzerlik ve karmaşıklık dikkate alınarak bu ayrı test vakaları kümelenerek test senaryoları oluşturulmuştur. Daha sonra, daha yüksek karmaşıklığa sahip vakalar test verimliliğini artırmak için birleştirilmiştir. Bu yöntemin doğrulanması için bir şeritten ayrılma uyarı sistemi (LDW) kullanmışlardır [19].

Wilkerson çalışmasında; bir sürücü döngü simülatörü kullanarak ileri sürüş destek sistemlerini kıyaslamayı amaçlamıştır. Bu ADAS özellikleri arasında; adaptif hız sabitleyici, şerit takip asistanı, çarpışma uyarı sistemi ve otonom acil fren bulunmaktadır. Simülatörün, bütünleşen özelliklerin sağlam, gerçek zamanlı yürütülmesini sağladığını ifade etmiştir. Sürüş simülastörü kullanılarak elde edilen

örnek sonuçlar, bu yöntemle ADAS özelliklerinin prototiplenmesinin ve değerlendirilmesinin etkinliğini göstermiştir [20].



BÖLÜM 3

KONU KAPSAM VE GENEL BİLGİLER

Bu bölümde otonom araçlar, ileri sürüş destek sistemlerinin incelenmesi, bu alandaki gelişmeler, otonom sürüş ve model tabanlı tasarım süreci hakkında genel bilgiler verilecektir.

3.1. OTONOM SÜRÜŞE GENEL BAKIŞ

3.1.1. Otonom Araç Tanımı

Otonom bir araba, sürücüden manuel bir girdi olmadan A noktasından B noktasına kendi kendine gidebilir. Araç; çevresini belirlemek için kameralar, radar sistemleri, sensörler ve küresel konumlandırma sistemi (GPS) alıcılarının bir kombinasyonunu kullanır ve hedefine en hızlı ve en güvenli yolu belirlemek için yapay zekayı kullanır. Mekatronik üniteler ve aktüatörler, arabanın "beyninin" gerektiği gibi hızlanmasını, fren yapmasını ve yönlendirmesini sağlar [21]. Şekil 3.1’de otonom bir araç görülmektedir.



Şekil 3.1. Otonom araç.

3.1.2. Otonom Sürüşün Tarihçesi

"Otomobil" kelimesi, otomobil yapımının ilk öncülerinin atlardan ve arabalardan otomobil adı verilen başka bir araç türüne geçiş olasılığını keşfettiklerinde, sürücünün atlara ihtiyaç duymadan hareket kabiliyetini vurgulayan iki Yunanca ve Latince "autos" ve "mobilis" kelimelerinden köken alır. Ancak bu geçişte, insan kurallarının sınırları içinde sürüşün tekrarlanmasıyla kazanılan atların belirli özerkliği ve engelden kaçınma becerileri kaybedildi. Örneğin, atlar ve arabalar kullanıldığında, insanlar atı kontrol edemedikleri durumlarda bile atla transfer ediliyorlardı. Ulaşımın o zamandan beri kaybettiği özerklik kavramı budur ve otonom araçlar bu özerkliğe tekrar ulaşmanın ve elbette tarihsel formun çok ötesine geçmenin aracıdır [22].

Otonom bir araç inşa etmenin ilk adımı, 1926'da New York'ta Houdina Radio Control tarafından gösterilen Linrican Wonder adlı radyo kontrollü arabaydı. Bu arabanın modifiye edilmiş bir biçimi "Phantom Auto" olarak adlandırıldı ve Aralık 1926'da Milwaukee'de Achen Motors tarafından gösterildi. Daha sonra 1939'da General Motors, gömülü devreyle çalışan elektrikli arabaları tanıtan Norman Bel Gedde'nin Dünya Fuarı'ndaki Futurama sergisini destekledi. 1940'lardan 1980'lere kadar, ABD, Japonya ve Avrupa'da otonom arabaların ilk test prototiplerini piyasaya sürmek için bazı bireysel girişimlerde bulunuldu. Örneğin, RCA Labs 1953'te laboratuvarın arazisine döşenen tellerle kontrol edilen minyatür bir araba üretti. Daha sonra 1958'de bu proje, otoyollarda deneyler yapmak üzere genişletildi. Daha sonra General Motors, otomatik direksiyon, hızlanma ve fren kontrolünü simüle edebilen modeller oluşturarak bu projeyi destekledi. Daha sonra General Motors tarafından 1959 ve 1960'ta bazı gelişmiş modeller sunuldu ve bu da Ohio State Üniversitesi tarafından 1966'da sürücüsüz arabalar geliştirmek için başka bir proje başlatılmasına yol açtı. Sürücüsüz arabaların bir başka testi 1960'larda Birleşik Krallık Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarı tarafından yapıldı. 1980'lerde, Münih Bundeswehr Üniversitesi'nde trafiğe kapalı sokaklarda 63 km/h hıza ulaşabilen, görüşle yönlendirilen sürücüsüz bir Mercedes-Benz tasarlandı. Prometheus adlı bir proje, 1987 ile 1995 yılları arasında EUREKA tarafından 1 milyar ABD dolarından fazla bir fonla yürütüldü. Diğer önemli projeleri saymak gerekirse; Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Otonom Kara Aracı (ALV) projesi, bilgisayar görüşü, LIDAR ve otonom kontrol

kullanan ve 31 km/h hıza ulaşabilen ilk yol takip örneğiydi. 1995'te Carnegie Mellon Üniversitesi'nin NavLab'ı tarafından geliştirilen NHOA (Amerika'da El Yok) projesi, 5.000 km'lik ülke çapındaki yolculukta %98,2 otonom sürüşe ulaştı. 1996'da %94 otonomiyle ortalama 90 km/h hızla seyahat eden ARGO projesi, 21. yüzyıldan önce sürüşün otonomisine yönelik başka bir girişimdi. 2000'lerin başında Hollanda'da ParkShuttle adlı otomatik bir toplu taşıma sistemi faaliyete geçti. Ayrıca ABD hükümeti tarafından askeri amaçlı kullanım girişimleri de başlatılmış, bu yıllarda Demo I, Demo II ve Demo III projeleri finanse edilmiştir [23].

Ancak son yıllarda teknoloji alanında gerekli ilerlemeler kaydedilmesiyle rüya gerçek olmaya başladı. 2004, 2005 ve 2007 yıllarında düzenlenen “DARPA Grand Challenge” ve 2010 yılında başlayan “Google’ın Sürücüsüz Arabası” bu sektördeki önemli olaylardan bazıları olarak sayılabilir [24].

Ayrıca, son birkaç yılda, konsepte giderek daha fazla inanılıyor ve kabul ediliyor. Yollarda otonom arabalara gerçek bir talep var. Tesla gibi otopilotla donatılmış ve yollarda kendi kendine giden arabaların ortaya çıkması, otonom sürüş konseptindeki en son atılımlardan biridir. Ek olarak, otonom servisler ve toplu taşıma sistemleri günümüzde yaygın olarak uygulanıyor ve vatandaşlar tarafından kabul ediliyor ve benimseniyor. Akıllı şehirler ve akıllı ulaşım sistemleri fikirlerinin gelişeceği dünyada yeni bir çağ başlıyor.

3.1.3. Otonom Araçların Avantajları

3.1.3.1 Daha Az Trafik Kazası ve Ölüm Oranı

Trafik kazalarının büyük bir kısmının insan hatası veya mekanik arızadan kaynaklanması nedeniyle, bilgisayar kontrollü bir otonom araç donanımsal olarak daha az hatalı olabilir ve trafik kurallarına daha fazla uyabilir. Bu nedenle, yollarda otonom araçların daha yüksek oranda olması daha az trafik kazası ve ölümü sağlayacaktır [24].

3.1.3.2 Daha Az Yakıt Tüketimi

Otonom araç, yük koşullarını ölçmek için iyi öngörü algoritmalarıyla donatıldığı için, manuel olarak çalıştırılan arabalara kıyasla daha az yakıt tüketecektir [24].

3.1.3.3 Daha İyi Trafik Düzeni

V2V ve V2X kabiliyetine sahip otomobiller, çevrelerini ve çevredeki konumlarını daha iyi tanımlayabilecek; böylece trafikte tüm araçlar birbirleriyle etkileşim halinde olduğundan ve yollarındaki aracın bir sonraki hareketini tahmin edebildiklerinden, otomobiller daha yüksek hızlara ve daha yakın mesafelere ulaşabilecekler [24].

3.1.3.4 Müşteri Verimliliği ve Zaman Tasarrufu

Otonom bir arabanın yolcuları, daha akıcı trafik akışı nedeniyle trafikte daha az zaman geçirecekler. Ayrıca, direksiyonu tutmak veya yola bakmak zorunda kalmayacaklar. Böylece seyahat süresini; okuma, uyuma, televizyon izleme vb. gibi diğer aktivitelerini sürdürerek geçirebilirler.

3.1.3.5 Ekonomideki Gelişmeler

İnsanlar işe gidip gelirken okumaya, televizyon izlemeye ve İnternette gezinmeye daha fazla zaman ayıracak olsa da, işletmelerin reklam yapmaları ve insanları ürünlerini satın almaya teşvik etmeleri için daha fazla fırsat olacak. Örneğin, otonom arabalar yollara yayıldığında yolların kenarlarında çok daha fazla reklam panosu görülecek.

3.1.3.6 Askeri Uygulamalar

Otonom araçlarla donatılan hava savunma ve kara savaşları göz önüne alındığında, asker olarak görev yapacak daha az insana ihtiyaç duyulacak ve bu da birliklerin yaralanma riskini azaltacaktır [24].

3.2. İLERİ SÜRÜŞ DESTEK SİSTEMLERİ

Dünya çapında her yıl yaklaşık 1,35 milyon insan trafik kazalarında hayatını kaybediyor. Uluslararası Güvenli Yol Seyahati Derneği (ASIRT) raporuna göre, yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) yaklaşık 38.000 kişi ve Avrupa'da yaklaşık 23.000 kişi ölüyor ve her iki bölgede de 4 milyondan fazla insan yaralanıyor [25]. WHO'nun 11.31 tarihli yol güvenliği küresel durum raporuna göre küresel olarak bu sayı 1,35 milyona çıktı. Bunlardan kaçınmanın yolu ne olabilir? Araç kullanan insanlara nasıl yardımcı olabilir ve onları yol kazalarının kurbanı olmaktan nasıl kurtarabiliriz? Hem Avrupa Komisyonu (EC) hem de ABD hükümeti yol kazalarını azaltmak için bir yol haritasıyla girişimlerde bulundu. EC, Vizyon Sıfır projesi aracılığıyla 2050 yılına kadar yol kazalarında sıfır ölüme ulaşmak için iddialı bir plan belirledi [26].

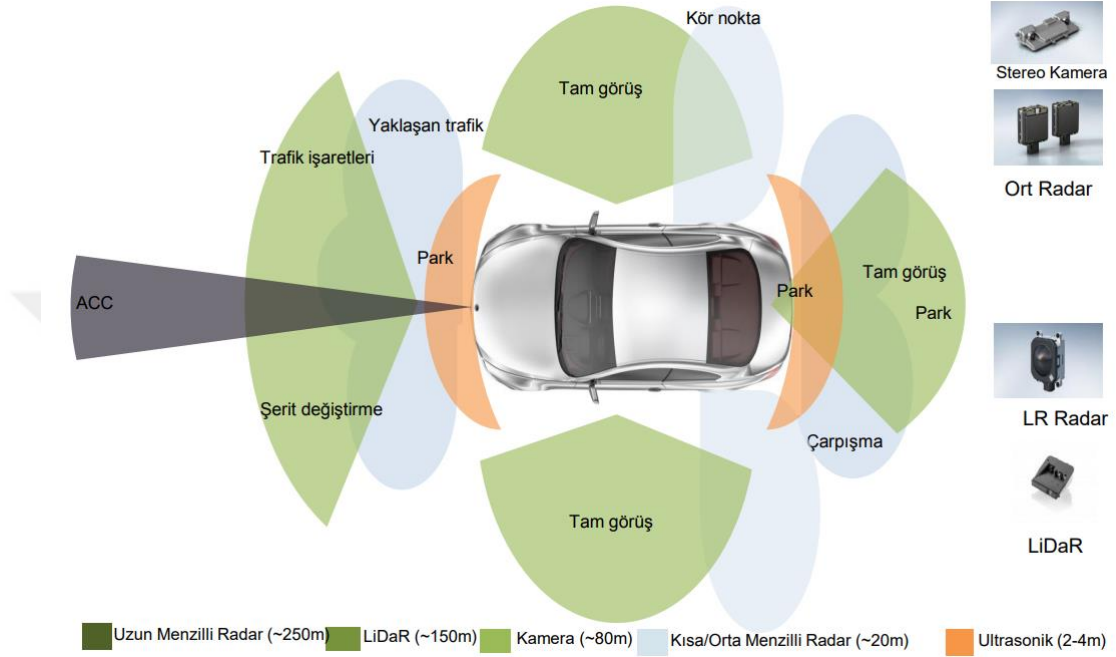
ADAS ve otomatik sürüşün amacı, yol kazalarını azaltmak, dolayısıyla dünya çapında ilişkili ölümleri azaltmak ve araç kullanıcıları için daha fazla konfor ve destek sağlamaktır. Günümüzde, piyasada temel güvenlik sistemleri olmayan hiçbir araç bulunmamaktadır. Ancak, bazı ülkelerde bir araçtaki hava yastıklarının bile lüks bir özellik olarak kabul edilmesi ve zorunlu bir hayat kurtarma bileşeni olmaması üzücüdür.

Ana hedef, kullanıcılar için ek konforla birlikte tepkisel olacak ve araç yolcuları ve diğer yol kullanıcıları için güvenli bir ortam yaratacak güvenli araçları pazara sunmaktır. Bu, bir robotik sistemin daha dayanıklı ve yorgunluktan uzak olabileceğini ve araç kullanırken kötü ruh hali, öfke ve yorgunluk gibi duygulara yatkın olan insanlardan daha iyi karar verebileceğini varsaydığımız için kazaları azaltmanın yollarından biridir [27].

3.2.1. Aracın Duyu Organları

İnsanlar gibi araçlar da çevrelerini anlamak ve buna göre davranmak için belirli duyu organlarına sahiptir. Bunlar araç sensörleridir ve günümüzde içinde birden fazla sensör olmayan bir araç düşünülemez. Araçlarda ADAS ve otonom sürüş odaklandığımızda,

bu sensörler aracın etrafındaki ortamı algılamaktan belirli eylemleri gerçekleştirmeye ve aracı kontrol etmeye kadar hayati roller oynar. Bu bölümde, aracın çevresini tanımlamaya ve aracı kontrol etmeye yardımcı olan araçtaki çeşitli sensörleri ele alacağız. Şekil 3.2’de bu sensörler görülmektedir.



Şekil 3.2. İleri sürüş destek sistemleri.

3.2.1.1 Kamera

Kameralar, sürücü yardımı veya otomatik sürüş özelliklerine sahip bir araçtaki ana sensörlerden biridir. Işık prensibine göre çevreyi tespit edebilirler. Bir araçta, aracın farklı özelliklerine bağlı olarak 13'e kadar, hatta bazen daha fazla kamera bulunabilir. Kameralar, sinir ağı tabanlı algoritmalar kullanılarak sınıflandırılan çevredeki çeşitli nesneleri tespit etmeye yardımcı olur. Bu, aracın gerekli eylemleri gerçekleştirmesine ve ortamına göre yanıt vermesine yardımcı olur. Kameranın araçtaki konumuna ve işlevselliğine bağlı olarak, kameralar için dikiz kameraları, ön kameralar, çevre görüş kameraları, sütun kameraları vb. gibi çeşitli isimler kullanılır [28].

Araçtaki her kamera, görüş açısı, çözünürlük, görüntünün oluşturulduğu veri formatı vb. açısından farklılık gösterebilir. Bir araçtaki önemli kamera düzeneklerinden biri de

ön kamera düzeneğidir. Bu düzenek genellikle tek kameradan (mono kamera), çift kamera düzeneğinden (stereo kamera) veya üç kamera düzeneğinden (üçlü kamera sistemi) oluşur. Farklı araç üreticileri, 0,3 megapikselden 12 megapiksele kadar VGA'dan (video grafik dizisi) farklı çözünürlüklere sahip ön kamerayı kullanmaya başladı. Ayrıca 60 ila 150 m mesafede algılama aralığına sahiptirler. Bu kameraların kullanımı, basitçe nesneleri algılamaktan mesafe hesaplamasına kadar değişir. Kameralar hemen hemen her türlü çevre koşulunda iyi performans gösterir. Tamamen ışığa dayandıkları için, zayıf ışık koşullarında yalnızca kameralara güvenmek zor olacaktır.

3.2.1.2 Radar

Radyo Algılama ve Mesafe Belirleme (Radar), elektromanyetik dalgaların yansıması ilkesine dayanarak çalışır. Esas olarak Doppler etkisi ilkesini kullanarak nesneleri algılamak ve mesafeyi hesaplamak için kullanılır. Bir araçta, araçtaki farklı işlevlere ve özelliklere bağlı olarak 8 veya daha fazla radar bulunabilir. Araçtaki farklı radarlar, çalışma frekanslarına göre sınıflandırılır. Görüntüleme radarları, son zamanlarda araçlarda, esas olarak bir kamera gibi ortamın iki boyutlu bir görüntüsünü oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu, görüntüler için bir yedeklilik sensörü olarak da işlev görecektir. Radarlar, herhangi bir çevre koşulunda herhangi bir nesneyi tespit edebilir. Örneğin, bir gece görüş sisteminde, radarlar ısı dalgalarına dayalı olarak nesneleri tespit etmek için kızılötesi ışınları kullanır. Herhangi bir çevre koşulunda, radarlar yansıyan elektromanyetik dalgaları yayar ve yakalar ve frekans kayması yardımıyla nesnelerin varlığını, azimut açısını ve göreceli hızını tespit eder. Araçtaki radarlar, aracın etrafındaki bir nesne için tespit, konumlandırma ve mesafe hesaplamasının ana kaynağıdır. Yaklaşık 250 metre güvenilir tespit aralığına sahiptirler. Radarlar ayrıca araçta yerleştirildikleri yere ve yaydıkları dalgaların frekansına göre kısa menzilli radar, önden bakan radar, uzun menzilli radar gibi özel isimlerle de anılırlar [28].

Radarlar ışıktan etkilenmezler; bu nedenle, ışık koşullarından bağımsız olarak nesne tespiti için güvenilir sensörlerdir. Ancak, radarların parazite eğilimli olmaları nedeniyle bazı dezavantajları vardır. Bu parazitler, ortamda istenmeyen yansımaların neden olduğu basit bozulmalardır.

3.2.1.3 Lidar

Işık Algılama ve Mesafe Belirleme (Lidar), elektromanyetik dalgaların yansıması ilkesine dayalı olarak radara benzer şekilde çalışır. Herhangi bir başka türdeki elektromanyetik dalga yerine bir lazer darbesi yayılır. Otomotiv sektörüne girmeden önce, lidarlar endüstriyel otomasyon ve üretim hatları gibi diğer endüstriyel alanlarda kullanılıyordu. Lidar, yüksek hassasiyeti ve güvenilirliği nedeniyle avatajlıdır ve otomotiv dünyasında sık kullanılmaktadır. Yardımcı veya otomatik sürüş özelliklerine sahip bir araçta lidar kullanılmayabilir veya bu araçta bulunan özelliklere bağlı olarak altı veya daha fazla lidara sahip olabilir. Lidarlar, mekanik döner lidar veya katı hal lidar gibi farklı çalışma prensiplerine dayalı olarak piyasada mevcuttur. Yaklaşık 200 metrelik bir çalışma mesafesine sahiptir ve bir araçtaki en güvenilir sensörlerden biridir. Radar gibi, Lidar da parazitten etkilenir; burada, bu parazitler çoğunlukla lazer darbelerinin dağılmasından veya saçılmasından kaynaklanır. Ortamda nem olduğunda veya yağmur sırasında, lazer darbesi dağılır ve bu bir parazit kaynağı olabilir. Benzer şekilde, çevrede bulunan birçok yansıtıcı nesne, örneğin camların veya aynaların varlığı, çok fazla yansımaya neden olabilir ve bu da başka bir parazit kaynağı olabilir. Bu parazitleri, cam kaplamalı çok sayıda binanın bulunduğu bir şehir ortamında deneyimleyebiliriz [28].

3.2.1.4 Ultrasonik Sensörler

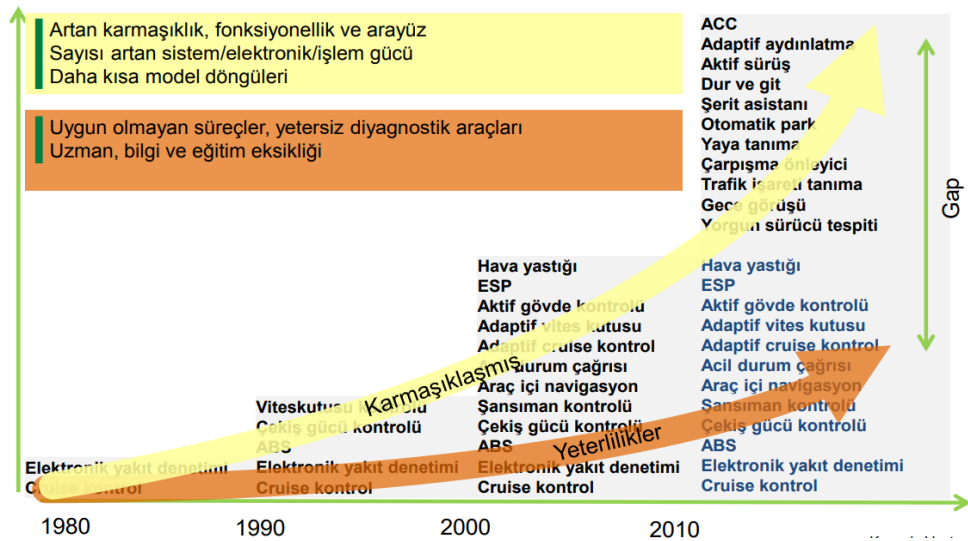
Ultrasonik sensörler araçlarda uzun yıllardır kullanılmaktadır. Algılama için en ucuz sensörlerden biridir. Elektromanyetik dalgaların yansıması prensibine göre çalışırlar. Adından da anlaşılacağı gibi, ultrasonik dalgalar kullanır ve aracın yakınındaki nesneleri algılamak için kullanılır. Yaklaşık 5 çalışma aralığına sahiptirler ve çoğunlukla araçtaki park yardımı özellikleri için kullanılırlar. Bir araç, ultrasonik sensör girişlerini kullanan sürücü yardım özelliklerine bağlı olarak 4 ila 12 veya daha fazla ultrasonik sensöre sahip olabilir [29].

3.2.1.5 Atalet Ölçüm Ünitesi Sensörleri

Eylemsizlik ölçüm birimi (IMU), aracın bir ortamdaki hareket durumunu sağlayan, araçtaki önemli sensörlerden biridir. Esas olarak aracın yönelimini, hareketini ve açısıl konumunu sağlar. Başka bir deyişle, IMU üç eksene (eğim, yuvarlanma, sapma) dayalı olarak doğru araç verileri sağlar. Bunlar; direksiyon, frenleme ve hızlanmanın kararlaştırılabileceği araç kontrolleri için temel bilgilerdir. Örneğin, araç düz ve virajlı bir yolda şerit değiştirirse direksiyon açısı değişimi farklı olacaktır. IMU, aracın ortama göre bilgi ve durumunu sağlayacak ve araç kontrolleri buna göre hareket edebilecektir. Bu sensörler, aracın coğrafi konumdaki konumunu da sağlayacak olan küresel konumlandırma sistemi (GPS) işlevselliğiyle birlikte gelir [30].

3.2.1.6 Yüksek Çözünürlüklü Haritalar

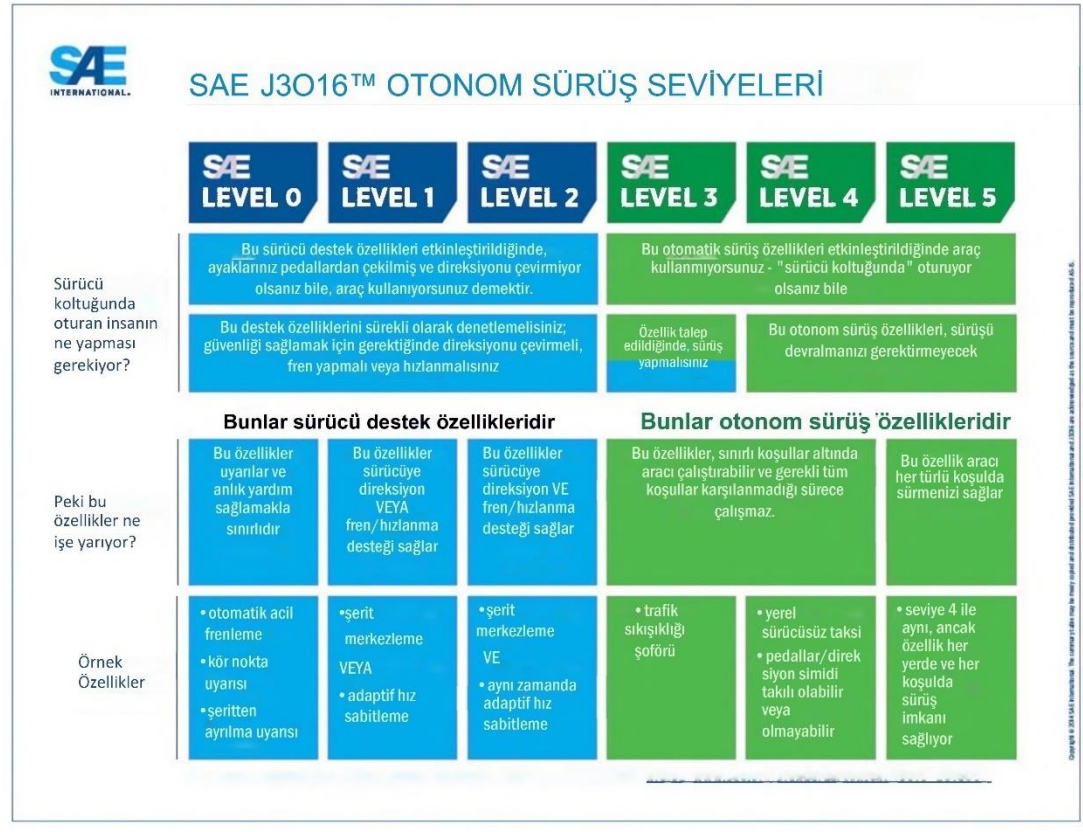
Yüksek çözünürlüklü haritalar (HD harita) sensör değildir, ancak burada otomatik sürüşte önemli bir rol oynadıkları için bahsedilmektedir. Araçta kullandığımız bir navigasyon haritasıyla karşılaştırıldığında, HD haritalar yaklaşık 2 ila 5 cm'lik bir doğrulukla bir ortamda yollar, işaretler ve yapılar hakkında hassas bilgiler sağlar. Dolayısıyla, bu, araca çevresi hakkında yedek bir sensör olarak ek ve güvenilir konum bilgisi sağlayacak ve aracın doğru bir şekilde gezinmesine yardımcı olacaktır [16-19]. Şekil 3.3'te ADAS'ın tarihsel gelişimi görülmektedir.



Şekil 3.3. İleri sürüş destek sistemlerinin tarihsel gelişimi.

3.3. ADAS ve OTONOM SÜRÜŞ

SAE International (Otomotiv Mühendisleri Topluluğu), “SAE J3016™: On-Road Motorlu Taşıtlar için Sürüş Otomasyon Sistemleriyle İlgili Terimlerin Taksonomisi ve Tanımları” adlı yayınında araçlardaki otomasyon seviyelerini tanımlamıştır. Otomasyon seviyelerinin sınıflandırılması, aracın otomasyon yeteneklerine ve bu işlevlerin kontrolü ve yönetimi için bir insanın ihtiyaç duyduğu katılım seviyesine dayanmaktadır. Bunlara dayanarak, özellikler iki gruba ayrılır: sürücü destek özellikleri ve otomatik sürüş özellikleri. Şekil 3.4'te otonom sürüş seviyeleri görülmektedir.



Şekil 3.4. Otonom sürüş seviyeleri.

SAE seviye 2'ye kadar sınıflandırılan araçlarda sürücü destek özellikleri sağlayan sistemlere toplu olarak Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri, İleri Sürüş Destek Sistemleri veya kısaca ADAS denir. Bu, şerit takip yardımcısı gibi güvenlik için destek özelliklerini veya adaptif hız sabitleyici gibi konfor özelliklerini içerir. Sürüş sırasında,

bu özellikler sürücüye bilgi veya tepki ve konfor şeklinde ek güvenlik sağlamaya yardımcı olur. Araç, tüm çalışma boyunca sürücünün tam kontrolündedir. Bir arıza veya destek özelliğinin amaçlandığı gibi davranmadığı bir durum olduğunda, sürücü hala kontrolde ve destek işlevini geçersiz kılabilir veya devre dışı bırakabilir.

Otomatik sürüş özellikleri, aracın tasarlandığı belirli koşullar karşılandığında aracın tam kontrolünü ele geçirebilen özelliklerdir. Bu zamanlarda araç, sürücünün herhangi bir gözetimi olmadan hareket edebilir. Bu özellikler, sürücü diğer aktivitelere odaklanırken aracı kontrol edebilir ve trafikte ilerleyebilir. Koşulların değiştiği veya aracın bir hata veya karışık bir durum nedeniyle gidemediği bir durum olduğunda, sistem sürücüden herhangi bir gecikme olmadan kontrolü geri almasını isteyebilir [31]. Bazı araç üreticileri, sürücünün aracın kontrolünü ele geçirmesi için önceden tanımlanmış bir eşik süresiyle bu otomatik sürüş özelliklerini uygular. Sürücü aracın kontrolünü ele geçiremediği için aracın kendisi tarafından güvenli manevra gerçekleştirilmeden önce 8 saniye, 10 saniye veya 12 saniye devralma süresiyle tasarlanmış piyasada birden fazla sistem mevcuttur. Bu yaklaşım, otomatik sürüş özelliklerinin SAE standart sınıflandırmasının tanımından biraz farklıdır. Bu otomatik sürüş özelliklerine örnek olarak trafik sıkışıklığı şoförü, otoyol şoförü, şehir içi pilot, otoyol pilotu, vale park hizmeti vb. verilebilir [31].

Belirli otonom sürüş özelliklerinin açıklaması aşağıda SAE International otomasyon seviyesi sınıflandırmalarıyla birlikte verilmiştir. Ürün geliştirmede, otomotiv OEM'leri bu özellikleri, hız aralıkları ve davranış gibi operasyon sınırları açısından araçlara dayalı olarak pratik olarak uygulanabilir ve güvenli bir seviyeye uyarlar. Bu açıklamalar yalnızca referans amaçlıdır ve farklı özellikleri anlamak içindir. Aşağıdaki işlevsel açıklamaların bazıları, Avrupa Karayolu Taşımacılığı Araştırma Danışma Konseyi'nin "Bağlantılı Otonom Sürüş Yol Haritası" verilerinden yola çıkılarak düzenlenmiştir [32].

3.3.1. Otoyol Asistanı ve Trafik Sıkışıklığı Asistanı (Seviye 2)

Otoyol veya benzeri yollarda 150 km/h hıza kadar otoyol asistanı destekli sürüş; girişten çıkışa, tüm şeritlerde, sollama dahil olacak şekilde kullanılır. Sürücü, sistemi

kasıtlı olarak etkinleştirmeli ve sistemi sürekli izlemelidir. Sürücü, istediği zaman sistemi geçersiz kılabilir veya kapatabilir. Otoyollardaki trafik koşulları sırasında, trafik sıkışıklığı asistanı işlevi, diğer destek işlevlerinin bir kombinasyonunu kullanarak sürücünün 60 km/h hıza kadar sürüş yapmasına yardımcı olur ve aracın otoyoldaki trafik durumunda gezinmesine yardımcı olur. Sürüş görevi burada tamamen sürücü tarafından gerçekleştirilir ve bu destek özellikleri yalnızca etkinleştirildiğinde bu koşullarda sürücünün sorunsuz gezinmesine yardımcı olmayı amaçlar.

3.3.2. Uzaktan Park Etme (Seviye 2)

Bu, yaklaşık 5-10 km/h hız sınırıyla çalışan bir özelliktir. Araç, mobil bir cihaz aracılığıyla uzaktan belirlenmiş bir park alanına park edilebilir. Sürücü her zaman uzaktan izleme yapmalı ve kontrolde olmalıdır. Sistemi uzaktan geçersiz kılabilir veya kapatabilir. Bu, çoğunlukla kontrollü bir ortamda aracın kısa mesafeli park manevralarını kontrol etmek ve gerçekleştirmek için tasarlanmıştır [33].

3.3.3. Trafik Sıkışıklığı Şoförü (Seviye 3)

Bu özellik, otoyollarda veya benzeri yollarda 60 km/h'e kadar çalışma hızıyla trafik sıkışıklığında koşullu otomatik sürüşe olanak tanır. Sistem, trafik sıkışıklığı senaryosu durumunda etkinleştirilebilir. Önde yavaş giden bir araç algılar ve ardından aracın hem uzunlamasına hem de yanal hareketlerini otomatik olarak kontrol eder. Bu işlevselliğin sonraki sürümü otomatik şerit değiştirme işlevselliğini içerebilir. Sürücü sistemi kasıtlı olarak etkinleştirmelidir, ancak sistemi sürekli olarak izlemek zorunda değildir. Sürücü, sistemi istediği zaman geçersiz kılabilir veya kapatabilir. Sistemden sürücüye devralma talebi gelmesi durumunda, sürücü kendini yönlendirmek ve sürüş görevini devralmak için yeterli zamana sahiptir. Sürücü devralmayı gerçekleştiremezse, sistem daha az riskli bir duruma geçecektir. Örneğin, aracın güvenli bir şekilde durdurulması gibi [34].

3.3.4. Karayolu Şoförü (Seviye 3)

Bu, otoyollarda veya benzeri yollarda girişten çıkışa, tüm şeritlerde, sollama dahil, 130 km/h'e kadar çalışma hızına sahip koşullu bir otomatik sürüş özelliğidir. Sürücü sistemi kasıtlı olarak etkinleştirmelidir ancak sistemi her zaman izlemek zorunda değildir. Sürücü isterse sistemi istediği zaman geçersiz kılabilir veya kapatabilir. Sistemden sürücüye devralma talebi gelmesi durumunda, sürücü kendini yönlendirmek ve sürüş görevini devralmak için yeterli zamana sahiptir. Sürücü yanaşmazsa, sistem azaltılmış risk durumuna geçecektir, yani aracı güvenli bir şekilde durduracaktır. Mümkünse, trafik durumuna ve sistem yeteneklerine bağlı olarak, azaltılmış risk koşulları otoyolun acil şeridinde durmak için gerekli şerit değişikliklerini içerecektir. Örneğin, aracın acil şeritte veya yol kenarında durdurulması gibi [34].

3.3.5. Şehir ve Kenarkent Pilotu (Seviye 4)

Bu, 50 km/h'e kadar veya şehir içi ve banliyö alanlarında tanımlandığı gibi bir çalışma hızına sahip son derece otomatik bir sürüş özelliğidir. Bu özellik, sürücü tarafından tüm trafik koşullarında etkinleştirilebilir. Sürücü, sistemin çalışması sırasında herhangi bir zamanda sistemi geçersiz kılabilir veya kapatabilir.

3.3.6. Otoyol Otopilotu (Seviye 4)

Bu, otoyollarda veya otoyol benzeri yollarda girişten çıkışa, tüm şeritlerde, gerektiğinde sollama ve şerit değiştirme yetenekleri dahil olmak üzere 130 km/h'e kadar çalışma hızına sahip son derece otomatik bir sürüş özelliğidir. Sürücü sistemi kasıtlı olarak etkinleştirmelidir ancak sistemi sürekli olarak izlemek zorunda değildir. Sürücü istediği zaman sistemi geçersiz kılabilir veya kapatabilir. Sistem normal çalışma alanındayken (yani otoyolda) sürücünden devralması için herhangi bir talep olmayacaktır. Sürücünün kontrolü ele almasını gerektiren bir durum meydana gelirse ve sürücü kontrolü ele almazsa, sistem risk azaltma tepkisi olarak otoyoldan ayrılma ve aracı güvenli bir şekilde park etme yeteneğine sahiptir. Şekil 3.5'te otonom sürüş seviyeleri görülmektedir.

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
Sürücü	OTOMASYON YOK  Tüm sürüşten sorumlu	SÜRÜCÜ YARDIMI  Bazı durumlarda bazı temel yardımlarla tüm sürüşü yapmalı	KISMI OTOMASYON  Araç bazı temel sürüş görevlerini üstlendiğinde bile tetikte kalmalı	KOŞULLU OTOMASYON  Kendi kendine sürüş sistemleri devam edemediğinde belirli bir süre zarfında devralmaya hazır olmalı	YÜKSEK OTOMASYON  Kendi kendine sürüş sistemleri devam edemediğinde bildirimde bulunarak sürüşü devralabilecek bir yolcu olabilir	TAM OTOMASYON  İnsan sürücü gerekmez -direksiyon isteğe bağlı- Herkes 5. seviye bir araçta yolcu olabilir
Araç	Sadece sürücünden gelen girdilere yanıt verir ama çevreyle ilgili uyarılar verebilir 	Otomatik acil frenleme veya şerit tutuş desteği gibi temel yardım sunabilir 	Sınırlı durumlarda otomatik sürebilir, hızlanabilir ve fren yapabilir 	Belirli koşullar altında direksiyon, hızlanma ve frenleme üzerinde tam kontrol sağlayabilir 	Sürücü dikkati olmaksızın neredeyse her koşulda tüm sürüş görevlerini üstlenebilir 	Tüm sürüşten sorumludur ve insan müdahalesine ihtiyaç duymadan tüm ortamlarda çalışabilir 

Şekil 3.5. Otonom sürüş seviyeleri.

