



OTONOM ARAÇLAR MEVCUT DURUM ANALİZİ RAPORU



OTONOM ARAÇLAR İÇİN SÜRÜŞ MİMARİSİ VE BAĞLANTILI ARAÇ TRAFİK TEST SENARYOLARININ BELİRLENMESİ PROJESİ

Otonom Araçlar Mevcut Durum Analizi Raporu

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Haberleşme Genel Müdürlüğü

Aysel KANDEMİR	Genel Müdür
Esmâ DİLEK	Genel Müdür Yardımcısı
Murat Mustafa HARMAN	Akıllı Ulaşım Sistemleri Daire Başkanı
Özgür TALİH	Şube Müdürü
Tuğçe KAYAKÖK	Mühendis
Ertuğrul HASGÜL	Mühendis
Mehmet KIVILCIM	Mühendis

Boğaziçi Üniversitesi AUS Laboratuvarı

İlgın YAŞAR	Proje Yöneticisi-Prof.Dr.
Sarp Semih ÖZKAN	Yüksek Mühendis
Alperen TİMURÖĞÜLLARİ	Yüksek Mühendis
Volkan YILDIZ	Mühendis

TÜM HAKLARI SAKLIDIR.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'nın
izni olmadan bu yayının hiçbir kısmı elektronik ya da mekanik yollarla
(fotokopi, kayıtların ya da bilgilerin arşivlenmesi vb.) çoğaltılamaz.

Ankara, Aralık 2024

İÇİNDEKİLER

Şekiller Listesi	vi
Tablolar Listesi	xi
Türkçe Kısaltmalar Listesi	xii
İngilizce Kısaltmalar Listesi	xiii
Tanımlar	xxi
BÖLÜM I.....	1
1. GİRİŞ	1
BÖLÜM II... ..	3
2. METODOLOJİ	3
BÖLÜM III.....	4
3. OTONOM ARAÇ BİLEŞENLERİ.....	4
3.1. Radar	4
3.2. LIDAR	8
3.3. Kamera.....	10
3.4. Ultrasonik Sensör.....	11
3.5. Kızılötesi Sensör	12
3.6. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS)	13
3.7. Ataletsel Navigasyon Sistemleri	13
BÖLÜM IV.....	15
4. OTONOM ARAÇ HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİ.....	15
4.1. V2X.....	16
4.1.1. DSRC	18
4.1.2. C-V2X.....	25
4.1.3. Hibrit Yöntem	31
BÖLÜM V.....	34
5. OTONOM ARAÇ SÜRÜŞ MİMARİLERİ.....	34
5.1. Teknik Mimari	37
5.1.1. Donanım Katmanı	38
5.1.2. Yazılım Katmanı	40
5.2. İşlevsel Mimari	44
5.2.1. Algılama Aşaması	44
5.2.2. Planlama ve Karar Verme Aşaması	48
5.2.3. Hareket ve Araç Kontrolü Aşaması.....	49
5.2.4. Sistem Denetimi Aşaması	49
BÖLÜM VI.....	51

6.	TÜRKİYE’DE YÜRÜTÜLEN OTONOM ARAÇ ÇALIŞMALARI	51
6.1.	Kurum ve Kuruluşların Çalışmaları	51
6.2.	Özel Sektör Çalışmaları	55
6.3.	Girişimlerin Çalışmaları.....	64
6.4.	Akademik Çalışmalar.....	68
BÖLÜM VII.		74
7.	DÜNYADA YÜRÜTÜLEN OTONOM ARAÇ ÇALIŞMALARI	74
7.1.	Avrupa Ülkeleri	74
7.1.1.	Almanya.....	74
7.1.2.	Avusturya	84
7.1.3.	Birleşik Krallık.....	87
7.1.4.	Estonya.....	95
7.1.5.	Fransa.....	97
7.1.6.	İspanya	107
7.1.7.	İtalya	112
7.2.	ABD	115
7.2.1.	Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları.....	115
7.2.2.	Politika Belgeleri ve Raporlar.....	124
7.3.	Asya-Pasifik ve Orta Doğu Ülkeleri	126
7.3.1.	Avustralya	126
7.3.2.	Birleşik Arap Emirlikleri (BAE)	131
7.3.3.	Çin.....	133
7.3.4.	Güney Kore.....	140
7.3.5.	Japonya	146
7.3.6.	Yeni Zelanda	155
BÖLÜM VIII		157
8.	OTONOM ARAÇ TEKNOLOJİLERİNDE KULLANILAN STANDARTLAR	157
BÖLÜM IX.		179
9.	OTONOM ARAÇLARA YÖNELİK YASAL DÜZENLEMELER	179
9.1.	Birleşmiş Milletler (BM)	180
9.2.	Avrupa Ülkeleri	185
9.2.1.	Avusturya.....	185
9.2.2.	Almanya.....	186
9.2.3.	Birleşik Krallık.....	187
9.2.4.	Fransa.....	188
9.2.5.	İspanya	189

9.2.6.	İtalya	190
9.3.	ABD	191
9.4.	Asya-Pasifik Ülkeleri.....	191
9.4.1.	Avustralya.....	191
9.4.2.	Çin.....	193
9.4.3.	Güney Kore.....	194
9.4.4.	Japonya	194
9.5.	Türkiye.....	195
BÖLÜM X.		197
10.	OTONOM ARAÇLAR İÇİN TEST PROSEDÜRLERİ.....	197
10.1.	Genel Test Gereksinimleri.....	197
10.1.1.	Yasal ve Düzenleyici Uyumluluk.....	197
10.1.2.	Güvenlik ve Güvenilirlik	197
10.1.3.	Performans ve Kullanıcı Deneyimi.....	198
10.2.	Türkiye’ye Özgü Test Koşulları.....	198
10.2.1.	Altyapı Uyumluluğu	198
10.2.2.	Bölgesel Trafik Düzeni ve Davranışlar.....	198
10.2.3.	Çevresel ve İklimsel Koşullar	199
10.3.	Detaylı Test Planı	199
10.3.1.	İşlevsel Testler.....	199
10.3.2.	Güvenlik ve Acil Durum Yanıt Testleri.....	199
10.3.3.	Mevzuata Uyum Testleri.....	200
10.3.4.	Türkiye’de Bulunan K-AUS Uygulamaları ile Entegrasyon Testleri	200
10.4.	Değerlendirme Metrikleri	200
10.5.	Test Raporlama ve Dokümantasyon	200
10.6.	Son Onay ve Kamuya Açık Yol Testi.....	201
10.6.1.	Yasal Çerçevenin Belirlenmesi ve Onay Süreci.....	201
10.6.2.	Test Bölgelerinin Seçilmesi	201
10.6.3.	Test Kriterlerinin Standartlaştırılması.....	202
10.6.4.	Test Sürecinin Aşamalandırılması.....	202
10.6.5.	Gerçek Zamanlı İzleme ve Veri Toplama.....	202
10.6.6.	Toplum Farkındalığı ve Katılımı.....	202
10.6.7.	Sonuçların Değerlendirilmesi ve Sürekli İyileştirme	203
BÖLÜM XI.		204
11.	OTONOM ARAÇLARDA EMNİYET	204
11.1.	Otonom Araçlarda Emniyet Mühendisliği	205

11.2.	Otonom Araçlarda Bilgisayar Donanımı.....	205
11.3.	Otonom Araçlarda Yazılım.....	206
11.4.	Otonom Araçlarda Robotik.....	206
11.5.	Otonom Araçlarda Güvenlik.....	206
11.6.	Otonom Araçlarda Test.....	209
11.7.	Otonom Araçlarda İnsan-Bilgisayar Etkileşimi.....	210
11.8.	Otonom Araçlarda Toplumsal Kabul.....	210
11.9.	Otonom Araçlarda Yasal Zorluklar.....	210
BÖLÜM XII.		211
12.	OTONOM ARAÇLARIN POTANSİYEL ETKİLERİ	211
12.1.	Trafik Sıkışıklığına Etkileri.....	211
12.2.	Yakıt Tüketimi ve Sera Gazı Emisyonuna Etkileri	212
12.3.	Yolcu Konforuna Etkileri.....	212
12.4.	Trafik Emniyetine Katkısı.....	214
12.5.	Şehir Planlamasına Etkisi	215
12.6.	Toplu Taşımaya Etkisi.....	216
12.7.	İstihdam ve İşgücüne Etkisi	217
12.8.	Tedarik Zincirlerine ve Lojistiğe Etkisi	218
12.9.	Acil Durum Hizmetlerine Etkisi	219
BÖLÜM XIII		220
13.	SONUÇ.....	220
KAYNAKÇA		223