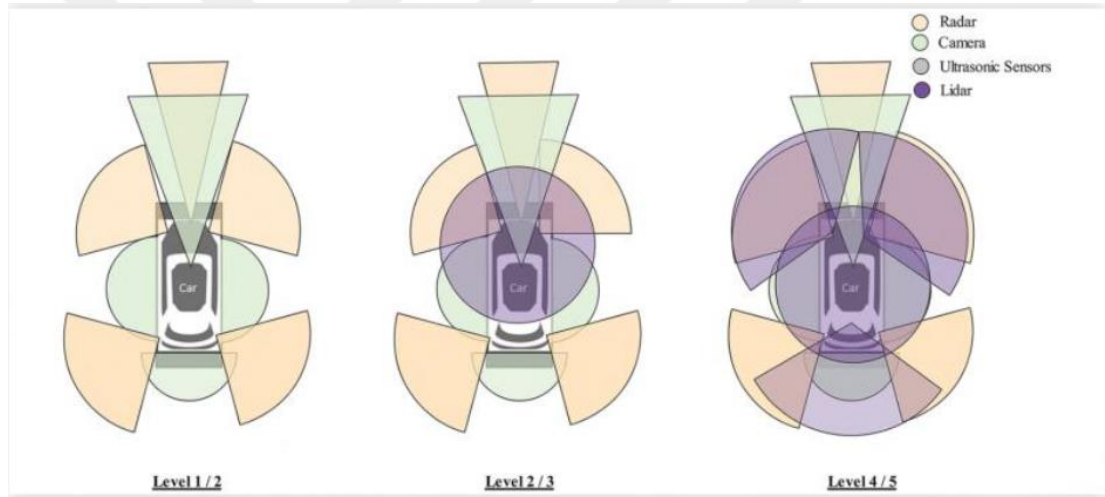
3.3.7. Vale Park Hizmeti (Seviye 4)

Bu, yaklaşık 5-10 km/h çalışma hızına sahip bir park etme özelliğidir. Sürücü araçtan inebilir ve vale park etme işlevini etkinleştirebilir. Araç, hedeflenen park yerine kendi kendine gidecek ve park yerine ulaşmak için gerekli manevraları yapacaktır. Araç ayrıca arıza koşullarının çoğunu kendi kendine halledecektir. Bir sürücü sistemi uzaktan geçersiz kılabilir veya kapatabilir veya araç, belirli bir nedenden dolayı park manevrasını tamamlayamazsa sürücüyü bilgilendirebilir.

Birçok araç üreticisi Seviye 2.5, Seviye 2.9 veya Seviye 2+ otomatik sürüşü yayınlamıştır. Bu hala destekli sürüştür ve SAE Seviye 2 olarak sınıflandırılır. Pazarlama ve reklam amaçlı yapılır ve çoğunlukla normal bir SAE Seviye 2 özelliğinin ötesinde belirli eklentiler olduğu algısını yaratma çabası olarak görülebilir [35].

3.4. SEVİYE 5: TAM OTOMASYON

SAE'nin Seviye 5 tam otonom sürüş sınıflandırması, herhangi bir gözetim olmadan bir sürücünün tüm gerekli görevlerini kendi başına halledebilen araçları ifade eder. Bu araçlar, herhangi bir insan etkileşimi için bir sürücü veya direksiyon simidi veya fren pedalı gibi kontrol arayüzlerine ihtiyaç duymaz, tamamen otonomdur ve kendi başına bir arıza-işletim tepkisiyle herhangi bir durumu ve arızayı halledebilir. Bunlar normalde kontrollü bir ortamda ve önceden tanımlanmış yollarla konuşlandırılan kapsüller veya akıllı araçlardır. Şimdiye kadar, kamusal yol kullanımı veya seri üretim araçları olarak planlanmamışlardır. Gelecekte, bu tür araçları yollarımızda da görmeyi bekleyebiliriz [36]. Şekil 3.6'da araçlarda temsili sensör kurulumu görülmektedir.



Şekil 3.6. Farklı otomasyon seviyelerine ulaşmak için araçlarda sensör kurulumu [36].

3.5. OPERASYONEL TASARIM ALANI

Operasyonel tasarım alanı (ODD), otomatik sürüş sistemindeki bir özelliğin operasyonel sınırlarını ifade eder. Bu; özelliğin mevcut olduğu koşullar veya özelliğin tasarım gereksinimlerine göre amaçlandığı gibi davrandığı koşullar olarak açıklanabilir. Bu ayrıca, sistem ODD sınırlarının ötesine geçtiğinde veya bir arıza durumunda kuyruk güvenli veya arızalı operasyonel olarak tanımlanan geri çekilme mekanizmasını da kapsar.

Herhangi bir sistem tasarlanırken, bir sistemin operasyonel gereksinimleri, başarılı bir şekilde çalışması ve optimum performansı için tanımlanır. Sistem, tasarlandığı bu tanımlanmış operasyonel sınırların ötesindeki koşullara maruz kaldığında, sistem arızaları, hataları veya arızaları olabilir. Benzer şekilde, otomatik sürüş özelliği için ODD, optimum performans için operasyonel sınırlarını sağlamak ve sistemi güvenli tutmak, böylece kullanıcıları korumak için tanımlanmalıdır.

Bir özelliğin tanımlama ve kavram aşamasında ODD'yi tanımlamanın bazı faydaları şunlardır:

- ODD, bir ADAS veya otomatik sürüş özelliğinin özel olarak işlev görmek üzere tasarlandığı çalışma koşullarını açıklar. Bu, araç üreticisi tarafından kararlaştırılacaktır. Bu nedenle, konsept, tanım, tasarım ve geliştirme aşamalarında yer alan tüm paydaşlar bunu net bir şekilde anlayacaktır.
- Özelliğin doğrulanması ve geçerli kılınması, ODD'nin doğru anlaşılmasıyla gerçekleştirilmelidir. Bu, özelliğin sınırları içinde amaçlandığı gibi davranıp davranmadığını ve sistem bu sınır koşullarının ötesine geçerse geri dönüş mekanizmasını test etme olasılığını açıklığa kavuşturacaktır [37].
- Bir özellik için tanımlanan ODD, yetkililer tarafından güvenlik kontrolleri, değerlendirmeler ve denetimler gerçekleştirilirken kullanılabilir. Özelliğin, tanımlı ODD'nin ötesinde beklendiği gibi davrandığına ve geri dönüş mekanizmasının devreye girdiğine dair yeterli kanıt sağlanması gerekir.
- ODD aynı zamanda aracın özellikleri hakkında son kullanıcıya bilgi paylaşmak için de kullanılır, ancak bir araç üreticisinden alınan bir özelliğin ODD'sinden alınan alıntılar, son kullanıcıya temel özellik ayrıntılarını ve çalışma sınırlarını vermek için araç kullanıcı kılavuzuna eklenir [38].

ODD gereksinimlerini yakalamak için herhangi bir araç kullanılabilir ve ayrıca tüm paydaşlar için daha iyi bir anlayışa sahip olmak için diyagramatik gösterimler de kullanılabilir. Bir ODD'yi tanımlamanın temel amacı, onu okuyan herkesin özellik veya sistem ve sınırları hakkında net bir anlayışa sahip olmasıdır. Bu, ürün geliştirme ve testin farklı aşamalarında yanlış yorumlamaları önleyecektir [39].

Not: Araç üreticisi, bir araç için planlanan bir özelliğin ODD'sini tanımlamaktan sorumludur. Bu, herhangi bir kademe tedarikçisine girdi ve referans olarak işlev görmelidir [40].

3.6. DİNAMİK SÜRÜŞ GÖREVİ

Dinamik Sürüş Görevi (DDT), aracı gerçek zamanlı olarak sürme ve kontrol etme görevini ifade eder. Bu, bir insan sürücü veya araç hareket halindeyken bir otomatik sürüş sistemi tarafından yapılabilir. SAE Seviye 2'ye kadar özellikler için, araç sürücü tarafından kontrol edilir ve insan sürücü, çalışması sırasında DDT'yi gerçekleştirir. Sistemin arızalanması durumunda, sürücü arıza emniyetli manevrayı gerçekleştirir. Özelliğin devreye girdiği tüm çalışma zamanlarında, sürücü karar verir ve aracı kontrol eder [41].

Otomatik sürüş sisteminde, koşullu veya yüksek otomasyon özelliklerine sahip bir araçta, DDT aracın kendisi tarafından gerçekleştirilir. Arıza durumunda bile araç, tepkinin ne olması gerektiğine karar verir ve bunu uygular. Belirli durumlarda, DDT'yi tekrar insan sürücüye geçirmek SAE Seviye 3 ve Seviye 4 özelliklerinde dikkate alınır. Tam otomatik araçlarda (SAE Seviye 5), araç arıza olsa bile sürüş görevini tekrar insana geçirmeden halleder. DDT'yi kimin gerçekleştirdiğine bağlı olarak, özellikler SAE standardı tarafından tanımlanan çeşitli otomasyon seviyelerine sınıflandırılır [42].

3.7. NESNE-OLAY ALGILAMA VE TEPKİ

Nesne - Olay Algılama ve Tepki (OEDR), bir sürüş görevi sırasında veya aracın operasyonel durumu sırasında algılama ve tepki anlamına gelir. Bu, bir sürücünün sürüş sırasında yoldaki nesneleri ve olayları algılaması ve kazaları önlemek veya belirli durumlarla başa çıkmak için bunlara yanıt vermesi ve hedefine sorunsuz bir şekilde ulaşması gibidir.

Otomatik sürüş özelliklerinde, bu, sensörler kullanılarak nesnelerin algılanması, tanımlanması ve bunlara yanıt verilmesi anlamına gelir. Örneğin, bir kamera çok şeritli

bir yoldaki şeritleri algılar ve aracın direksiyonunu kontrol ederek diğer şeritlere girmeden kendi sürüş şeridinde kalmasına yardımcı olur. Bu, sürücü yardım özelliği olan şerit koruma işlevidir. Benzer şekilde, adaptif hız sabitlemede, bir araç önündeki aracı tespit etmek, takip etmek veya belirli bir hızı korumak için radar veya kamera veya her ikisini de kullanır. Öndeki aracın hızını düşürmesi veya aniden fren yapması gibi bir olay durumunda, araçtaki sensörler bu olayı algılar, bu olay sistem tarafından işlenir ve fren uygulayarak ve yavaşlayarak araç aktüatörleri aracılığıyla bir yanıt sağlar. Sürücü, bir tehlikeyi önlemek için fren uygulayarak veya farklı bir şeride geçerek aracı kontrol edebilir, bu da o olaya bir yanıttır. Her iki durumda da sürücü, diğer otomatik işlevler tarafından desteklenirken OEDR alt görevini tamamlar [40–42].

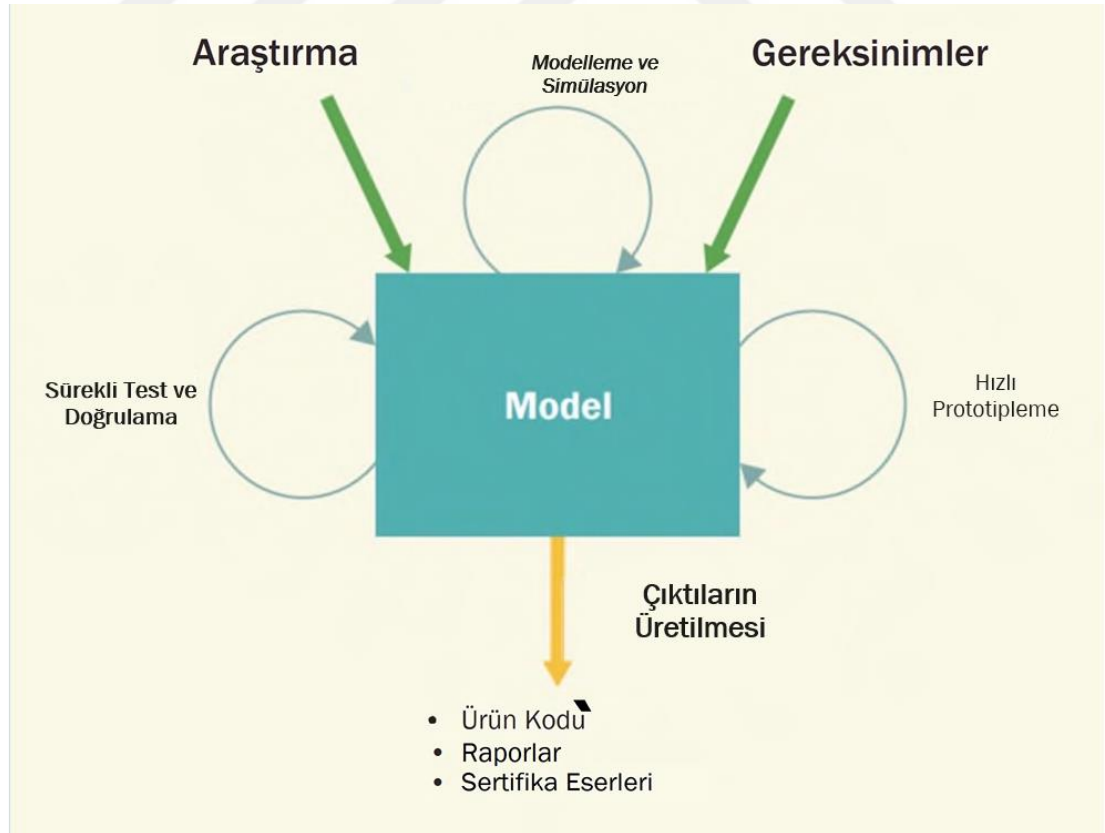
3.8. MODEL TAHMİNİ KONTROLÜ

Bu strateji, endüstride çok değişkenli kısıtlı kontrol problemleriyle başa çıkmak için etkili bir araç olarak yaygın olarak benimsenmiştir. MPC'nin ana fikri, kontrol eylemini, çevrimiçi olarak tekrar tekrar optimal bir kontrol problemini çözerek seçmektir. Bu, gelecekteki bir ufukta bir performans kriterini en aza indirmeyi amaçlar ve muhtemelen manipüle edilen girdiler ve çıktılar üzerindeki kısıtlamalara tabi olan, belirli bir zaman ufku üzerindeki gelecekteki davranışın, tesisin bir modeline göre hesaplandığı optimal bir kontrol dizisi üretir. Bu gelecekteki davranışa genellikle tahmin ufku denir. Tahmin ufku; ölçülen değişkenler ve süreç modeli (doğrusal, doğrusal olmayan veya hibrit), kontrollü tesisin gelecekteki davranışını hesaplamak (tahmin etmek) için kullanılır. Bu, genellikle kontrol ufku olarak adlandırılan, belirli istenen kısıtlamaların ve hedeflerin karşılanması için hesaplanması gereken, süreç modeline uygulanan giriş dizisi olarak gelecekteki bir kontrol senaryosunu dikkate alarak elde edilir. Bu tür kontrolün önemli bir avantajı, kontroller ve durumlar üzerindeki sert kısıtlamalarla başa çıkma yeteneğidir. Neredeyse her uygulama kısıtlamalar getirir. Aktüatörler doğal olarak uygulayabilecekleri kuvvet (veya eşdeğeri) açısından sınırlıdır. Sıcaklık, basınç ve hız gibi güvenlik sınırları durumları ve verimlilik genellikle izin verilen durumlar kümesinin sınırına yakın sabit durum çalışmasını belirler. Sert kısıtlamaların yaygınlığına, bunların yokluğunda genellikle özel yöntemlere başvurmak zorunda kalan endüstriden gelen sürekli talebe rağmen,

bunları ele almak için kontrol yöntemlerinin kısıtlılığı eşlik eder. Model öngörücü kontrol, uygun birkaç yöntemden biridir ve bu gerçek onu kontrol mühendisleri için önemli bir araç haline getirir [43].

3.9. MODEL TABANLI TASARIM

Model tabanlı tasarım; kontrol, sinyal işleme, iletişim ve diğer dinamik sistemlerin geliştirilmesine yönelik model merkezli bir yaklaşımdır. Fiziksel prototiplere ve metinsel özelliklere güvenmek yerine, geliştirme boyunca bir model kullanır. Model, sistem davranışıyla ilgili her bileşeni içerir: Algoritmalar, kontrol mantığı, fiziksel bileşenler ve fikri mülkiyet. Model geliştirildiğinde (işlendikten sonra), raporlar, C kodu ve HDL kodu dahil olmak üzere birçok çıktının kaynağı haline gelir. Model tabanlı tasarım, sistem düzeyinde ve bileşen düzeyinde tasarım ve simülasyon, otomatik kod üretimi ve sürekli test ve doğrulama sağlar [44]. Şekil 3.4'te model tabanlı tasarım süreci görülmektedir.



Şekil 3.7. Model Tabanlı Tasarım süreci iş akışı [44].

Model tabanlı tasarım hemen hemen her türlü organizasyon tipini destekleyebilir ve birçok farklı geliştirme iş akışında başarıyla uygulanmıştır. Bunu nasıl uygulayacağınız, kuruluşunuzun büyüklüğüne, yapısına ve kültürüne, ayrıca geliştirilen sistemlere ve hedef pazarınızın taleplerine bağlıdır. Model tabanlı tasarımı kuruluş genelinde benimsemeyi seçebilir ve tüm geliştirme sürecinizi dönüştürebilirsiniz. Alternatif olarak, bir iş akışı darboğazı, tasarım gereksinimlerinde ani bir değişiklik veya artan sistem karmaşıklığı gibi belirli bir zorluğu ele almak için seçici olarak uygulayabilirsiniz.

Model tabanlı tasarım, geliştirmenin birçok yönünü kolaylaştırmanın bir yolunu sunar. Örneğin, bugüne kadarki tecrübeler model tabanlı tasarımın şunları sağladığını göstermektedir:

- Karmaşık sistemlerin yönetilmesi
- Zaman alıcı ve hataya açık görevlerin otomatikleştirilmesi
- Yeni fikirlerin hızla keşfedilmesi
- İletişimi ve iş birliğini teşvik eden ortak bir dil oluşturulması
- Ürün kalitesinin artırılması
- Fikri mülkiyetin korunması
- Risklerin azaltılması

3.9.1. Model Tabanlı Tasarımın Temel Kavramları

Model Tabanlı Tasarım sekiz temel kavram üzerine kurulmuştur:

- Yürütülebilir şartname
- Sistem düzeyinde simülasyon
- What-if analizi
- Model geliştirme
- Sanal prototipleme
- Sürekli test ve doğrulama
- Otomasyon

- Bilgi yakalama ve yönetimi

3.10. SENSÖR FÜZYONU

Hiçbir algılama sistemi tek başına her hava koşulunda %100 doğru işlevsellik sağlayamayacağından ve araç kullanımı sırasında çeşitli değişken koşullar ortaya çıkabileceğinden, farklı algılama sistemlerini birleştirerek her türlü farklı durumda güvenli bir şekilde hareket edebilecek daha tutarlı bir sisteme ulaşmak kaçınılmazdır. [45].

Sensör füzyonu, veri işleme sistemlerindeki başarıların bir sonucudur ve sensörlerden gelen verileri birleştirme ve ayrıca ADAS aktüatörleri için sürüş sinyali olarak kullanılacak en doğru sinyali önceliklendirme fırsatı verir. Bu yaklaşımla, belirli bir hava koşulunda tipik bir sensör türünün zayıflığı başka bir sensör tarafından telafi edilir. Örneğin, karlı bir havada, radar sinyali diğer sensör türlerine kıyasla karda daha doğru sonuç verdiği için diğerlerine göre öncelik kazanır.

Sensör füzyonunun bir diğer avantajı, bir ADAS işlevi içindeki farklı işlev seviyeleri için farklı sensörler kullanmaktır. Örneğin, AEB uzun ve kısa menziller için radar kullanırken, orta menzil, hız ve 3B nesne algılama için Lidar kullanabilir. Dahası, kameralar yol ve yaya konumu hakkında ayrıntılı bilgi almak için kullanılacaktır.

Sensör yeteneklerine dair bir fikir vermek gerekirse, radarlar neredeyse her nesneyi tespit etmede çok iyidir, ancak nesnenin türünü tanıyamazlar. Görüntü sistemleri sokak tabelalarını ve şerit işaretlerini okuyabilirken, doğrudan güneş ışığı olduğunda veya kameraların lensleri kirli olduğunda performansları iyi değildir. Ancak Lidar bu iki eksikliği bir araya getirir ve daha eksiksiz bir sistem sağlamak için değişkenleri ve ayrıntıları değerlendirir [46].

Farklı duyuşal sistemlerin bir araya getirilmesi, tek bir sistemden daha yüksek bir verim sağlar ve görüş alanını en iyi durumlarda 20 dereceden neredeyse 360 dereceye kadar genişletir.

Sentetik radar ve görüş algılamalarını simüle etmek, nadir ve potansiyel olarak tehlikeli olaylar yaratma ve araç algoritmalarını bunlarla test etme yeteneği sağlar. Otonom bir araçta, hem yol hem de şerit sınırlarını, ayrıca diğer araçları ve diğer nesneleri veya çevresel koşulları algılamak için aynı anda çalışan birkaç duyuşal sistem vardır [47].

Bu sensörlerden ve kameralardan gelen sinyal, aracın merkezi bilgisayarına iletilir ve aktuatörler için kullanılacak sensör birleştirme yöntemleri kullanılarak çevrilir. Buna göre, aktuatörler gerekli görevi gerçekleştirir ve tam veya yarı otonom bir aracın kontrol görevini yerine getirmek için ADAS işlevlerini etkinleştirir veya devre dışı bırakır.

Sensör füzyonunda önemli bir faktör, sensörlerin ve kameraların doğru yerlere yerleştirilmesidir. Böylece araç için gereken en uygun aralığı kapsayabilirler. Yanlarda bazı kör noktalar olsa da, bu sensör ve kamera setiyle aracın önünde, arkasında ve yanlarında çok yüksek bir görüş yüzdesi kapsanır.

Sonuç olarak, sensörlerden yeterli veri geldiğinde ve bunlar aracın merkezi bilgisayarına aktarıldığında, kritik sürüş senaryolarında aracın en iyi performans durumunda kalmasını sağlamak için ADAS işlevlerini etkinleştiren, devre dışı bırakan veya birleştiren yalnızca denetleyici görevleridir [48].

3.11. İLERİ SÜRÜŞ DESTEK SİSTEMLERİ (ADAS) FONKSİYONLARI

3.11.1. Adaptif Hız Sabitleyici (ACC)

ADAS'taki temel sistemlerden biri olan Adaptif Hız Sabitleyici (ACC), günümüzde otomobillerde yaygın olarak kullanılmaktadır ve tartışmasız olarak bu sistem otonom sürüş konseptleri için en önemli sistemlerden biridir. Adında adaptif kelimesi geçen bu teknoloji, sabit bir hızı koruyabilen normal hız sabitleyicinin en güncel ve yükseltilmiş versiyonudur. Ancak, sensör füzyon teknolojisi ve bir kontrolör sayesinde ACC, istenen hızı korurken önündeki araçla güvenli bir mesafeyi koruyabilmektedir. Açıkçası, sürücü daha büyük bir güvenli mesafeyi korumayı seçtiği sürece, ACC önce

göreceli mesafeyi artırmak için hızı azaltacak ve ardından öndeki aracın hızına göre, sürücünün istenen hızından daha yüksekse, ayarlanan hızı koruyacaktır. Ancak, öndeki aracın hızı sürücünün ayarlanan hızından daha düşükse, mesafeyi koruyacak ve böylece hız ayarlanan değerden daha düşük olacaktır. ACC, trafik durumu ve sistemin kabiliyetine göre mesafe veya hız önceliğini belirler [49].

3.11.2. Şerit Takip Asistanı (LKA)

Bu sistem otonom sürüşün olmazsa olmazlarından biridir. Çünkü ADAS'ın diğer işlevlerini yerine getirebilmek için öncelikle aracın hangi şeritte bulunduğunu tespit edip şeritte kalması ve ardından sürüşün diğer görevlerini yerine getirmesi esastır.

Bu alanda daha önce bulanık mantık ve model tahminli kontrol gibi farklı yöntemler kullanılarak çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

Bir sistemde uygulanabilecek birkaç yöntem vardır. Ancak, simülasyon olanakları açısından bu tez için en uygun sistem 4. bölümde seçilecektir [50].

3.11.3. Şerit Değiştirme Asistanı (LCA)

Şerit Değiştirme Asistanı (LCA), otonom araçta şerit değiştirme manevrasını gerçekleştiren bir sistemdir. Gerçekleştirdikleri görev açısından çeşitli LCA biçimleri vardır. Tam LCA, hem normal hem de acil durumlarda şerit değiştirme yeteneğine sahiptir ve bir insan sürücü gibi tam bir sollama görevi gerçekleştirmeye karar verir. Birincil şerit değişikliğini gerçekleştiren ancak aracı önceki araca geri döndürmeyen ve bu nedenle sollama görevinin bu sistemlerle mümkün olmadığı basitleştirilmiş LCA modelleri de vardır. Diğer bazı sistemler de sola şerit değiştirebilir ve diğer sol şeride başka bir şerit değişikliği yapmak için yeni bir durum oluşana kadar devam edebilir.

Bu alanda, kritik durumlarda arabaların kontrol edilebilirliğini iyileştirmek ve çarpışmadan kaçınırken daha yumuşak dönüşler yapmak için birçok araştırma yapılmış ve hala çok şey geliştirilmektedir. Buna göre, bu tez gereksinimlerini karşılamak için en uygun yöntem sistemde uygulanmak üzere dikkate alınacaktır [51].

3.11.4. Otomatik Acil Fren (AEB)

Otomatik Acil Fren (AEB), sürücülerin diğer araçlarla veya savunmasız yol kullanıcılarıyla çarpışmaları önlemesine veya hafifletmesine yardımcı olan gelişmiş bir aktif güvenlik sistemidir. AEB sistemleri güvenliği şu şekilde iyileştirir:

- Kritik koşulları tanıyarak ve büyük güçle fren yaparak kazaları önlemek
- Aracın hızını azaltarak kaçınılmaz çarpışmaların şiddetini azaltmak.

3.12. OTONOM ARAÇ YAKLAŞIMI

Otonom araç konseptini incelerken, bu belirli paradigmayı oluşturan birkaç unsurun olduğunu görüyoruz. Bu paradigmayı oluşturmak için iki ana taraf (arz tarafı ve talep tarafı) etkileşim halindedir. Başlıca rol oyuncuları aşağıdaki gibi tartışılacaktır:

3.12.1. Müşteri Onayı

Talep tarafındaki en önemli aktör bu arabaları kullanacak olan kişilerdir ve otonom araçların yollara çıkmasına izin vermek için halkın genel görüşü olumlu olmalıdır. İnsanların hayatlarını veya sevdiklerinin hayatlarını robot gibi davranan bir arabaya koymanın güvenli olduğuna ikna edilmesi gerekir. İnsanların bu yeni gelen şeye uyum sağlaması muhtemelen çok zaman alacaktır.

3.12.2. Maliyet

Amaç otonom arabaları, yollardaki "hakim araç" yapmak olduğundan, bu ek teknolojinin maliyeti halkın gözünde mantıklı olmalıdır. Örneğin; yarı otonom araçlara 1.000-2.000 dolar veya tam otonom bir araca 3.000-5.000 dolar eklemek tüketiciler için oldukça uygulanabilir ve tatmin edici olacaktır [52].

3.12.3. Teknoloji ve Otonomi Seviyeleri

Rüyayı gerçeğe dönüştürmek için, bu arabaları yollara çıkarma aşamasında çözülmesi gereken birçok teknolojik zorluk var. Dahası, otonom arabalarla ilgilenen ana endüstriler, Ar-Ge Merkezleri ve ürün geliştirme işletmeleri gibi üçüncü taraf şirketlerle kapsamlı bir iş birliğine sahip olmalıdır. Yarışmada hayatta kalmak ve otonom arabaların ortaya çıkışını hızlandırmak için çeşitli teknolojilerin aktörleriyle bile bu iş birliğine sahip olmak hayati önem taşımaktadır. Örnek vermek gerekirse, "Telekom Hizmetleri" ile birleşerek "Kablosuz Ağlar" geliştirmek normal bir kombinasyon olabilir [52].

3.12.4. Yükümlülük

Bu unsur en kritik faktörlerden biridir. Otonom bir araç için bir kaza vakası düşünüldüğünde, bundan kimin sorumlu olduğu açıklığa kavuşturulmalıdır. Direksiyonda oturan ve hiçbir şey yapmayan kişi mi yoksa tamamen otonom araç mı? Buna göre, sorumluluk daha kapsamlı bir kavram olarak ele alınmalı, ayrıca sigorta sektörünün rolü ve yollardaki otonom araçlar için düzenlemeleri de dahil edilmelidir. Sigorta maliyetleri, otonom araçlarla devam etmesi gereken otomobil kazası sıklığındaki yapısal düşüşten faydalanır. Ancak, otonom araçların normal araçlara göre daha yüksek maliyetleri, otonom araçlar için sigorta tarifelerini artıracaktır [52].

3.12.5. Mevzuat

Otonom arabaların "direksiyonuna geçen" kişilerin tipik bir ehliyete sahip olmaları aslında gerekli olmadığından, hükümetler yollardaki otonom arabalar ve yolcuları için özel yasalar yayınlamalıdır. Son zamanlarda ABD, Kaliforniya ve Nevada'da bu, otonom arabaların yollarda uygulanması için yasalar çıkarılarak ve bu arabalara binen kişilere özel bir ehliyet verilerek yapıldı.

3.12.6. Penetrasyon Zaman Çizelgesi

Otonom arabaların gerçek sonucu, yollardaki arabaların büyük bir kısmı bu teknolojiyle donatıldığında fark edilecektir. Ancak, ABD yollarında 250 milyon ve dünya çapında 1 milyar araba olduğu mevcut istatistiklere bakıldığında, bu teknolojinin pazarda tamamen yaygınlaşmasının onlarca yıl alacağı görülmektedir. Ancak, süreç "hükümet veya endüstri destekli fonlama ve/veya zorunluluklar" yoluyla hızlandırılabilir.

3.12.7. Altyapı

Son prototiplerde altyapıya olan bağımlılık azaltılmış olsa da; hala bazı basit altyapılara, yol işaretlemeleri ve tabelalarına, GPS haritalamasına, güçlü telekomünikasyon ağlarına ve ideal olarak belli bir düzeyde araçtan şebekeye iletişime ihtiyaç duyulmaktadır.

3.12.8. Güvenlik

Otonom araçları bilgisayar kontrollü doğalarından algıladığımızda kaçınılmaz güvenlik endişeleri ortaya çıkıyor. Örneğin, bu sistemler programlama uzmanları tarafından hacklenebilir. Kablosuz olarak hacklemek çok zor olsa da ve hacker'ın bazı kabloları bağlamak için arabanın içine girmesi gerekse de, gelecekteki teknolojik gelişmeler, arabanın kontrol sistemine kablosuz olarak saldırmayı bile kolaylaştırabilir. Bu nedenle, "AUTOSAR otomotiv yazılım geliştirme standartları", arabadaki tüm ECU'ları hacker'lardan korumak için potansiyel suçları engellemek için teşvik edilmektedir.

3.12.9. Bölgesel Farklılıklar

Otonom araç konsepti ve mevzuatları Japonya, Çin, Avrupa ve Kanada gibi bazı ülkelerde geliştirilmeye devam etse de şu ana kadar en büyük ilerleme ABD'de sağlanmıştır [52].

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde bir taşıtın dinamik modelinin oluşturulması ve simülasyonu için gerekli olan yazılım bilgisi, modelleme alt yapıları, modellenen taşıta ait bilgiler, modelleme için gerekli hesaplamalar ve analiz sonuçları verilmiştir.

Bu çalışmada, taşıt modellenmesi ve model alt yapısı için MATLAB R2020a yazılımı kullanılmıştır. Diğer gömülü yazılımlara göre hem daha üstün olması hem de daha güncel içerikleri bulundurması, taşıt modeli oluşturulabilmesi için özel ve geniş bir kütüphaneye sahip olup kullanıcı dostu olması ve en önemlisi günümüz otomotiv üreticilerinin Ar-Ge departmanları tarafından uygulama yazılımı olarak kullanılması gibi avantajları olması nedeni ile MATLAB yazılımı tercih edilmiştir [53].

4.1. TAŞITIN MODELLENMESİ

Ulaşımın büyük bir bölümü yol araçları ile gerçekleştirildiğinden, ülke yönetimleri, kara yolu araçlarının egzoz emisyonlarına giderek daralan sınırlar getirmekte, taşıt üreticileri mevcut teknolojilerini geliştirmek için araştırma kurumları ile çeşitli çözüm projeleri üzerinde çalışmalarını artırmaktadır [54].

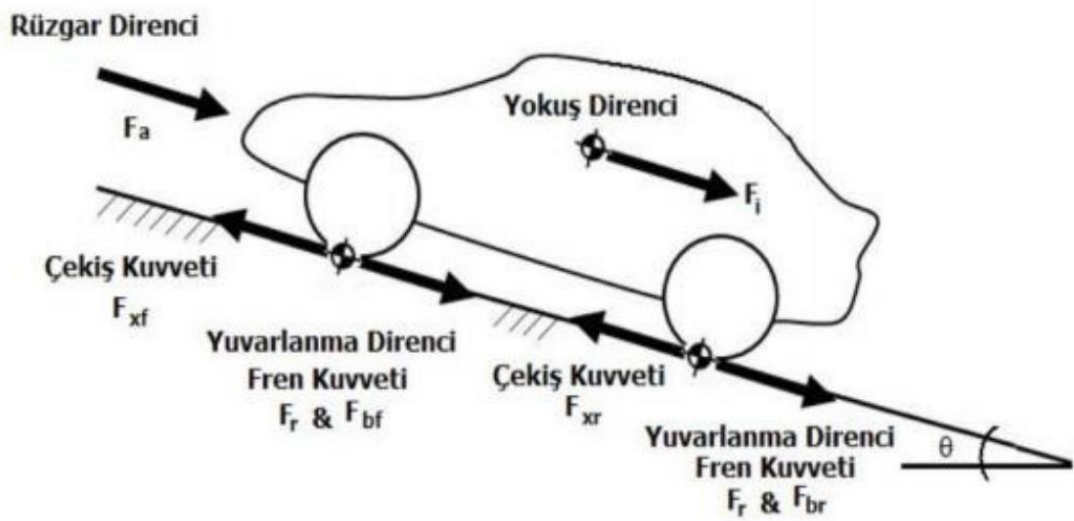
Petrol türevi yakıtlar ile çalışan içten yanmalı motorlar, motor teknolojilerinin gelişmesine rağmen bugünkü durumda en yüksek %40 verim civarında çalışabilmektedirler. Ayrıca yakıtın yanması sonucu dışarıya ısı ve zararlı gazlar çıkmaktadır. Bu nedenle günümüz teknolojisinde hibrit elektrikli taşıtlar öne çıkmaktadır. Bu taşıtların farklı tasarımlarına bakıldığında sadece bataryalı, içten yanmalı motorla beraber batarya kullanımı ile yakıt pilli araçlar gözükmektedir. Son yıllarda büyük otomotiv devleri hidrojenin tükenmeyen bir enerji türü olması ve hidrojenin yakıt olarak kullanılması sonucu çevreye sadece su olarak atılması ile sıfır

satışların elde edilmesi için performansın en az içten yanmalı motorlar kadar iyi olması gerektiğini iddia eder.

Elektrikli taşıtların bir diğer önemli özelliği de menzilleridir. Bu aynı zamanda matematiksel olarak modellenenebilir ve bilgisayar programları bunu oldukça basitleştirir. Geliştirilen matematiksel model; pil tasarımı ve kapasitesi gibi değişen şeylerin yanı sıra, araç tasarımının tüm diğer yönlerinin menzil üzerindeki etkilerin görülmesini sağlar. Bu, araç tasarımcısı için vazgeçilmez bir araçtır.

4.1.1. Taşıta Etkiyen Direnç Kuvvetleri

Taşıtlar hareketleri esnasında bir takım direnç kuvvetlerine maruz kalmaktadırlar. Bu dirençler, taşıtın hareketine zıt yönde oluşmakta ve taşıtın hareketine engel olmaktadır. Bu direnç kuvvetleri çeşitli faktörlerden dolayı meydana gelmektedir. Bu faktörlerin iyileştirilmesi, içten yanmalı motora sahip taşıtlarda yakıt tasarrufu, elektrikli taşıtlarda menzil artışı sağlayacaktır. Bu nedenle menzili kısıtlı olan elektrikli taşıtlarda bu direnç kuvvetlerinin en az düzeye indirilmesi gerekmektedir. Taşıta etkiyen direnç kuvvetleri dörde ayrılmaktadır ve bunlar aerodinamik direnç, yuvarlanma direnci, yokuş direnci ve ivmelenme direncidir [56]. Bu direnç kuvvetleri Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Bir eğimde taşıta etkiyen kuvvetler.

4.1.1.1. Aerodinamik Direnç

Akışkan içerisinde hareket eden cisimlere, hareketlerini engelleyici yönde kuvvetler etki eder. Havanın akışkan olarak kabul edilmesi durumunda, durgun hava içerisinde belirli bir hızla hareket eden taşıta hareketinin tersi yönde bir direnç kuvveti etki eder. Bu direnç kuvveti aerodinamik direnç olarak adlandırılmaktadır. Taşıta etkiyen aerodinamik direnç esas olarak şu üç elemandan oluşmaktadır:

- Taşıtın arka kısmında boşalttığı bölgede meydana gelen türbülansın oluşturduğu direnç. Bu direnç, özellikle arka kısım olmak üzere, taşıtın gövdesinin biçimine bağlıdır. Aerodinamik direncin en önemli bileşeni budur ve toplam aerodinamik direncin %80'i kadardır.
- Taşıtın dış yüzeylerinden akan havanın neden olduğu yüzey sürtünmesi. Normal durumlardaki bir otomobilde bu bileşen toplam aerodinamik direncin yaklaşık %10'u kadardır.
- Soğutma ve havalandırma amacıyla, taşıtın radyatör sisteminden veya iç kısımlarından geçen havaya bağlı olarak oluşan iç direnç. Bu bileşen, akış kanallarının tasarımına bağlı olarak değişmekle birlikte, toplam aerodinamik direncin %10'u kadardır.

Toplam aerodinamik direnç Eşitlik 4.1'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$F_a = 0.5 \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot V^2 \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte;

C_d : Aerodinamik direnç katsayısı

A : Taşıtın ön izdüşüm alanı (m^2)

V : Taşıt hızı (m/s)

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

Aerodinamik direnç katsayısı, bir cismin biçimi sebebiyle hava akımı içinde oluşturduğu süreksizlik ve girdaplar gibi akış bozulmalarının etkisini ifade eden bir sayıdır. Bu sayının azaltılması, aerodinamik direncin azaltılmasını sağlayacaktır.

4.1.1.2. Yuvarlanma Direnci

Tekerleğin elastik yapısı nedeniyle, tekerlek temas merkezinin önünde, tekerin dönme hareketine karşı direnç kuvveti oluşmaktadır. Yuvarlanma direnç kuvveti; taşıt kütlesi, lastik cinsi, lastik hava basıncı ve yol şartları gibi parametrelerden doğrudan etkilenmektedir. Yuvarlanma direnci Eşitlik 4.2'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$F_r = m \cdot g \cdot C_r \cdot \cos\alpha \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte C_r yuvarlanma direnç katsayısını ifade etmektedir. Farklı yol yüzeyleri için yuvarlanma direnç katsayısı değişmektedir.

Yuvarlanma direncini etkileyen önemli faktörlerden birisi de malzemedeki histerezis kayıplarına bağlı olarak deformasyona uğrayan malzeme miktarıdır. Yükteki bir artış veya lastik iç basıncındaki bir azalma, lastiğin şekil değişimini artırarak yuvarlanma direncinin artmasına neden olmaktadır. Bunun yanında taşıt hızının artması da yuvarlanma direncinin artmasına sebep olur.

4.1.1.3. Yokuş Direnci

Yokuş direnci, taşıtın eğimli bir yolda hareketi sırasında ağırlık kuvvetinin bileşeninden dolayı ortaya çıkar. Bu direnç taşıtın kütlesi ve yokuşun eğimi ile doğrudan etkilidir. Yokuş direnci Eşitlik 4.3'teki gibi hesaplanmaktadır:

$$F_t = m \cdot g \cdot \sin\alpha \quad (4.3)$$

α ile yolun eğimi yüzde cinsinden ifade edilir. 1990 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan genelgeye göre eğimler; Türkiye'de otoyollarda %10, şehir içi yollarda %15 ve kırsal arazi yollarında %20 olarak açıklanmıştır. Buradaki %10, 100 metrelik ilerleme ve 10 metre yükselme anlamına gelmektedir [57].

4.1.1.4. İvmelenme Direnci

Newton'un II. hareket yasasına göre, bir cismin hızlanması ve yavaşlaması sırasında, bu harekete ters yönde bir atalet kuvveti oluşmaktadır. Taşıtın pozitif ve negatif ivmelenme sırasında karşılaşılan bu kuvvet, ivmelenme direnci olarak adlandırılmaktadır. Bu direnç Eşitlik 4.4'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$F_i = m \cdot a \quad (4.4)$$

İvmelenme direnci; doğrusal hareket halindeki kütlelerin atalet kuvvetleri ile dönme hareketi yapan tekerlekler, aktarma organları ve motorun dönel atalet kuvvetlerinden oluşur. Taşıtın ilk hareketi ve frenleme sırasında büyük ivmeler ve dolayısıyla büyük atalet kuvvetleri meydana gelmektedir.

4.1.1.5. Taşıta Etki Eden Toplam Direnç Kuvveti

Toplam direnç kuvveti, aerodinamik, yuvarlanma, yokuş ve ivmelenme dirençlerinin toplamından oluşmaktadır. Eşitlik 4.5'teki gibi ifa edilir.

$$F_{load} = F_i + F_a + F_r + F_{st} \quad (4.5)$$

Güç aktarma organlarında taşıt direnç kuvvetlerinden dolayı oluşan tork kuvveti;

$$T_{load} = F_{load} \cdot r_w \quad (4.6)$$

olarak kabul edilmiştir. Direnç kuvvetlerinin taşıta etki noktası tekerlek merkezi sayılmıştır.

4.1.2. Rejeneratif Frenleme

Hareket halindeki taşıt yavaşlarken veya yokuş aşağı inerken, taşıtın sahip olduğu kinetik enerji, elektrik motorunun jeneratör modunda çalıştırılmasıyla frenlemeden dolayı tekrar kazanılabilmektedir. Frenleme başlamadan önce motor ileri doğru

dönmektedir. Frenleme esnasında zıt elektromotor kuvvetinden kaynaklanan enerjinin geri kazanılması sağlanmaktadır. Bu sayede daha yüksek sistem verimliliği ve batarya şarjı ile menzil artışı sağlanmaktadır [58].

Bu sistem sayesinde özellikle şehir içi sürüşlerinde sıkça tekrarlanan durup kalkma esnasında önemli miktarda enerjinin geri kazanımı sağlanmaktadır. Rejeneratif frenlemenin etkili olabilmesi için taşıt hızının çok düşük olmaması gerekmektedir. Ayrıca rejeneratif frenlemenin ivmesi, bunun için kullanılan jeneratör veya elektrik motorunun gücü ile sınırlıdır. Rejeneratif frenlemenin en verimli kullanıldığı aralık, taşıtın normal hızlarda yaptığı frenleme esnasındadır. Taşıtın hızı çok düşük seviyelere indikten sonra taşıtı durdurmak için, sert ve acil frenlemelerde hidrolik fren sistemi kullanılmaktadır. Frenleme kuvveti dağılımı, aracın ön ve arka akslarının frenleme kuvvetinin maksimum değerinden elde edilen değer olan ön ve arka aksların frenleme oranına dayanmaktadır. Eşitlik 4.7’de aracın ön ve arka aksları için frenleme kuvveti oranı gösterilmektedir [59].

$$\frac{K_{bf}}{K_{br}} = \frac{F_{bfmax}}{F_{brmax}} \quad (4.7)$$

Frenleme kuvvetleri ayrıca tekerlek ve yol tutuşu tarafından sınırlandırılır. Eşitlik 4.8 ve Eşitlik 4.9 ideal fren dağılım eğrisi formülünü gösterir.

$$F_{bf} = \mu * \frac{w}{L} * l_r + \mu * h \quad (4.8)$$

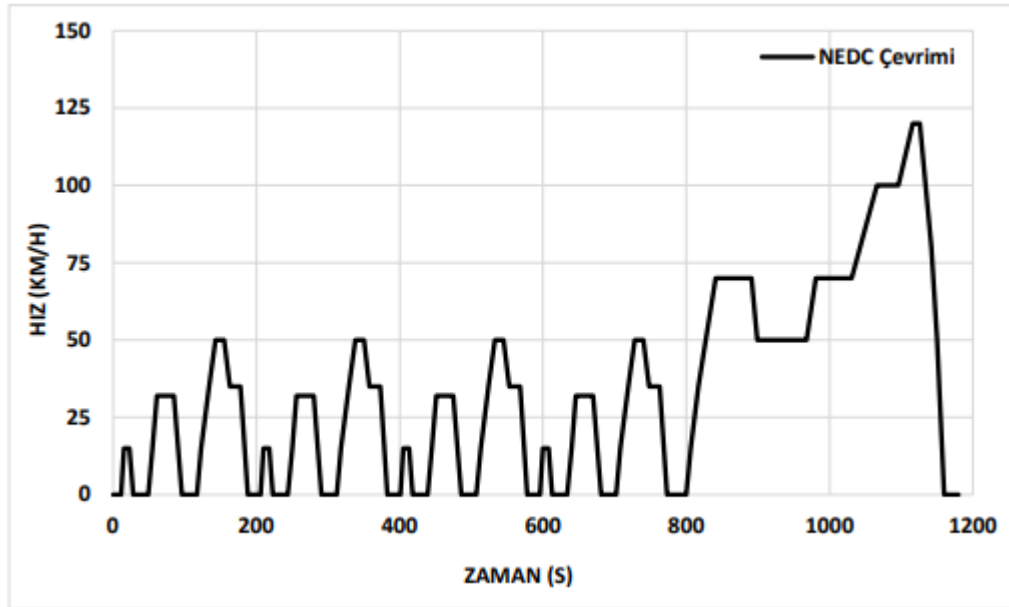
$$F_{br} = \frac{1w}{2h} \sqrt{l_r + \frac{4hL}{W}} F_{bf} - \frac{W * l_r}{h} + 2F_{bf} \quad (4.9)$$

4.1.3. Sürüş Çevrimleri

Sürüş çevrimleri, taşıtların egzoz emisyonları ve yakıt tüketimlerinin hesaplanması için kullanılan hız-zaman grafikleridir. Sürüş çevrimleri kısıtlı bir zaman aralığında söz konusu taşıt tipi ve bölge için geçerli olan gerçek sürüş koşullarını en iyi şekilde temsil etmelidir.

İki çeşit sürüş çevrimi bulunmaktadır: Standart ve standart olmayan. Standart çevrimler NEDC (Avrupa), Japonya 10-15 Mod vb.dir. Standart çevrimler daha düz ivmelenme, hızlanma periyodlarına sahiptir. Taşıtların yakıt tüketimi standart çevrimlerle hesaplanır ancak bu gerçek tüketimi yansıtmaz. Standart olmayan çevrimler ise gerçek sürüş koşullarından elde edilen verilerle oluşturulmuş çevrimlerdir (Hong Kong, İstanbul Seyir Çevrimleri vb.). Çok farklı hız, ivme periyodlarını içermektedir. Ayrıca kırsal yollarda kullanımı da göz önüne almaktadır. Yerel bazda gerçek emisyon ve tüketim değerlerini belirlemede oldukça etkili olmaktadır. Modelimizde NEDC ve WLTP sürüş çevrimleri kullanılmıştır.

Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi şehir içi ve şehir dışı hızları temsil eden kısımlardan oluşmaktadır. Şehir içi çevrimine ECE ismi verilmektedir ve 4 kez tekrarlanmaktadır. Şehir dışı çevrimine ise EUDC denilmektedir. Yeni Avrupa Sürüş Çevriminin ilk 780 saniyelik kısmı sık dur-kalk yapılan şehir içi trafiği benzetimi için uygunken, sonraki kısım yüksek hızda seyir benzetimi için tasarlanmıştır Şekil 4.3'te NEDC çevrimi hız-zaman grafiği görülmektedir.

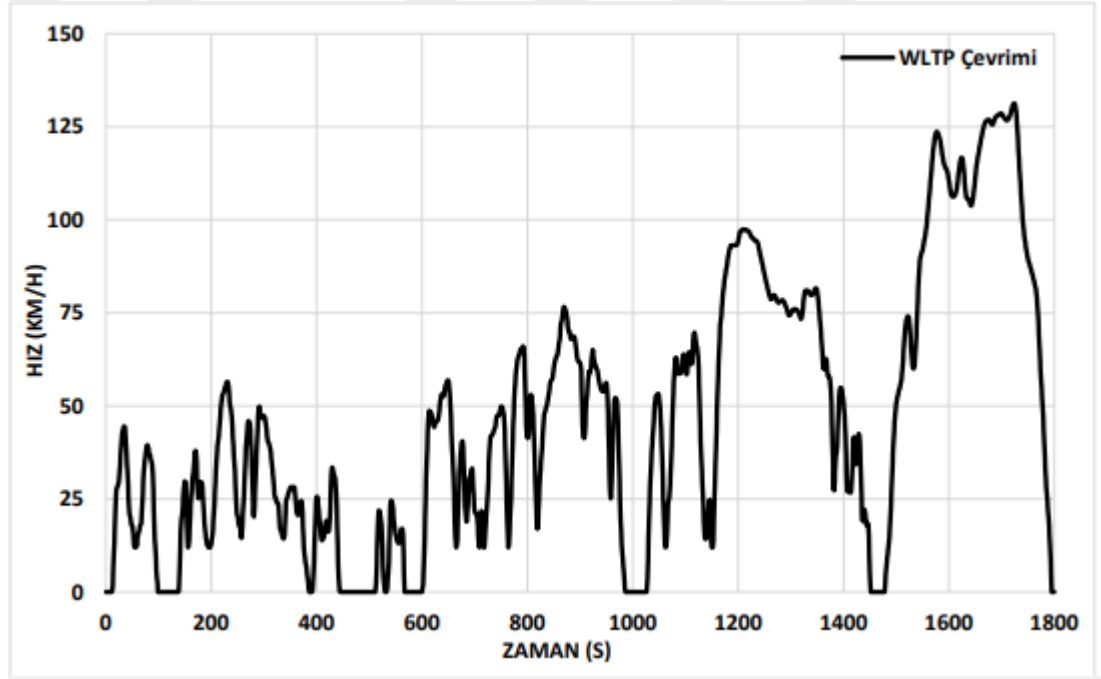


Şekil 4.3. NEDC sürüş çevrimi hız-zaman grafiği.

NEDC çevrimi, gerçek sürüş şartlarını yansıtmadığı gerekçesiyle uzmanlar tarafından eleştirilmektedir. İvmelenmeler çok yumuşak, rölanti oranının fazlalığı ve sabit hız

durumlarının fazlalığı eleştirilerin yoğunlaştığı kısımlardır. Tüm bunlar göz önüne alındığında gerçek sürüş şartlarına ulaşmak mümkün olmamaktadır. Bu yüzden yeni bir sürüş çevrimi geliştirme ihtiyacı duyulmuştur. “Küresel Uyumlu Hafif Taşıt Test Prosedürü”nün EURO 7 standartları ile kullanıma girmesi planlanmaktadır.

1996 yılında yürürlüğe giren NEDC çevrimi yerine otomotiv endüstrisinde WLTP çevriminin çıkması planlandı. WLTP çevriminin NEDC çevriminden daha gerçekçi emisyon ve yakıt tüketimi verileri ortaya koyması firmaların desteklemesini sağladı. Bu nedenle modelimizde NEDC ve WLTP çevrimleri birlikte kullanılacaktır. WLTP çevriminin hız-zaman grafiği Şekil 4.4’te görülmektedir [60].

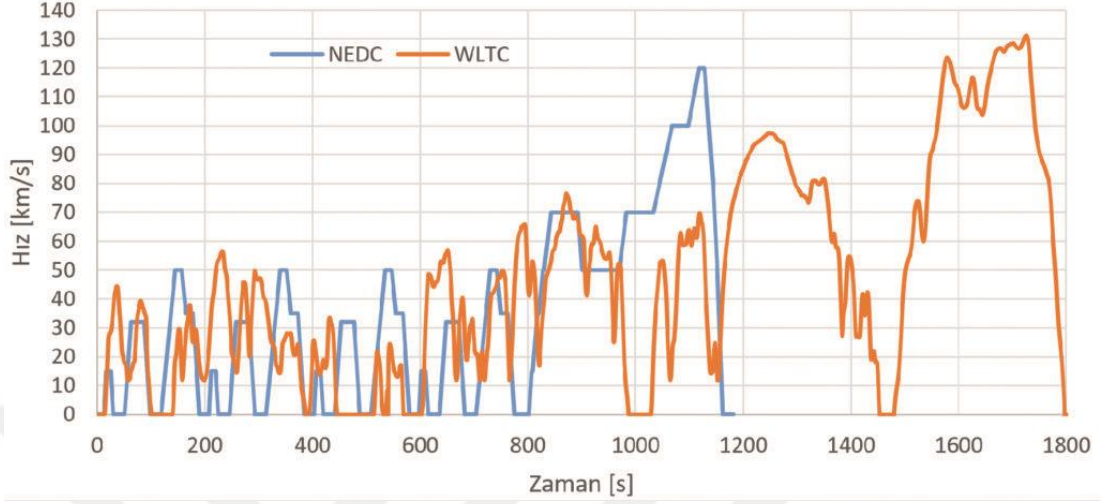


Şekil 4.4. WLTP sürüş çevrimi hız-zaman grafiği.

4.1.3.1. NEDC ve WLTP Arasındaki Farklar

Yakıt tüketimini etkileyen ana farkları arasında test çevrimi ve vites değiştirme sırası, araç kitle tanımı, yol yükü tespiti, şasi dinamometresi ön koşullanması, sıcaklık ve REESS (Şarj Edilebilir Elektrikli Enerji Depolama Sistemi- Rechargeable Electric Energy Storage System) şarj dengesi düzeltilmesi gibi parametreler ile WLTP, NEDC’den önemli ölçüde farklıdır [61]. Şekil 4.5’te görüldüğü gibi NEDC- WLTP

hız-zaman karşılaştırılması grafik üzerinde yapılmıştır. Aralarındaki farklar ise Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.5. NEDC-WLTP hız-zaman karşılaştırması.

Çizelge 4.1. NEDC ve WLTP arasındaki farklar [62].

NEDC		WLTP
Test Çevrimi	Tek Çevrim	Gerçek sürüşe yakın birçok parametreyi temsil eden dinamik çevrim
Çevrim Zamanı	20 dk	30 dk
Çevrim Mesafesi	11 km	23,25 km
Sürüş Fazları	2 faz. %66 şehir içi, %34 şehir dışı	4 fazla dinamik faz. %52 şehir içi, %48 şehir dışı
Ortalama Hız	34 km/saat	46,5 km/saat
Maksimum Hız	120 km/saat	131 km/saat
Seçmeli Ekipman Üzerindeki Etkisi	NEDC kapsamında değerlendirilmeyen karbondioksit ve yakıt performansı üzerindeki etkiler	Ek özellikler (araç başına değişebilir) dikkate alınmıştır
Vites Geçişleri	Araç sabit vites değiştirme noktalarına sahiptir	Her araç için farklı vites geçiş noktalarına sahiptir
Test Sıcaklıkları	20-30 °C’de ölçülür	23 °C’de ölçüm yapılmaktadır. 14 °C’de CO2 değerleri düzeltilmektedir.

Çizelge 4.2’de NEDC ile WLTP arasındaki parametrik farklar gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. NEDC ve WLTP arasındaki parametrik farklar [62].

Parametre	NEDC	WLTP	Fark
Toplam Zaman (s)	1180	1800	620
Mesafe (km)	11	23,3	12,3
Max. Hız (km/h)	120	131	11
Ortalama Hız (km/h)	34	47	13
Max. Hızlanma (m/s^2)	1,1	1,7	0,6
Max. Yavaşlama (m/s^2)	-1,4	-1,5	-0,1
Sabit Sürüş Zamanı(s)	475 (%40)	66 (%3.5)	-%37
Hızlanma Zamanı (s)	247 (%21)	789 (%44)	% 23
Yavaşlama Zamanı (s)	178 (%15)	719 (%40)	%25
Durma Zamanı (s)	280 (%24)	226 (%12,5)	-%12

4.1.4. Simülasyon Parametreleri

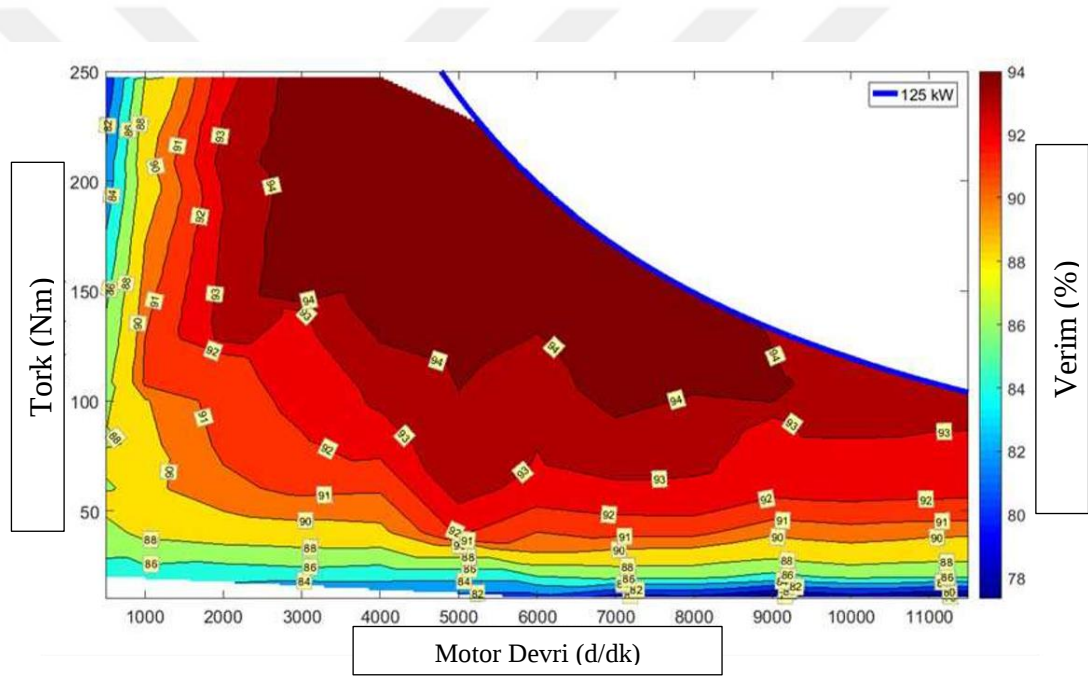
Modellemesi yapılan taşıtın parametreleri Çizelge 4.3’te verilmiştir. Şehir içi kullanıma yönelik bir taşıt olan; Nissan firmasına ait elektrikli bir taşıt olan Leaf modelinin teknik özelliklerinden faydalanılmıştır.

Çizelge 4.3. Simülasyon parametreleri.

Parametre	Değer	Birim
Taşıt kütlesi (m)	1500	Kg
Ön izdüşüm alanı (A)	2,27	m^2
Aerodinamik direnç katsayısı (C_d)	0,3	-
Tekerlek yarıçapı (r_w)	0,3	m
Yuvarlanma direnç katsayısı (f_{r0})	0,01	-
Havanın yoğunluğu (ρ)	1,2	kg/m^3
Efektif atalet kütlesi	1,02*m	kg

4.1.5. Elektrik Motor Modeli

Elektrik motor modellemesi verimlilik haritası kullanılarak yapılmıştır. Bu harita bize bir elektrik motorunun elektrik gücünü hangi verim ile mekanik güce çevirdiğini gösterir. Her motorun kendine özel verimlilik haritası vardır. Veri kullanarak modellemenin iyi tarafı; motorun içerisinde neler olup bittiğini bilmemize gerek yoktur. Gerilim, akım, sargı sayısı bilgilerine ihtiyaç yoktur. Sadece verimlilik haritası ile modellemeyi gerçekleştirmek mümkündür. Verimlilik haritasının kullanılması daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini de sağlamaktadır. Modelde kullanılan elektrik motoru verim haritası Şekil 4.6’da görülmektedir.



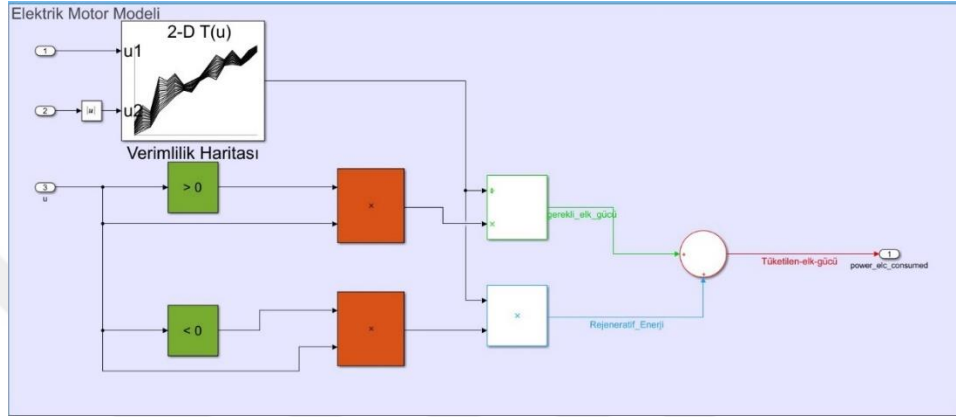
Şekil 4.5. Elektrik motoru verim haritası.

Elektrik motorunun, Simulink modeli Şekil 4.6’da görülmektedir. Bu modellemede, elektrik motorunun devri girilerek, o devirde üretebileceği maksimum tork değeri hesaplanmaktadır. Bu aşamada hesaplanan tork değeri, gaz pedalı ile kontrol edilerek, dinamik modele dahil edilecektir. Elektrik motorunun devri ve torku, verim diyagramına giriş olarak alınıp, elektrik motorunun verimi belirlenmektedir. İlgili denklemler Eşitlik 4.10, Eşitlik 4.11 ve Eşitlik 4.12’de verilmiştir.

$$P_{motor_elk_gereken(+)} = \frac{1}{Motor_verimlilik} * P_{mekanik} \quad (4.10)$$

$$P_{motor_elektrik_rejeneratif(-)} = Motor_verimlilik * P_{mekanik} \quad (4.11)$$

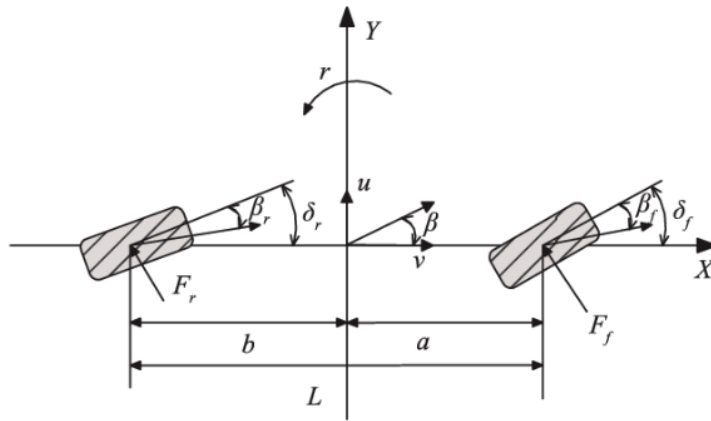
$$P_{motor_elektrik_harcanan} = P_{motor_elk_gereken} * P_{motor_elektrik_rejeneratif} \quad (4.12)$$



Şekil 4.6. Elektrik motoru modeli.

4.1.6. Taşıt Dinamik Modeli

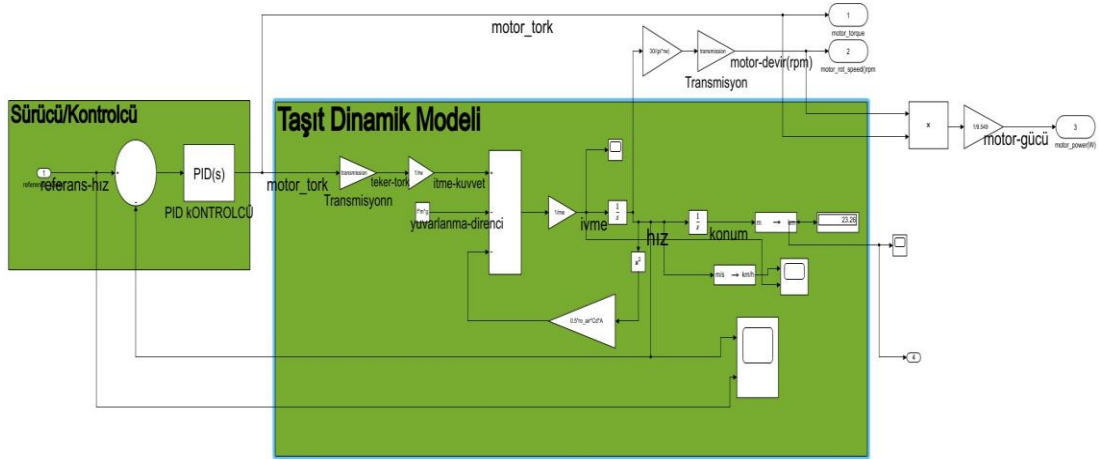
Araç dinamiği modelleri serbestlik derecelerine göre ayırt edilir. En basitleştirilmiş model, yanal ve sapma hareketlerini sağlayan 2 serbestlik dereceli (2DOF) modeldir. Şekil 4.7’de bu model görülmektedir. Bu modelin kullanım durumu, aracın uzunlamasına davranışını dikkate almaya gerek olmadığı zamandır [63].



Şekil 4.7. 2 serbestlik dereceli taşıt modeli.

Öte yandan, aracın uzunlamasına davranışını da dikkate alan 3 serbestlik dereceli (3DOF) modeller vardır. Bu modeller; hız, ivmelenme, frenleme ve direksiyon gibi bir aracın çeşitli davranışlarının incelendiği simülasyon amaçları için yaygın olarak kullanılır. 3DOF modelleri, "tek hat" ve "çift hat" olmak üzere iki konfigürasyonda ele alınır. Bu, modelde ele alınan araç ve dingil sayısı açısından açıklanır. Tek hat modeli, önde bir tekerlek ve arkada bir tekerlek olduğu ve bunların bir dingil ile birbirine bağlı olduğu düşünüldüğü için bisiklet modeli olarak da adlandırılır. Çift hat modelinde ise önde birbirine bağlı 2 tekerlek ve arkada birbirine bağlı 2 tekerlek bulunur ve bu iki dingil de merkezden birbirine bağlıdır.

Taşıt dinamik modellemesi yapılırken; transmisyon verimliliği, aerodinamik direnç, yuvarlanma direnci ve ivme direnci modellemeye dahil edilmiştir. Taşıt dinamik modeli Şekil 4.7’de görülmektedir.



Şekil 4.7. Taşıt dinamik modeli.

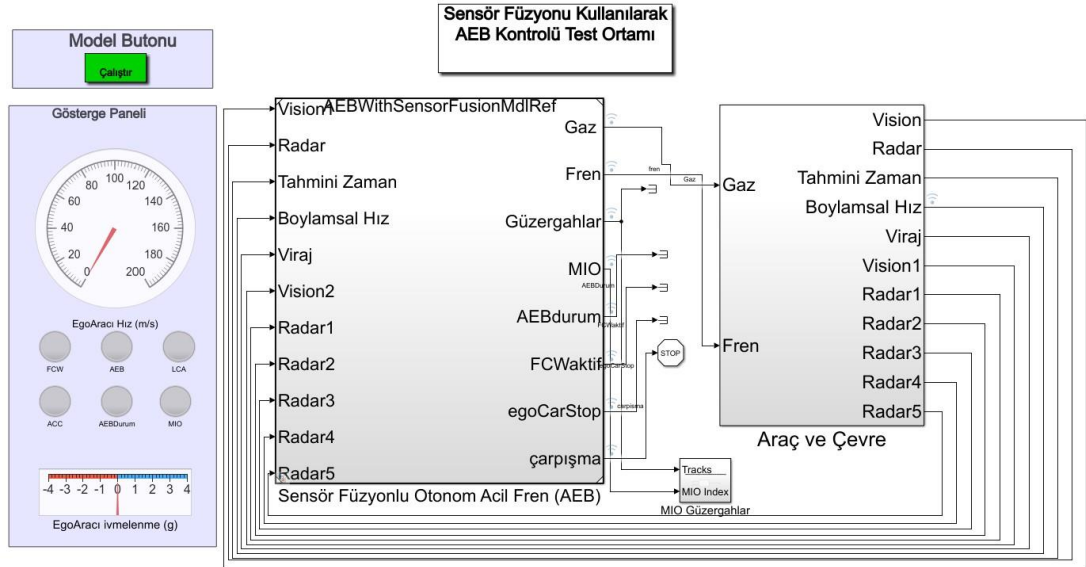
4.2. OTONOM ARAÇ TEST ORTAMININ OLUŞTURULMASI

Araç emniyeti ve kontrolü, ADAS ve sürüş senaryosu kavramlarının tanımlanmasının ardından, bu bölümde ele alınacak bazı senaryoların simüle edilmesi ve senaryolara ilişkin kritiklik ölçütlerinin simülasyonda da tutarlı olup olmadığı ve ego aracının ADAS fonksiyonlarını güvenli bir yolculuk yapmak ve çarpışmayı önlemek için

uygun şekilde kullanıp kullanmadığının kontrol edilmesi için bir test ortamına ihtiyaç duyulmaktadır.

Buradaki temel amaç herhangi bir çarpışmayı önlemektir. Bu nedenle, çevredeki koşullar ve rahatsızlıklar kontrol edilemediğinden, çarpışmayı önlemek için tek seçenek ego aracının akıllı bir şekilde çalışması ve bu aracın hızını, ivmesini ve direksiyon açısını uyarlanabilir bir denetleyici kullanarak kontrol etmektir. Bu amaçla, bu görevi başarmak için uyarlanabilir MPC denetleyicisi ve bazı PID denetleyicileri aktif olarak kullanılır.

Ego aracı, bisiklet modeli ve araç dinamiklerinin klasik formülleri kullanılarak, bir önceki bölümde anlatıldığı gibi modellenmiştir. Ayrıca, sensör birleştirme ve izleme için veri oluşturmak ve buna göre hareket etmek üzere daha önceki bölümlerde de açıklandığı gibi 8 sensörle donatılmıştır. Bu ego araç modeli, Matlab ve Simulink'te dört ADAS işlevini (ACC, LKA, AEB, LCA) birleştirerek ve yapılandırarak test ortamında uygulanmıştır [64–66].



Şekil 4.8. Test ortamı modeli.

Bu test ortamı; tüm girdileri ve çıktılarıyla birlikte, Çizelge 4.4'te belirtilen iki ana bloktan oluşmaktadır.

Çizelge 4.4. Test ortamındaki ana bloklar ve sistem girdi-çıkıtları.

Blok	Girdiler	Çıktılar
Sensör Füzyonu ve Denetleyici	- Boylamsal Hız - Sürücü Ayar Hızı - Tahmini Zaman - Radar ve Kamera Algılamaları - Ego Araç Konumu	- Hızlanma - Direksiyon Açısı - Gaz - Fren - FCW Etkinleştirme - AEB Açık_Kapalı - AEB Durumu - Sonuçları İzleme
Araç ve Çevre	- Hızlanma - Direksiyon Açısı - Gaz - Fren - AEB Açık_Kapalı - AEB Durumu	- Boylamsal Hız - Radar ve Kamera Algılamaları - Ego Araç Konumu

Sensör Füzyonu ve Denetleyici bloğu; izleme ve sensör füzyonu için alt blokları ve ADAS işlevleri için denetleyici bloklarını içerir. Bu blok, bölüm 4.2.1'de açıklanmıştır.

Araç ve Çevre bloğu ise; bölüm 4.2.2'de açıklandığı gibi araç dinamikleri, aktörler ve sensör simülasyonu alt bloklarından oluşur.

Ayrıca gösterge panelinde ego aracı hakkında aşağıdaki bilgiler görüntülenir;

- V_{set} : Senaryoda mümkün olduğunda ego aracın ulaşması gereken istenen hız olarak tanımlanır.
- Hız: Ego aracın boylamsal hızı (km/h)
- EgoAracı ivmelenme: Adaptif hız sabitleyici kullanırken ego aracın ivmelenmesi.

- ACC: Adaptif hız sabitleyicinin etkinleştirilmesini veya devre dışı bırakılmasını temsil eder.
- LCA: Şerit değiştirme yardımının etkinleştirilmesini ya da devre dışı bırakılmasını temsil eder.
- FCW: İleri çarpışma uyarısını temsil eder.
- AEB: Otomatik acil frenin etkinleştirilmesini veya devre dışı bırakılmasını temsil eder.

Kontrol hedeflerinin sürdürülebilmesi için sistem, ego aracının aşağıdaki şekilde kombine boylamsal ve yanal kontrolünü içerir:

- ACC (Boylamsal Kontrol): Sürücünün ayarladığı hızı korur ve ego aracın hızlanmasını ayarlayarak şeritteki öndeki araçla güvenli mesafeyi korur.
- LKA (Yan kontrol): Ego aracın direksiyonunu ayarlayarak, aracın şerit merkez çizgisi boyunca hareket etmesini sağlar.
- LCA (Şerit Değiştirme Asistanı): Ego aracın yan şeritlerinden birinde veya her ikisinde yeterli alan olduğunda ve ACC sistemi öndeki aracın hızından daha yüksek bir hıza ulaşmak istediğinde öndeki araçla güvenli mesafeyi koruyamadığında etkinleştirilir.
- AEB (Otomatik Acil Frenleme): ACC öndeki araçla güvenli mesafeyi koruyamadığında ve LCA, yan şerit boş olmadığı veya şerit değiştirmenin güvenli olmayacağı ve çarpışmaya yol açabileceği kadar küçük olduğu için çalışmadığında etkinleştirilir.