Şekiller Listesi

Şekil 1. Radar Çalışma Prensipleri	5
Şekil 2. Yansıma Gösterimi	5
Şekil 3. Doppler Etkisi Ambulans Örneği	6
Şekil 4. Otomotiv Radar Çeşitleri.....	7
Şekil 5. Bir Otonom Araçta Bulunması Gereken Radarlar	8
Şekil 6. Çift Yarıklı Deneyi.....	9
Şekil 7. Otonom Araçlarda LIDAR Görüşü.....	9
Şekil 8. Araç İçerisinden Kamera Görüntüsü.....	11
Şekil 9. Ultrasonik Sensör	11
Şekil 10. Kızılötesi Sensör Örnek Görüntüsü	12
Şekil 11. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS)	13
Şekil 12. Ataletsel Navigasyon Sistemlerinde Kullanılan Eksen Takımları	14
Şekil 13. V2X Haberleşme Çeşitleri.....	17
Şekil 14. Araç İçerisi Birim (OBU) Olan Bir Otonom Araç.....	19
Şekil 15. Direğe Monte Edilmiş Bir Yol Kenarı Birimi (RSU)	19
Şekil 16. DSRC Mimarisi	20
Şekil 17. WAVE Teknolojisinin Frekans Spektrumu	23
Şekil 18. ITS-G5 Frekans Spektrumu.....	24
Şekil 19. PC5 ve Uu Arayüzü	26
Şekil 20. Mod 3 ve Mod 4 Kaynak Tahsis Algoritmaları	27
Şekil 21. Üç Ana 5G Servisi	29
Şekil 22. Ağ Dilimlendirme İllüstrasyonu	30
Şekil 23. Hibrit V2X Ağları için Örnek Kaynak Tahsis	33
Şekil 24. Otonom Araç Mimarisi.....	35
Şekil 25. Otonom Araç Çalışma Prensipleri	37
Şekil 26. Platformların Enerji/Performans Karşılaştırması	43
Şekil 27. Autoware Kullanan Otonom Araçlar için Eksiksiz Yazılım Yığını	43
Şekil 28. Otonom Araç Konumlandırma Sistemi	45
Şekil 29. Otonom Araçların Algılama Sistemi.....	47
Şekil 30. TOGG T10X.....	52
Şekil 31. TOSB Otonom Araç	54
Şekil 32. OTOKAR Otonom Otobüs	56
Şekil 33. HAVELSAN Otonom İnsansız Kara Aracı “BARKAN”	57

Şekil 34. HAVELSAN Otonom İnsansız Kara Aracı “BARKAN 2”	57
Şekil 35. HAVELSAN Otonom İnsansız Kara Aracı “KAPGAN”	58
Şekil 36. LeoDrive Otonom Aracı	59
Şekil 37. TEMSA Otonom Otobüsü	60
Şekil 38. Ford Otosan Otonom Tır	62
Şekil 39. BMC Otonom Aracı “Amazon UKS”	63
Şekil 40. Otonom e-ATAK.....	63
Şekil 41. Anadolu ISUZU Otonom Otobüsü	64
Şekil 42. Eatron Otonom Aracı.....	65
Şekil 43. TRAGGER Otonom Hizmet Aracı.....	66
Şekil 44. ADASTEC Otonom Otobüsü	67
Şekil 45. numesys Otonom Sistemler	68
Şekil 46. Boğaziçi Üniversitesi Otonom Aracı “Bubble”	69
Şekil 47. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Otonom Aracı	69
Şekil 48. İstanbul Teknik Üniversitesi Otonom Aracı “Gezgin”	70
Şekil 49. Otonom Araç Çalışma Algoritması.....	72
Şekil 50. İstanbul Okan Üniversitesi Otonom Aracı.....	72
Şekil 51. Vay Otonom Aracı	75
Şekil 52. Goggo Network Carrefour Otonom Market Arabası	76
Şekil 53. LIDAR Sensörü Görüntü Örneği.....	76
Şekil 54. LIDAR Sensör Araç Tanımlaması Örnek Gösterimi	77
Şekil 55. FERNRIDE Otonom Tır.....	78
Şekil 56. Mercedes-Benz Otonom Araç Konsepti	79
Şekil 57. Audi “Yerküre” Konsept Aracı	79
Şekil 58. Audi “Gökküre” Konsept Aracı.....	80
Şekil 59. BMW G70	80
Şekil 60. Volkswagen “I.D. Vizzion” Konsept Aracı.....	81
Şekil 61. Volkswagen “Sedric” Konsept Aracı	82
Şekil 62. Porsche Otonom Sürüş Test Aracı	82
Şekil 63. dSPACE Senaryo Çoğaltma İllüstrasyonu.....	85
Şekil 64. Wayve Otonom Araçları	88
Şekil 65. Oxa Sürücü Entegre Edilmiş Bir Araç.....	89
Şekil 66. Etik CV Örneği.....	89
Şekil 67. Doğal Zekâ İllüstrasyonu.....	90

Şekil 68. Rolls-Royce 103EX.....	91
Şekil 69. Bentley EXP 100 GT	91
Şekil 70. MiCa Otonom Servis Aracı	96
Şekil 71. Olay Temelli Görüş Örneği	97
Şekil 72. EZTow Otonom Çekici.....	98
Şekil 73. EZTug Otonom Tersane Kamyonu.....	98
Şekil 74. EZ10 Otonom Servis Aracı.....	99
Şekil 75. CV Örnek Gösterimi.....	99
Şekil 76. Yazılım Örnek Gösterimi.....	100
Şekil 77. Renault Otonom Sürüş.....	101
Şekil 78. Peugeot e-EFSANE Konsepti.....	102
Şekil 79. Sofitel Seyahat.....	103
Şekil 80. Pullman Güç Sporu.....	103
Şekil 81. Jcdcaux Şehir Sağlayıcısı.....	104
Şekil 82. Citroën Kaykay.....	104
Şekil 83. Eclectic	105
Şekil 84. Sistem Gözü.....	108
Şekil 85. Örnek Navigasyon Görüntüsü	108
Şekil 86. Örnek Kamera Görüntüsü.....	109
Şekil 87. SEAT DIANA.....	110
Şekil 88. Irizar Otonom Otobüs.....	111
Şekil 89. Görsel Tanıma Örneği.....	112
Şekil 90. Maserati MC20 Cielo	113
Şekil 91. Tır Etrafındaki Görüş Örneği.....	113
Şekil 92. NVIDIA Otonom Sürüş Teknolojisi Görseli	116
Şekil 93. Waymo Otonom Araç Örnek Güzergâhı.....	117
Şekil 94. Örnek Senaryo Çözümü	118
Şekil 95. Cruise Araç Algılaması.....	118
Şekil 96. Tesla Otonom Sürüş.....	119
Şekil 97. Ford Otonom Aracı.....	120
Şekil 98. Chevrolet Bolt EUV	121
Şekil 99. Jeep Grand Cherokee 4xe Otonom Test Aracı.....	122
Şekil 100. Cadillac “İç Mekân” Konsept Aracı	123
Şekil 101. Cadillac “Sosyal Alan” Konsept Aracı	123

Şekil 102. Keolis Downer Sürücüsüz Servis	127
Şekil 103. Navigasyon Sistemine Sahip Yarış Arabası	127
Şekil 104. Sensör Görüntüsü Örneği	128
Şekil 105. “Blanc Robot” Otonom Yük Taşıma Aracı.....	129
Şekil 106. Acacus Otonom Aracı.....	131
Şekil 107. A2RL’de Yarışan Bir Otonom Yarış Arabası	132
Şekil 108. TXAI Otonom Taksi	133
Şekil 109. Momenta Otonom Araç	134
Şekil 110. WeRide Robotaksi Filosu	135
Şekil 111. WeRide Robootobüs.....	135
Şekil 112. WeRide Robovan	136
Şekil 113. WeRide Robosüpürücü	136
Şekil 114. Zongmu Technology Yazılım Test Aracı.....	137
Şekil 115. Apollo Otonom Minibüs	137
Şekil 116. Dongfeng Motor Otonom Aracı.....	138
Şekil 117. Akıllı Altyapıya Bağlı Araçların Kuşbakışı Görüntüsü	140
Şekil 118. Sanal Dünyada Sensör Uygulaması	141
Şekil 119. 4D Radar.....	141
Şekil 120. AutoL Yüksek Hassasiyetli LIDAR Görüşü.....	142
Şekil 121. a2z Kamera Görüşü	143
Şekil 122. Olası Çarpışma Önleyici Sensör İllüstrasyonu	143
Şekil 123. SsangYong Otonom Test Aracı.....	144
Şekil 124. TIER IV Yazılımı Örnek Görüntüsü	146
Şekil 125. Örnek Şeritlendirme	147
Şekil 126. Robocar SUV.....	148
Şekil 127. Robocar Mini EV Otobüs	148
Şekil 128. Hokkaido Test Gezisi.....	149
Şekil 129. Stereo Kamera Görüntüsü	149
Şekil 130. BrainIV Yapay Zekâsına Sahip Eğitim Aracı	150
Şekil 131. Toyota Otonom Sürüş	151
Şekil 132. Görme Yeteneği Sürücü Destek Teknolojisi İllüstrasyonu	151
Şekil 133. ProPilot Test Aracı.....	152
Şekil 134. Isuzu Kamera Görüşü İllüstrasyonu	153
Şekil 135. MI-PILOT Örnek Gösterimi.....	154

Şekil 136. Ohmio Otonom Aracı	156
Şekil 137. Otonom Araç Girişimlerine Genel Bakış.....	179
Şekil 138. Otonom Araçların Emniyetinin Sağlanmasında Rol Oynayan Disiplinler	204
Şekil 139. Otonom Araçlara Yönelik Potansiyel Siber Saldırı Yüzeyleri.....	207
Şekil 140. Güvenlik Yönetimi Katmanları	208
Şekil 141. Otonom Araçlarda Yolcu Konforu.....	213
Şekil 142. Otonom Otobüs Nüfuz Oranı Etkisi	217