Bu sistem, hedeflere aynı anda ulaşamadığında çakışmayı önlemek için hedeflerin önceliğini ayarlayabilir.

Daha önce belirtildiği gibi, sistemin önceliği çarpışma önlemenin ikinci aşamasında LCA'yı kullanmak üzere ayarlanmıştır. Yani, sistem şerit değiştirmeden çarpışmayı önleyebilseydi ve ACC ayarlanan hızına ulaşabilseydi, LCA kullanılmayacaktır. Ancak, daha önce açıklanan mantık nedeniyle LCA gerçekleştirilirse, çarpışmayı önlemek için yeni şeritte AEB gerekebilir. Diğer durumda, ACC veya LCA ile çarpışmayı önlemek için yeterli zaman yoksa, AEB ilk öncelik olarak kullanılacaktır.

4.2.1. Sensör Füzyonu ve Denetleyici Blokları

Bu blok, sensör füzyonunu gerçekleştiren ve ego aracın davranışını dört ADAS fonksiyonunun (ACC, LKA, LCA, AEB) yardımıyla bir otoyolda kontrol eden alt sistemlerden oluşur. Bu alt sistemlerin ayrıntılı girişleri ve çıkışları Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Simulink modelinde sensör füzyonu ve denetleyici blokları için giriş / çıkışların açıklaması.

Blok	Girdiler	Çıktılar
İzleme ve Sensör Füzyonu	• Radar ve Kamera Algılamaları • Şerit Tespiti	• Bağlı X ve Y Mesafesi • Bağlı X ve Y Hızları • Ego şeridi
Şerit Merkez Tahmini	• Şerit Tespiti • Boylamsal Hız	• Yol Kıvrımı • Yanal Sapma • Bağlı Sapma Açısı
MPC Denetleyici	• Sürücü Ayar Hızı • Yol Kıvrımı • Yanal Sapma • Bağlı Sapma Açısı • Boylamsal Hız	• Hızlanma • Direksiyon Açısı
LCA Uyarlayıcı	• Boylamsal Hız • Bağlı X • Ego Konumu	• İlerleme Zamanı* • LCA Açık_Kapalı

LCA Sistemi	• LKA Direksiyon Açısı • Ego Konumu • Ego Şeridi	• LCA Direksiyon Açısı+
AEB Uyarlayıcı	• İlerleme Zamanı • LCA-LKA Değişim Sinyali • Bağıl X	• Çarpışma Zamanı* • AEB Açık_Kapalı
AEB Sistemi	• Çarpışma Zamanı • Boylamsal Hız • Hızlanma	• Gaz • Fren • FCW • AEB Durumu • AEB Engelleyici

$$*ilerleme Hızı = \frac{Bağıl\ Mesafe}{V_{ego}} \quad (4.13)$$

$$*Çarpışma Zamanı = \frac{Bağıl\ Mesafe}{Bağıl\ Hız} \quad (4.14)$$

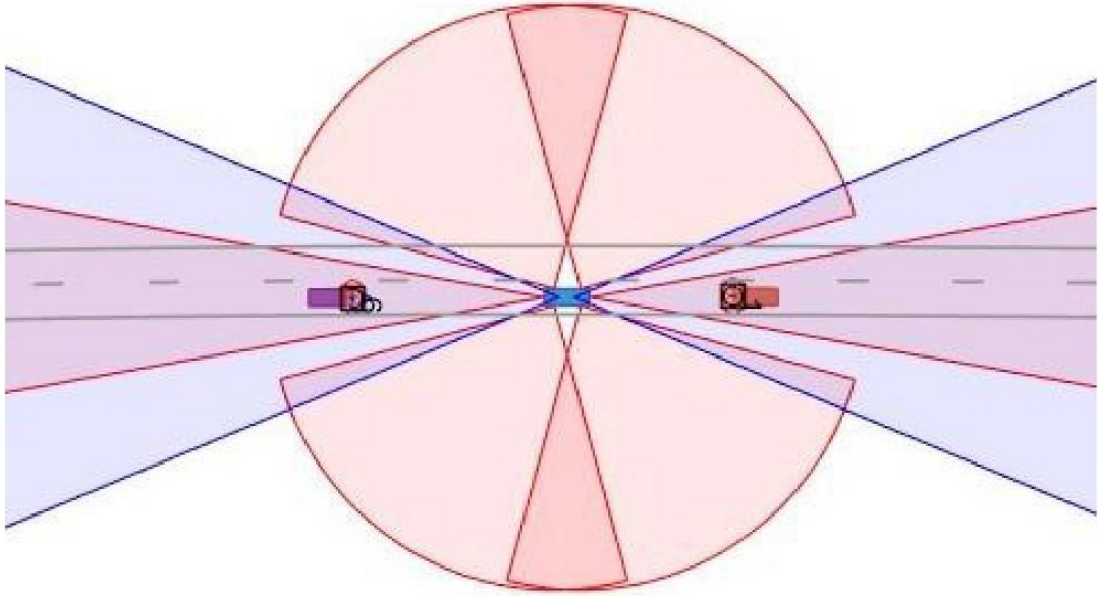
Aşağıdaki bölümlerde, test ortamında ADAS işlevlerinin uygulanmasına yönelik her blok açıklanacaktır.

4.2.1.1. Aktüatörler ve Sensörler

Bu bloğun içinde, önceden oluşturulmuş Senaryo Okuyucu bloğu ve sensörler tanımlanır. Sensörlerin konumlandırılması, işlevselliği korurken mümkün olan en yüksek görüş alanına ulaşmak için çok önemlidir. Şekil 4.9'da gösterildiği gibi, ön ve arkaya iki görüş dedektörü (Mavi) yerleştirilmiştir. Ayrıca, aracın önüne ve arkasına

iki uzun menzilli radar (Kırmızı) ve yanlara dört kısa menzilli radar (Kırmızı) ve bir şerit dedektörü sensörü yerleştirilmiştir. Bunlar toplamda 9 sensörden oluşan bir set oluşturur ve aracın etrafında aşağıdaki gibi geniş bir alanı kaplar:

- Uzun menzilli radarlar, 20 derecelik açılma açısıyla 174 metre uzunluğunda görüş alanına sahiptir.
- Kısa menzilli radarlar, 90 derecelik açılma açısıyla 30 metre uzunluğunda görüş alanına sahiptir.
- Görüş dedektörleri, maksimum 150 metre menzile sahiptir ve 50 m/s'ye kadar nesneleri algılar.
- Şerit sensörü, öndeki şerit işaretlerini 150 metreye kadar algılar.



Şekil 4.9. Ego araç sensör yerleşimi.

4.2.1.1. İzleme ve Sensör Füzyonu

Bu blok, Araç ve Çevre ana bloğunun içindeki alt blok sensör simülasyonundan gelen sinyalleri giriş olarak alır ve daha sonra bu sinyalleri, tahmin süresiyle birlikte (sistem saati) Matlab'da önceden oluşturulmuş bir işlevi olan ve yolun ve çevredeki araçların onaylanmış izlerini oluşturan "Çoklu Nesne İzleyici" [67] bloğuna iletir. Daha sonra

bu onaylanmış izler, aşağıda açıklanan üç farklı işleve gönderilir. Bunlar; öndeki öncü arabayı (MIO) ve ego aracın yan şeritlerindeki arabaları (Yan-MIO) veya ego şeridi bir yan şeritten takip eden ve rolünü yan-MIO'dan MIO'ya değiştiren ve yeni öncü araç olarak görünen arabayı tanımlamak içindir.

Ego araç ile ilgili takip bilgilerini elde etmek için, öncelikle ego aracın konumunu tanımlamak ve ego aracın konumuna göre diğer tüm mesafeleri ölçmek gerekir. Bu nedenle, ilk olarak, bir fonksiyon ego şeridi senaryodaki ego aracın başlangıç konumuna göre tanımlar. Bunu tanımlamak için kullanılan fonksiyon, 4 şeride kadar tüm yollarda ego şeridi bulabilen bir algoritma kullanır. Ancak, senaryoyu tanımlarken, ego aracın başlangıçta Çizelge 4.5'te belirtilen tam değerlerden birine tam olarak yerleştirilmesi gerekir. Bu, ego aracı ilgili şeridin ortasına koyacaktır.

Çizelge 4.6. Ego araç şeridi tanımlama kuralı.

Yol Tipi	Ego Aracın Başlangıç Y Konumu	Ego Şeridi
2 Şeritli Yol	2	1
	-2	2
3 Şeritli Yol	4	1
	0	2
	4	3
4 Şeritli Yol	6	1
	2	2
	-2	3
	-6	4

Bu tezde test edilecek senaryolar yalnızca 4 şeritli otoyol durumlarını ele alacağından, başlangıç Y konumu 6, 2, -2, -6 değerlerini alabilir ve ego şeridi buna göre tanımlanır.

Daha önce de belirtildiği gibi, MIO ve yan-MIO'yu bulmak için fonksiyonlarda kullanılan algoritmalar da aşağıda gösterilmiştir:

- MIO (En Önemli Nesne): Ego aracın önünde ve aynı şeritte 100 m'lik bir görüş, bir nesnenin izleri için kontrol edilir. Bu, önce ego şeridindeki sınırların (sağ

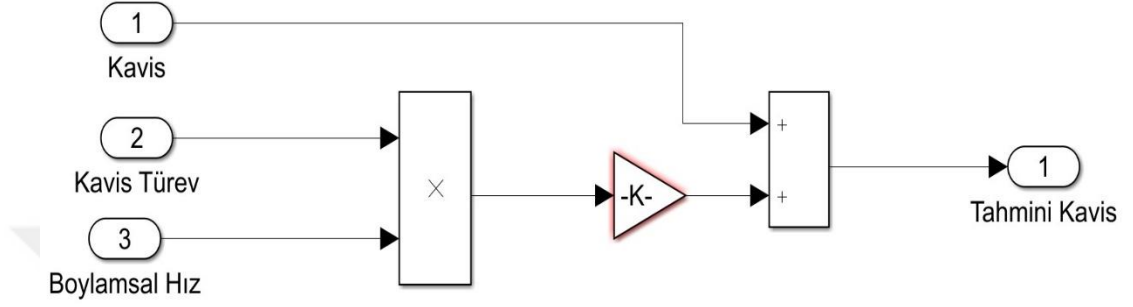
ve sol çizgiler) konumunu bularak yapılır. Daha sonra konum seçici kullanılarak, izin ego araca göre uzunlamasına ve yanlamasına konumları hesaplanır. Benzer şekilde, izlerin uzunlamasına ve yanlamasına hızları hesaplanır. Bu nedenle, bu veriler kullanılarak, hem uzunlamasına hem de yanlamasına konumlarda ego araca en yakın nesne En Önemli Nesne (MIO) olarak kabul edilir ve MIO endeksi, bu belirli nesneden alınan iz sayısına ayarlanır.

- Yan-MIO: Bu izleme, şerit değiştirme olasılığını tanımlamak için ego aracın yan şeritlerindeki nesneleri bulmak için yapılır. Yan-MIO'yu bulma prosedürü, kriterler buna göre değiştirilirken, bir şekilde MIO bulmaya benzerdir. Bu fonksiyonda, nesneleri kontrol etmek için görüş, ego aracın önünde ve arkasında 5 metre ve sağ veya sol şerittedir. Bu yan sınırlar, ego aracın sağ ve sol tarafındaki en yakın iki şerit işaretini tanımlayarak tanımlanır. Bu nedenle, sınır, ego şeridinin sağında veya solunda şeridin içinde olarak tanımlanır. Sonuç olarak, sağ şeritte tespit edilen nesneler R-MIO olarak kabul edilir ve sol şeritte tespit edilen nesneler L-MIO olarak adlandırılır. Bir iz mevcut olduğunda, R-MIO ve L-MIO için endeks buna göre tanımlanır. Ayrıca, yan-MIO endeksi olarak başka bir genel endeks, R-MIO endeksi ile L-MIO endeksi arasındaki maksimum endeks olarak tanımlanır. Yani, görüş ve tanımlanmış sınırlar içinde sağ veya sol tarafta yalnızca bir nesne olduğunda, R-MIO veya L-MIO'dan yalnızca biri tanımlanır ve yan-MIO aynı endeksi alır. Ancak, hem sağ hem de sol taraf için mevcut izler olması durumunda, ego araca daha yakın olan ve en fazla iz sayısına sahip olan nesne yan-MIO indeksini tanımlar. Bu indeksler daha sonra LCA sisteminde şerit değiştirme yönünü tanımlamak için kullanıldığından, oradaki algoritma karar vermede çakışma olmaması için bu üç endeksi aynı anda kontrol edecektir. Bu karar verme süreci bölüm 4.2.5'te açıklanacaktır.

4.2.1.2. Şerit Merkezi Tahmini

Bu, iki bölümden oluşan Matlab'da önceden oluşturulmuş bir bloktur. İlk bölüm, sensörlerden şerit algılamalarını alır ve sağ ve soldaki şerit işaretlerinin konumuna dayanarak şeridin merkezini hesaplar. Ardından, çıkış olarak; eğrilik, eğrilik türevi,

bağıl sapma açısı ve yanal sapma parametrelerini kullanır. İkinci bölümde, aynı eğrilik, eğrilik türevi ve boylamsal hız, daha sonra MPC denetleyicisi tarafından kullanılan yolun kıvrımını bulmak için Şekil 4.10'daki bir hesaplamaya girilir. Bu şekildeki "K" kazancı, MPC denetleyicisinin tahmin görüşüne eşittir ve simülasyon örnek süresiyle çarpılır. Her ikisi de bölüm 4.1.2.3'de tanımlanacaktır.



Şekil 4.10. Tahmini yapılan eğriliğin hesaplanması.

4.2.1.3. ACC ve LKA İçin MPC Denetleyici

Bu kontrol sisteminin çekirdeğini oluşturan MPC kontrolörü, araç dinamiklerini ve yol bilgilerini alarak, buna göre hızlanma ve direksiyon açısını ayarlayarak, istenilen hız ve mesafeyi korurken, şeridin ortasında kalarak ego aracı en iyi durumda tutar [68].

Bu, MIO'nun konumlandırma ve hız verilerini içeren sensör füzyon bloğundan sinyalleri alan bir uyarlanabilir MPC tarafından yapılır. Ayrıca, "Şerit Merkezini Tahmin Et" Bloğundan "Eğrilik, Yanal Sapma ve Göreceli Sapma Açısı" sinyallerini alır. Ayrıca, ACC için "İvme" ve LKA sistemleri için "Direksiyon Açısı" hesaplamasını gerçekleştirmek için "zaman aralığı, minimum ve maksimum direksiyon açısı" olarak önceden tanımlanmış parametreleri kullanır. Bu amaçla, giriş parametreleri olarak ego aracın örnek zamanını (T_s), uzunlamasına hızını, zaman aralığını ve başlangıç hızını kullanan başka bir işlevin kullanımıyla uyarlanabilir MPC için bir model tanımlanır [68]. Bu parametreler Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Ego araç şeridi tanımlama kuralı.

Parametre	Değer
*Simülasyon Süresi (T_s)	0,1 s
*ACC Zaman Aralığı	1,5 s
ACC Varsayılan Aralık	3,7 m
*ACC Hız Hata Kazancı	0,5
*ACC Aralık Hata Kazancı	0,5
*ACC Bağlı Hız Kazancı	0,4
*ACC maksimum hızlanma	3 m/s ²
*ACC minimum hızlanma	-3 m/s ²
LKA maksimum direksiyon açısı	0,08 rad
LKA minimum direksiyon açısı	-0,08 rad

Yukarıdaki değerlerden * ile işaretlenenler Matlab'da önceden oluşturulmuş MPC kontrolcüsünde bulunan değerlerle aynıdır, ancak diğer değerler bu sistemin uygulanması sırasında deneme yanılma yoluyla bulunarak sistemin olumsuz performansı bulunur.

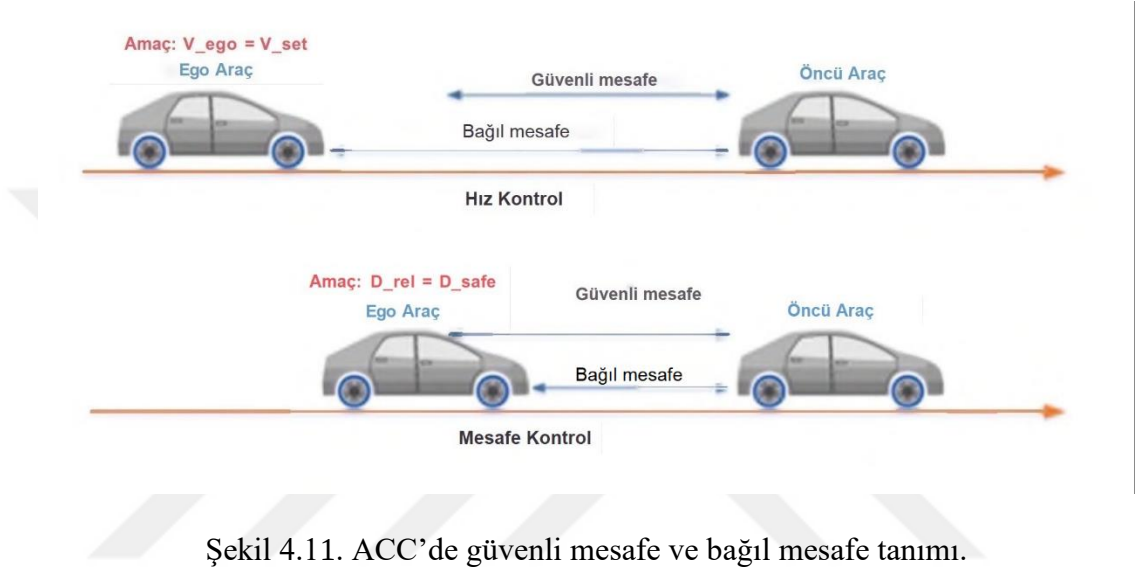
Varsayılan olarak, ACC sistemi sensör birleştirme verilerine göre iki mod arasında geçiş yapmaya karar verir. Bu nedenle, öndeki araç yakın mesafedeyse, ACC sistemi hız kontrolünden aralık kontrolüne geçer. Benzer şekilde, öndeki araç uzaktaysa, ACC sistemi aralık kontrolünden hız kontrolüne geçer. Başka bir deyişle, ACC sistemi, güvenli bir mesafeyi koruduğu sürece ego aracın sürücü tarafından ayarlanan bir hızda seyahat etmesini sağlar. ACC sistemi, Matlab'da önceden oluşturulmuş ACC modelinin yapılandırılmış bir sürümünü kullandığından, bu modelde, iki araç arasındaki güvenli mesafe şu formülle hesaplanır:

$$D_{safe} = D_{default} + T_{gap} * V_{ego} \quad (4.15)$$

Burada, $D_{default}$, ACC'nin varsayılan aralığıdır ve T_{gap} , araçlar arasındaki zaman aralığıdır [49].

Varsayılan adaptif hız sabitleyici kontrol sistemi için ACC varsayılan aralığı 15 metredir. Ancak bu sistemde olduğu gibi şerit değiştirme ve acil frenleme ile

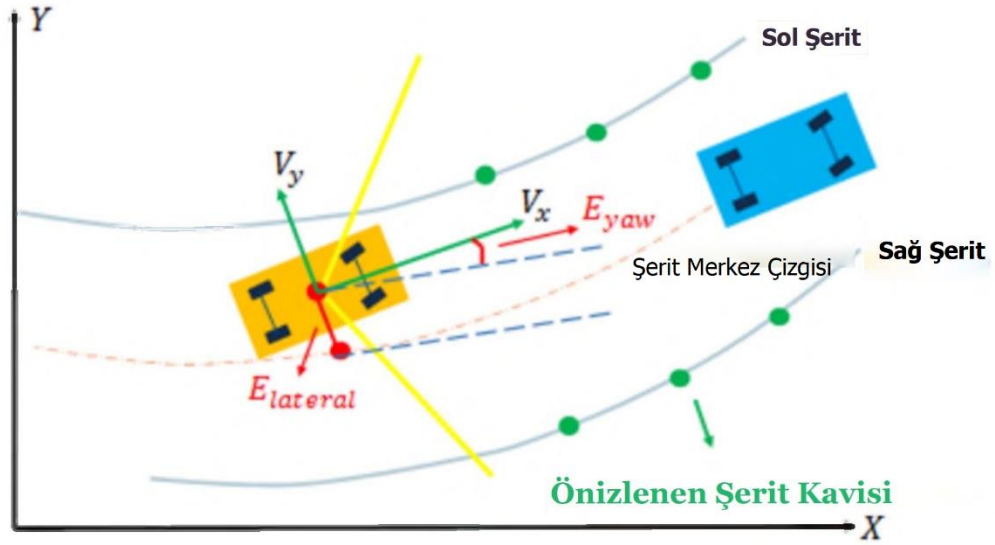
birleştirildiğinden 1,5 saniyelik zaman aralığı açısından güvenli mesafe korunur ve bu formülde ego aracın en önünden göreceli mesafeyi ölçmek için sadece 3,7 m'lik varsayılan bir aralık uygulanır. Varsayılan olarak, Otomatik Sürüş Araç Kutusu'ndaki ölçümler, bu tezdeki simülasyonlar için 5 metre uzunluğundaki bir araç için önden 3,7 m ve arkadan 1,3 m uzaklıkta bulunan aracın kütle merkezinden yapılır. Varsayılan ACC aralığı ve kontrolü için şemalar, Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. ACC'de güvenli mesafe ve bağıl mesafe tanımı.

LKA sistemi ayrıca uyarlanabilir MPC kullanır ve MPC'nin "Direksiyon Açısı" çıktısı şerit takip amacı içindir. Bu sistem ayrıca Matlab'da önceden oluşturulmuş bir sistem olarak da mevcuttur ve varsayılan olarak, bir şeridin merkez çizgisi ile ego aracı arasındaki yanal sapma ve bağıl sapma açısının ölçümlerini alır ve sensörün görüntüleyebildiği eğri uzunluğuna bağlı olarak, ego aracının önündeki eğrilik mevcut eğrilikten ve eğrilik türevinden hesaplanabilir. Bu ölçümleri kullanarak, LKA sistemi ego aracının ön direksiyon açısını ayarlayarak ego aracının yoldaki şeritlerin merkez çizgisi boyunca hareket etmesini sağlar. Şerit takip kontrolünün amacı hem yanal sapmayı hem de bağıl sapma açısını sıfıra yakın bir seviyeye getirmektir [69].

Yine bu sistemde, kontrolör yol hakkında en güncel verileri almak ve buna göre hareket etmek için kendini sürekli olarak günceller. Virajlı yollarda, viraj açısı sürekli değiştiğinden bu görev daha da zorlaşır. Şekil 4.12'de LKA için şerit kavisi tahmin şeması verilmiştir.



Şekil 4.12. LKA için şerit kavisi tahmin şeması.

4.2.1.4. Şerit Değiştirme Yardımcısının Uygulanması

Bu test ortamındaki LCA sistemi, istenen ACC hızına ulaşmak veya acil bir durumda çarpışmayı önlemek için kısmi şerit değişikliği yapmak üzere tek yönlü şerit değişikliği (sollama değil) olarak tasarlanmıştır. Buna göre, varsayılan olarak, bu sistem ego araç hızını artırmaya ve ACC istenen ayar hızına ulaşmaya çalışırken etkinleştirilir ancak öncü araç daha düşük bir hızda ilerler ve böylece ACC sistemi hızı öncü araç hızına eşit tutar ve ayrıca 1,5 saniyelik zaman aralığı açısından güvenli bir mesafeyi korur. Kritik bir durum ortaya çıktığında ve ACC, ego araç ile öncü araç arasındaki göreceli mesafenin veya göreceli hızın anında azalması nedeniyle çarpışmayı önleyemediğinde, LCA çarpışmayı önlemek ve ayrıca istenen hıza ulaşmak için serbest olacak sol veya sağ şerite geçmek üzere etkinleştirilir.

Şerit değiştirme yönünü tanımlayan algoritma Çizelge 4.8'deki gibi tanımlanmıştır:

Çizelge 4.8. Şerit değiştirme mantığı.

Her iki şerit boş	Sadece sol şerit boş	Sadece sağ şerit boş
Sol şeride geç	Sol şeride geç	Sağ şeride geç

LCA, aşağıdaki üç koşulun aynı anda karşılanması durumunda etkinleştirilir:

- İlerleme zamanı 1.5 saniyeden daha azdır.
- ACC için ayarlanan hız öndeki aracın hızından daha yüksektir.
- Yan şeritlerden birisinde veya her ikisinde de yeterli alan vardır.

Öncelik, her iki yan şerit de boşsa, şerit değiştirme için sol şerit seçilecek ve sol şerit doluysa sağ şerit kullanılacak şekilde ayarlanır. Bu nedenle, LCA, ACC'nin belirlenen hız hedefini karşılamak ve çarpışmayı önlemek için şerit değiştirme manevrasını gerçekleştirir. LCA tamamlandıktan sonra devre dışı bırakılır ve ego aracı yeni şeritte tutmak için LKA sistemi tekrar etkinleştirilir. LCA yönlendirmesi sırasında, hızlanma maksimuma (3 m/s^2) ayarlanır ve devre dışı bırakıldıktan sonra, ACC hızlanma eylemini gerçekleştirir. Böylece ACC ve LKA hedeflerine ulaşması için kontrol eder.

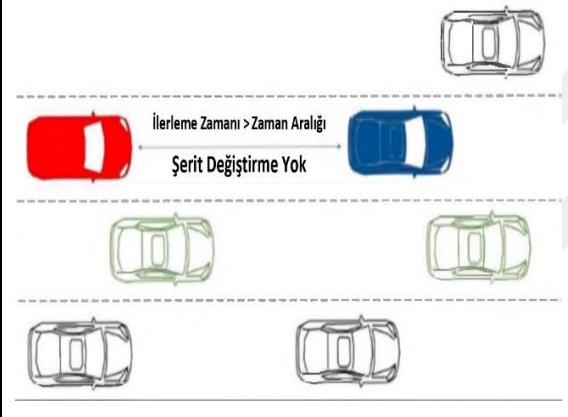
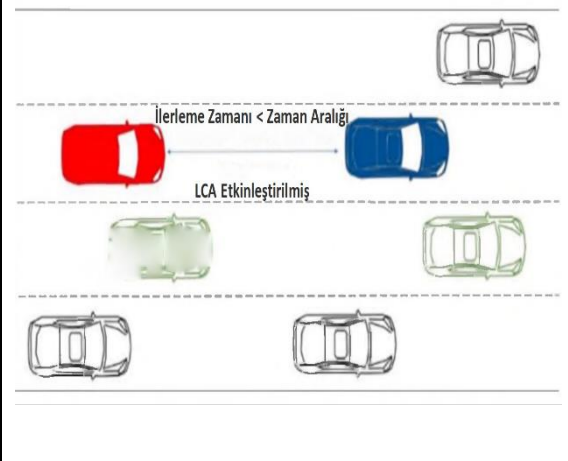
LCA görevini yerine getirmek için, bir sürüş senaryosu sırasında ortaya çıkabilecek her olası koşulu tanımlayan çok karmaşık bir algoritma uygulanır. Böylece, 1 ila 4 şeritli yollar için ve ego aracın senaryonun başında bulunduğu şerit başlangıç değerine göre tüm olası durumlar tanımlanır. LCA'nın işleyişi, daha önce belirtilen şerit değiştirme koşulları karşılandığında etkinleştirilen olay tabanlı bir işlemdir. Buna göre, LCA etkinleştirildiğinde, şerit değiştirme tamamlanana kadar direksiyon açısı LKA'dan LCA'ya geçer. Şerit değiştirme, ilk şerit değiştirme direksiyon açısı olarak çok küçük bir direksiyon açısının ($0,02 \text{ rad}$) uygulanmasıyla başlar. Açıkçası, her zaman adımında, bu değer ego aracın uç açısına eklenir ve ego aracın yeni şeritte olduğunu doğrulamak için koşullar karşılandığında, o andaki uç açısı değerine ve ilk yöne zıt yönde başka bir direksiyon açısı hesaba katılır ve uç açısını sıfıra düşürür. Böylece ego araç kendini yeni şeride yerleştirebilir. Şerit değiştirme manevrası başarıyla yapıldı ve ego araç yeni şeride geçtiğinde LCA devre dışı kalıyor ve direksiyon yeni şeridin ortasında kalmak için tekrar LKA'yı kullanmaya geçiyor.

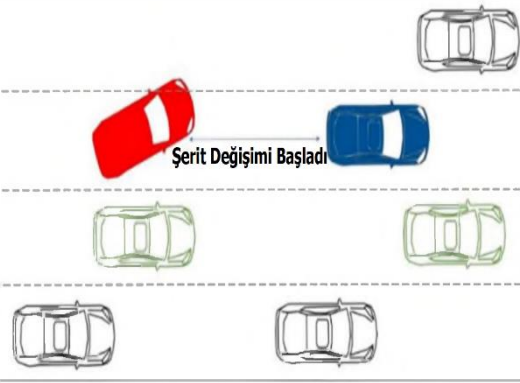
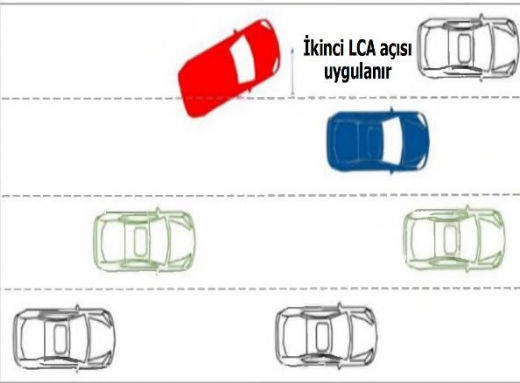
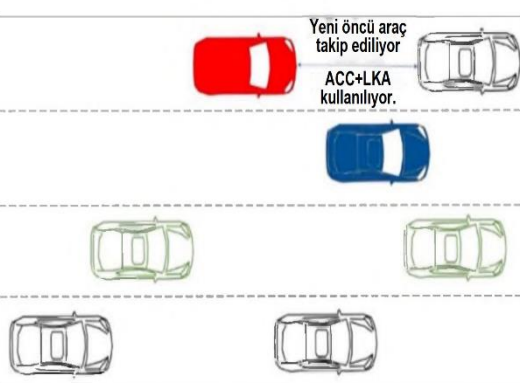
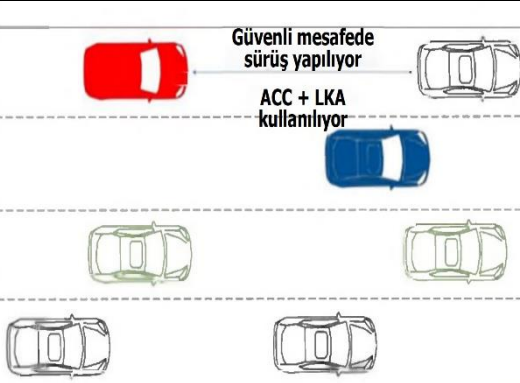
Açıkça, bu sistemde uygulanan tüm eylemler olay tabanlıdır ve zaman tabanlı değildir. Örneğin, yeni şeritte olma koşulu, ego aracın kütle merkezinin ilk ego şeridinin işaretlerini geçmesi kontrol edilerek tanımlanır. Dolayısıyla, bu koşul karşılandığında, ortaya çıkan eylem bir sonraki zaman adımında görünür. Bu, kontrol sisteminde

potansiyel bir gecikmeye neden olsa da, Matlab & Simulink ve Otomatik Sürüş Araç Kutusu'nun kullanıcı arayüzündeki sınırlamalarla, bu tezin hedeflerine ulaşmak için en uygulanabilir yaklaşımlardan biridir. Daha önce belirtildiği gibi, bu sistemde şerit değiştirme bu aşamada tamamlanır ve senaryonun geri kalanının simülasyon ve sonuçlar bölümünde tartışılacak olan ACC veya AEB ile ele alındığı düşünülür.

LCA sisteminde karar alma ve uygulama adımlarını daha iyi açıklayabilmek için Çizelge 4.9'da her bir adımın şematik gösterimi ve aynı adımda ilgili bazı yorumlar yer almaktadır.

Çizelge 4.9. Ego aracın şerit değiştirme davranışı.

	• Ego araç başlangıçta 3. şerittedir • İki araç arasında güvenli mesafe var • Her iki araç da aynı hızda seyrediyor • ACC hem hızı hem mesafeyi korur • LKA aracı şeritte tutar • İlerleme zamanı zaman aralığından fazladır • Bu adımda şerit değiştirmeye gerek yok
	• Öndeki araç aniden fren yapıyor • Bağlı mesafe azalıyor • Öndeki araç zaman aralığının altına düşüyor • LCA etkin ancak henüz şerit değişimi başlamadı • Yan-MIO kontrol ediliyor • Sol şerit boş olduğundan, bir sonraki adım için sola şerit değişimi etkinleştiriliyor

	• Sola şerit değiştirme başlangıçta direksiyon açısıyla başlatılır • Araç, sol şeride geçene kadar bu açıyla devam eder
	• Sol şeride geçilir ve araç yeni şeride yerleştirilir • 2. LCA açısı, yön açısını telafi etmek için uygulanır • LCA devre dışı bırakılır • LKA, aracı şeritte tutmak için tekrar etkinleştirilir.
	• Ön kısım açısı sıfıra ayarlanır ve araç şeridin ortasından gider • Yeni öncü araç algılanır • Bağlı mesafe güvenli mesafeden daha küçüktür • İlerleme zamanı, zaman aralığından daha küçüktür • Güvenli mesafeyi ve hızı korumak için ACC etkinleştirilir
	• ACC, mesafe ve hız kontrolü görevini yerine getirmiştir. • Eğer öncü araç hızı V_{set}'e eşit ya da daha büyükse, ego araç V_{set}'e ulaşacak ve bu hızda devam edecektir • Eğer öncü araç V_{set}'ten daha düşük bir hızda gidiyorsa, ego araç da aynı hızda gidecektir

4.2.1.5. Otonom Acil Fren (AEB) Modelinin Uygulanması

AEB sistemi, ACC ve LCA çarpışmayı önleyemediğinde, bu test ortamında çarpışmayı önlemek için son seçenek olarak kabul edilir. Bu durumda, AEB etkinleştirilir ve frenlemeyi üç aşamada gerçekleştirirken, öncü araç ile olan mesafeyi artırmak ya da aracı tamamen durdurmak için her aşamada frenleme kuvvetini artırır. Buna göre, sınırlı zaman nedeniyle AEB'nin de çarpışmayı önleyememesi olabilir, ancak çarpışma meydana gelirse en azından yaralanmaları azaltmak için hızı mümkün olduğunca azaltacaktır [70].

AEB'nin etkinleştirilmesi için iki koşulun sağlanması gerekir [71].

- İlerleme zamanı 0,5 saniyeden küçük olmalıdır.
- Ego araç direksiyon açısı olarak LKA'dan gelen veriyi kullanmalı ve LCA devre dışı bırakılmalıdır.

AEB'yi etkinleştirdikten sonra, TTC ve frenleme süresi koşulları aşağıdaki gibi hesaplanır ve ardından Çizelge 4.10'daki gibi kontrol edilerek farklı seviyelerde acil frenleme etkinleştirilir. Hız ile ilişkili olarak frenleme hesaplamaları Eşitlik 4.16 ile eşitlik 4.21 aralığında verilmiştir.

$$\text{İlerleme Hızı} = \frac{\text{Bağıl Mesafe}}{V_{ego}} \quad (4.16)$$

$$\text{Çarpışma Zamanı (TTC)} = \frac{\text{Bağıl Mesafe}}{\text{Bağıl Hız}} \quad (4.17)$$

$$\text{İleri Çarpışma Uyarı Zamanı (FCWtime)} = \frac{V_{ego}}{\text{ivmelenme}} \quad (4.18)$$

$$\text{Kısmi frenleme 1 zamanı (PB1time)} = \frac{V_{ego}}{3,8} \quad (4.19)$$

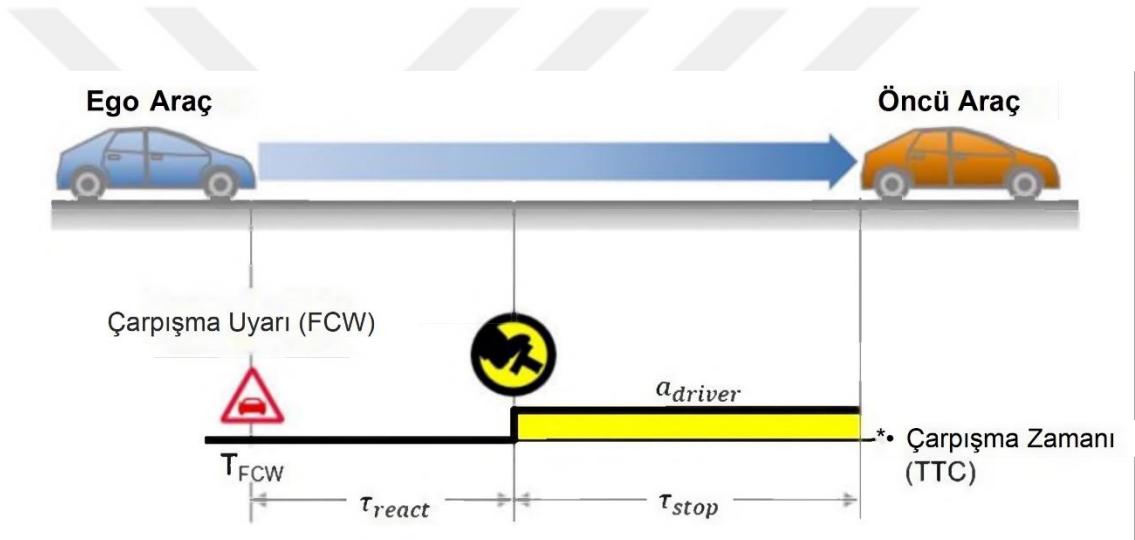
$$\text{Kısmi frenleme 2 zamanı (PB2time)} = \frac{V_{ego}}{5,3} \quad (4.20)$$

$$Tam\ frenleme\ zamanı\ (FBtime) = \frac{V_{ego}}{9,8} \quad (4.21)$$

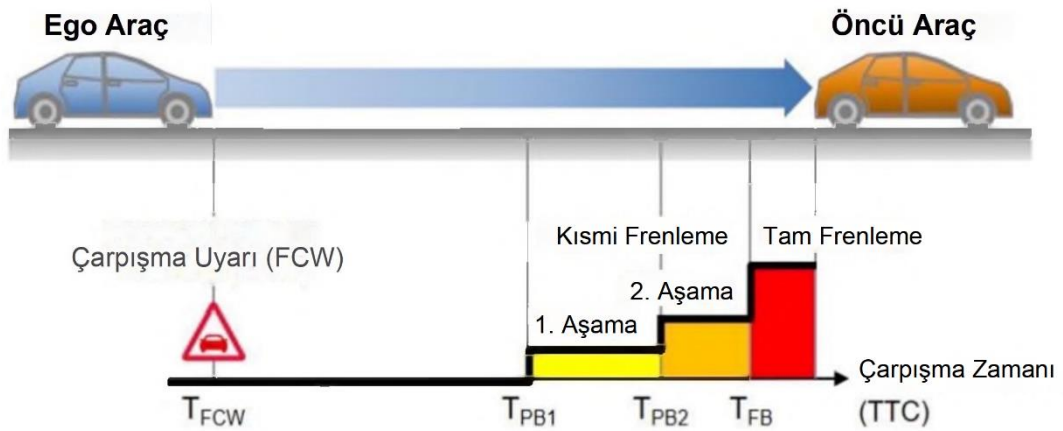
Çizelge 4.10. Şerit değiştirme mantığı.