Tablolar Listesi

Tablo 1. Anket Çalışması Kapsamında Görüşülen Paydaşlar.....	2
Tablo 2. IEEE 802.11p Standardına Göre Fiziksel Katman OFDM Parametreleri	22
Tablo 3. Otonom Araçlara Yönelik Standartlar	157
Tablo 4. Otonom Sürüş Seviyelerine Göre Görevler.....	180

Türkçe Kısaltmalar Listesi

Kısaltma	İngilizce	Türkçe
AB	European Union	Avrupa Birliği
ABD	United States of America	Amerika Birleşik Devletleri
Ar-Ge	Research and Development (R&D)	Araştırma ve Geliştirme
AUS	Intelligent Transportation Systems (ITS)	Akıllı Ulaşım Sistemleri
AUS-İ	ITS Station	AUS İstasyonu
BM	United Nations	Birleşmiş Milletler
İTÜ	Istanbul Technical University	İstanbul Teknik Üniversitesi
K-AUS	Cooperative Intelligent Transportation Systems (C-ITS)	Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri
KOBİ	Small and Medium Sized Enterprises	Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler
KVKK	Personal Data Protection Law	Kişisel Verileri Koruma Kanunu
MEAM	Mechatronics Education and Research Center	Mekatronik Eğitim ve Araştırma Merkezi
ODTÜ	Middle East Technical University	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
OTAM	Automotive Technologies Research and Development Center	Otomotiv Teknolojileri Araştırma Geliştirme Merkezi
STK	Non-Governmental Organization	Sivil Toplum Kuruluşu
TÜBİTAK	Scientific and Technological Research Council of Türkiye	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UTAS	Transportation Technologies and Intelligent Automotive Systems Application and Research Center	Ulaştırma Teknolojileri ve Akıllı Otomotiv Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi
YTÜ	Yıldız Technical University	Yıldız Teknik Üniversitesi

İngilizce Kısaltmalar Listesi

Kısaltma	İngilizce	Türkçe
3D	3 Dimensional	3 Boyutlu
3G	3rd Generation	3. Nesil
3GPP	3rd Generation Partnership Project	3. Nesil Ortaklık Projesi
4D	4 Dimensional	4 Boyutlu
4G	4th Generation	4. Nesil
5G	5th Generation	5. Nesil
5GAA	5G Automotive Association	5G Otomotiv Birliği
ACC	Adaptive Cruise Control	Adaptif Seyir Kontrolü
ACCS	Adaptive Cruise Control Systems	Adaptif Seyir Kontrol Sistemleri
AD	Autonomous Driving	Otonom Sürüş
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems	Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri
ADB	Automated Driving Bus	Otonom Sürürlü Otobüs
ADS	Automated Driving System	Otonom Sürüş Sistemi
ADSE	Automated Driving System Entity	Otonom Sürüş Sistemi Kuruluşu
AEB	Autonomous Emergency Braking	Otonom Acil Frenleme
AI	Artificial Intelligence	Yapay Zekâ
AIOTI	Alliance for Internet of Things Innovation	Nesnelerin İnterneti İnovasyonu İttifakı
AMN	Autonomous Mobility Networks	Otonom Hareketlilik Ağları
ARTS	Automated Road Transport Systems	Otonom Yol Ulaştırma Sistemleri
ASIC	Application Specific Integrated Circuit	Uygulamaya Özel Tümlşik Devre
ASIL	Automotive Safety Integrity Level	Otomotiv Emniyet Bütünlüğü Seviyesi
AV	Autonomous Vehicle	Otonom Araç

AVA	Act on Promotion and Support of Commercialization of Autonomous Vehicles	Otonom Araçların Ticarileştirilmesinin Teşviki ve Desteklenmesine Dair Kanun
AVB	Audio Video Bridging	Ses Video Köprüleme
AVSL	Automated Vehicle Safety Law	Otonom Araç Emniyeti Yasası
BDCMS	Bicyclist Detection and Collision Mitigation Systems	Bisikletli Tespit ve Çarpışma Azaltma Sistemleri
BMS	Battery Management System	Batarya Yönetim Sistemi
BMVIT	Austrian Ministry of Transport, Innovation and Technology	Avusturya Ulaştırma, Yenilik ve Teknoloji Bakanlığı
BPSK	Binary Phase Shift Keying	İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama
BSI	British Standards Institution	İngiliz Standartları Enstitüsü
BSS	Basic Service Set	Temel Hizmet Seti
CAC	Cyberspace Administration of China	Çin Siber Uzay İdaresi
CACC	Cooperative Adaptive Cruise Control	Kooperatif Adaptif Seyir Kontrolü
CAM	Connected and Automated Mobility	Bağlantılı ve Otonom Hareketlilik
CAN	Controller Area Network	Denetleyici Alan Ağı
CANFD	Controller Area Network Flexible Data-Rate	Denetleyici Alan Ağı Esnek Veri Hızı
CAV	Connected and Autonomous Vehicle	Bağlantılı ve Otonom Araç
CCAV	Centre for Connected and Autonomous Vehicles	Bağlantılı ve Otonom Araçlar Merkezi
CNN	Convolutional Neural Network	Evrişimli Sinir Ağı
COAG	Council of Australian Governments	Avustralya Hükümetleri Konseyi
CPS	Collective Perception Service	Toplu Algı Hizmeti
CSMA	Carrier-Sense Multiple Access	Taşıyıcı Duyarlı Çoklu Erişim
CV	Computer Vision	Bilgisayarlı Görü
C-V2X	Cellular Vehicle-to-Everything	Hücrel Ağ Üzerinden Araçtan Her Şeye

DCC	Decentralized Congestion Control	Merkezi Olmayan Tıkanıklık Kontrolü
DL	Deep Learning	Derin Öğrenme
DNN	Deep Neural Network	Derin Sinir Ağı
DSP	Digital Signal Processing	Dijital Sinyal İşleme
DSRC	Dedicated Short Range Communications	Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme
E/E	Electrical and Electronical	Elektrik ve Elektronik
eCAV	Electric, Connected and Autonomous Vehicle	Elektrikli, Bağlantılı ve Otonom Araç
ECU	Electronic Control Unit	Elektronik Kontrol Ünitesi
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access	Gelişmiş Dağıtık Kanal Erişimi
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	Gelişmiş Mobil Geniş Bant
eNB/eNodeB	Enhanced Universal Terrestrial Radio Access Network	Gelişmiş Evrensel Karasal Radyo Erişim Ağı
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü
EV	Electric Vehicle	Elektrikli Araç
FCC	Federal Communications Commission	Federal Haberleşme Komisyonu
FFT	Fast Fourier Transform	Hızlı Fourier Donüşümü
FLUS	Framework for Live Uplink Streaming	Canlı Yukarı Bağlantı Yayını için Çerçeve
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave	Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga
FOV	Field of View	Görüş Alanı
FPGA	Field Programmable Gate Array	Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi
FV	Frequency Resource	Frekans Kaynağı
FVCWS	Forward Vehicle Collision Warning Systems	Önden Araç Çarpışma Uyarı Sistemleri

GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit	Almanya Uluslararası İş Birliği Kurumu
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema	Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
GNSS	Global Navigation Satellite System	Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
GPS	Global Positioning System	Küresel Konumlandırma Sistemi
GPU	Graphics Processing Unit	Grafik İşlemci Birimi
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request	Hibrit Otomatik Tekrar İsteği
HDAS	Humanised Driver Assistant System	İnsanlaştırılmış Sürücü Destek Sistemi
HMI	Human Machine Interface	İnsan Makine Arayüzü
HSM	Hardware Safety Module	Donanım Emniyet Modülü
IBSS	Independent Basic Service Set	Bağımsız Temel Hizmet Seti
ICV	Intelligent and Connected Vehicle	Akıllı ve Bağlantılı Araç
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IMS	IP Multimedia Subsystem	IP Multimedya Alt Sistemi
IMT	International Mobile Telecommunications	Uluslararası Mobil Telekomünikasyon
IMU	Inertial Measurement Unit	Ataletsel Ölçüm Birimi
IoT	Internet of Things	Nesnelerin İnterneti
IP	Internet Protocol	İnternet Protokolü
IPE	IPv6 Gelişmiş İnovasyon	IPv6 Enhanced Innovation
ISO	International Organization for Standardization	Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
ITS G5	Frequency Band for Intelligent Transportation Systems	Akıllı Ulaşım Sistemleri için Frekans Bandı
ITU	International Telecommunication Union	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği

ITU-T	International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Telekomünikasyon Standardizasyon Sektörü
LDWS	Lane Departure Warning Systems	Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemleri
LIDAR	Light Detection and Ranging	Lazer Algılama ve Mesafe Belirleme
LIN	Local Interconnect Network	Yerel Bağlantı Ağı
LOS	Line of Sight	Görüş Hattı
LRR	Long Range Radar	Uzun Menzilli Radar
LSAD	Low-speed Automated Driving	Düşük Hızlı Otonom Sürüş
LSADS	Low-speed Automated Driving System	Düşük Hızlı Otonom Sürüş Sistemi
LTE	Long Term Evolution	Uzun Süreli Gelişim
MAC	Medium Access Control	Ortam Erişim Kontrolü
MBMS	Multimedia Broadcast/Multicast Service	Multimedya Yayın/Çoklu Yayın Hizmeti
MEC	Multi Access Edge Computing	Çoklu Erişim Uç Bilişimi
MIIT	Ministry of Industry and Information Technology	Sanayi ve Bilgi Teknolojileri Bakanlığı
ML	Machine Learning	Makine Öğrenmesi
mMTC	Massive Machine Type Communication	Büyük Makine Tipi Haberleşme
MNO	Mobile Network Operator	Mobil Ağ Operatörü
MOLIT	Ministry of Land, Infrastructure and Transport	Güney Kore Arazi, Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı
MOT	Ministry of Communications of the People's Republic of China	Çin Halk Cumhuriyeti Ulaştırma Bakanlığı
MOTIE	Ministry of Trade, Industry and Energy	Güney Kore Ticaret, Sanayi ve Enerji Bakanlığı
MPDM	Multi-Policy Decision Making	Çok Politikalı Karar Verme
MPS	Ministry of Public Security	Kamu Güvenliği Bakanlığı

MRR	Medium Range Radar	Orta Menzilli Radar
MSD	Momenta Self Driving	Momenta Otonom Sürüş
MTSI	Multimedia Telephony Service for IMS	IMS için Multimedya Telefon Hizmeti
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program	Ulusal Kooperatif Karayolu Araştırma Programı
NDRC	National Development and Reform Commission	Ulusal Kalkınma ve Reform Komisyonu
NFV	Network Function Virtualization	Ağ Fonksiyonu Sanallaştırma
NGMN	Next Generation Mobile Networks	Yeni Nesil Mobil Şebekeler
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration	Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi
NR	New Radio	Yeni Radyo
OBU	On-board Unit	Araç Üstü Birim
ODD	Operational Design Domain	Operasyonel Tasarım Alanı
OEDR	Object and Event Detection and Response	Nesne ve Olay Algılama ve Yanıt
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access	Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
PADS	Partially Automated In-Lane Driving Systems	Kısmen Otonom Şerit İçi Sürüş Sistemleri
PALS	Partially Automated Lane Change Systems	Kısmen Otonom Şerit Değiştirme Sistemleri
PCL	Point Cloud Library	Nokta Bulutu Kütüphanesi
PDCMS	Pedestrian Detection and Collision Mitigation Systems	Yaya Algılama ve Çarpışma Azaltma Sistemleri
PKI	Public Key Infrastructure	Açık Anahtar Altyapısı
PSAP	Public Safety Answering Point	Kamu Güvenliği Yanıtlama Noktası
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Dörtlü Genlik Modülasyonu
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama

RAN	Radio Access Network	Radyo Erişim Ağı
RBDPS	Road Boundary Departure Prevention Systems	Yol Sınırından Ayrılmayı Önleme Sistemleri
RNN	Recurrent Neural Network	Tekrarlayan Sinir Ağı
ROS	Robot Operating System	Robot İşletim Sistemi
RSU	Roadside Unit	Yol Kenarı Birimi
RTK	Real Time Kinematics	Gerçek Zamanlı Kinematik
RTOS	Real Time Operating Systems	Gerçek Zamanlı İşletim Sistemleri
SAC	Standardization Administration of China	Çin Standardizasyon İdaresi
SAE	Society of Automotive Engineers	Otomotiv Mühendisleri Topluluğu
SAREF	Smart Applications REference Ontology	Akıllı Uygulamalar Referans Ontolojisi
SDN	Software-Defined Networking	Yazılım Tanımlı Ağ
SIP	Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program	Bakanlıklar Arası Stratejik İnovasyon Teşvik Programı
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping	Eşzamanlı Yerelleştirme ve Haritalama
SMARTM2M	Smart Machine-to-Machine Communications	Akıllı Makineden Makineye Haberleşme
SoC	System-on-Chip	Sistem-Üzerinde-Çip
SOTIF	Safety of the Intended Functionality	Amaçlanan İşlevselliğin Emniyeti
SRR	Short Range Radar	Kısa Menzilli Radar
SST	Slice/Service Type	Dilim/Hizmet Tipi
SUV	Sport Utility Vehicle	Spor Kullanımlı Araç
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protokol	İletim Kontrol Protokolü/İnternet Protokolü
TPMS	Tire-Pressure Monitoring System	Lastik Basınç Göstergesi
TRB	Transportation Research Board	Ulaştırma Araştırma Kurulu
TRL	Technology Readiness Level	Teknoloji Hazırlık Seviyesi

UE	User Equipment	Kullanıcı Ekipmanı
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication	Ultra Güvenilir Düşük Gecikmeli Haberleşme
USB	Universal Serial Bus	Evrensel Seri Veriyolu
USRR	Ultra Short Range Radar	Ultra Kısa Menzilli Radar
V2I	Vehicle-to-Infrastructure	Araçtan Altyapıya
V2N	Vehicle-to-Network	Araçtan Ağa
V2P	Vehicle-to-Pedestrian	Araçtan Yayaya
V2V	Vehicle-to-Vehicle	Araçtan Araca
V2X	Vehicle-to-Everything	Araçtan Her Şeye
VPN	Virtual Private Network	Sanal Özel Ağ
VRU	Vulnerable Road Users	Savunmasız Yol Kullanıcıları
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments	Araç Ortamları için Kablosuz Erişim
WLAN	Wireless Local Area Network	Kablosuz Yerel Alan Ağı

Tanımlar

- Akıllı Ulaşım** : Mevcut ve yenilikçi teknolojiler ile iyi tasarlanmış stratejilerin ulaşımın tüm alanlarına entegre edilmesiyle iyi yönetilen, verimli, emniyetli, konforlu, ekonomik, adil ve güvenli hareketliliğin tesis edilmesidir.
- Açık Test Alanı** : Araç, haberleşme, güvenlik vb. alanlarda geliştirilen teknolojilerin test edildiği trafiğe açık test sahasıdır.
- Akıllı Şehir** : Şehrin planlamasını, yönetimini, inşasını ve akıllı hizmetleri kolaylaştıracak nesnelerin interneti (IoT), bulut bilişim, büyük veri ve entegre coğrafi bilgi sistemleri gibi yeni nesil bilgi iletişim teknolojilerinin uygulandığı yeni bir modeldir. Veri toplamak için farklı türde elektronik IoT unsurları ve sensörleri kullanan; varlıkları, kaynakları ve hizmetleri verimli bir şekilde yönetmek için bu sensörlerden elde edilen bilgileri kullanan kentsel bir alandır.
- Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)** : Trafiği yönetmek, ulaşım ağlarını optimize etmek ve ulaşım sistemlerinin verimliliğini, güvenliğini, sürdürülebilirliğini, erişilebilirliğini ve entegrasyonunu artırmak için kullanılan bilgi ve iletişim teknolojisi tabanlı sistemlerdir.
- AlexNet** : Görüntü tanıma görevlerinde son teknoloji ürünü performans elde ederek bilgisayarlı görü (CV) alanını önemli ölçüde geliştiren çığır açan bir derin öğrenme (DL) mimarisidir. Bu evrimsel sinir ağı (CNN) 2012 yılında tanıtılmıştır ve o zamandan bu yana DL modellerinde çok sayıda iyileştirme ve varyasyona ilham kaynağı olmuştur. Görüntü tanıma için çığır açan bir DL mimarisidir.
- Araç Arıza Tespit Cihazı (OBD-II)** : Motorlu taşıtlarda kullanılan bir araç teşhis ve izleme sistemidir. OBD-II, araçtaki motor, şanzıman, emisyon sistemi gibi çeşitli bileşenleri izler ve arıza ya da performans sorunlarını tespit eder.
- Araç İçi Birim (OBU)** : Araçta yer alan GPS ve diğer sensörler aracılığıyla aracın konumunu ve durumunu belirleyen, kablosuz iletişim teknolojileri aracılığıyla diğer cihazlarla iletişim kurabilen; araca sabitlenmiş ya da araçla birlikte verilen birim/donanımdır.

- Araçtan (V2N)*** ***Ağa*** : Araçların hücresel ağları kullanarak internet bağlantısı kurmasını sağlayan bir hücresel araçtan her şeye (C-V2X) bağlantı şeklidir. V2N; araçlar, altyapı, bulut, veri merkezi ve merkez arasında hücresel ağ üzerinden kurulan haberleşmedir.
- Araçtan Altyapıya (V2I)*** : Motorlu araç kazalarını önlemek veya azaltmak ve aynı zamanda emniyet, güvenlik, hareketlilik ve çevresel faydalar sağlamak amacıyla araçlar ve karayolu altyapısı arasında kritik güvenlik ve operasyonel verilerin kablosuz alışverişidir.
- Araçtan (V2V)*** ***Araca*** : Aracın yakındaki araçlarla gerçek zamanlı veri alışverişidir. V2V, araçların çok yönlü mesajlar yayınlamasına ve almasına olanak tanıyarak yakındaki diğer araçlar hakkında 360 derecelik bir “farkındalık” oluşturmaktadır.
- Araçtan Her Şeye (V2X)*** : Bir aracın çevresindeki olası herhangi bir iletişim ortağıyla kablosuz, gerçek zamanlı veri iletişimidir. Modern kablosuz haberleşme teknolojileri, araçların; herhangi bir zamanda, herhangi bir yerden, herhangi bir ağ altyapısına bilgi iletmesine ve bilgi almasına olanak sağlamaktadır. Araçtan araca (V2V), araçtan altyapıya (V2I), araçtan yayaya (V2P), araçtan ağa (V2N), V2X’in türleri arasındadır.
- Araçtan (V2P)*** ***Yayaya*** : Yürüyen insanlar, bebek arabasıyla götürülen çocuklar, tekerlekli sandalye veya diğer hareketlilik cihazları kullanan kişiler, otobüs ve trenlere binen ve inen yolcular ve bisiklete binen insanlar dahil olmak üzere geniş bir araç-yaya grubunu kapsayan iletişim türüdür. V2P, bir araç ile bir yaya veya yakın mesafedeki birden fazla yaya arasında doğrudan iletişimi içermektedir.
- Bağlantılı Araç*** : Sürücüyle, yoldaki diğer araçlarla, yol kenarı altyapısıyla ve bulut aracılığıyla diğer sistem ve hizmetlerle iletişim kurmak için farklı haberleşme teknolojilerini kullanan araçtır.
- Bulut Bilişim*** : Bilgisayarlar ve diğer cihazlar için, istendiği zaman kullanılabilen ve kullanıcılar arasında paylaşılan bilgisayar kaynakları sağlayan, internet tabanlı bilişim hizmetlerinin genel adıdır.