Durum	AEB Durumu
$[(TTC) < FCW_{zamanı}] \ \&\& \ TTC < 0]$	0 = Acil frenleme için hazır
$[(TTC) < PB1_{zamanı}] \ \&\& \ TTC < 0]$	1 = 3.8 m/s^2 ile kısmi frenleme
$[(TTC) < PB2_{zamanı}] \ \&\& \ TTC < 0]$	2 = 5.3 m/s^2 ile kısmi frenleme
$[(TTC) < FB_{zamanı}] \ \&\& \ TTC < 0]$	3 = 9.8 m/s^2 ile tam frenleme

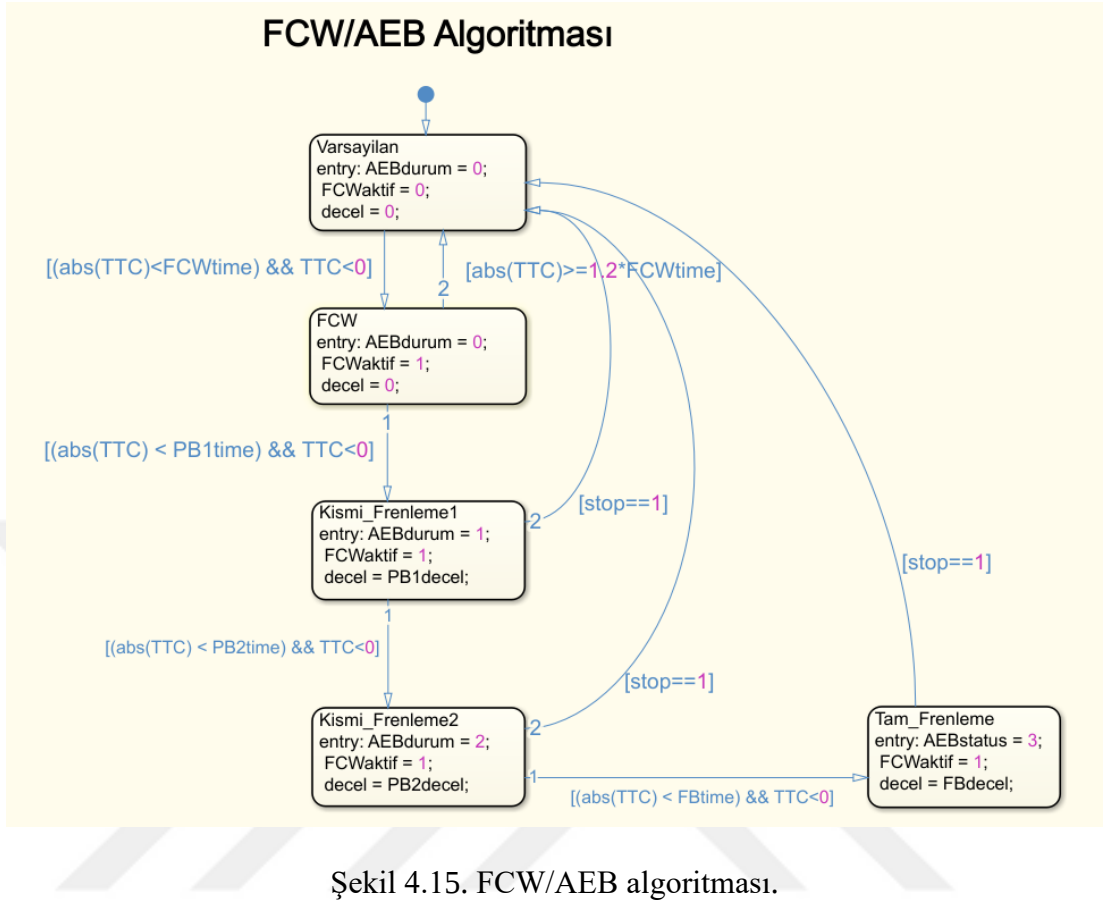
Bu aşamalar ayrıca Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de gösterilmektedir.



Şekil 4.13. AEB aktivasyon mantığı.



Şekil 4.14. AEB frenleme aşamaları.



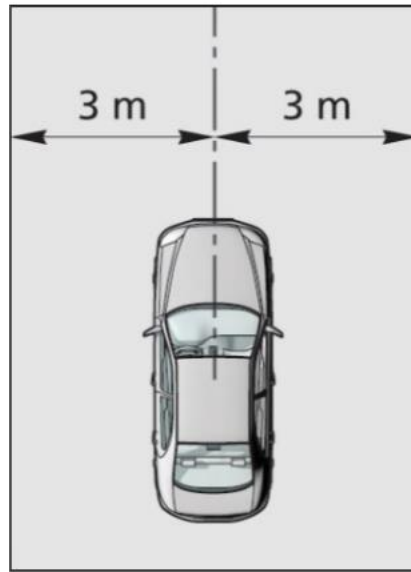
4.3. OTONOM ACİL FREN SİSTEMİNİN EURO NCAP STANDARTLARINA GÖRE ANALİZİ

Şerit değiştirme sırasında sistemin davranışını görselleştirmek için simülasyon modeli oluşturulmuştur. Modeldeki görselleştirme bloğu, senaryonun takip görünümünü ve üstten görünümünü gösteren bir MATLAB figürü oluşturur. Ayrıca yine aynı şekilde senaryodaki ego aracını, örneklenmiş güzergâhları ve diğer araçları çizen bir MATLAB figürü oluşturur.

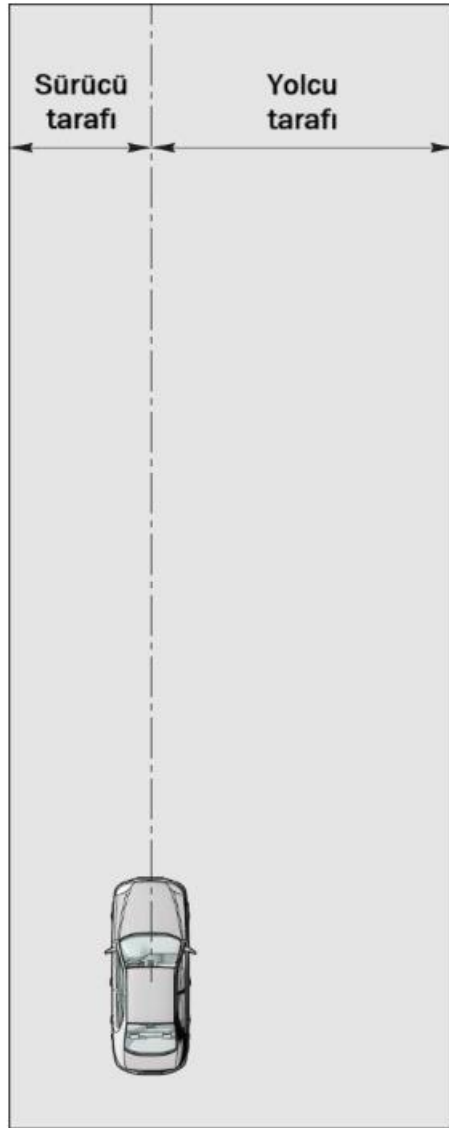
Yukarıda oluşturan model simüle edilmiş ve otoyol şerit değiştirme planlayıcısı referans modeli, senaryodaki durumun gerçekleştirilmesi için bir güzergâh oluşturur. Aşağıda farklı senaryolardaki güzergâh analizleri simülasyonlara dair şekiller görülmektedir.

4.3.1. Araçtan Araca Arka Test Protokolü Standart Koşulları

- Test Parkuru: CCR testi şerit işaretlerinin kullanılmasına olanak tanır. Ancak test, sürüş şeridini temsil eden yol işaretlerinin test rotasına paralel olmaması gereken kontrollü bir ortamda yapılmalı ve test her iki tarafta 3 m açıklık dahilinde gerçekleştirilmelidir.
- Hava Koşulları: Test için genellikle ortam sıcaklığının 5°C ile 40°C arasında olduğu kuru hava koşulları tercih edilir. Yağışlarda azalmaya izin verilmeyecek ve yer seviyesinde görüş mesafesi 1 km'den fazla olacak. Test altındaki araçtan (VUT) kaynaklanan paraziti en aza indirmek için rüzgar hızı 10 m/s'den az olmalıdır. Gün ışığında yapılan testler sırasında test alanının doğal ortam aydınlatması üniform ve her zaman 2000 lüksün üzerinde olmalı ve test alanında VUT'un oluşturduğu gölge dışında güçlü bir gölge bulunmamalıdır.
- Çevre: Test sırasında simüle edilen araçlar dışında başka hiçbir araca izin verilmez. Yol mobilyaları, engeller ve test yüzeyindeki diğer nesneler veya insanlar, istenen sensör ölçümlerinden sapmalara neden olabilir. Tüm test süreci boyunca, Şekil 4.16'da gösterildiği gibi test yolunun her iki tarafında 3 m'lik serbest bir ortam sağlanmalıdır. Şekil 4.17'de EURO NCAP test protokolü görülmektedir.



Şekil 4.16. EURO NCAP test protokolü.



Senaryo	Sürücü tarafı	Yolcu tarafı
CBFA	22.0 m	4.0 m
CBLA-25	6.0 m	6.0 m
CBLA-50	6.0 m	6.0 m
CBNAO	4.0 m	3.55 m
CBNA-50	4.0 m	17.0 m
CPFA-50	6.0 m	4.0 m
CPLA-25	6.0 m	6.0 m
CPLA-50	6.0 m	6.0 m
CPNA-25	4.0 m	4.0 m
CPNA-75	4.0 m	4.0 m
CPNC-50	4.0 m	4.0 m
CPRA	4.0 m	4.0 m
CPTA	4.0 m	4.0 m
Maks.	22.0 m	17.0 m

Şekil 4.17. EURO NCAP test protokolü.

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu bölümde ilk olarak; bölüm 4’te modelleme aşamaları anlatılan elektrikli taşıt, Euro NCAP standartlarında farklı sürüş senaryoları ile simüle edilmiş ve bu simülasyon sonucunda ADAS analizleri yapılmıştır. Modelleme, NEDC sürüş çevrimi boyunca simüle edilmiş ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Farklı sürüş senaryolarında ortaya çıkan otonom acil fren (AEB), çarpışma uyarı (FCW), çarpışma zamanı (TTC), araç ivmesi, araç hızı ve ilerleme parametreleri grafiklendirilmiş ve ayrıntılı incelenmiştir. ADAS işlevlerinin, uluslararası standartlardaki sürüş senaryoları sonucunda verdiği sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.1. ELEKTRİKLİ ARAÇ SİMÜLASYON ANALİZLERİ

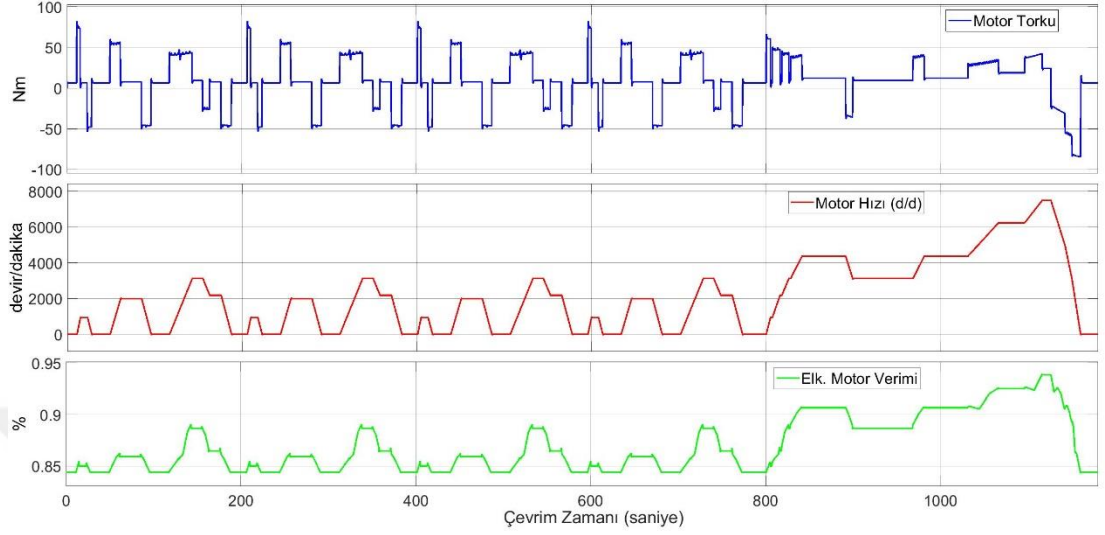
Çalışmanın bu kısmında, modellemesi yapılan elektrikli aracın simülasyonları yapılmış ve analiz sonuçları incelenmiştir. Elektrikli araç; motor torku, motor gücü, batarya şarj durumu gibi parametreler ele alınarak değerlendirilmiştir.

5.1.1. NEDC Sürüş Çevrimi Boyunca Elde Edilen Veriler

5.1.1.1. NEDC Çevrimi Boyunca Elde Edilen Elektrik Motoru Verileri

Taşıt NEDC çevrimini referans alarak hareket ederken, elektrik motoru hızı ile sürüş çevrimi benzerlik göstermektedir. Bunun sebebi, elektrik motorunun kullanılmasıyla vites kutusuna ihtiyaç duyulmamasıdır. Taşıtın hızlanma anında ihtiyaç duyduğu tork, yüksek diferansiyel oranı sayesinde elektrik motoru verimi düşük olsa dahi karşılanabilmektedir. Elektrik motoru NEDC çevrimi boyunca %74 ile %90 verim aralığında çalışmaktadır. NEDC çevriminin %25’e yakın rölanti oranına sahip olması

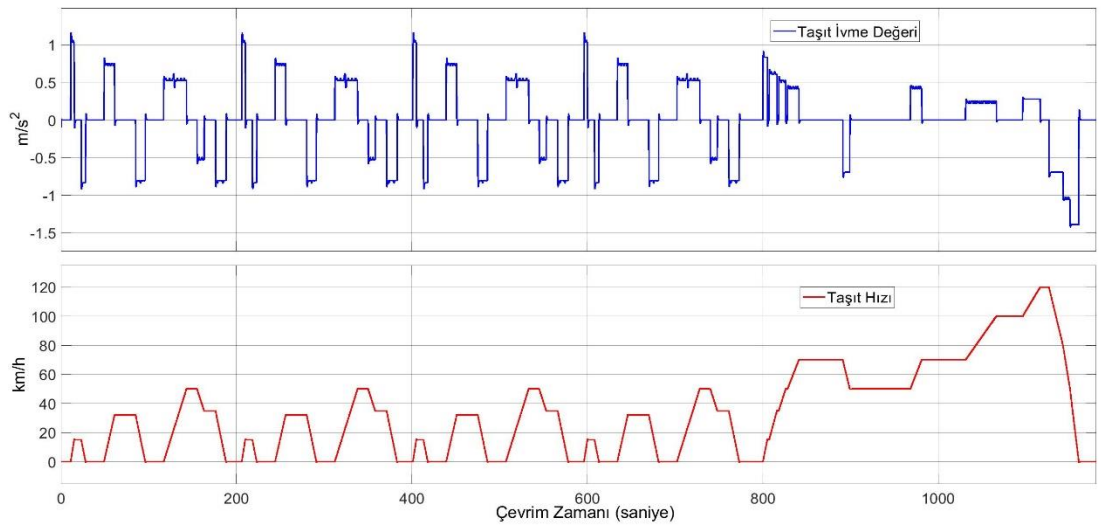
nedeniyle elektrik motorunun ortalama verimi düşmüştür. Şekil 5.1’de NEDC çevriminde elektrik motorunun torku, hızı ve verimi görülmektedir.



Şekil 5.1. NEDC çevriminde elektrik motoru verileri.

5.1.1.2. NEDC Çevrimi Boyunca Araç İvme ve Hızı

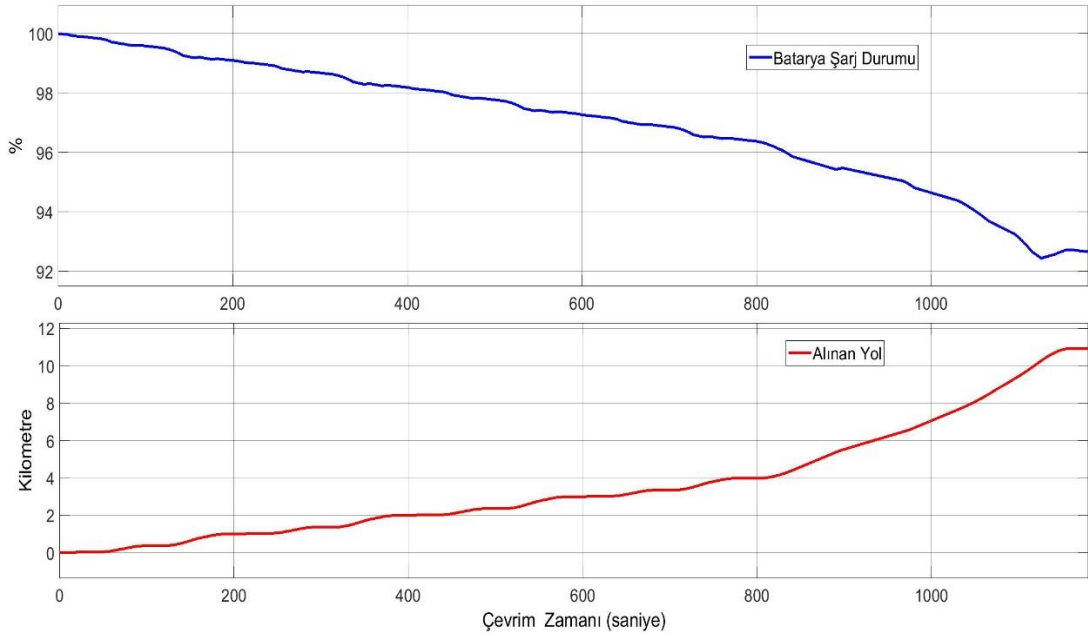
NEDC çevrimi takip edilirken, taşıtın ivme ve hız grafiği Şekil 5.2’de görülmektedir. Taşıt ivmesi, hızlanma durumunda 1.1 m/s^2 , yavaşlama durumunda -1.4 m/s^2 değerine kadar ulaşmaktadır.



Şekil 5.2. NEDC çevrimi boyunca taşıt ivme ve hız grafiği.

5.1.1.3. NEDC Çevrimi Boyunca Batarya Şarj Durumu ve Alınan Yol

Şekil 5.3'te NEDC çevrimi boyunca batarya şarj durumu ve toplam mesafe gösterilmektedir. Modele alçak ve yüksek gerilim aksesuarlarının harcadığı güç dahil edildiğinden dolayı, taşıt durgun haldeyken de enerji tüketimi devam etmektedir. Bu analizde; taşıtın aldığı yol 10.93 km olarak görülmektedir. Bu şartlarda batarya şarj durumu ise %92.2'ye düşmektedir. Batarya kapasitesi hesaba katılarak yapılan hesaplamada ise, taşıtın bu şartlar altında, batarya deşarj olana kadar gidebileceği yol 148.87 km olarak bulunmaktadır.

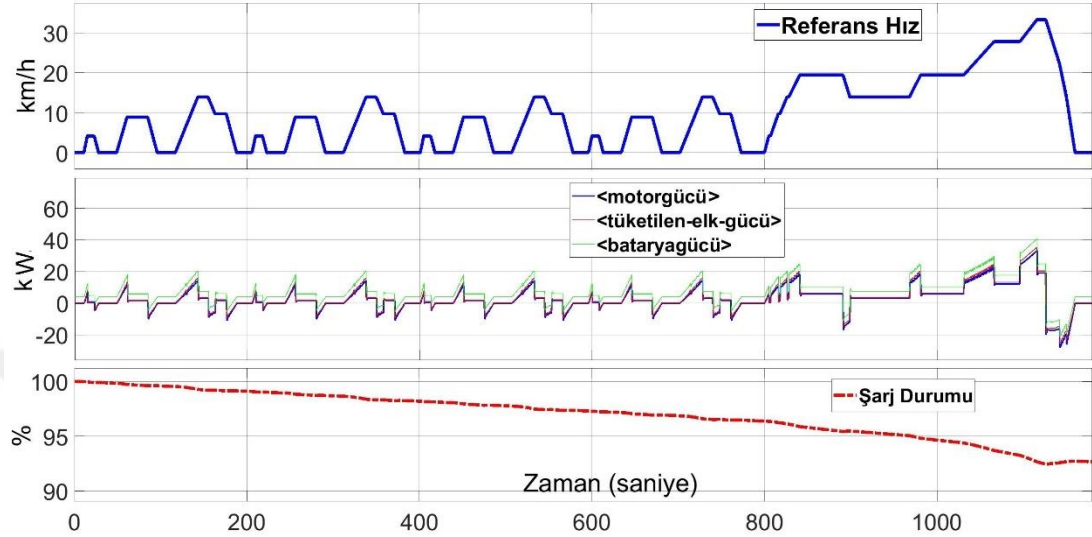


Şekil 5.3. NEDC çevrimi boyunca batarya şarj durumu ve alınan yol.

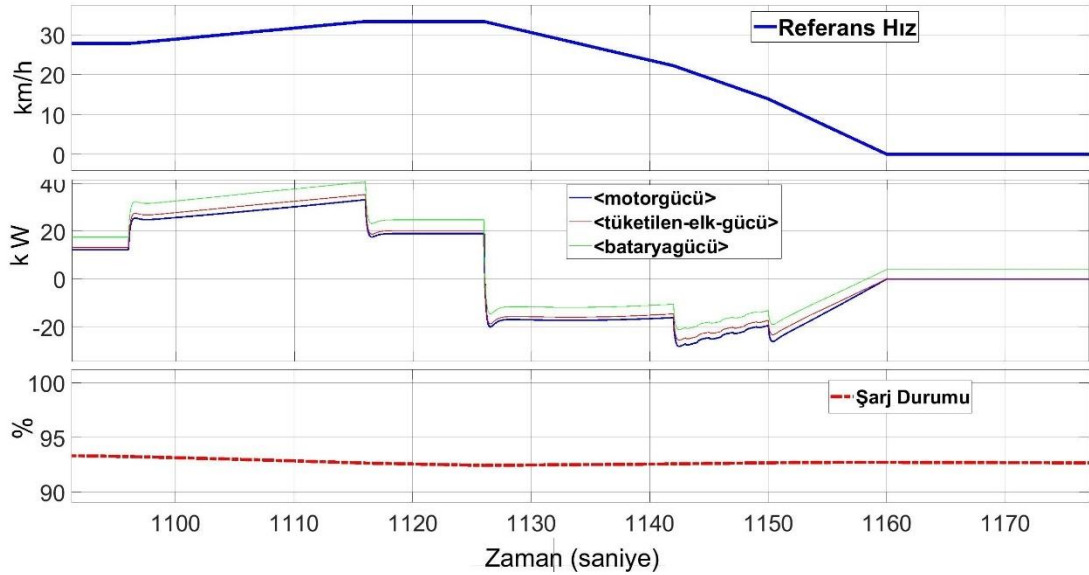
5.1.1.4. NEDC Çevrimi Analiz Verilerine Genel Bakış

Şekil 5.4'te NEDC sürüş çevrimi boyunca verilmesi gereken motor gücü, batarya gücü ve elektriksel güç verileri gösterilmektedir. Çevrimin başlangıç noktasına bakıldığında; hız 0 olduğunda motor ve mekanik güç de 0'dır. Daha sonra araç hızlanmaya başladığında motor için gereken mekanik-elektriksel güç de artar. Bu durumda aküden çıkan elektrik gücü daha fazladır. Araç yavaşladığında, yani frenleme sırasında bu frenleme gücü negatif olarak görülür. Bu gücü aküde depolamak mümkündür. Motorun elektriksel ve mekanik gücü 0 iken akü gücü 0,4 kW

civarındadır. Bunun nedeni, modellemeye direnç ve aksesuar kuvvetlerinin de dahil edilmesidir. Şekil 5.5'te döngünün en belirgin noktaları ayrıntılı olarak gösterilmektedir.



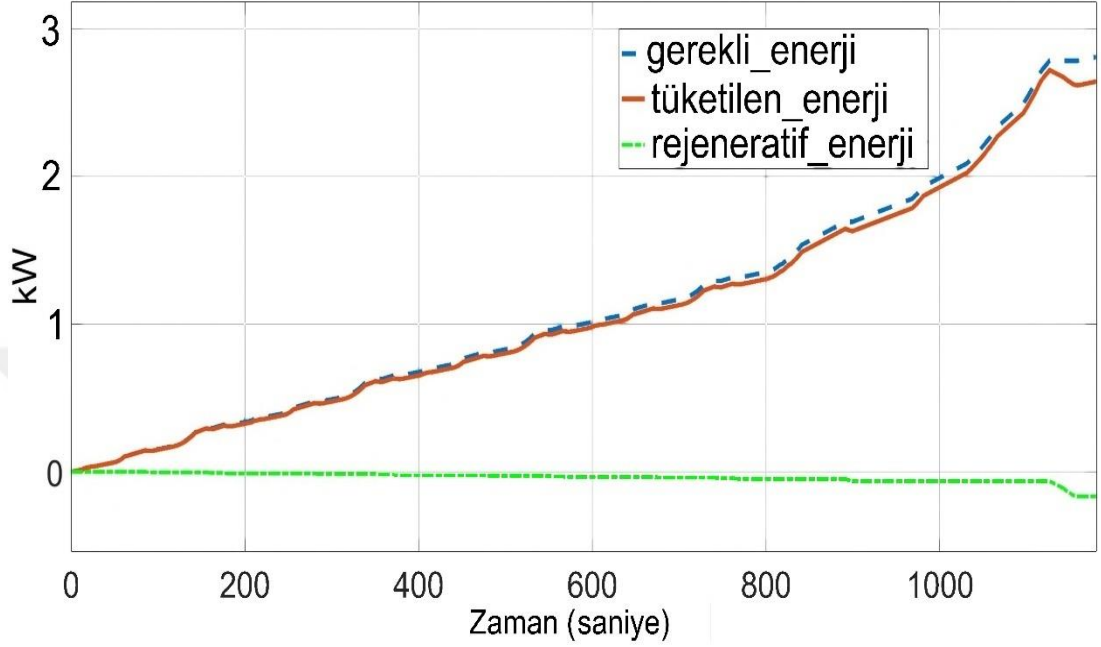
Şekil 5.4. NEDC çevrimi boyunca taşıt hızı, motor gücü ve batarya şarj durumu.



Şekil 5.5. Çevrimin kritik noktaları.

Çevrimin kritik noktaları bize modelleme hakkında daha detaylı bilgi verir. Bu noktalar aracın en hızlı olduğu ve büyük bir ivmeyle yavaşladığı noktalardır. Dinamik modele bağlı olarak, frenleme sırasında motor gücü grafiğinde negatif bir güç belirir

ve bu güç rejeneratif frenleme ile geri kazanılır ve şarj durumu grafiğinde görüldüğü gibi aküde depolanır. Şekil 5.6 çevrim boyunca aküden çekilmesi gereken enerjiyi, rejeneratif frenleme ile sağlanan enerjiyi ve aküden tüketilen enerjiyi göstermektedir.



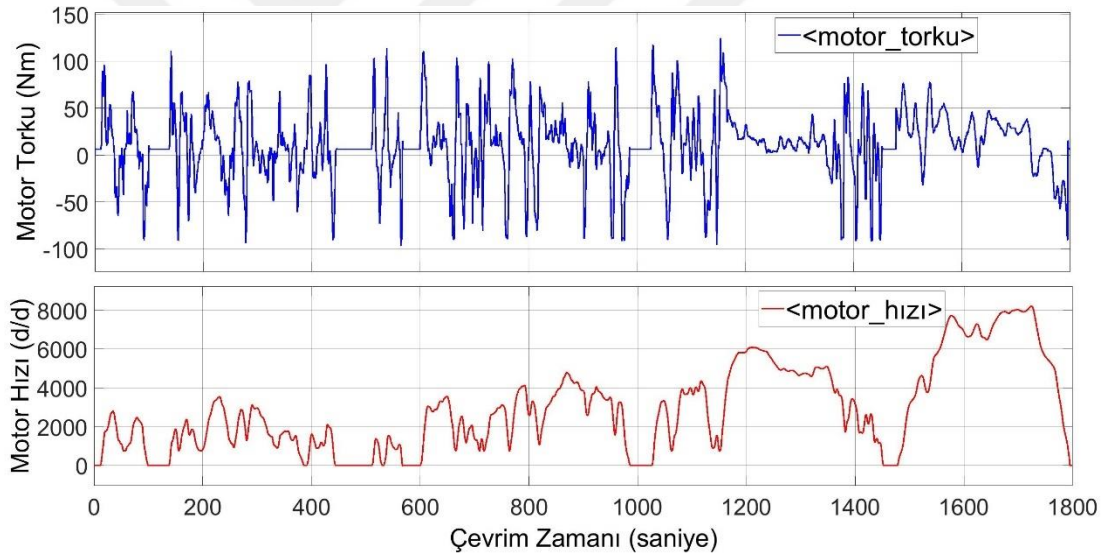
Şekil 5.6. Çevrim boyunca gerekli enerji, tüketilen enerji ve rejeneratif enerji değerleri.

Grafiklerdeki güç eğrisinde 0'ın altındaki değerler rejeneratif enerjiyi göstermektedir. Sürüş çevriminin sonuna doğru, araç hızı arttıkça akü şarj durumunda keskin bir düşüş olurken, yoğun frenleme etkisi ve rejeneratif gücün etkileri şarj durumunu tekrar artırır. Sürüş döngüsünü tamamlamak için gereken enerji 2,8 kW iken, tüketilen enerjinin 2,64 kW olduğu bulunmuştur. 0,16 kW'lık fark rejeneratif frenleme ile sağlanmaktadır. Bu modelde enerjinin %5,71'i geri kazanılmaktadır. ADAS ile ilgili modellemeler uygulanarak değerler tekrardan incelenecektir. Daha gelişmiş bir dinamik modelle, ADAS modelinin farklı sürüş çevrimleri sırasındaki enerji tüketimi değerlendirilebilir.

5.1.2. WLTP Sürüş Çevrimi Boyunca Elde Edilen Veriler

5.1.2.1. Çevrim Boyunca Elde Edilen Elektrik Motoru Verileri

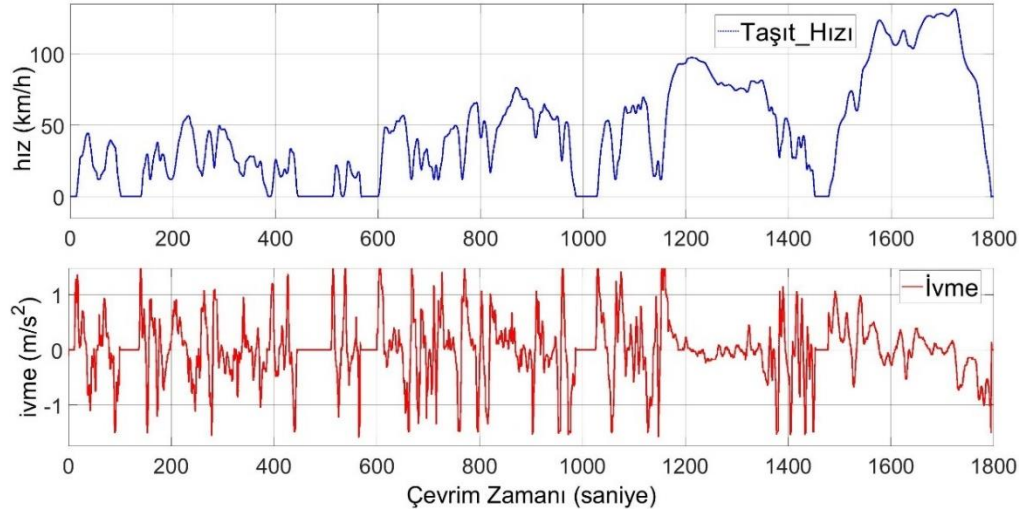
Taşıt WLTP çevrimini referans alarak hareket ederken, elektrik motoru hızı ile sürüş çevrimi benzerlik göstermektedir. Bunun sebebi, elektrik motorunun kullanılmasıyla vites kutusuna ihtiyaç duyulmamasıdır. Taşıtın hızlanma anında ihtiyaç duyduğu tork, yüksek diferansiyel oranı sayesinde elektrik motoru verimi düşük olsa dahi karşılanabilmektedir. WLTP çevrimi boyunca elektrik motor torku maksimum değeri, çevrimin 1154. saniyesinde 124 Nm olarak görülmektedir. Bu esnada motor hızı ise 1178 d/d'dır. Şekil 5.7'de WLTP çevriminde elektrik motorunun torku ve hızı görülmektedir.



Şekil 5.7. WLTP çevrimi boyunca elektrik motoru değerleri.

5.1.2.2. WLTP Çevrimi Boyunca Araç İvme ve Hızı

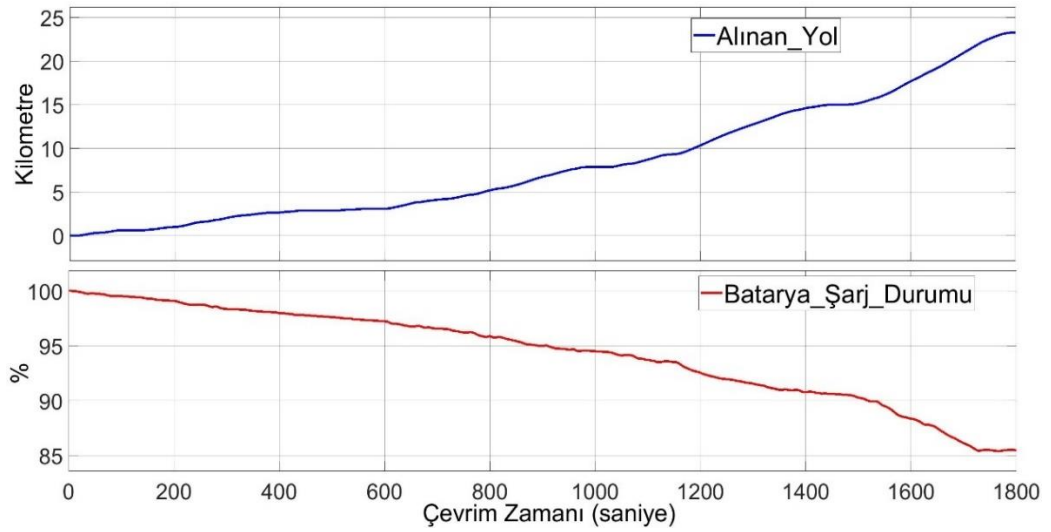
WLTP çevrimi takip edilirken, taşıtın ivme ve hız grafiği Şekil 5.8'de görülmektedir. Taşıt ivmesi, hızlanma durumunda 1.8 m/s^2 , yavaşlama durumunda -1.58 m/s^2 değerine kadar ulaşmaktadır.



Şekil 5.8. WLTP çevrimi boyunca taşıt ivme ve hız grafiği.

5.1.2.3. WLTP Çevrimi Boyunca Batarya Şarj Durumu ve Alınan Yol

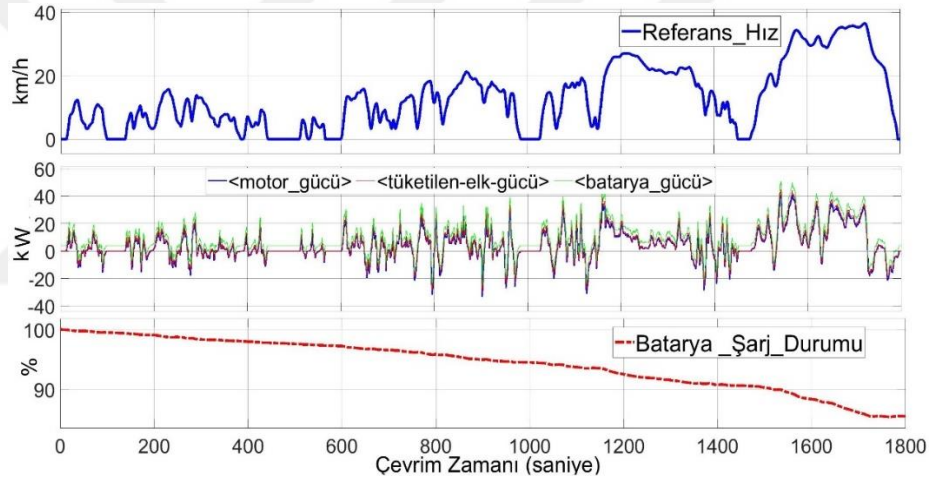
Şekil 5.9’da WLTP sürüş çevrimi boyunca batarya şarj durumu ve aracın seyahat ettiği toplam mesafe gösterilmektedir. Modele alçak ve yüksek gerilim aksesuarlarının harcadığı güç dahil edildiğinden dolayı, taşıt durgun haldeyken de enerji tüketimi devam etmektedir. Bu analizde; taşıtın aldığı yol 23.26 km olarak görülmektedir. Bu şartlarda batarya şarj durumu ise %85.4’e düşmektedir. Batarya kapasitesi hesaba katılarak yapılan hesaplamada ise, taşıtın bu şartlar altında gidebileceği yol 160.22 km olarak bulunmaktadır.



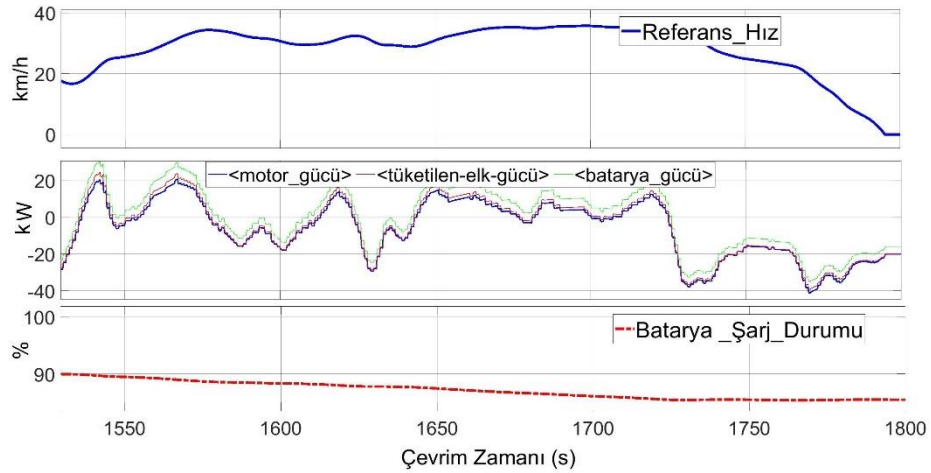
Şekil 5.9. WLTP çevrimi boyunca batarya şarj durumu ve alınan yol.

5.1.2.4. WLTP Çevrimi Analiz Verilerine Genel Bakış

Şekil 5.10'da WLTP sürüş çevrimi boyunca verilmesi gereken motor gücü, batarya gücü ve elektriksel güç verileri gösterilmektedir. Çevrimin başlangıç noktasına bakıldığında; hız 0 iken motor ve mekanik güç de 0'dır. Daha sonra araç hızlanmaya başladığında motor için gereken mekanik-elektriksel güç de artar. Bu durumda aküden çıkan elektrik gücü daha fazladır. Araç yavaşladığında, yani frenleme sırasında bu frenleme gücü negatif olarak görülür. Bu gücü bataryada depolamak mümkündür. Motorun elektriksel ve mekanik gücü 0 iken batarya gücü 0,4 kW civarındadır. Bunun nedeni, modellemeye direnç ve aksesuar kuvvetlerinin de dahil edilmesidir. Şekil 5.11'de döngünün en belirgin noktaları ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

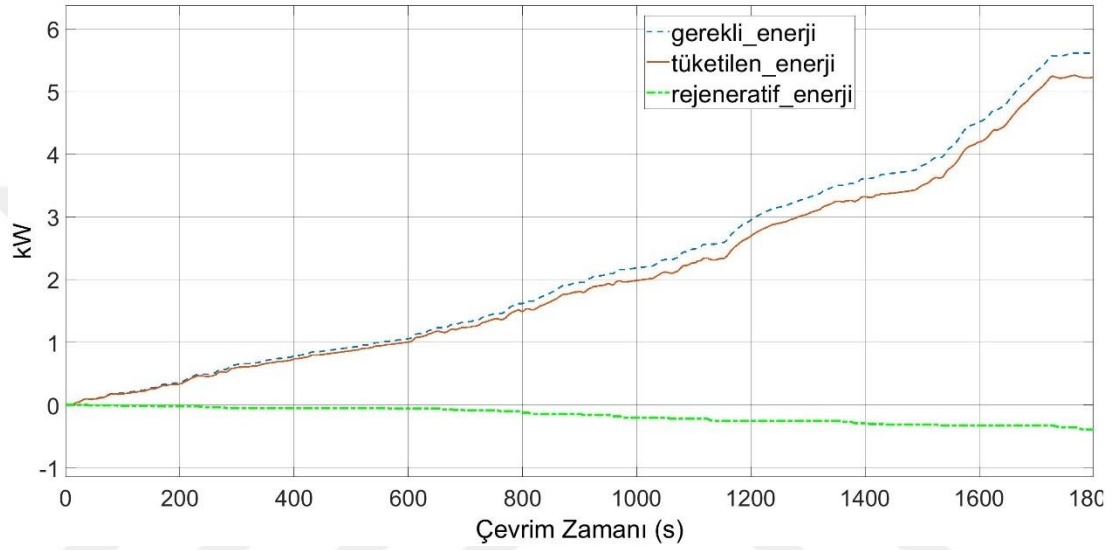


Şekil 5.10. WLTP çevrimi boyunca taşıt hızı, motor gücü ve batarya şarj durumu.



Şekil 5.11. WLTP çevrimi kritik noktaları.

Çevrimin kritik noktaları bize modelleme hakkında daha detaylı bilgi verir. Bu noktalar aracın en hızlı olduğu ve büyük bir ivmeyle yavaşladığı noktalardır. Dinamik modele bağlı olarak, frenleme sırasında motor gücü grafiğinde negatif bir güç belirir ve bu güç rejeneratif frenleme ile geri kazanılır ve şarj durumu grafiğinde görüldüğü gibi aküde depolanır. Şekil 5.12; WLTP sürüş çevrimi boyunca aküden çekilmesi gereken enerjiyi, rejeneratif frenleme ile sağlanan enerjiyi ve aküden tüketilen enerjiyi göstermektedir.



Şekil 5.12. WLTP çevrimi boyunca gerekli enerji, tüketilen enerji ve rejeneratif enerji değerleri.

Şekil 5.12'de 0'ın altındaki değerler rejeneratif enerjiyi göstermektedir. Sürüş çevriminin sonuna doğru, araç hızı arttıkça akü şarj durumunda keskin bir düşüş olurken, yoğun frenleme etkisi ve rejeneratif gücün etkileri şarj durumunu tekrar artırır. Sürüş döngüsünü tamamlamak için gereken enerji 5,62 kW iken, tüketilen enerjinin 5,22 kW olduğu bulunmuştur. 0,4 kW'lık fark rejeneratif frenleme ile sağlanmaktadır. Bu modelde enerjinin %7,04'ü geri kazanılmaktadır. ADAS ile ilgili modellemeler uygulanarak değerler tekrardan incelenecektir.

5.2. ADAS MODELLEMELERİ SİMÜLASYON ANALİZLERİ

Bu bölümde, MATLAB'da ADAS modellemeleri yapılmış ve Euro NCAP standartlarındaki farkı sürüş senaryoları sisteme uygulanmıştır. ADAS modellemeleri,

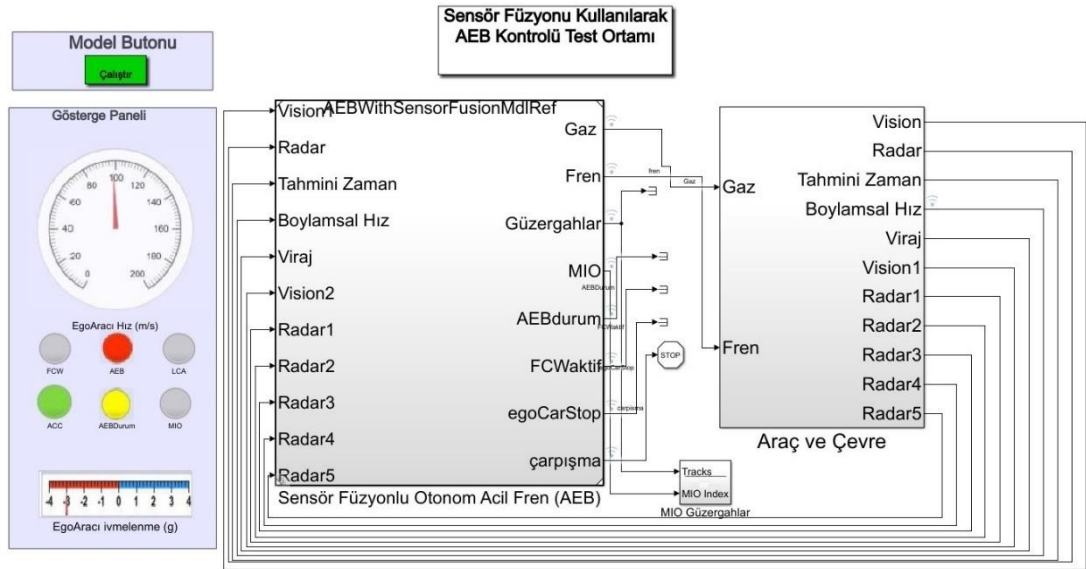
içerisinde; adaptif hız sabitleyici, otonom acil fren, şeritten ayrılma uyarısı, şerit takip asistanı gibi alt modeller içermektedir.

Şerit değiştirme sırasında sistemin davranışını görselleştirmek için simülasyon modeli oluşturulmuştur. Modeldeki görselleştirme bloğu, senaryonun takip görünümünü ve üstten görünümünü gösteren bir MATLAB figürü oluşturur. Ayrıca yine aynı şekilde senaryodaki ego aracını, örneklenmiş güzergâhları ve diğer araçları çizen bir MATLAB figürü oluşturur.

Yukarıda oluşturan model simüle edilerek otoyol şerit değiştirme planlayıcısı referans modeli, senaryodaki durumun gerçekleştirilmesi için bir güzergâh oluşturur. Aşağıda farklı senaryolardaki güzergâh analizleri ve simülasyonlara dair şekiller görülmektedir.

5.2.1. Sürüş Senaryoları Sonucu Elde Edilen Veriler

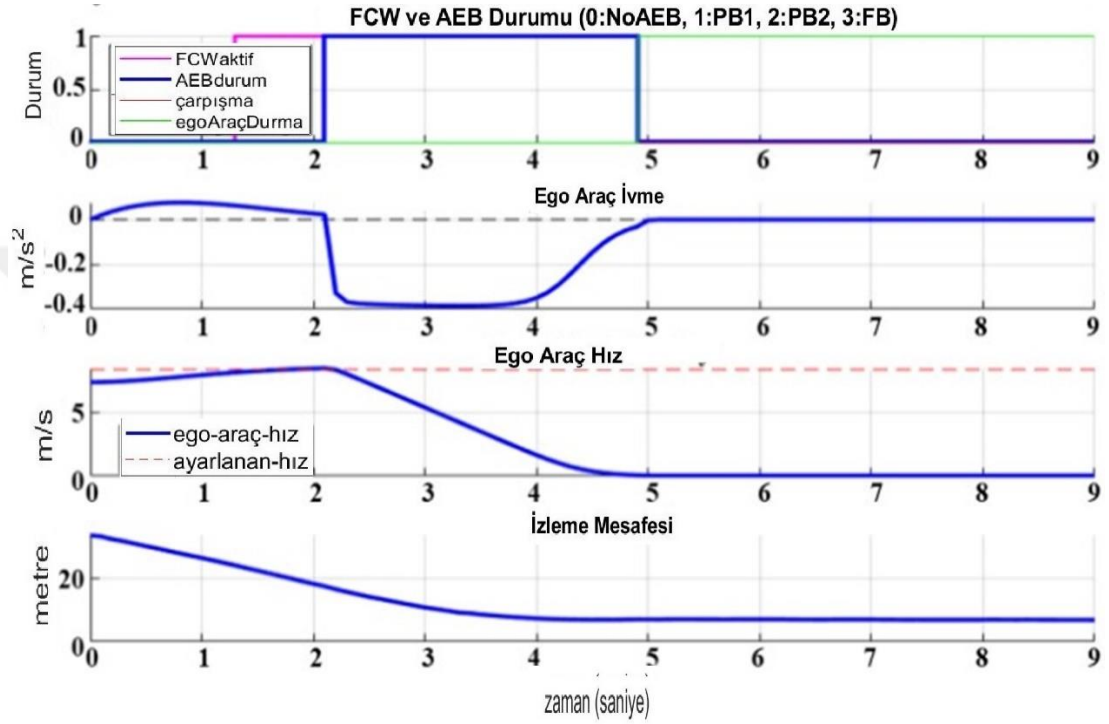
Sürüş senaryoları yürütülürken Şekil 5.13'te görüldüğü gibi test ortamındaki görseller ile FCW ve AEB'nin aktif olduğu anlar, araç hızı ve araç ivmelenmesi değerleri anlık olarak takip edilebilmektedir.



Şekil 5.13. AEB test ortamı ile değerlerin anlık olarak takip edilmesi.

5.2.1.1. Araçtan Araca Arkadan Sabit Senaryo

Bu senaryoda öndeki araç sabit durumda ve çarpışma anında hareket halindeki aracın genişliğinin % 100'ü ile örtüşmektedir. Bu senaryoya ilişkin analiz sonuçları Şekil 5.14'te gösterilmiştir.

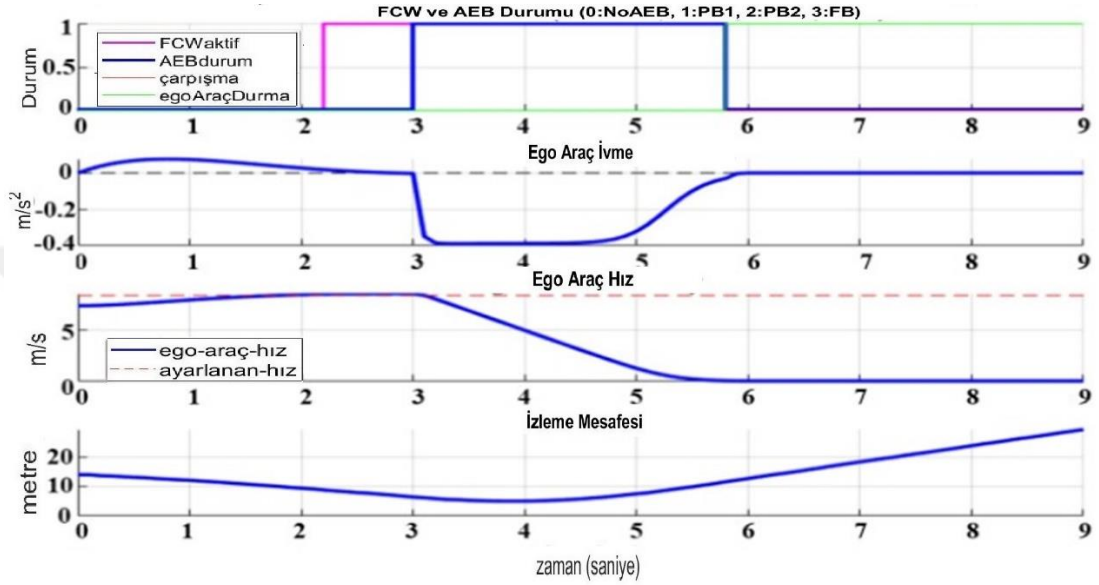


Şekil 5.14. Araçtan araca arkadan sabit senaryo sonucu elde edilen değerler.

Şekil 5.14'te görüldüğü gibi ego-aracın sabit hıza ulaşması 1,3 saniye sürmektedir. Ardından sensör füzyon algoritması öndeki aracı 2,2 saniyede algılıyor ve algılamanın hemen ardından FCW etkinleştiriliyor. Bu noktada kısmi frenlemenin ilk aşaması (PB1) devreye girer ve ego aracı yavaşlamaya başlar. Kısmi frenlemenin ikinci aşaması (PB2) 2,3 saniyede uygulanıyor ve ego araç 4,5 saniyede düzgün bir şekilde duruyor. AEB bu senaryoda arkadan çarpmayı tamamen önler.

5.2.1.2. Araçtan Araca Arkadan Hareketli Senaryo

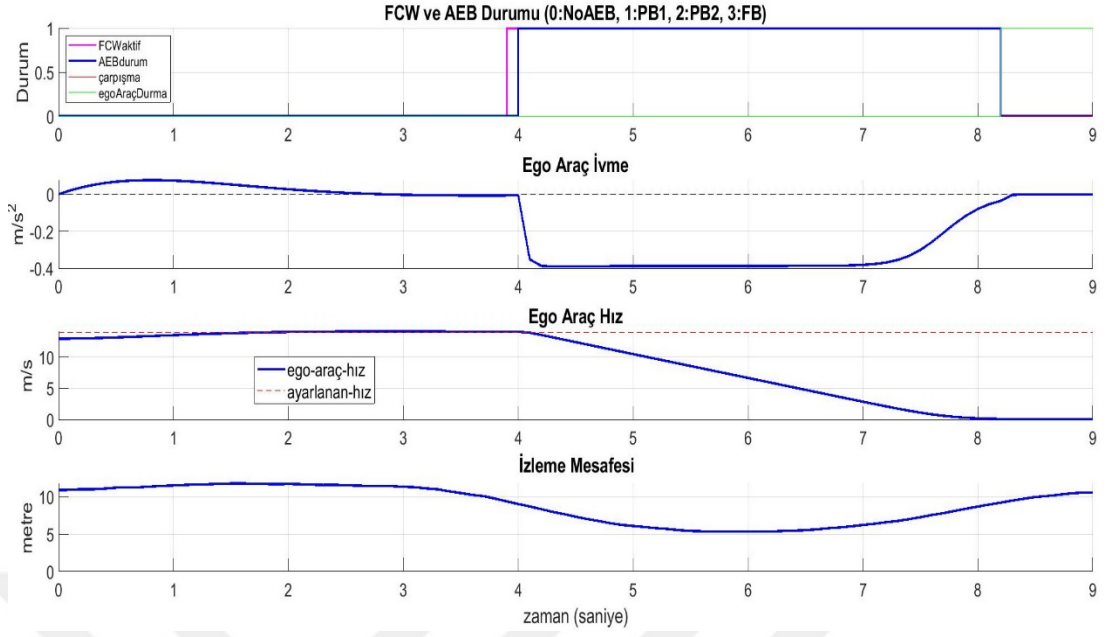
Bu senaryoda öndeki araç hareketli durumda ve çarpışma anında hareket halindeki aracın genişliğinin % 100'ü ile örtüşmektedir. Bu senaryoya ilişkin analiz sonuçları Şekil 5.15'te gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Araçtan araca arkadan hareketli senaryo sonucu elde edilen değerler.

5.2.1.3. Araçtan Araca Arka Frenleme Senaryosu (Başlangıç Mesafesi 12 m)

Ego araç 2 m/s^2 ivme ile yavaşlamaya başlar. Araç frenleme yapar ve arkadan çarpışmayı önler. Ego araç ile öncü araç arasındaki başlangıç mesafesi 12 metredir. Bu senaryoya ait veriler Şekil 5.16'da verilmiştir.

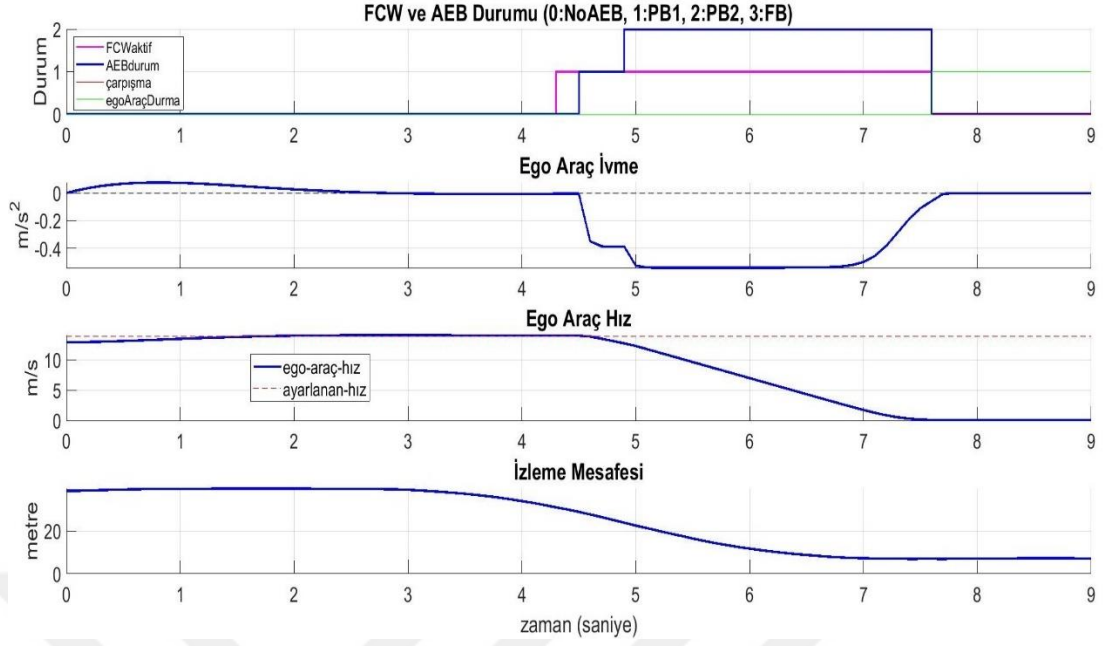


Şekil 5.16. AEB araçtan araca arka frenleme senaryosu (başlangıç boşluğu 12 m)

Şekil 5.16'da ego aracın 1,1 saniyelik bir yolculuktan sonra ayarlanan hıza ulaştığı görülmektedir. 4 saniyede, sensör füzyon algoritması öndeki arabanın fren yapmaya başladığını tespit ediyor ve bu, ego araçtaki FCW'yi etkinleştiriyor. 4,1 saniyede kısmi frenlemenin ilk aşaması devreye giriyor, 4,3 saniyede ikinci aşama frenleme uygulanıyor ve araç 7,9 saniyede düzgün bir şekilde duruyor. AEB arkadan çarpışmayı önler.

5.2.1.4. Araçtan Araca Arka Frenleme Senaryosu (Başlangıç Mesafesi 40 m)

Ego araç 6 m/s^2 ivme ile yavaşlamaya başlar. Araç frenleme yapar ve arkadan çarpışmayı önler. Ego araç ile öncü araç arasındaki başlangıç mesafesi 40 metredir. Bu senaryoya ait veriler Şekil 5.17'de verilmiştir.

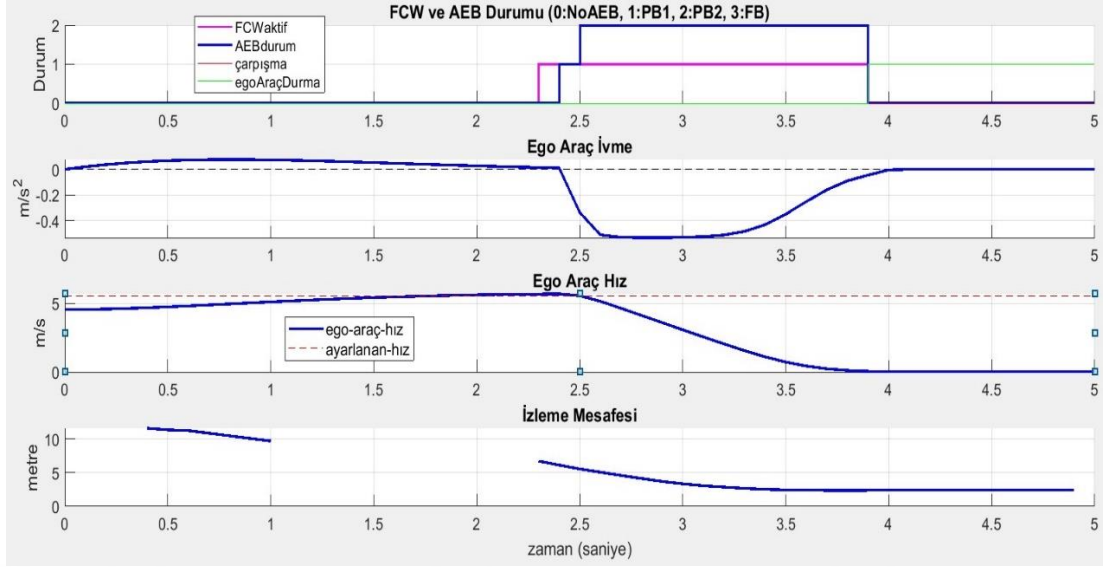


Şekil 5.17. AEB araçtan araca arka frenleme senaryosu (başlangıç boşluğu 12 m)

Şekil 5.17'deki sonuçlara göre ilk 1.1 saniyede ego araç ayarlanan hıza ulaşmaktadır. 4,6 saniyede ego aracın sensör füzyon algoritması, fren yapmaya başlayan öndeki arabayı algılar ve böylece ego araçtaki FCW'yi etkinleştirir. Kısmi frenlemenin ilk aşaması 4,7 saniyede, ikinci aşaması ise 4,9 saniyede devreye giriyor ve araç 7,3 saniyede tamamen duruyor. AEB burada arkadan çarpışmayı önler.

5.2.1.5. Araçtan Yayaya (Çocuk), Sağ Şerit, %50 Temas

Bir aracın, koşarak yolu geçen bir çocuk yayaya doğru hareket ettiği ve sağ taraftan gelen bir engelin ve aracın ön kısmının, frenleme eylemi uygulanmadığında aracın genişliğinin %50'sinde yayaya çarptığı bir çarpışma senaryosudur. Bu senaryo uygulandığında elde edilen veriler Şekil 5.18'de gösterilmiştir.

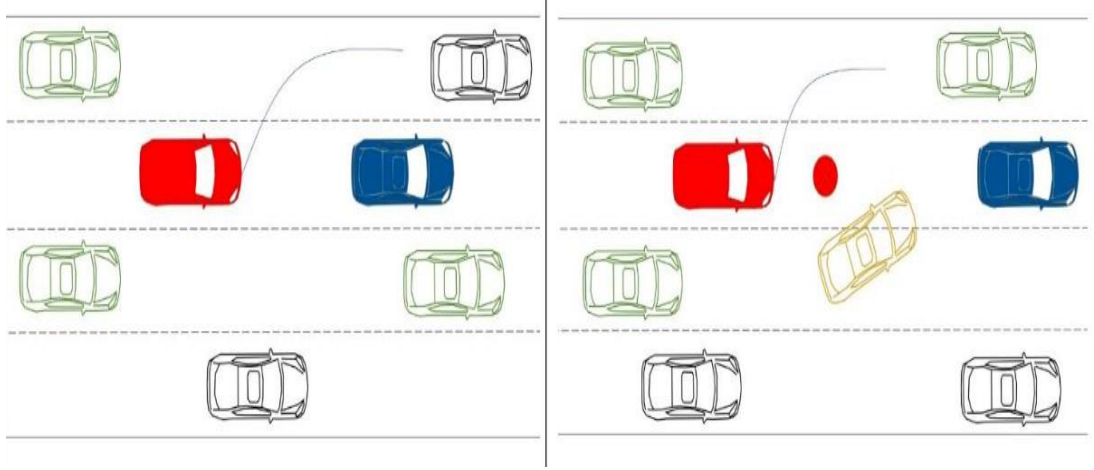


Şekil 5.18. AEB araçtan yayaya, sağ şerit, %50 temas durumu.

Şekil 5.18'de gösterildiği gibi ego araç 2 saniyede ayarlanan hıza ulaşmaktadır. Yaklaşık 2,3 saniyede bir çocuk yaya algılanıyor. FCW tespit edildikten hemen sonra etkinleştirilir. 2,4 saniyede kısmi frenlemenin ilk aşaması uygulanır ve ego aracı yavaşlamaya başlar. İkinci aşamada 2,5 saniyede tekrar kısmi frenleme uygulanıyor ve ego araç 3,9 saniyede duruyor. AEB, yaya ve çocuklarla çarpışmayı önler.

5.3. SÜRÜŞ SENARYOLARI SİMÜLASYON ANALİZLERİ

Bu senaryo, her simülasyonda ego araç için 100 km/h başlangıç hızı ve öncü araç için 80, 90, 100, 110 ve 120 km/h başlangıç hızları ile simüle edilecektir. Yan araçlardan, 4. şeritteki şerit değiştirme için önemlidir. Konumları kontrol edilecek ve şerit değişimi yapılırsa, 4. şeritteki daha hızlı araba şerit değişimi tamamlandıktan sonra ego aracın önünde olacaktır. Senaryo görseli Şekil 5.19'da gösterilmiştir.



Şekil 5.19. Modellenen senaryo.

Bu senaryoda, ego aracı başlangıçta 3. şerittedir. Öndeki araç aniden fren yapar (veya benzer şekilde, yan şeritteki bir araba ego şeridine müdahale eder) ve böylece ego araç ile öncü araç arasındaki bağıl mesafe aniden azalır. Bu durumda ACC, güvenli mesafeyi tekrar korumak için öncü aracın hızına düşene kadar yavaşlamaya çalışır. ACC mesafeyi korumayı ve hızı ayarlamayı başarsa, çarpışma önlenir ve ardından sistem ego aracın soldaki boş alan ve ilerleme süresi açısından şerit değiştirme olasılığını kontrol eder. Şerit değiştirme olasılığı varsa ve ilerleme süresi LCA sınır değerleri aralığındaysa, şerit değiştirme gerçekleştirilir. Şerit değiştirme yapıldıktan ve ego araç 4. şeride geçtikten sonra LCA devre dışı bırakılır. Ego araç, yeni şeridin ortasında devam etmek ve ayrıca yeni şeritte çarpışmayı önlemek için ACC ve LKA'yı kullanır. Yeni şeritte başka bir araç olması durumunda, ACC hız ve mesafeyi tekrar ayarlama görevini yerine getirir. Ancak 4. şeritte şerit değiştirme tekrar yapılmayacaktır. Eğer bağıl mesafe ACC'nin başa çıkamayacağı kadar küçükse ve ilerleme zamanı 0,5 saniyeden daha azsa, çarpışmayı önlemek için AEB etkinleştirilir.

Bu senaryo, her simülasyonda ego araç için 100 km/h başlangıç hızı ve öncü araç için 80, 90, 100, 110 ve 120 km/h başlangıç hızları ile simüle edilecektir. Yan araçlardan, 4. şerittekiler şerit değiştirme için önemlidir, konumları kontrol edilecek ve şerit değişimi yapılırsa, 4. şeritteki daha hızlı araba şerit değişimi tamamlandıktan sonra ego aracın önünde olacaktır. Buna göre 4. şeritteki hızlı giden aracın hızı 130 km/h olarak ayarlanmış ve ego aracın 10 metre önünde ve sol şeritte yer almaktadır. Yani senaryonun başlangıcında sol şerit birkaç saniyeliğine işgal edilmiş olarak

görülmektedir. Daha sonra ego aracın başlangıç hızı 100 km/h (yandaki araçtan 30 km/h daha yavaş) olduğundan yan araç ileri geçer ve şerit değişimi için sol şerit boş hale gelir. Bu adımda, öncü araç ile olan başlangıç Δx 'ine ve ilerleme zamanına bağlı olarak ego araç, durumu ACC ve LKA ile idare etmeye veya LCA'yı etkinleştirmeye veya alternatif olarak AEB'ye geçmeye karar vermelidir. Ego araç için istenen V_{set} hızı tüm test durumlarında 130 km/h'tir. Bu nedenle, senaryo durumuna göre bir olasılık varsa ACC hızı 100'den 130 km/h'e çıkarmaya çalışacaktır.

Senaryo düzenleyici kullanıcı arayüzündeki kısıtlamalar nedeniyle, öncü araç ve yan araç için ivmelenme ve hız değişimini değiştirmek mümkün değildir. Bundan dolayı, ego araç dışındaki aktörlerin hızları bir senaryo boyunca sabittir. Bu nedenle, gerçek durumları simüle edebilmek için, her senaryo için öncü araç başlangıç hızındaki değişimler farklı Δv 'lere sahip olma ve öncü aracın aniden yavaşladığı ve böylece onunla ego aracı arasındaki Δv (hız farkı) ve Δx 'in (mesafe farkı) azaldığı durumları simüle etme fırsatı verir. Buna göre, senaryo, kritikliğin hangi Δx 'te maksimuma ulaştığını kontrol etmek için öncü araç ile ego araç arasındaki mesafenin 50, 40, 30, 20 ve 10 metreye eşit farklı başlangıç mesafeleriyle (Δx) test edilir.

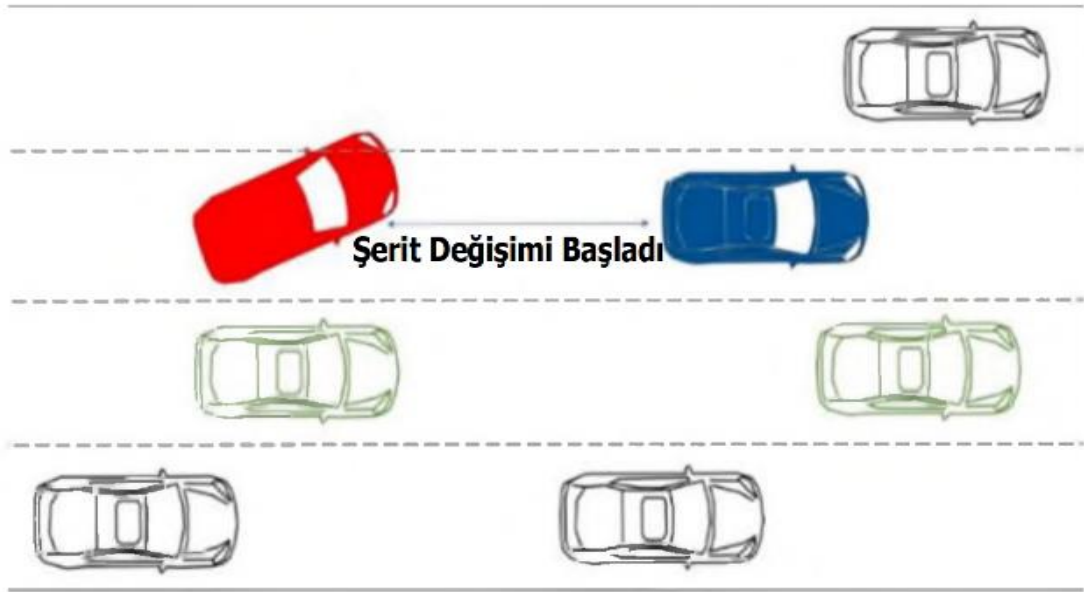
Yukarıda belirtilen senaryoları göz önünde bulundurarak, öndeki araç ego araçtan daha yavaş bir hıza sahip olduğunda ve ego aracın arkasındaki yan araçlar hızlandığında kritiklik artar. Yani, sol şeritteki yan araçlar arasında yeterli alan varsa ve ego aracın hızı ve ivmesi kendini boş alana yerleştirmeye yetiyorsa, bu ego aracın en iyi performansı olacaktır. Aksi takdirde, ego araç şerit değiştirmeye başlarsa ancak arkadan gelen yan araç aniden hızlanırsa veya öndeki yan araç aniden yavaşlarsa, ego araç o noktada şerit değiştirmeyi iptal edecek ve önceki şeride geri dönmek için tekrar ACC+LKA'ya geçecektir. Öndeki araç ile tekrar yeterli mesafe yoksa, çarpışmayı önlemek için AEB derhal etkinleştirilmelidir.

Sistem performansını daha iyi anlamak için bu senaryolar aşağıdaki gibi iki uygulanabilir yapılandırma ile test edilmiştir, Çizelge 5.1.