- Denetleyici Alan** : OBD-II araç teşhis standardında kullanılan özellikle otomotiv uygulamaları için tasarlanmış mesaj tabanlı protokoldür.
- Ağı (CAN)**
- Gelişmiş Sürücü** : Araç sürücülerine izleme, uyarı ve frenleme gibi birçok alanda bilgi ve sürüş desteği sağlayarak araç ile yol emniyet ve güvenliğini artırmayı amaçlayan sistemlerdir.
- Destek Sistemleri (ADAS)**
- Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS)** : Dünya'daki ve Dünya yakınındaki GPS alıcılarına, en az dört GPS uydusunu görebilmeleri şartıyla coğrafi konum ve saat bilgisi sağlayan küresel uydu navigasyon sistemlerinden biridir.
- Hareketlilik** : Özgürce hareket edebilme yeteneğidir. İnsanları, malları ve hizmetleri hareket ettirme yeteneği ve kolaylığıdır.
- Hücrel Haberleşme** : 3G, 4G, 5G, 6G tabanlı mobil iletişimdir. Uluslararası mobil telekomünikasyon (IMT) spektrum bantlarında uzun menzilli iletişimdir.
- Hücrel Ağ Üzerinden Araçtan Her Şeye (C-V2X)** : Araçlara, hücrel sistemler üzerinden düşük gecikmeli olarak V2V, V2I, V2P kısaca V2X iletişim sunmak için tasarlanmış birleşik bir bağlantı platformudur.
- IEEE 1609.2** : WAVE yönetim mesajlarını ve uygulama mesajlarını güvence altına alma yöntemlerini içeren standarttır. Çekirdek güvenlik işlevlerini desteklemek için gerekli yönetim işlevleri de açıklanmaktadır.
- IEEE 802.11** : IEEE 802 yerel alan ağı (LAN) teknik standartlar setinin bir parçasıdır ve kablosuz yerel alan ağı (WLAN) bilgisayar haberleşmesini uygulamak için ortam erişim kontrolü (MAC) ve fiziksel katman (PHY) protokolleri setini belirtir.

- IEEE 802.11bd** : IEEE 802.11-2020 standardının bir parçası haline gelen ve ITS-G5 ETSI standartları seti için erişim katmanı temeli olan mevcut IEEE 802.11p değişikliğinin evrimsel iyileştirmesidir. Evrimsel doğası sayesinde IEEE 802.11p tabanlı sistemlerden yumuşak ve kademeli bir geçişe izin verir; bu yeni standardın temel gereksinimleri, bir arada bulunma ve geriye dönük uyumluluktur. Mevcut IEEE 802.11p ve yeni IEEE 802.11bd (NGV, Next Generation V2X) istasyonlarının birlikte çalışmasına, otomotiv WLAN standardının iyileştirilmesine, kanallarda ve kanallar arasında sorunsuz çalışabilirliğe izin verir.
- IEEE 802.11p** : Araç iletişim sistemlerine kablosuz erişim özelliğini eklemek için IEEE 802.11 standardında yapılmış değişiklikler sonucunda oluşturulmuştur. Otomotiv ve AUS uygulamalarını desteklemek için özel olarak tasarlanmış kısa mesafeli WLAN iletişimini kapsamaktadır.
- İnternet Protokolü Sürüm 6 (IPv6)** : İnternet'in ağ katmanı için standart protokol paketidir. Adres tükenmesi, güvenlik, otomatik yapılandırma, genişletilebilirlik vb. birçok özelliğe gelişme sağlamıştır.
- Jiroskop** : Cisimlerin açısal hızını ve hareketini ölçmek için kullanılan bir sensördür.
- Kapalı Test Alanı** : Araç, haberleşme, güvenlik vb. alanlarda geliştirilen teknolojilerin test edildiği trafiğe kapalı test sahasıdır.
- Kooperatif Farkındalık** : Yol kullanıcılarının ve yol kenarı altyapısının; birbirlerinin konumu, dinamik verileri ve nitelikleri hakkında bilgilendirilmesidir.
- Kooperatif Adaptif Seyir Kontrolü (CACC)** : ACC'nin bir uzantısıdır. CACC, boyuna doğrultuda otonom araç kontrolünü gerçekleştirir. Öndeki aracın uzaklığını elde etmek için radar, kamera ve/veya LIDAR ölçümlerini kullanan ACC'ye ek olarak öndeki aracın ivmesi de geri besleme döngüsünde kullanılır. Bağlantılı ve otonom araçların kooperatif bir şekilde sürülmesine izin veren CACC; trafik akışını artırır, yakıt tüketimini azaltır ve bir araç katarının güvenli bir şekilde seyahat etmesini sağlar.
- LIDAR** : Lazer darbeleri kullanılarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını anlamaya yarayan algılama teknolojisidir.

- Uzun Süreli** : 4G olarak da bilinen LTE, 3G'den daha yüksek bant genişliği ve daha düşük gecikme ile günlük hayatta hızlı ve kaliteli bir altyapı sağlamasının yanı sıra, güvenlik uygulamalarını da bir adım öteye taşıyan bir teknolojidir.
- Gelişim (LTE)**
- Ortam Erişim** : Hangi ağ ögesinin hangi zaman aralığında ağ ortamına (örneğin kabloya) veri aktarabileceğini belirleyen bir alt katmandır.
- Kontrolü (MAC)**
- Otonom Araç** : Sürücü müdahalesine ihtiyaç duymadan radar, LIDAR, GPS, odometre, yapay zekâ, sensörler, kameralar vb. teknolojileri kullanarak çevresindeki nesneleri algılayan, gerçek zamanlı verileri kullanarak hareket edebilen, sürücü desteğinden tam otomasyona kadar belirli otomasyon seviyelerinde otonom olarak hareket edebilen araçtır.
- Otonom Sürüş** : Bir aracın sürücü müdahalesi olmadan çevresel verileri algılayarak ve analiz ederek araçtaki donanımlar ve teknolojiler yardımıyla kendi kendine hareket edebilme yeteneğidir. Bu teknoloji; sensörler, kameralar, radarlar ve yapay zekâ algoritmaları kullanarak aracın güvenli bir şekilde seyretmesini sağlamaktadır. Otonom sürüş, Seviye 0'dan Seviye 5'e kadar değişen otonomluk seviyelerine sahiptir. Seviye 0 tamamen manuel kontrolü ifade ederken, Seviye 5 tam otonom sürüşü, yani insan müdahalesine gerek duymayan sürüşü temsil etmektedir.

Otonom Sürüş : “**Seviye 0 (Otomasyon Yok):** Araç tamamen sürücü kontrolündedir ve otomasyon yoktur.

Seviyeleri

Seviye 1 (Sürücü Destek): Araç, hız kontrolü veya direksiyon yardımı gibi tek bir işlevi otomatikleştirir, ancak sürücü her zaman kontrol altındadır.

Seviye 2 (Kısmi Otomasyon): Araç hem direksiyon hem de hız kontrolünü üstlenebilir, fakat sürücü yine de aracı izlemek ve gerektiğinde müdahale etmek zorundadır.

Seviye 3 (Koşullu Otomasyon): Araç belirli koşullarda sürüşü tamamen devralabilir, ancak sürücü gerektiğinde kontrolü devralmaya hazır olmalıdır.

Seviye 4 (Yüksek Otomasyon): Araç çoğu sürüş senaryosunda tamamen otonom olabilir, sürücünün müdahalesine genellikle gerek yoktur, ancak bazı zor koşullar için yine de manuel kontrol gerekebilir.

Seviye 5 (Tam Otomasyon): Araç her koşulda tamamen otonom çalışır ve sürücüye hiç ihtiyaç duyulmaz.”

Radar : Nesneleri tespit etmek, hızlarını değerlendirmek ve hareketlerini gerçek zamanlı olarak izlemek için radyo dalgalarını kullanan bir teknolojidir. Bir hedefe göre göreceli mesafeyi ve göreceli hızı ölçen elektromanyetik sensördür.