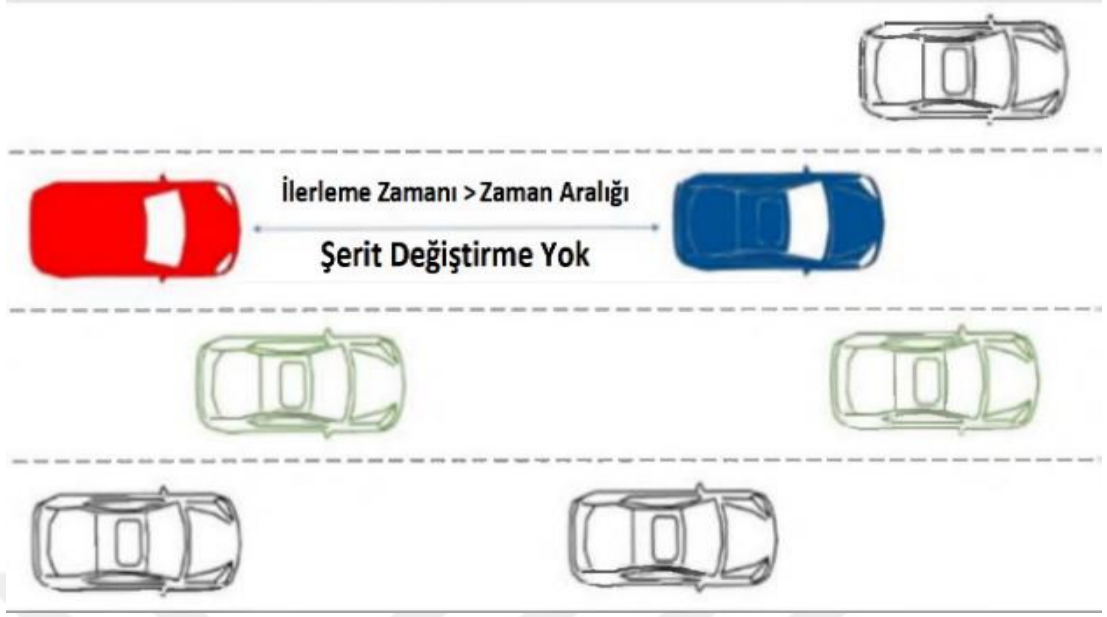
Çizelge 5.1. Sistem performansını test etmek için yapılandırma eşik değerleri.

	Zaman Aralığı	LCA Aktivasyon Aralığı	AEB Aktivasyon Aralığı
Yapılandırma 1	1,2 s	$0,5 \text{ s} < \dot{I}Z < 1,2 \text{ s}$	$\dot{I}Z < 0,5 \text{ s}$
Yapılandırma 2	1,5 s	$0,5 \text{ s} < \dot{I}Z < 1,5 \text{ s}$	$\dot{I}Z < 0,5 \text{ s}$

Çizelge 5.1'deki yapılandırmalar baz alınarak yapılan analizlerde, her senaryonun istenen hedefi herhangi bir çarpışmayı önlemek olduğundan ve her senaryoda kaçınılması gereken en az 2 ana çarpışma olasılığı bulunduğu (biri 3. şeritte, diğeri 4. şeritte); buna göre, sonuçların sunumu için Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te "Çarpışma 1 Önlendi" ve "Çarpışma 2 Önlendi" şeklinde iki ifade kullanılmıştır. Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'deki şemalar her çarpışma önleme konsepti için durumları temsil etmektedir.

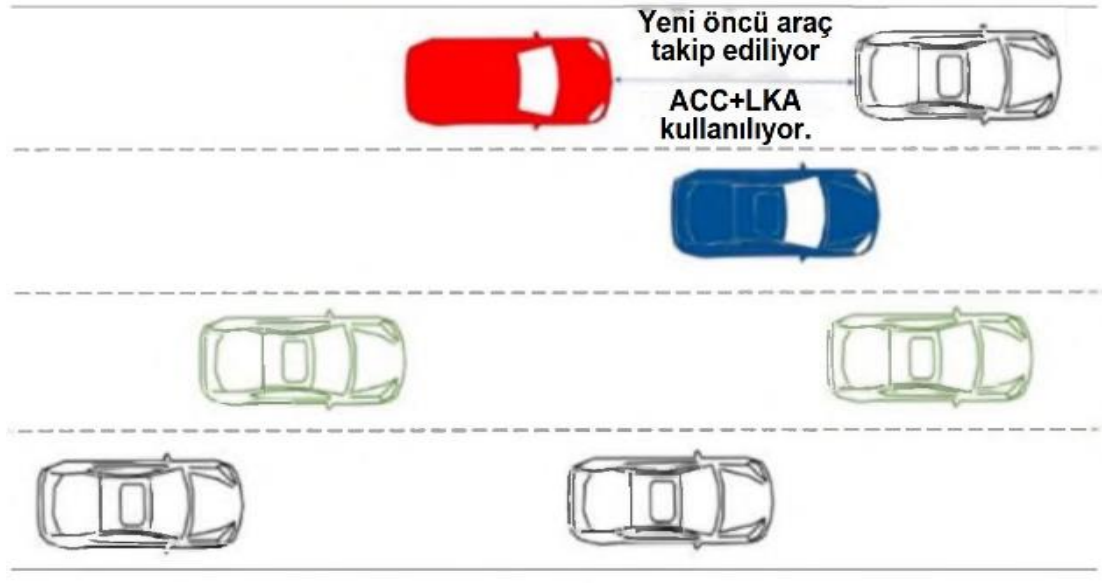


Şekil 5.20. Çarpışma 1'in 3. şeritte LCA ile önlendiği durum.



Şekil 5.21. Çarpışma 1'in 3. şeritte ACC ya da AEB ile önlendiği durum.

Başlangıçta, ego araç 3. şerittedir ve 3. şeritteki öncü araç, öncü araç 1 olarak kabul edilir. Bu nedenle, bu öncü araç ile çarpışma önlenirse, buna "Çarpışma 1 Önlendi" denir. Bu çarpışmayı önlemek için ACC, LCA veya AEB kullanılmak üzere üç olasılık vardır. Ve hangi fonksiyon çarpışmayı önleyebiliyorsa, bu Çarpışma Önleme 1 için başarılı bir durum olarak kabul edilecektir.



Şekil 5.22. Çarpışma 2'nin 4. şeritte ACC ya da AEB ile önlendiği durum.

Şerit değişimi yapılarak ilk çarpışmanın önlendiği durumlarda ego araç, 4. şeritte bulunan ve öncü araç 2 olarak adlandırılan diğer bir öncü aracın arkasında kalır. Bu durumda çarpışma, aralık süresine göre ACC veya AEB ile önlenmelidir.

Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3, yapılandırma 1 ve 2 için simülasyon sonuçlarını göstermektedir:

Çizelge 5.2. Yapılandırma 1 simülasyon sonuçları.

Yapılandırma 1											
Zaman Aralığı =1.2 s				LCA Aktif 0.5<İZ<1.2				AEB Aktif İZ<0.5			
Başlangıç Δx = 50m	V ₀ _ öncü (km/h)	ACC	LKA	LCA	AEB	MinΔx 1 (m)	Min-İ.Z.1 (s)	Ç.1 Önlendi	MinΔx 2 (m)	Min-İ.Z.2 (s)	Ç.2 Önlendi
	80	✓	✓	---	---	34	1,37	Evet	---	---	---
	90	✓	✓	✗	---	30	0,88	Evet	---	---	Hayır
	100	✓	✓	✗	---	32	0,86	Evet	---	---	Hayır
	110	✓	✓	✓	---	39	1	Evet	27,5	0,6	Evet
	120	✓	✓	---	---	50	1,32	Evet	---	---	---
Başlangıç Δx = 40m	V ₀ _ öncü (km/h)	ACC	LKA	LCA	AEB	MinΔx 1 (m)	Min-İ.Z.1 (s)	Ç.1 Önlendi	MinΔx 2 (m)	Min-İ.Z.2 (s)	Ç.2 Önlendi
	80	✓	✓	✓	---	19	0,5	Evet	39,8	1	Evet
	90	✓	✓	✓	---	26,2	0,72	Evet	29,8	0,78	Evet
	100	✓	✓	✓	---	34,4	1,12	Evet	32,4	0,84	Evet
	110	✓	✓	✓	---	37,4	1,03	Evet	23,4	0,57	Evet
	120	✓	✓	✓	---	44	1,2	Evet	21,7	0,49	Evet
Başlangıç Δx = 30m	V ₀ _ öncü (km/h)	ACC	LKA	LCA	AEB	MinΔx 1 (m)	Min-İ.Z.1 (s)	Ç.1 Önlendi	MinΔx 2 (m)	Min-İ.Z.2 (s)	Ç.2 Önlendi
	80	✓	✓	✓	---	8,7	0,16	Evet	29,7	0,78	Evet
	90	✓	✓	✓	---	16	0,4	Evet	26	0,68	Evet
	100	✓	✓	✓	---	19	0,45	Evet	29,5	0,77	Evet
	110	✓	✓	✓	---	25,6	0,7	Evet	28,4	0,74	Evet
	120	✓	✓	✓	---	25,2	0,69	Evet	28,1	0,72	Evet
Başlangıç Δx = 20m	V ₀ _ öncü (km/h)	ACC	LKA	LCA	AEB	MinΔx 1 (m)	Min-İ.Z.1 (s)	Ç.1 Önlendi	MinΔx 2 (m)	Min-İ.Z.2 (s)	Ç.2 Önlendi
	80	✓	✓	---	✓	9,5	0,29	Evet	---	---	---
	90	✓	✓	---	✓	12,5	0,36	Evet	---	---	---
	100	✓	✓	✗	---	14,3	0,38	Evet	---	---	Hayır
	110	✓	✓	✓	---	14,6	0,39	Evet	---	---	Hayır
	120	✓	✓	✓	---	14,5	0,38	Evet	43,7	1,1	Evet

Başlangıç $\Delta x = 10m$	V_0 öncü (km/h)	ACC	LKA	LCA	AEB	Min Δx 1 (m)	Min- İ.Z.1 (s)	Ç.1 Önlendi	Min Δx 2 (m)	Min- İ.Z.2 (s)	Ç.2 Önlendi
	80	---	---	---	X	---	---	Hayır	---	---	---
	90	---	---	---	X	---	---	Hayır	---	---	---
	100	✓	✓	---	✓	4,5	0,03	Evet	---	---	---
	110	✓	✓	---	✓	4,7	0,03	Evet	---	---	---
	120	✓	✓	---	✓	5	0,05	Evet	---	---	---

✓: Kabul Edilebilir Performans

X: Kabul Edilemez Performans

---: Kullanılmıyor / Uygun değil

Çizelge 5.3. Yapılandırma 2 simülasyon sonuçları.

Yapılandırma 2											
Zaman Aralığı =1.5 s				LCA Aktif 0.5<İ.Z.<1.5				AEB Aktif İ.Z.<0.5			
Başlangıç $\Delta x = 50m$	V_0 öncü (km/h)	ACC	LKA	LCA	AEB	Min Δx 1 (m)	Min- İ.Z.1 (s)	Ç.1 Önlendi	Min Δx 2 (m)	Min- İ.Z.2 (s)	Ç.2 Önlendi
	80	✓	✓	✓	---	32,8	1	Evet	26,2	0,72	Evet
	90	✓	✓	✓	---	39,4	1,2	Evet	26	0,72	Evet
	100	✓	✓	✓	---	42	1,21	Evet	25,4	0,64	Evet
	110	✓	✓	✓	---	48,4	1,4	Evet	20,9	0,47	Evet
	120	✓	✓	✓	---	47,5	1,5	Evet	21,6	0,51	Evet
Başlangıç $\Delta x = 40m$	V_0 öncü (km/h)	ACC	LKA	LCA	AEB	Min Δx 1 (m)	Min- İ.Z.1 (s)	Ç.1 Önlendi	Min Δx 2 (m)	Min- İ.Z.2 (s)	Ç.2 Önlendi
	80	✓	✓	✓	---	18,9	0,5	Evet	26	0,72	Evet
	90	✓	✓	✓	---	26	0,72	Evet	29	0,75	Evet
	100	✓	✓	✓	---	33,8	0,98	Evet	28,4	0,74	Evet
	110	✓	✓	✓	---	35	1,12	Evet	27,4	0,72	Evet
	120	✓	✓	✓	---	47	1,38	Evet	27,5	0,7	Evet
Başlangıç $\Delta x = 30m$	V_0 öncü (km/h)	ACC	LKA	LCA	AEB	Min Δx 1 (m)	Min- İ.Z.1 (s)	Ç.1 Önlendi	Min Δx 2 (m)	Min- İ.Z.2 (s)	Ç.2 Önlendi
	80	✓	✓	✓	---	8,6	0,16	Evet	25,7	0,7	Evet
	90	✓	✓	✓	---	16,4	0,41	Evet	27	0,72	Evet
	100	✓	✓	✓	---	16,3	0,41	Evet	27	0,72	Evet
	110	✓	✓	✓	---	25,9	0,71	Evet	29,3	0,77	Evet
	120	✓	✓	✓	---	25,8	0,71	Evet	27,2	0,72	Evet
Başlangıç $\Delta x = 20m$	V_0 öncü (km/h)	ACC	LKA	LCA	AEB	Min Δx 1 (m)	Min- İ.Z.1 (s)	Ç.1 Önlendi	Min Δx 2 (m)	Min- İ.Z.2 (s)	Ç.2 Önlendi
	80	✓	✓	---	✓	9,5	0,29	Evet	---	---	Hayır
	90	✓	✓	---	✓	12,5	0,36	Evet	---	---	Hayır
	100	✓	✓	X	---	14,6	0,39	Evet	---	---	---
	110	✓	✓	✓	---	14,4	0,38	Evet	42	1,3	Evet
	120	✓	✓	✓	---	14,4	0,38	Evet	45,4	1,3	Evet

Başlangıç $\Delta x = 10m$	V_0 öncü (km/h)	ACC	LKA	LCA	AEB	Min Δx 1 (m)	Min-İ.Z.1 (s)	Ç.1 Önlendi	Min Δx 2 (m)	Min-İ.Z.2 (s)	Ç.2 Önlendi
	80	---	---	---	X	---	---	Hayır	---	---	---
	90	---	---	---	X	---	---	Hayır	---	---	---
	100	✓	✓	---	✓	4,4	0,027	Evet	---	---	---
	110	✓	✓	---	✓	4,8	0,048	Evet	---	---	---
	120	✓	✓	---	✓	5	0,051	Evet	---	---	---

✓: Kabul Edilebilir Performans

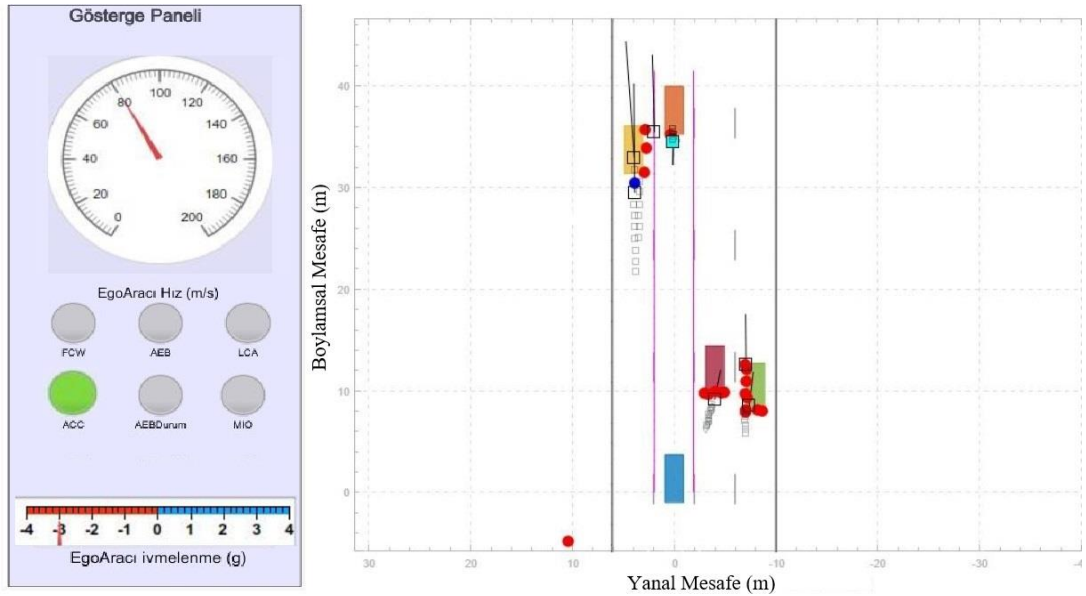
X: Kabul Edilemez Performans

---: Kullanılmıyor / Uygun değil

Yapılandırma 1 ve 2 ile simülasyonları göz önünde bulundurarak, senaryo öğeleri açısından farklı durumlar vardır. Her bir durum, aşağıdaki grafiklerle temsil edilir.

5.3.1. Şerit Değişiminin Olmadığı 1. Durum (Yapılandırma 1)

Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te gösterildiği gibi senaryonun başlangıcında ego araç ile öncü araç arasında 50 metrelik büyük bir başlangıç mesafesi vardır. Ardından öncü aracın ani frenlemesi ile Δx aniden azalır; bu nedenle ACC durumu ele alır ve Δx 'i artırır. İlerleme zamanı eşik değerden büyük olduğundan, LCA etkinleştirilmez ve ego araç öncü aracı takip ederek senaryoya devam eder. Şekil 5.23, ACC'nin ego aracın hızını öncü araca eşitlemek ve mesafeyi korumak için yavaşladığı anı gösterir.

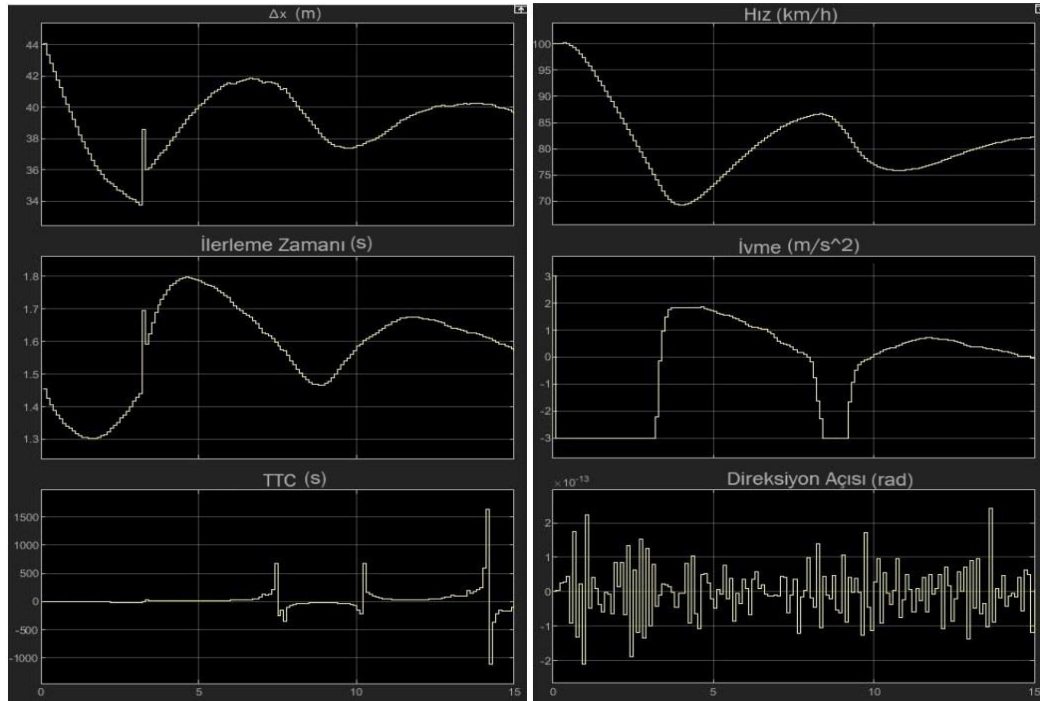


Şekil 5.23. Güvenli mesafeyi ve istenilen hızı korurken ACC sistemi.

Şekil 5.23'te gösterilen araçlardan mavi olan ego araç, turuncu olan öncü araç, 4. şeritteki sarı araba ise simülasyonun başında ego araca göre 10 metrelik bir Δx ile başlayan ve başlangıç hızı 130 km/h olan hızlı giden arabadır ve birkaç saniye sonra ego aracı geçer. Bu davranışın bu araba için önemi aşağıdaki bölümlerde temsil edilecektir. Çünkü ego araç şerit değiştirmeyi amaçladığında, bu araba şerit değiştirme zamanlamasında önemli bir rol oynar ve ayrıca şerit değiştirme tamamlandığında ve ego araç kendini bu arabanın arkasında bulduğunda ikinci öncü araç rolünü oynar.

Şekil 5.23'te görüldüğü gibi, modelleme görevini yerine getirmiş ve sol taraftaki gösterge paneli, "ACC AÇIK" ve ivme -3 m/s^2 'ye eşitken ego araç için 80 km/h hızını temsil ediyor. Bu andan sonra, ivme biraz dalgalanıyor ve ardından kontrolörün hedefi karşılandığında sıfır civarında sonlanıyor.

Bu senaryolar için, bakılacak en anlamlı grafikler Δx , İlerleme zamanı, TTC, Hız, İvme ve Direksiyon olacaktır. En kritik durum öncü aracın başlangıç hızının en düşük olduğu durum olduğundan, aşağıdaki grafikler " $V_{0_öncü} = 80 \text{ km/h}$ " ve " $\text{başlangıç } \Delta x = 50 \text{ m}$ " durumu içindir.



Şekil 5.24. Şerit değişiminin olmadığı 1. durum (yapılandırma 1) için simülasyon grafikleri.

Şekil 5.24'te görüldüğü gibi, Δx 34 metreye kadar azalır ve ACC mesafeyi korumayı başarır ve yaklaşık 42 metreye çıkarır, ardından yaklaşık 40 metrelik bir son seviyeye ulaşır. Bu arada, ilerleme zamanı, Δx ile benzer bir özelliğe sahiptir ve 1,3 saniye seviyesine kadar azalır, ancak daha sonra artan Δx ile ilgili olarak artar ve yaklaşık 1,6 saniyede sonlanır. LCA, bu yapılandırmada ilerleme zamanı 1,2 saniyeye ayarlandığı için etkinleştirilmemiştir. Ayrıca, TTC, Δx ve Headway Time ile bağlantılı karakteristikleri yansıtır.

Öte yandan, ego aracın hızı, öncü araç ACC için varsayılan mesafeden daha yakın bir mesafede olduğu için 70 km/h'e kadar düşmektedir. Ancak, güvenli mesafeyi koruduktan sonra, hız 85 km/h'e kadar artar ve ardından öncü aracın 80 km/h hızıyla normalleşir. Hız değiştirme görevi adaptif MPC tarafından yapılan ivme kontrolünün yardımıyla yapılır. Bu nedenle ivme 3 ile -3 arasında dalgalanır ve ardından istenen hız ve mesafe ayarlandığında 0 civarında normalleşir.

Bu arada, ego aracın uç açısı, şeridi korumak için ondalık dalgalanmalarla sifıra çok yakın tutulur. Bu, grafiklerin son bölümünde "Direksiyon Açısı" olarak gösterilir. Görüldüğü gibi, direksiyon açısındaki değişim aralığı çok küçüktür ($\pm 2 \times 10^{-13} \text{ rad}$), sürüş sırasında hissedilmez ve sıfır direksiyon açısı olarak kabul edilir.

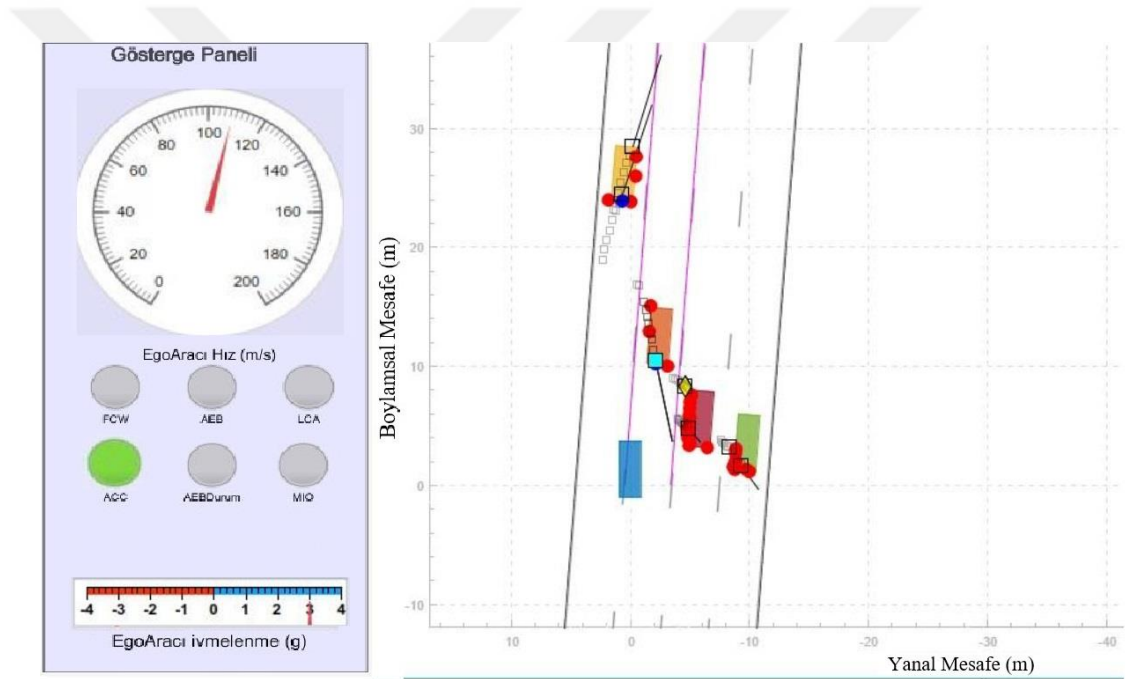
Δx ve ilerleme süresi grafiklerindeki iki tepe noktası, Simulink'teki simülasyon hatalarından kaynaklanmaktadır. Bu hatalara göre, ilk şeritten yeni şeride geçerken, ego araç yönü nedeniyle hiçbir öncü araç izlenmiyor ve bu durum grafiklerde bir tepe noktasının görünmesine neden oluyor. Ancak bunun simülasyonun gerçek performansı ve sonuçları üzerinde olumsuz bir etkisi bulunmamaktadır.

5.3.2. Başarılı Şerit Değişimi Durumu (Yapılandırma 2)

Bu durum, kritik bir durum ortaya çıktığında, modellenen sistemin maksimum kapasitesini kullanarak, ego aracın en çok istenen performansını yerine getirir. Simülasyonlara ve yukarıda belirtilen tablolara göre, bu genellikle en iyi şekilde, başlangıç Δx 'in 30 veya 40 metreye eşit olduğu zaman gerçekleşir. Ancak bazen, $\Delta x=20$ metre olan bazı sınırlı durumlar da ego aracın iyi bir performansını temsil

etmektedir. Bu durum, başlangıç $\Delta x=30$ metre ve başlangıç öncü araç hızı 80 km/h olan konfigürasyon 2 kullanıldığında en kritik durumda gerçekleşir. Bu kritiklik, şerit değiştirme sırasında öncü araca göre en düşük bağıl Δx ile ölçülür. Buna göre, bu durumda, ego araç şerit değiştirmeye $\Delta x = 10$ anında başlar, ancak LCA yaparken o da hızlandığı için Δx , bu hızda çok küçük bir mesafe olan minimum 8,6 metre değerine düşer. Ancak, şerit değiştirme sırasında ACC ve AEB devre dışı bırakıldığından ve ego araç bu şerit değişiminin güvenli bir şekilde yapıldığını algıladığından, bu yapılır ve görev tamamlanır.

Bu simülasyonla ilgili görseller Şekil 5.25'te gösterilmiş ve tartışılmıştır.

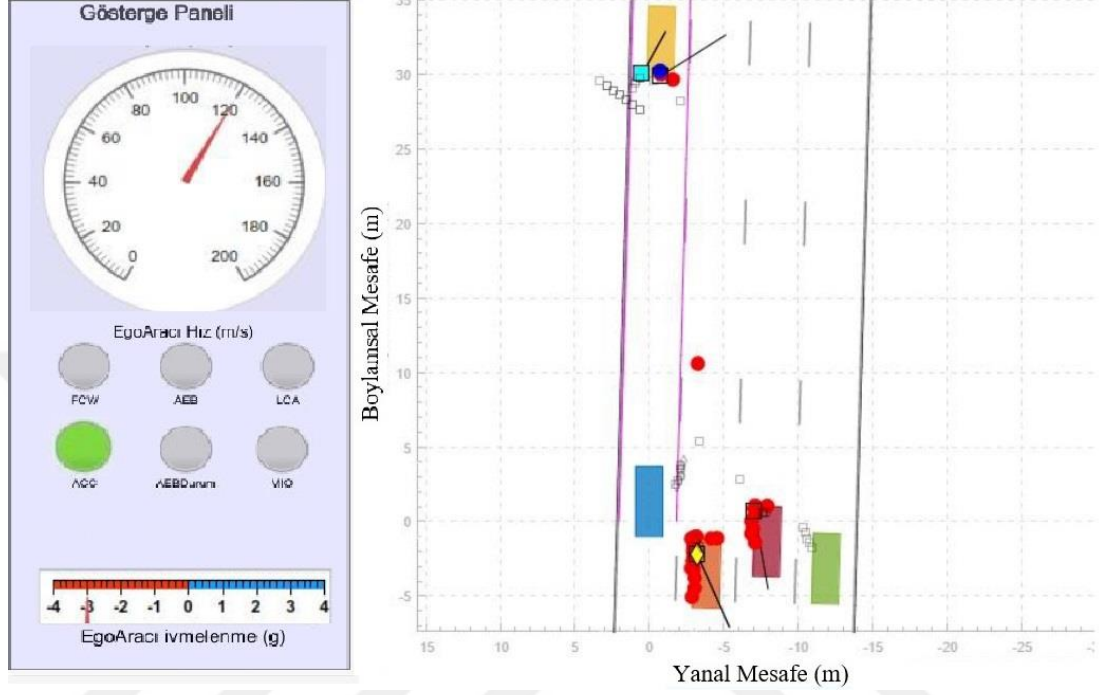


Şekil 5.25. Ego aracın şerit değişimi yaptığı durum (1. aşama).

Şekil 5.25, şerit değiştirmenin gerçekleştirildiği anı ve bağıl Δx 'in minimum olduğu anı göstermektedir. Gösterge panelinde görüldüğü gibi, bu noktada ego aracın ivmesi 3 m/s^2 'ye eşittir ve şerit değiştirme eylemini tamamlarken 130 km/h'lik ayarlanan hıza ulaşmaya çalışır.

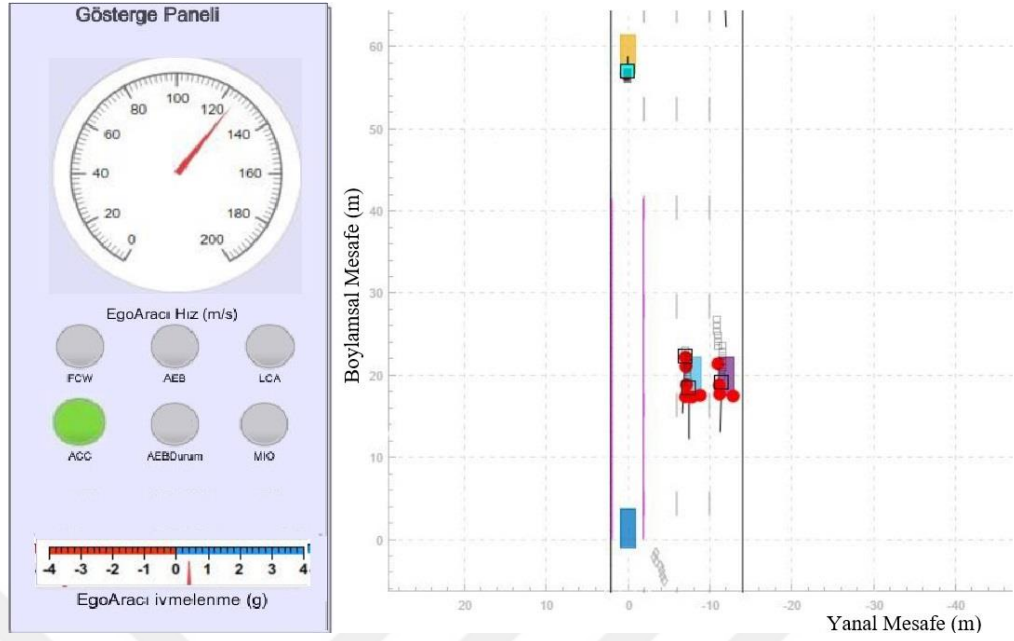
Bir sonraki aşama Şekil 5.26'da gösterilmektedir. Bu aşamada, şerit değiştirme tamamlanır ve ego araç yeni şeride konumlanır. Bu adımda, bağıl mesafe ACC için varsayılan değerden daha küçük olduğundan ve buna bağlı olarak ilerleme zamanı 1,5

saniyelik zaman aralığından daha küçük olduğundan, gerekli mesafe karşılanana kadar hızı azaltmak için ivme -3 m/s^2 'ye ayarlanır. Bu, ego aracın hızında dalgalanmalara neden olur. Bu durum aşağıdaki grafiklerde gösterilecektir.



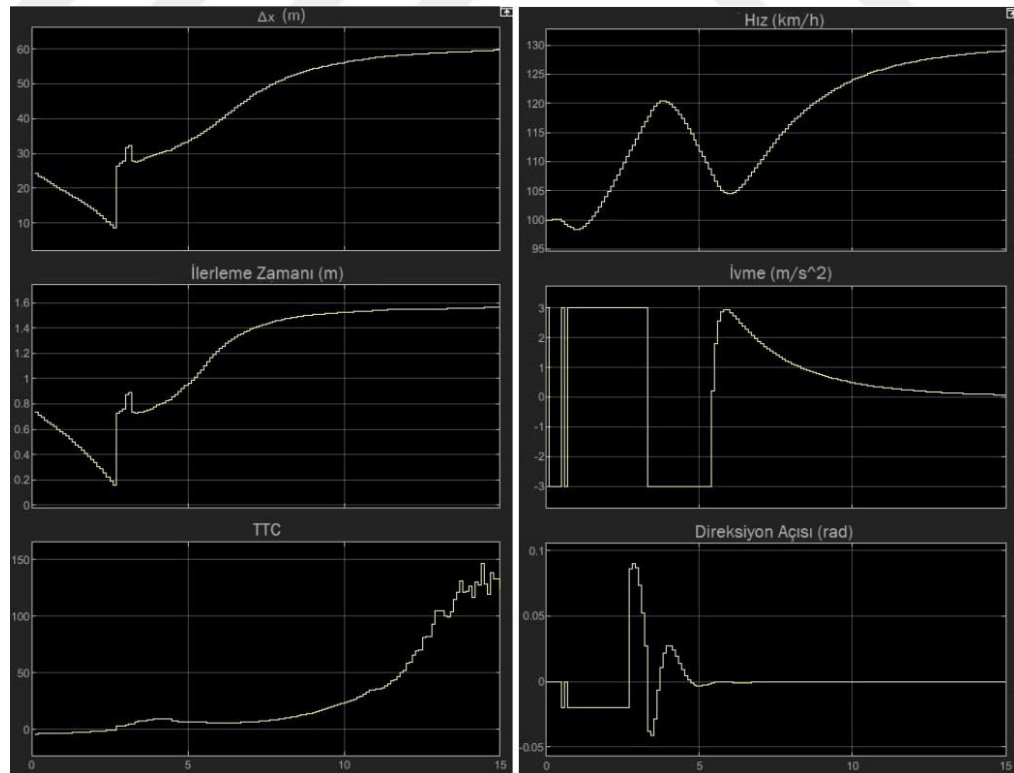
Şekil 5.26. Ego araç şerit değişimi yaptıktan ve öncü aracı bulduktan hemen sonra (2. aşama).

Son olarak, gerekli zaman aralığına ulaşıldığında ve ego aracın hızı da 4. şeritteki yeni öncü aracın 130 km/h hızına eşit olduğunda ivmelenme sıfıra alınıyor, böylece öncü araç da fren yapmadan bu hızını koruduğu sürece ego araç da hızını koruyor. Bu durum Şekil 5.27'de gösterilmektedir.



Şekil 5.27. Ego aracın 4. Şeritteki yeni öncü araca göre son konumu.

Ego aracın, yukarıdaki senaryodaki davranışları şekil 5.28’de grafikler halinde verilmiştir.



Şekil 5.28. Başarılı şerit değişiminin yapıldığı 2. Durum için simülasyon grafikleri (yapılandırma 2).

Senaryonun başlangıcında ilerleme zamanı yaklaşık 0,8 saniyedir ve dolayısıyla LCA etkinleştirilir. Sonuç olarak, şerit değiştirmeyi başlatmak için direksiyon açısı uygulanır. Şerit değiştirme işlemi gerçekleştirilirken, ilerleme zamanının 0,16 saniyeye denk geldiği kısıminde bağıl mesafe 8,6 metreye kadar düşmektedir. Bu kritik bir durumdur ve öncü aracın tekrar fren yapması durumunda çarpışma tehlikesi vardır. Ancak, simülasyon araçlarındaki sınırlamalar nedeniyle, bu tezde öncü aracın ego araç şerit değiştirirken tekrar fren yapması dikkate alınmadığından, araçlar arasında çarpışma olmadığı sürece bu performans tatmin edicidir.