Siber Güvenlik : Siber uzayı oluşturan bilişim sistemlerinin saldırılardan korunmasını, bu ortamda işlenen bilginin gizliliği, bütünlüğü ve erişilebilirliğinin güvence altına alınmasını, saldırıların ve siber olayların tespit edilmesini, bu tespitlere karşı tepki mekanizmalarının devreye alınmasını ve sonrasında ise sistemlerin yaşanan siber olay öncesi durumlarına geri döndürülmesini kapsayan faaliyetler bütünüdür.

Siber Saldırı : Siber uzaydaki bilişim ve endüstriyel kontrol sistemlerinin veya bu sistemler tarafından işlenen bilginin gizliliği, bütünlüğü veya erişilebilirliğini ortadan kaldırmak amacıyla, siber uzayın herhangi bir yerindeki kişi veya bilişim sistemleri tarafından kasıtlı olarak yapılan işlemlerdir.

- Tahsis Edilmiş** : Karayolundaki araçlar için tasarlanmış, araçların birbiriyle, diğer yol kullanıcılarıyla ve yol kenarındaki donanımlarla çift yönlü haberleşmesini sağlayan kısa veya orta menzilli kablosuz haberleşme teknolojisidir.
- Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC)**
- Trafik Simülasyonu** : Ulaşım sistemlerinin planlanması, tasarlanması ve işletilmesine daha iyi yardımcı olmak için bilgisayar yazılımlarının uygulanması yoluyla ulaşım sistemlerinin (örneğin, otoyol kavşakları, arter güzergahları, döner kavşaklar vb.) matematiksel olarak modellenmesidir.
- Trafik Yönetimi** : Yayalar, bisikletliler ve her türlü araç dahil olmak üzere hem sabit hem de hareketli trafiğin organizasyonu, düzenlenmesi, yönlendirilmesi ve kontrol edilmesidir. Trafik yönetimi, kişilerin ve yüklerin güvenli, düzenli ve verimli bir şekilde hareket etmesini sağlamayı ve trafik tesisleri üzerindeki ve bitişindeki yerel çevrenin kalitesini korumayı ve mümkün olduğunda geliştirmeyi amaçlamaktadır.
- Uç Bilişim** : Hesaplama ve veri depolamayı yanıt sürelerini iyileştirmek ve bant genişliğinden tasarruf etmek için ihtiyaç duyulan konuma yaklaştıran dağıtık bir bilgi işlem paradigmasıdır.
- Uu Referans Noktası** : Bir kullanıcı ekipmanı (UE) ile bir baz istasyonu (4G'de eNodeB veya 5G'de gNodeB) arasındaki arayüzdür ve radyo erişim ağı (RAN) üzerinden iletişimi kolaylaştırır. UE ile çekirdek ağ arasında sinyalleme, veri iletimi ve kontrol mesajları gibi görevleri yönetir.
- Adaptif Seyir Kontrolü (ACC)** : Öndeki araçla güvenli mesafeyi korumak için araç hızını dinamik ve otomatik olarak ayarlayan sistemdir.
- Yapay Zekâ (AI)** : Bir bilgisayarın veya başka bir makinenin, öğrenme, mantıksal çıkarım, muhakeme etme, geçmiş deneyime dayanarak kararlar alma, yetersiz ya da çelişkili bilgilere dayanarak konuşulan dili anlama yeteneği gibi insan zekâsı ile ilgili eylemleri gerçekleştirmeye yönelik bilgisayar bilim dalıdır.
- Yol Kenarı Birimi (RSU)** : Yol boyunca yerleştirilmiş araçlarla merkezlerle ve birbiriyle haberleşebilen donanımdır.

1. GİRİŞ

Son yıllarda dünyada, günlük hayatımızın çeşitli yönlerinde devrim yaratan teknolojilerde hızlı bir ilerleme kaydedildi. Ulaştırma alanında ufuktaki en umut verici ve dönüştürücü yeniliklerden biri ise otonom araçların ortaya çıkışı olmuştur. Sürücüsüz araçlar olarak da bilinen bu son teknoloji araçlar; işe gidip gelme, seyahat etme ve ulaşım sistemleriyle etkileşimimizi yeniden şekillendirebilme potansiyeline sahiptir.

Otonom araçlar; yapay zekâ (AI), sensör teknolojisi gibi ileri düzey teknolojilerde onlarca yıllık araştırma, geliştirme ve atılımların ortak noktasıdır. Bu araçlar, çevrelerini algılamak ve insan müdahalesi olmadan güvenli bir şekilde gezinmek için gelişmiş bir sensörler, kameralar, radar, LIDAR ve yüksek güçlü bilgi işlem sistemlerinden oluşan bir ağ kullanır. Bu atılım, yol güvenliğini artırmayı, trafik sıkışıklığını azaltmayı ve hareketliliğe erişimi kısıtlı olanlar da dahil olmak üzere tüm bireyler için ulaşım erişilebilirliğini arttırmayı vaat eder.

Ulaşım verimliliğine ek olarak otonom araçlar başka alanlarda da gelişme vaat etmektedir. İleride şehir planlamasını, lojistiği ve hatta bireysel araç sahipliğiyle olan ilişkimizi yeniden şekillendirebilecektir. Sürücüsüz araç filoları ile araç paylaşım hizmetleri olasılığı, park halindeki araçların kapladığı alanı serbest bırakarak ve yeni kentsel tasarım olanakları sağlayarak şehirleri dönüştürme potansiyeline sahiptir. Tüm bu avantajlara rağmen, otonom araçların yaygınlaşması için bazı engellerin aşılması gerekmektedir. Yasal ve düzenleyici çerçeveler, siber güvenlikle ilgili endişeler ve halkın kabulü, ele alınması gereken önemli hususlar olmaya devam etmektedir. Ayrıca otonom araçların karıştığı ölümlü trafik kazaları gibi durumlarda, karar verme algoritmalarını çevreleyen etik hususlar, tam otonom araç düşüncesine giden yolda, dikkatli bir şekilde ilerlemenin önemini vurgulamaktadır. Bu zorluklara rağmen birçok ülkede ve kurum/kuruluş bünyesinde, otonom araç çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmaların büyük çoğunluğu prototip aşamasındadır. Bu nedenle gerçek trafik koşullarında, yol kullanıcılarına karşı güvenlik riski oluşturmaması için bu prototiplerin uzun ve kapsamlı bir test aşamasından geçmesi gerekmektedir. Bu testleri gerçekleştirmek amacıyla kapalı ve açık test merkezlerinin kurulması ve test senaryolarının belirlenmesi önem arz etmektedir.

Ülkemizde yürütülen olan otonom araç çalışmaları hakkında bilgi edinmek, bu çalışmaları yürüten kurum ve kuruluşların ihtiyaçlarını belirlemek ve önerilerini almak için sektörden 28 kurum ve AUS hizmet kullanıcıları ile anket görüşmeleri yapılmıştır. Paydaşlardan elde edilen bilgiler ve gerçekleştirilen detaylı literatür taraması kapsamında, otonom araçlara ilişkin mevcut durum ortaya çıkarılmıştır. Anket görüşmesi yapılan paydaşlar, Tablo 1’de mevcuttur.

Tablo 1. Anket Çalışması Kapsamında Görüşülen Paydaşlar

ANKET ÇALIŞMASI KAPSAMINDA GÖRÜŞÜLEN PAYDAŞLAR					
Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı	Haberleşme Genel Müdürlüğü	Strateji Geliştirme Başkanlığı	Ulaştırma Hizmetleri Düzenleme Genel Müdürlüğü		
Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı					
Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı					
İçişleri Bakanlığı					
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı					
Adalet Bakanlığı	Kişisel Verileri Koruma Kurumu				
AUS hizmeti sunan ya da planlayan, geliştiren, işleten, bakımını yapan kamu kurum ve kuruluşları	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu	Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Daire Başkanlığı	Karayolları Genel Müdürlüğü	Jandarma Genel Komutanlığı Trafik Daire Başkanlığı	
Yerel yönetimler	İstanbul Büyükşehir Belediyesi				
Üniversiteler	İstanbul Teknik Üniversitesi	Marmara Üniversitesi-VeNIT Laboratuvarı		İstanbul Okan Üniversitesi	
Sivil toplum kuruluşları	Türkiye Akıllı Ulaşım Sistemleri Derneği		Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası		
Özel sektör kuruluşları	LeoDrive	OTOKAR	TURKCELL	TEMSA	FORD
	ADASTEC	HAVELSAN	ASELSAN	Anadolu İsuзу	Türk Telekom
	ULAK Haberleşme				
AUS hizmet kullanıcıları	Yayalar	Bisikletliler	Sürücüler	Savunmasız yol kullanıcıları	Yolcular