Yukarıdaki grafikleri tekrar ele aldığımızda, 1. durumla karşılaştırıldığında bazı büyük farklılıklar görüyoruz. Bu durumda, TTC daha az dalgalanmaya sahip ve sistem şerit değiştirirken ve bağıl mesafeyi artırırken çarpışmadan kaçındığı için; TTC ve ilerleme zamanı, şerit değiştirme yakın mesafede yapıldığında minimum seviyededir ve daha sonra sürekli olarak artar. Diğer tarafta, hız, -3 ile $+3 \text{ m/s}^2$ arasında değişen ve sonunda sıfırda kararlılığına ulaşan ivmelenme açısından 98 ila 130 km/h aralığında değişir.

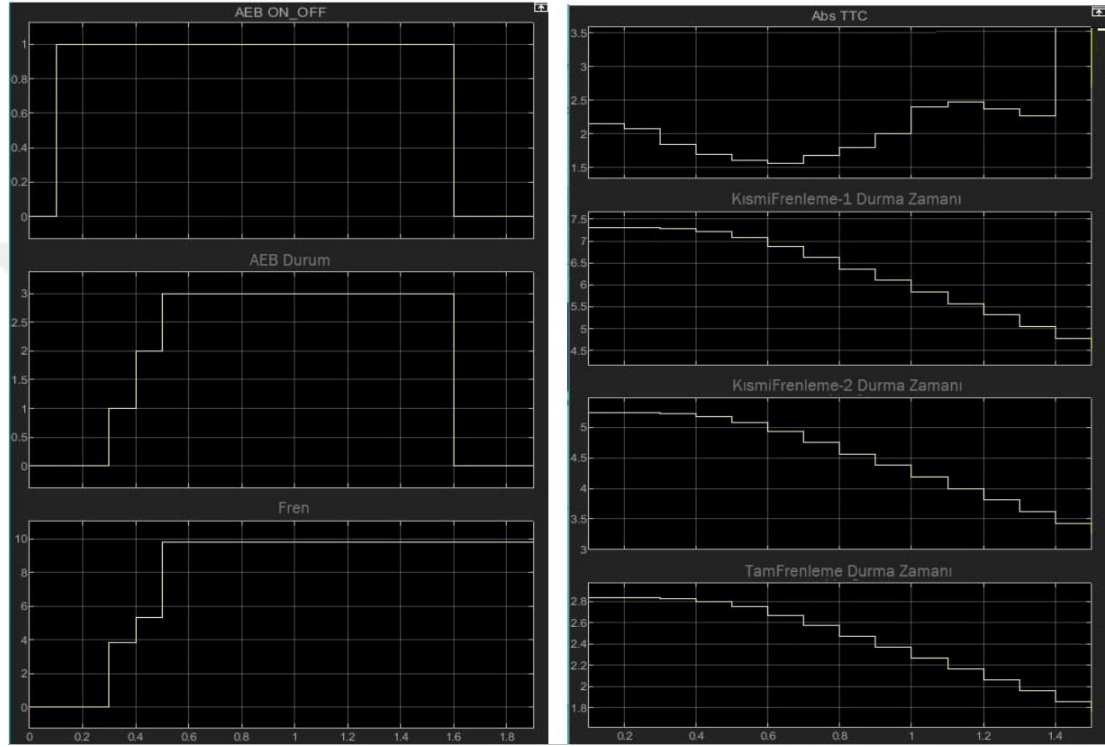
Bu durumda şerit değiştirme de yapıldığından, direksiyon açısı LCA ve LKA çıktılarının bir kombinasyonudur. Bu nedenle grafikte görüldüğü gibi, ego aracı şeritte tutmak için şerit tutma yardımcısı kullanıldığında $-0,041$ ila $0,027$ rad değerleri kullanılırken $-0,02$ rad ile $0,09$ rad aralığında değişir.

5.3.3. Başarılı Otonom Acil Fren (AEB) Durumu (Yapılandırma 1 veya 2)

Çalışılması gereken üçüncü önemli durum; bağıl Δx ve ilerleme zamanının çok küçük olduğu ve ego araç şerit değiştirirse bu manevra sırasında çarpışmanın meydana gelmesi durumudur. Bu nedenle sistem, ilerleme zamanı $0,5$ saniyeden küçükse AEB önceliğinin LCA'dan daha yüksek ayarlanması ve ego aracın hızını hemen düşürmeye çalışması için tasarlanmıştır. Bu, olası en önemli senaryolar için tekrar test edilmiştir ve beklendiği gibi en kritik durumlar, başlangıç Δx ve V_0 öncü değerlerinin en düşük olduğu durumlarda ortaya çıkar.

Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te gösterildiği gibi, bu senaryonun başarılı durumları arasında, başlangıç $\Delta x=10$ metre ve $V_0_{\text{öncü}}=100$ km/h, çarpışmayı önleyebilecek en kritik durumu oluşturur.

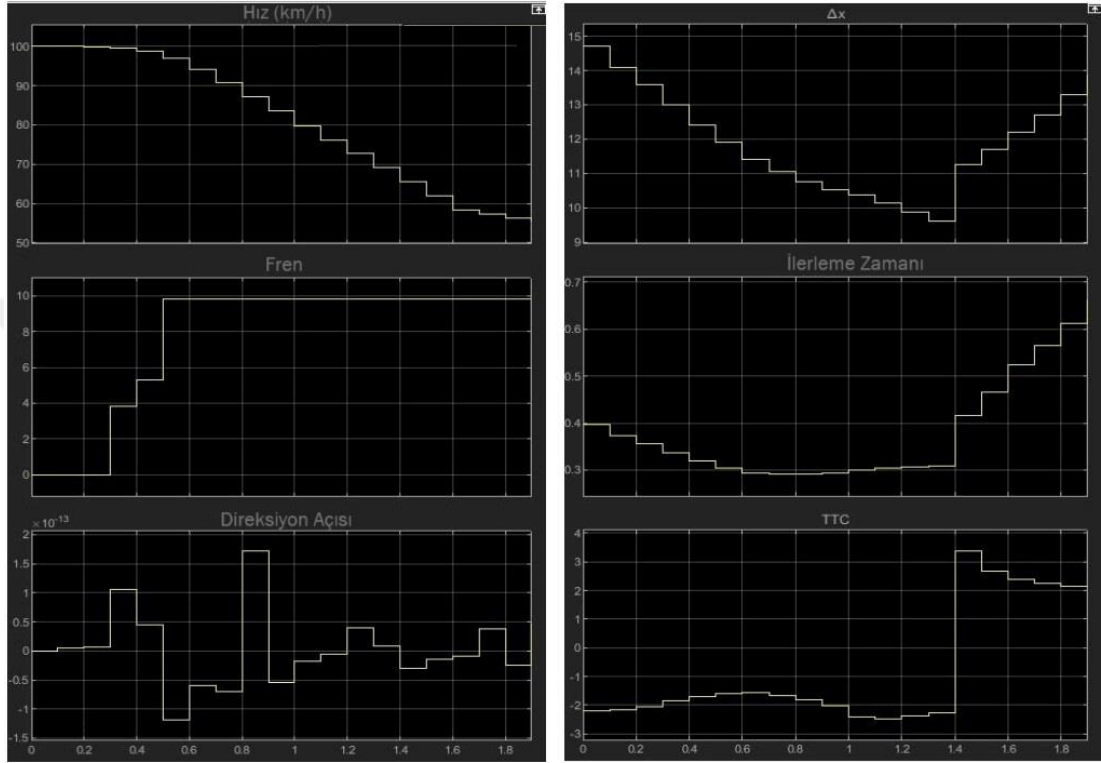
Şekil 5.29'daki görseller, sistemin bu durumdaki performansını göstermektedir.



Şekil 5.29. Başarılı otonom acil fren durumu simülasyon grafikleri.

Şekil 5.29'da görüldüğü gibi, AEB, ilerleme süresi ile bağlantılı olarak etkinleştirildikten sonra da AEB durumu başlangıçta sıfırdır. Bu, AEB'nin açık olduğu ancak frenleme kuvvetlerini uygulamak için diğer koşulları beklediği anlamına gelir. Daha sonra, koşullar karşılandığında, soldaki grafiklerde görüldüğü gibi, 1, 2 ve 3 numaralı frenleme adımları, karşılık gelen kuvvetlerle uygulanır. Bu örnekte, iki araç arasındaki mesafe çok küçük olduğundan, üç aşamalı acil frenleme, birbirini çok hızlı bir şekilde takip eder, ancak daha büyük bir göreceli mesafede, bu adımlar kısmen uygulanır ve bir aşamalı frenleme çarpışmayı önleyebilse bile, diğer aşamalar uygulanmaz ve sonuç olarak acil frenleme serbest bırakılır ve devre dışı bırakılır, bu da ACC hızlanması ve hızıyla aracın harekete devam etmesini sağlar.

Şekil 5.30'daki grafikler göz önüne alındığında, frenleme uygulandıktan sonra hızın keskin bir eğimle azaldığı, dolayısıyla çarpışma önlendikten sonra ilerleme zamanı ve TTC'nin de keskin bir artış gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Şerit tutma sistemi de aracı şeritte tutarak şeridin merkezinden sıfıra yakın çok küçük bir sapma ile iyi çalışmıştır.



Şekil 5.30. Başarılı otonom acil fren durumu simülasyon grafikleri (Yapılandırma 1 ve Yapılandırma 2).

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında; elektrikli bir taşıt Matlab/Simulink ortamında dinamik olarak modellenmiştir. Modellenen taşıtın NEDC ve WLTP sürüş çevrimleri ile ADAS uygulamaları optimizasyonlarına ve enerji verimliliklerine bakılmıştır.

Çalışma kapsamında; MATLAB-Simulink ortamında elektrikli bir taşıt modellemesi ile ADAS modellemeleri yapılarak standart sürüş çevrimleri ve Euro NCAP standartlarındaki sürüş senaryoları da modellemelere dahil edilerek analizler yapılmıştır. İlk etapta elektrikli araç modellemesi NEDC ve WLTP olmak üzere iki farklı sürüş çevriminde simüle edilmiştir. NEDC sürüş çevrimini tamamlamak için gereken enerji 2,8 kW iken, tüketilen enerjinin 2,64 kW olduğu bulunmuştur. 0,16 kW'lık fark rejeneratif frenleme ile sağlanmaktadır. Bu modelde enerjinin %5,71'i geri kazanılmaktadır.

WLTP sürüş çevrimini tamamlamak için ise gereken enerji 5,62 kW iken, tüketilen enerjinin 5,22 kW olduğu bulunmuştur. 0,4 kW'lık fark rejeneratif frenleme ile sağlanmaktadır. Bu modelde enerjinin %7,04'ü geri kazanılmaktadır.

Bu çalışmada ayrıca ADAS modellemeleri de yapılmış, farklı sürüş senaryolarında 4 farklı sistem bir arada değerlendirilerek analizler yapılmıştır. ACC, LKA, AEB ve LCA'nın farklı sürüş senaryolarındaki durumları incelenmiştir. Sürüş senaryosu olarak Euro NCAP standartlarındaki senaryolar modellemeye dahil edilmiştir. Öncü araç hızı olarak 80 km/h, 90 km/h, 100 km/h, 110 km/h ve 120 km/h durumları değerlendirilmiş ve güvenli durum, kritik durum, tehlikeli durumlar analiz edilmiştir. Yapılan ADAS modellemesi ile, nesnelerin tespitine dair süreler kısalmış ve başarılı durumların başarısız durumlardan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Modellemelerden 2. konfigürasyon daha güvenilir sonuçlar vermiş ve test edilen her

hız için araçlar arası mesafenin 30 metrededen büyük olduğu durumlarda modelleme başarılı bir şekilde çarpışmayı önlemektedir.

Simülasyonların kritik durumları göz önünde bulundurularak, bu kritiklikler sistemin bir değerlendirmesini yapmak için özetlenmiştir. Kritikliğin başlangıçtaki Δx ve V_0 öncü değerini azaltarak ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Ancak, daha büyük Δx ve V_0 öncü değerine sahip, sistemin kısmen iyi çalıştığı, ancak sonunda tehlikeli bir şekilde işlediğine dair durumlar da vardır. Bu nedenle, bunlar sistemin hatalı davranışı olarak kabul edilmektedir.

Birçok farklı sürüş senaryosu sonucu elde edilen veriler, tehlikeli durumların güvenli durumlardan daha az olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak kullanılmak üzere 2. yapılandırma seçildiğinden, bu yapılandırmanın bu çalışmada test edilen her hız için Δx 'in 30 metreden büyük olduğu durumlarda başarılı olduğu görülmektedir. Ayrıca model, $\Delta x = 20$ m ve 10 m için durumların yarısından fazlasında çarpışmayı önlemektedir.

Kritik durumlarda sistemin daha iyi karar alabilmesi için iyileştirilmesi gerekir; bu da ya acil frenlemeden sonra herhangi bir şerit değiştirmeyi iptal ederek ya da tahmin katmanı gibi parametrelerinin değerlerini yapılandırarak adaptif MPC'nin performansını iyileştirerek yapılabilir.

Tüm simülasyon sonuçları ve ayrıca son bölümde tartışılan bu sistemde ortaya çıkabilecek önemli durumların derinlemesine incelenmesi dikkate alındığında, test edilen belirli senaryolarda bu sistemin genel işleyişinin simülasyon düzeyinde kabul edilebilir olduğu anlaşılmıştır.

Simülasyon sonuçları göz önüne alındığında, uygulanan bu sistemin standartlara uygun sonuçlar verdiği ve belirtilen durumlar için 3~4 seviyesindeki otonomiye karşılayabileceği açıktır. Test edilen tüm senaryolar, bu seviyede gerekli olduğu için tasarlanan “Otonom Araç Test Ortamı” tarafından bağımsız olarak ele alınmıştır. Sonuç olarak; ego araç, sistemin tasarlandığı ve algoritmaların izin verdiği şekilde beklentileri karşılayabilir ve belirli durumlarda çarpışmadan kaçınabilir.

Aşağıda, gelecekteki araştırmalarda daha fazla araştırılacak bazı noktalar açıklanmıştır:

- Algoritmaya zaten dahil edilmiş ancak testlerde kullanılmayan bir husus, acil bir durumda sağ şeride şerit değiştirme yeteneğidir. Bu, yalnızca sağ tarafta boş bir alan olması ve AEB ile çarpışmayı önlemenin mümkün olmaması durumunda yapılır. Ancak, önceki bölümde tartışıldığı gibi, AEB'nin çarpışmayı önleyemediği durumlarda, bunun nedeni her zaman iki araç arasındaki mesafenin çok küçük olmasıdır. Bu nedenle, AEB yerine şerit değiştirme yapılırsa, yine bir çarpışma olacak ve muhtemelen daha tehlikeli olacaktır çünkü ego araç şerit değiştirme sırasında hızlanır ve bu da öncü araca olan bağıl mesafeyi azaltır.
- Bu sistemde ACC, LCA ve AEB birbirinin yerine geçmektedir. Metodoloji bölümünde, işlevselliği artırmak için bazı durumlarda eş zamanlı olarak hareket etmeleri için öncelikle bunların uygulanması için çalışıldı, ancak yine bazı simülasyon ve algoritma sınırlamaları nedeniyle tam anlamıyla sisteme uygulamak mümkün olmadı. Daha sonra bu sistemleri birleştirmek için araştırmalar yapılarak, böylece çok kritik durumlarda eş zamanlı olarak hareket edilebilir.
- Bu sistemden en iyi şekilde faydalanabilmek için, LCA ve AEB aktivasyonu ile ilgili olarak zaman aralığı ve ilerleme zamanı için daha küçük eşik değerlerine sahip daha uç senaryoların test edilmesi mümkün olup, böylece sistemin performansı en kritik koşullar için de test edilebilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu, "Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, 2023", <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2023-53479> (2023).
2. İnternet: The National Highway Traffic Safety Administration, "Standing General Order on Crash Reporting 2023", <https://www.nhtsa.gov/laws-regulations/standing-general-order-crash-reporting> (2023).
3. İnternet: World Health Organization, "Global Status Report on Road Safety 2023", <https://www.who.int/teams/social-determinants-of-health/safety-and-mobility/global-status-report-on-road-safety-2023>.
4. İnternet: Klynveld Peat Marwick Goerdeler, "Insights for the Automotive and Transportation Sector", <https://kpmg.com/us/en/insights-by-industry/insights-automotive-transportation.html> (2022).
5. Jirgl, M., Fiedler, P., and Bradac, Z., "Using Matlab-based Driving Simulator for Human Factor Assessment", *IFAC-PapersOnLine*, 52 (27): 27–32 (2019).
6. Hagl, M. and Kouabenan, D. R., "Safe on the road – Does Advanced Driver-Assistance Systems Use affect Road Risk Perception?", *Transportation Research Part F: Traffic Psychology And Behaviour*, 73: 488–498 (2020).
7. Fleming, J. M., Allison, C. K., Yan, X., Lot, R., and Stanton, N. A., "Adaptive driver modelling in ADAS to improve user acceptance: A study using naturalistic data", *Safety Science*, 119: 76–83 (2019).
8. Lyu, N., Deng, C., Xie, L., Wu, C., and Duan, Z., "A field operational test in China: Exploring the effect of an advanced driver assistance system on driving performance and braking behavior", *Transportation Research Part F: Traffic Psychology And Behaviour*, 65: 730–747 (2019).
9. Qiu, S., Rachedi, N., Sallak, M., and Vanderhaegen, F., "A quantitative model for the risk evaluation of driver-ADAS systems under uncertainty", *Reliability Engineering & System Safety*, 167: 184–191 (2017).
10. Abdessalem, R. Ben, Nejati, S., Briand, L. C., and Stifter, T., "Testing advanced driver assistance systems using multi-objective search and neural networks", *ASE 2016 - Proceedings Of The 31st IEEE/ACM International Conference On Automated Software Engineering*, 63–74 (2016).

11. Gietelink, O., Ploeg, J., De Schutter, B., and Verhaegen, M., "Development of advanced driver assistance systems with vehicle hardware-in-the-loop simulations", *Vehicle System Dynamics*, 44 (7): 569–590 (2006).
12. Abdelgawad, K., Abdelkarim, M., Hassan, B., Grafe, M., and Gräßler, I., "A Scalable Framework for Advanced Driver Assistance Systems Simulation", *SIMUL 2014: The Sixth International Conference On Advances In System Simulation*, 43–51 (2014).
13. Jiménez, F., Naranjo, J. E., Anaya, J. J., García, F., Ponz, A., and Armingol, J. M., "Advanced Driver Assistance System for Road Environments to Improve Safety and Efficiency", *Transportation Research Procedia*, 14: 2245–2254 (2016).
14. Alnaser, A. J., Akbas, M. I., Sargolzaei, A., and Razdan, R., "Autonomous Vehicles Scenario Testing Framework and Model of Computation", *SAE International Journal Of Connected And Automated Vehicles*, 2 (4): 205–218 (2019).
15. Amersbach, C. and Winner, H., "Functional decomposition—A contribution to overcome the parameter space explosion during validation of highly automated driving", *Traffic Injury Prevention*, 20 (sup1): S52–S57 (2019).
16. Huang, L., Xia, Q., Xie, F., Xiu, H. L., and Shu, H., "Study on the Test Scenarios of Level 2 Automated Vehicles", *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2018-June: 49–54 (2018).
17. Rocklage, E., Kraft, H., Karatas, A., and Seewig, J., "Automated scenario generation for regression testing of autonomous vehicles", *2017 IEEE 20th International Conference On Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2018-March: 476–483 (2017).
18. Wang, J., Zhang, C., Liu, Y., Intelligent, Q. Z.-2018 I., and 2018, undefined, "Traffic sensory data classification by quantifying scenario complexity", *Ieeexplore.Ieeee.OrgJ Wang, C Zhang, Y Liu, Q Zhang2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2018•ieeexplore.Ieeee.Org*.
19. Xia, Q., Duan, J., Gao, F., Hu, Q., and He, Y., "Test Scenario Design for Intelligent Driving System Ensuring Coverage and Effectiveness", *International Journal Of Automotive Technology*, 19 (4): 751–758 (2018).
20. Wilkerson, J. T., "Handoff of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) using a Driver-in-the-Loop Simulator and Model Predictive Control (MPC)", Yüksek Lisans Tezi, *Ohio State University*, Ohio (2020).
21. Nastjuk, I., Herrenkind, B., Marrone, M., Brendel, A. B., and Kolbe, L. M., "What drives the acceptance of autonomous driving? An investigation of acceptance factors from an end-user's perspective", *Technological Forecasting And Social Change*, 161: (2020).

22. Maurer, M., Gerdes, J. C., Lenz, B., and Winner, H., "Autonomous Driving", *Autonomous Driving: Technical, Legal And Social Aspects*, 1–706 (2016).
23. Bimbray, K., "Autonomous cars: Past, present and future: A review of the developments in the last century, the present scenario and the expected future of autonomous vehicle technology", *ICINCO 2015 - 12th International Conference On Informatics In Control, Automation And Robotics, Proceedings*, 1: 191–198 (2015).
24. Internet: Stanley, M., "Autonomous Cars - Self-Driving the New Auto Industry Paradigm | Smart Mobility Community for Standards and Practices", <https://smartmobilitycommunity.eu/autonomous-cars-self-driving-new-auto-industry-paradigm> (2024).
25. "Association for Safe International Road Travel", <https://www.asirt.org/currentreports/>.
26. "The OLAF Report 2023: Home", https://ec.europa.eu/olaf-report/2023/olaf-annual-reports_en.html (2024).
27. Pathrose, P., "ADAS and Automated Driving: Systems Engineering", *SAE International*, 55–74 (2024).
28. Palmer, S. R. . and Felsing, J. M. ., "A Practical Guide to Feature-Driven Development", *Prentice Hall PTR*, 271 (2002).
29. Bjørnø, L., "Ultrasonic Sensors", *Sensors And Sensory Systems For Advanced Robots*, 309–339 (1988).
30. Kleeman, L. and Kuc, R., "Sonar Sensing", *Springer Handbooks*, 753–782 (2016).
31. Internet: SAE International, "SAE Levels of Driving Automation Refined for Clarity and International Audience", <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update> (2022).
32. Internet: ERTRAC, "ERTRAC Road Transport Vision 2050", <https://www.ertrac.org/documents/> (2024).
33. Internet: Check, A., "Parking Assist Technologies From ADAS to Level 4 Wards Intelligence", <https://wardsintelligence.informa.com/wi966826/autotech-check--parking-assist-technologies-from-adas-to-level-4> (2024).
34. Internet: L3Pilot, "Traffic Jam Chauffeur", <https://l3pilot.eu/applications/applications/news/traffic-jam-chauffeur.html> (2024).

35. Internet: Bosch Global, "Automated Valet Parking – Fast, Safe, Driverless", <https://www.bosch.com/stories/automated-valet-parking/> (2024).
36. Internet: SAE International, "SAE Levels of Driving Automation Refined for Clarity and International Audience", <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update> (2021).
37. Internet: Systems, I. M. of the F. I. for C., "Operational Design Domain – Safety Implications of Transitioning through ODDs", <https://safe-intelligence.fraunhofer.de/en/articles/safety-implications-of-transitioning-through-operational-design-domains> (2020).
38. Erz, J., Schutt, B., Braun, T., Guissouma, H., and Sax, E., "Towards an Ontology That Reconciles the Operational Design Domain, Scenario-based Testing, and Automated Vehicle Architectures", *SysCon 2022 - 16th Annual IEEE International Systems Conference, Proceedings*, Canada, (2022).
39. Lee, C. W., Nayeer, N., Garcia, D. E., Agrawal, A., and Liu, B., "2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)", IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings, *Institute Of Electrical And Electronics Engineers Inc.*, 1317–1322 (2020).
40. Internet: Aptiv, "What Are Operational Design Domains?", <https://www.aptiv.com/en/insights/article/what-are-operational-design-domains> (2023).
41. Emzivat, Y., Ibanez-Guzman, J., Martinet, P., and Roux, O. H., "Dynamic driving task fallback for an automated driving system whose ability to monitor the driving environment has been compromised", *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*, 1841–1847 (2017).
42. Pathrose, P., "ADAS and Automated Driving: A Practical Approach to Verification and Validation", *SAE International*, 128–145 (2022).
43. Moslemi, M., "Autonomous Cars & ADAS: Complex Scenario Generation, Simulation and Evaluation of Collision Avoidance Systems", *Politecnico Di Torino*, (2019).
44. Aarenstrup, R., "Managing Model-Based Design", *CreateSpace Independent Publishing Platform*, 24–56 (2015).
45. Sasiadek, J. Z., "Sensor fusion", *Annual Reviews In Control*, 26 (2): 203–228 (2002).
46. Yeong, D. J., Velasco-hernandez, G., Barry, J., and Walsh, J., "Sensor and Sensor Fusion Technology in Autonomous Vehicles: A Review", *Sensors 2021, Vol. 21, Page 2140*, 21 (6): 2140 (2021).

47. Gravina, R., Alinia, P., Ghasemzadeh, H., and Fortino, G., "Multi-sensor fusion in body sensor networks: State-of-the-art and research challenges", *Information Fusion*, 35: 68–80 (2017).
48. Kiencke, U. and Nielsen, L., "Automotive Control Systems: For Engine, Driveline, and Vehicle: Second Edition", *Springer Berlin Heidelberg*, Germany, 1–512 (2005).
49. İnternet: MathWorks, "Adaptive Cruise Control System Using Model Predictive Control - MATLAB & Simulink", <https://www.mathworks.com/help/mpc/ug/adaptive-cruise-control-using-model-predictive-controller.html> (2024).
50. İnternet: MathWorks, "Lane Keeping Assist with Lane Detection - MATLAB & Simulink", <https://www.mathworks.com/help/driving/ug/lane-keeping-assist-with-lane-detection.html> (2024).
51. İnternet: MathWorks, "Highway Lane Change - MATLAB&Simulink", <https://www.mathworks.com/help/driving/ug/highway-lane-change.html> (2024).
52. Diclemante, J., Mogos, S., and Wang, R., "Autonomous Car Policy Report", *Carnegie Mellon University*, Pittsburg, PA, (2014).
53. Biberici, M. A., "Yakıt hücreli hibrit bir taşıtın modellenmesi ve verimliliğinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük (2020).
54. Emadi, A., Ehsani, M., and Miller, J. M., "Vehicular Electric Power Systems : Land, Sea, Air, and Space Vehicles", *CRC Press*, 425–489 (2003).
55. İnternet: Department of Energy, "Fuel Cells", <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells> (2023).
56. Ogawa, H., Matsuki, M., and Eguchi, T., "Development of a Power Train for the Hybrid Automobile - the Civic Hybrid", *SAE Technical Papers*, (2003).
57. İnternet: Karayolları Genel Müdürlüğü, "Yol Ağı Bilgileri", <https://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/kurumsal/yolagi.aspx> (2024).
58. Verma, S., Mishra, S., Gaur, A., Chowdhury, S., Mohapatra, S., Dwivedi, G., and Verma, P., "A comprehensive review on energy storage in hybrid electric vehicle", *Journal Of Traffic And Transportation Engineering (English Edition)*, 8 (5): 621–637 (2021).
59. Islameka, M., Budiman, B. A., Juangsa, F. B., and Aziz, M., "Energy management systems for battery electric vehicles", *Emerging Trends In Energy Storage Systems And Industrial Applications*, 113–150 (2022).

60. Karamangil, M. I. and Tekin, M., "Comparison of fuel consumption and recoverable energy according to NEDC and WLTP cycles of a vehicle", *CT&F - Ciencia, Tecnología & Futuro*, 12 (2): 31–38 (2022).
61. Tsiakmakis, S., Fontaras, G., Cubito, C., Pavlovic, J., Anagnostopoulos, K., and Ciuffo, B., "From NEDC to WLTP: effect on the type-approval CO₂ emissions of light-duty vehicles", *Publications Office Of The European Union*, (2017).
62. Internet: WLTPfacts.eu, "From NEDC to WLTP: What Will Change?", <https://www.wltpfacts.eu/from-nedc-to-wltp-change/> (2017).
63. Ramanata, P., "Vehicle Dynamics Modeling", *VTechWorks*, 1–19 (1998).
64. Internet: MathWorks, "Adaptive Cruise Control System Using Model Predictive Control - MATLAB & Simulink", <https://www.mathworks.com/help/mpc/ug/adaptive-cruise-control-using-model-predictive-controller.html> (2024).
65. Internet: MathWorks, "Autonomous Emergency Braking with Sensor Fusion - MATLAB & Simulink", <https://www.mathworks.com/help/driving/ug/autonomous-emergency-braking-with-sensor-fusion.html> (2024).
66. Internet: MathWorks, "Lane Keeping Assist with Lane Detection - MATLAB & Simulink", <https://www.mathworks.com/help/driving/ug/lane-keeping-assist-with-lane-detection.html> (2024).
67. Internet: MathWorks, "Create and Manage Tracks of Multiple Objects - Simulink", <https://www.mathworks.com/help/driving/ref/multiobjecttracker.html> (2024).
68. Internet: MathWorks, "Lane Following Control with Sensor Fusion and Lane Detection - MATLAB & Simulink", <https://www.mathworks.com/help/mpc/ug/lane-following-control-with-sensor-fusion-and-lane-detection.html> (2024).
69. Ploeg, J., Scheepers, B. T. M., Van Nunen, E., Van De Wouw, N., and Nijmeijer, H., "Design and experimental evaluation of cooperative adaptive cruise control", *IEEE Conference On Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 260–265 (2011).
70. Taieb-Maimon, M., "Learning headway estimation in driving", *Human Factors*, 49 (4): 734–744 (2007).
71. Ding, N., Zhu, S., Jiao, N., and Liu, B., "Effects of peripheral transverse line markings on drivers' speed and headway choice and crash risk in car-following: A naturalistic observation study", *Accident Analysis And Prevention*, 146: (2020).

EK AÇIKLAMALAR A.

**ELEKTRİKLİ TAŞIT MATLAB SİMÜLASYONU BAŞLANGIÇ
KOMUTLARI DOSYASI (.m file)**

```
%% sürüş çevrimleri
nedc.data=xlsread("nedc.xlsx");
nedc.time=1:1180;
%plot(nedc.time,nedc.data);
```

```
%% taşıt parametreleri
rw=0.32; %m
m=1500; %kg
me=1.02*m;%kg
f=0.01;
Cd=0.28;
A=2.27; %m2
transmission=7.524;
```

```
%% ortam parametreleri
ro_air=1.2;
g=9.81;
```

```
%% verim haritası
eff_map.data=xlsread("eff_map.xlsx");
eff_map.torque=eff_map.data(2:17,1);
eff_map.speed=eff_map.data(1,2:17);
eff_map.ency=eff_map.data(2:17,2:17);
```

```
%% batarya parametreleri
v_ocv=350; %V
bat_capacity=36*36*(10^5); %kWh
battery_eff=0.92;
r_int=0.1; %ohm
```

```
p_accessories=4000; %W
```

```
%% run
```

```
drive_time=1180;
```

```
%sim("tezmodeling");
```



EK AÇIKLAMALAR B.

**ADAS MATLAB SİMÜLASYONU BAŞLANGIÇ KOMUTLARI DOSYASI
(.m file)**

```
%% Genel Model parametreleri
```

```
Ts = 0.1; % Simülasyon sample time (s)
```

```
%% Önceden Oluşturulmuş Senaryoların kitaplığının MATLAB yoluna eklenmesi
```

```
Path = fullfile(matlabroot,'toolbox','driving','drivingdata','PrebuiltScenarios');
```

```
addpath(genpath(Path)); % senaryonun dosya yoluna uyarlanması
```

```
%% Sürüş senaryosunun oluşturulması
```

```
% Senaryo adı, Sürüş Senaryosu Tasarımcısı Uygulaması tarafından oluşturulan bir  
senaryo dosyasıdır.
```

```
scenariosNames = { % Senaryo Numarası  
    'AEB_CCRs_100overlap.mat',... % 1  
    'AEB_CCRm_100overlap.mat',... % 2  
    'AEB_CCRb_2_initialGap_12m_stop_Inf.mat',... % 3  
    'AEB_CCRb_6_initialGap_40m_stop_inf.mat',... % 4  
    'AEB_PedestrianChild_Nearside_50width_overrun.mat'}; % 5
```

```
scenarioNumber = 3;
```

```
if scenarioNumber == 1
```

```
    bep_xRange = [0, 30]; % kuşbakışı görünümün x ve y mesafeleri
```

```
    bep_yRange = [-10,10];
```

```
    simStopTime = 5; % simülasyon durma zamanı (saniye)
```

```
else
```

```
    bep_xRange = [0, 60];
```

```
    bep_yRange = [-20,20];
```

```
    simStopTime = 9; % simülasyon durma zamanı (saniye)
```

```
end
```

```
[scenario,egoCar,actor_Profiles]
```

```
=
```

```
helperSessionToScenario(scenariosNames{scenarioNumber});
```

K = 0; % kavis = 0 : düz yol

v_set = egoCar.v0; % ego araç ayarlanan hız (m/s)

%% ego araç başlangıç şartları

v0_ego = v_set - 1; % ego aracın başlangıç hızı (m/s)

x0_ego = egoCar.x0; % ego aracın başlangıç x konumu (m)

y0_ego = egoCar.y0; % ego aracın başlangıç y konumu (m)

yaw0_ego = egoCar.yaw0; % ego aracın başlangıç sapma açısı (rad)

%% Çarpışma Önleme Uyarı parametreleri

FCW.timeToReact = 1.2; % sürücü tepki zamanı (ssaniye)

FCW.driver_decel = 4.0; % sürücü frenleme ivmesi (m/s^2)

%% AEB kontrolcü parametreleri

AEB.PB1_decel = 3.8; % 1. aşama kısmi frenleme ivme değeri (m/s^2)

AEB.PB2_decel = 5.3; % 2. aşama kısmi frenleme ivme değeri (m/s^2)

AEB.FB_decel = 9.8; % Tam frenleme ivme (m/s^2)

AEB.headwayOffset = 3.7; % takip mesafesi dengeleme (m)

AEB.timeMargin = 0; % ilerleme zaman sınırı (saniye)

%% Takip ve sensör füzyon parametreleri Birimler

clusterSize = 4; % kümelenme mesafesi (m)

assigThresh = 50; % takipçi eşik değeri (N/A)

M = 2;

N = 3;

numCoasts = 3;

numTracks = 20; % maksimum güzergah sayısı (N/A)

numSensors = 2; % maksimum sensör sayısı (N/A)

posSelector = [1,0,0,0,0,0; 0,0,1,0,0,0]; % konum seçici (N/A)

velSelector = [0,1,0,0,0,0; 0,0,0,1,0,0]; % hız seçici (N/A)

%% Ego araç parametreleri

% Dinamik model parametreleri

m = 1575; % aracın toplam kütlesi (kg)
Iz = 2875; % aracın atalet momenti (m*N*s^2)
lf = 1.2; % ağırlık merkezinden ön tekerleklere kadar olan mesafe (m)
lr = 1.6; % ağırlık merkezinden arka tekerleklere kadar olan mesafe (m)
Cf = 19000; % ön tekerlek viraj sertliği (N/rad)
Cr = 33000; % arka tekerlek viraj sertliği (N/rad)
tau1 = 0.5; % boylamsal zaman sabiti (gaz) (N/A)
tau2 = 0.07; % boylamsal zaman sabiti (fren) (N/A)

%% hız kontrol parametreleri

speedController.Kp = 1.1; % hızkontrolcü oransal kazanım
speedController.Ki = 0.1; % hızkontrolcü integral kazanım
speedController.Amax = 3; % Maksimum ivme (m/s^2)
speedController.Amin = -3; % Minimum ivme (m/s^2)
speedController.Kd = 0;
speedController.FilterCoeff = 0;

%% sürücü direksiyon kontrol parametreleri

driver.Kp = 0.2; % oransal kazanım (N/A)
driver.Ki = 0.1; % Integral kazanım (N/A)
driver.yawErrGain = 2; % Yalpa hatası kazanımı (N/A)

% veri yolu temizlemesi

```
if exist('BusActors','var')  
    clear BusActors  
    clear BusActorsActors  
end
```

%% Bus Creation

modelName = 'AEBTestOrtam';

```

wasModelLoaded = bdIsLoaded(modelName);
if ~wasModelLoaded
    load_system(modelName)
end
blk=find_system(modelName,'System','driving.scenario.internal.ScenarioReader');
s = get_param(blk{1},'PortHandles');
get(s.Outport(1),'SignalHierarchy');

% Senaryo adının bloktan ayarlanması
preserve_dirty = Simulink.PreserveDirtyFlag(modelName,'blockDiagram');
set_param(blk{1},'ScenarioFileName',scenariosNames{scenarioNumber});

% Güzergah oluşturulması (referans modelden)
refModel = 'AEBWithSensorFusionMdlRef';
wasReModelLoaded = bdIsLoaded(refModel);
if ~wasReModelLoaded
    load_system(refModel)
    blk=find_system(refModel,'System','multiObjectTracker');
    multiObjectTracker.createBus(blk{1});
    close_system(refModel)
else
    blk=find_system(refModel,'System','multiObjectTracker');
    multiObjectTracker.createBus(blk{1});
end

if ~wasModelLoaded
    close_system(modelName)
end

disp(['>>> Scenario loaded: ', scenariosNames{scenarioNumber}]);

```

ÖZGEÇMİŞ

Tevfik ATAMAN, Küçükçekmece İsmet Aktar Anadolu Teknik Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2009 yılında girdiği Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği bölümünden 2013 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2017 yılında yine Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği ABD'nda yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2017-2023 yılları arasında İstanbul Aydın Üniversitesi Otomotiv Teknolojisi bölümünde Öğretim Görevlisi olarak görev yaptı. Şu anda Çankırı Karatekin Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri bölümünde Öğretim Görevlisi olarak akademik kariyerine devam etmektedir.