2. METODOLOJİ

Otonom Araçlar Mevcut Durum Analizi Raporu on iki bölümden oluşmaktadır. **İlk bölümde;** otonom araçlar konusunda genel bir giriş yapılmıştır ve anket görüşmesi yapılan paydaşlar hakkında bilgi verilmiştir. **İkinci bölümde;** raporun metodolojisine ilişkin bilgiler verilmiştir. **Üçüncü bölümde;** otonom araçlarda kullanılan bileşenler açıklanmıştır. **Dördüncü bölümde;** otonom araçlarda kullanılan haberleşme teknolojileri ele alınmıştır. **Beşinci bölümde;** otonom araç sürüş mimarileri, teknik ve işlevsel açıdan incelenmiştir. **Altıncı bölümde** Türkiye’de yürütülen otonom araç çalışmaları açıklanmıştır. **Yedinci bölümde;** dünyada yürütülen otonom araç çalışmaları incelenmiştir. Avrupa’dan yedi ülkede (Almanya, Avusturya, Birleşik Krallık, Estonya, Fransa, İspanya ve İtalya), ABD’de, Asya-Pasifik ve Orta Doğu’dan altı ülkede (Avustralya, Birleşik Arap Emirlikleri (BAE), Çin, Güney Kore, Japonya ve Yeni Zelanda), otonom araç geliştirme çalışmalarına yönelik yayımlanan politika belgeleri ve raporlar incelenmiştir. Bu belgelerin yanı sıra bu ülkelerde devam eden projelere yer verilmiştir. **Sekizinci bölümde;** otonom araç teknolojilerine yönelik standartlar araştırılmış ve kısaca açıklanmıştır. **Dokuzuncu bölümde;** otonom araçlara yönelik gerekli yasal düzenlemeler konusunda, uluslararası mevcut durum incelenmiştir. **Onuncu bölümde;** otonom araçlar için test prosedürleri özetlenmiştir. **On birinci bölümde;** otonom araçların emniyetinin sağlanmasında rol alan disiplinler ve aralarındaki etkileşimlere dair bilgiler verilmiştir. **On ikinci bölümde;** otonom araçların potansiyel etkilerine yer verilmiştir. **On üçüncü ve son bölümde** ise otonom araçlar konusunda, raporda yer alan bilgilerin özetlendiği ve Türkiye’nin otonom araç teknolojilerinde ilerlemesine yönelik öneriler içeren raporun sonuç bölümü yer almaktadır.

3. OTONOM ARAÇ BİLEŞENLERİ

Otonom araçlar, güvenli ve etkili bir şekilde çalışabilmek için çeşitli algılama teknolojilerine ihtiyaç duyar. Bu teknolojiler; aracın çevresini hassas bir şekilde algılamasını, diğer araçlar, yayalar ve engeller gibi unsurları tespit etmesini ve doğru bir şekilde konumlandırmasını sağlar. Algılama teknolojileri, farklı hava ve yol koşullarında bile yüksek performans sunarak araçların güvenli bir şekilde hareket etmesine ve karmaşık trafik durumlarında bile doğru kararlar almasına olanak tanır. Ayrıca bu sistemler aracın hızını, yönünü ve durma mesafesini ayarlayarak olası kazaları önceden tahmin edebilir ve gerekli önlemleri alabilir. Bu sayede otonom araçlar, yol güvenliğini artırırken aynı zamanda trafiğin akıcılığını ve genel sürüş deneyimini de optimize eder. Teknolojik gelişmeler, bu algılama sistemlerinin daha da gelişmesini sağlayarak otonom araçların her türlü yol ve çevre koşulunda sorunsuz bir şekilde çalışmasına katkıda bulunur. Böylece gelecekte otonom araçların günlük hayatımızda daha yaygın bir şekilde kullanılması ve ulaşım sistemlerinde çığır açması hedeflenmektedir.

3.1. Radar

Radar; nesneleri tespit etmek, hızlarını değerlendirmek ve hareketlerini gerçek zamanlı olarak izlemek için radyo dalgalarını kullanan bir teknolojidir. Radar, vurduğu hedeflerin özelliklerini belirlemek için radyo dalgalarını kullanır. Bu özellikler arasında varlık, uzaklık, hız, yön ve büyüklük bulunur. Bir radar sistemi, en basit ve genel haliyle radyo sinyallerini gönderen bir vericiden ve hedeflerden yansıyan enerjiyi yakalayan bir alıcıdan oluşur (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2023). Radar teknolojisi; havacılık, meteoroloji, savunma, navigasyon, otomotiv ve daha fazlasını içeren çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Radarın çalışma prensibi Şekil 1’de gösterilmektedir (SkyRadar, 2019).

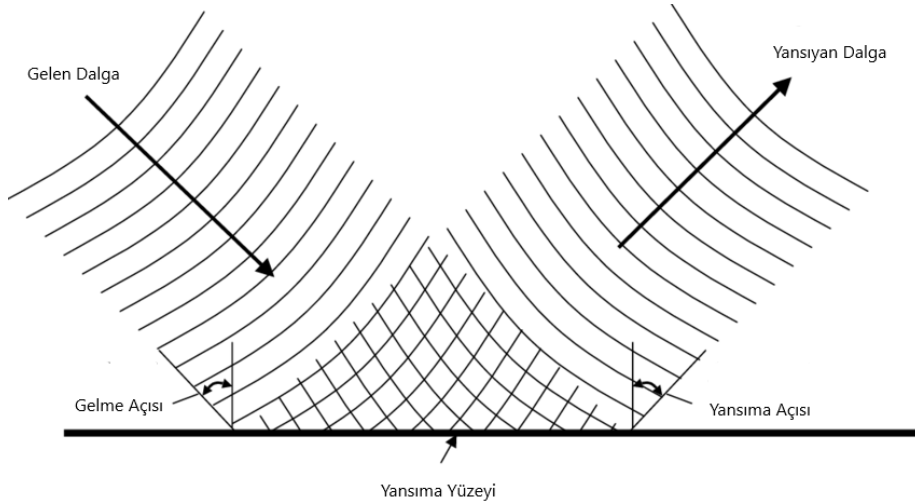


Şekil 1. Radar Çalışma Prensibi

Radar teknolojisinde yer alan bilim, yansıma ve Doppler ile açıklanabilmektedir:

- Yansıma

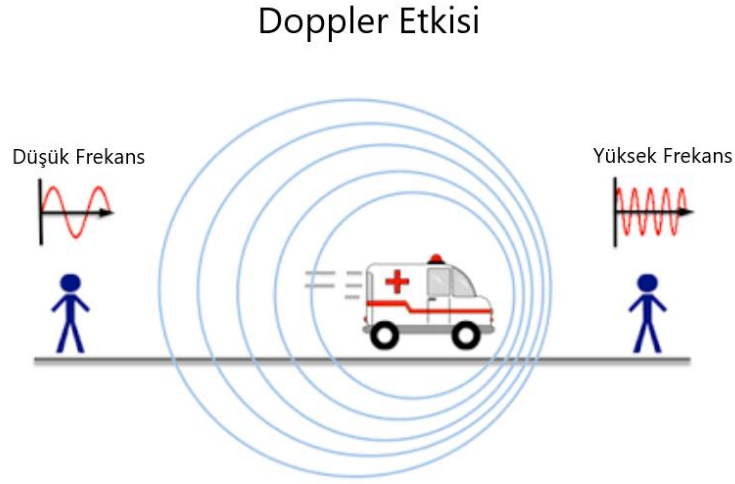
Radar teknolojisinin temeli, Alman bilim insanı Heinrich Hertz tarafından 1887 yılında keşfedilen radyo dalgaları ve buna bağlı olan dalga teorisine dayanmaktadır. Hertz, uygun elektrik devrelerinden yayılan görünmez elektromanyetik dalgaların ışık hızıyla ilerlediğini ve benzer şekilde yansıdığını göstermiştir. Sonraki yıllarda ise bu özellikler, üst atmosferdeki yansıtıcı katmanların yüksekliğini belirlemek için kullanılmıştır. Bu nedenle radardan alınan verilere *yansıma* adı verilmektedir (Australian Government Bureau of Meteorology, 2023). Şekil 2’de yansıma gösterimi yer almaktadır (Stine & Portigal, 2004).



Şekil 2. Yansıma Gösterimi

- Doppler Etkisi

Frekansta bir değişiklik olduğunda ses dalgalarının perdesinin deęiőeceęi teorisi olarak açıklanan Doppler etkisi, 1842 yılında Avusturyalı bilim insanı Christian Doppler tarafından keőfedilmiőtir. Buna örnek olarak şekil 3’te gösterildiği gibi yaklaőırken daha yüksek bir ses çıkaran, uzaklaőırken ise daha düşük bir ses çıkaran bir ambulans sireni verilebilir. Bu olayda Doppler teorisi ile sirenin frekansındaki deęiőime bağlı olarak ambulansın ne kadar hızlı hareket ettiği hesaplanabilmektedir (Australian Government Bureau of Meteorology, 2023) . Benzer şekilde radar sensörüne yaklaşan veya uzaklaőan araçların hızını belirlemek için radar kullanılabilmektedir. şekil 3’te Doppler Etkisi görselleştirilmiştir (Paik, 2021).



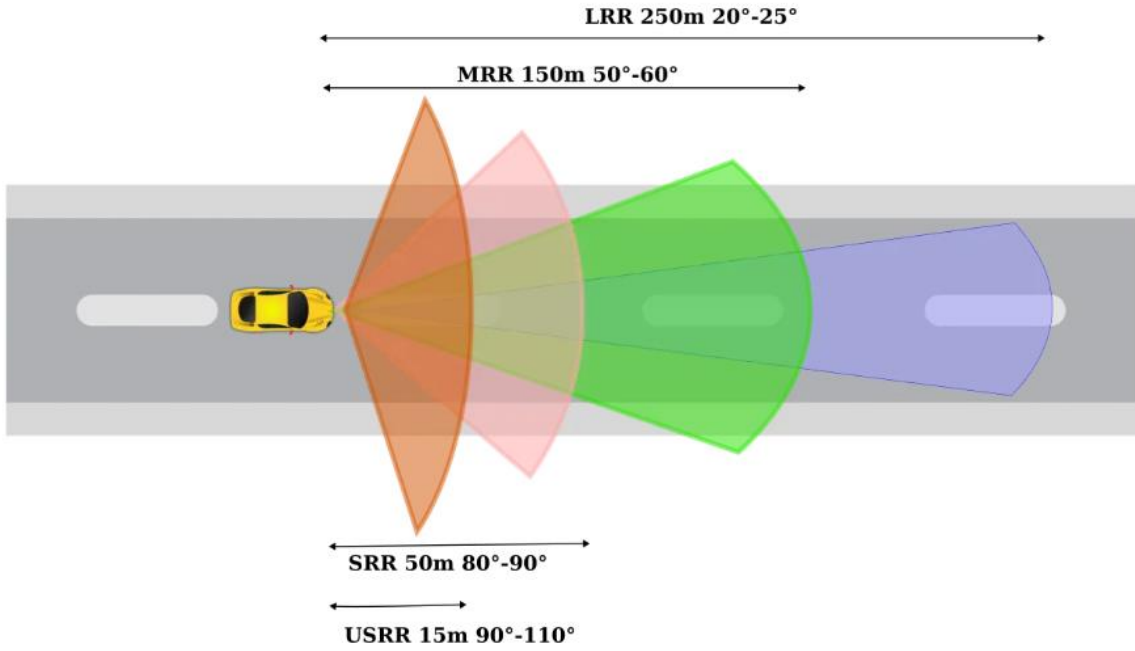
şekil 3. Doppler Etkisi Ambulans Örneği

Otonom araçlar için çok önemli bir donanım olan radar sensörleri, iki türde kullanılmaktadır (Cadence, 2023).

- *İtki radar*: İtki radarında cihazdan bir itki yayılır ve sinyalin frekansı, çalışma boyunca sabit kalır.
- *Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga (FMCW) radar*: FMCW radarda, itkiler sürekli olarak yayılır. İtkiler tüm işlem boyunca modüle edilir ve frekans, iletim süresine göre değişir. Bu radar tipi, menzil ve derinlik algısındaki yüksek çözünürlüğü nedeniyle otonom araçlarda yaygındır.

Otomotiv radarları geleneksel olarak azami menziline göre sınıflandırılır. Şekil 4'te de gösterildiği üzere Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü tarafından yayınlanan teknik raporda, aşağıdaki dört tanım yer almaktadır (Keysight Blogs, 2024):

- *Uzun menzilli radar (LRR)*, 150-250 metre veya daha fazla menzile ve 20-25 derecelik görüş alanına (FOV) sahiptir.
- *Orta menzilli radar (MRR)*, 50-150 metrelik bir menzil ve 50-60 derecelik bir FOV içindir.
- *Kısa menzilli radar (SRR)*, 15-50 metrelik mesafeler ve 80-90 derecelik FOV içindir.
- *Ultra kısa menzilli radar (USRR)*, 15 metreden daha kısa mesafeler ve 90-110 derecelik bir FOV içindir.

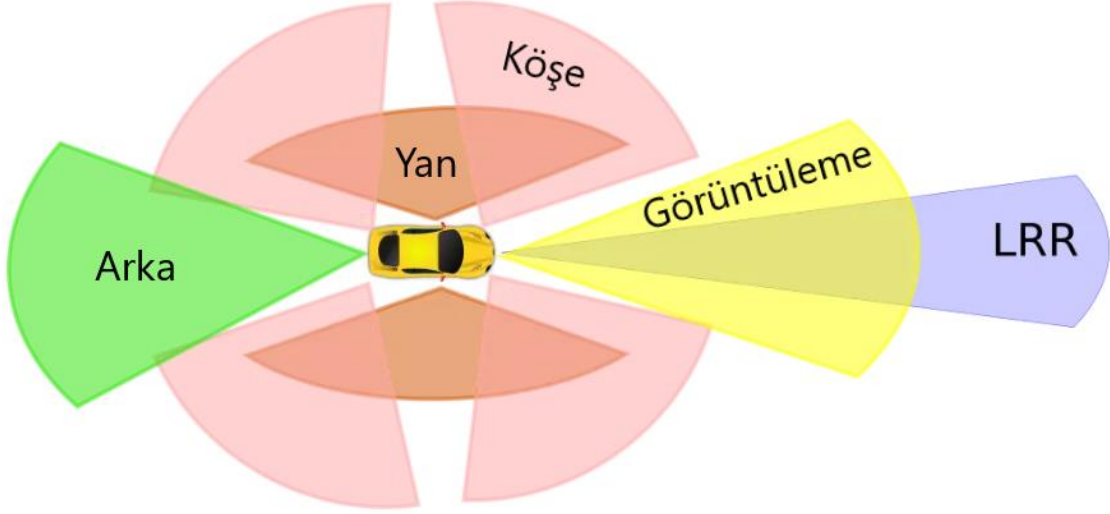


Şekil 4. Otomotiv Radar Çeşitleri

360°'lik farkındalık için genellikle bir aracın etrafına, altı ila 10 radar sensörü yerleştirilir. Waymo'nun sürücüsüz taksisinde 2022'de altı radar sensörü bulunurken Mercedes-Benz test araçlarında sekiz radar sensörü bulunmaktadır. Şekil 5'te de gösterildiği üzere genel olarak tam donanımlı bir aracın şu özelliklere sahip olması gerekir (Keysight Blogs, 2024):

- Ön tarama için bir LRR
- Ön tarama için bir görüntüleme radarı
- Dört köşe için MRR'ler veya SRR'ler

- İki yan için SRR
- Bir veya iki arka MRR veya LRR

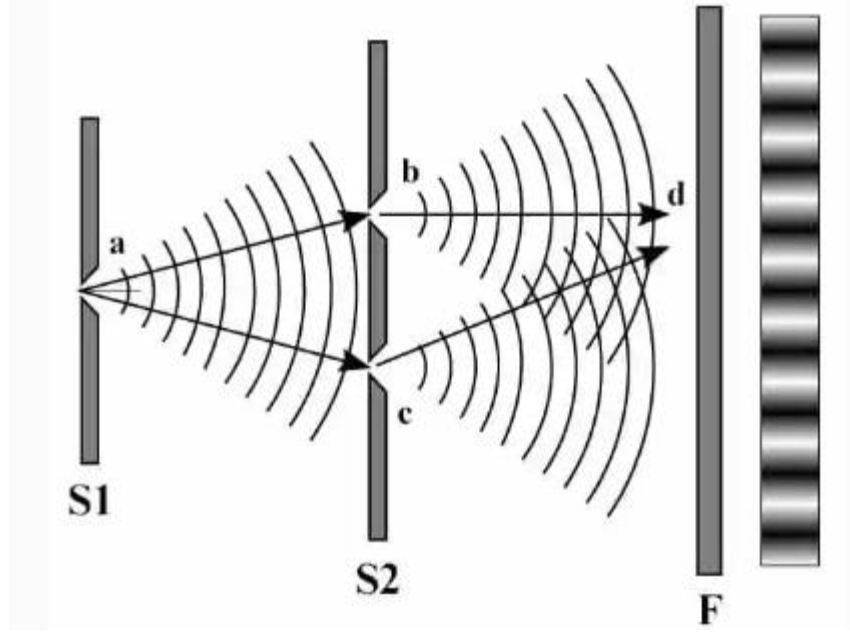


Şekil 5. Bir Otonom Araçta Bulunması Gereken Radarlar

3.2. LIDAR

Işık tespiti ve uzaklık tayini olarak adlandırılan bu teknoloji, lazer ışınları yardımıyla sensör ile nesneler arasındaki uzaklığı ölçmeye yaramaktadır. Işık hızında çalışması sayesinde yüksek doğruluk sağlar. Radar teknolojisinden farklı olarak radyo dalgaları yerine lazer ışınları kullandığı için sabit olarak değil, sürekli hareket halinde çalışmaya ihtiyaç duyar. Bu süreklilik sayesinde daha hassastır ve nesneleri daha yüksek çözünürlükle görselleştirebilmektedir.

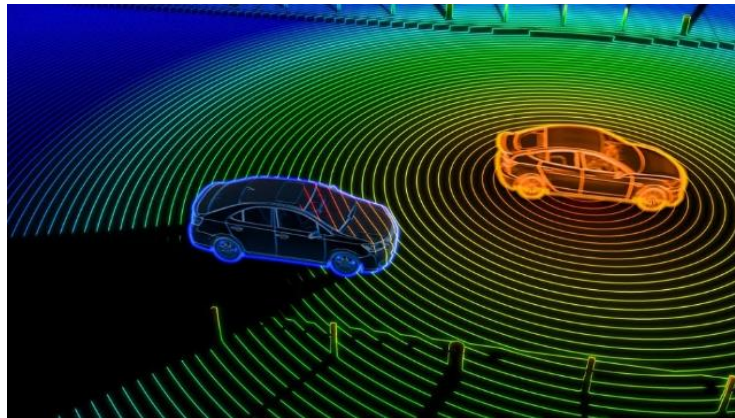
LIDAR teknolojisinin temeli, 20. yüzyıl başlarında gerçekleşen ışığın sadece parçacıklar halinde değil, aynı zamanda fotonlar halinde de yayıldığının keşfine dayanmaktadır. Şekil 6'da gösterilen çift yarık deneyi ile kolayca ispatlanan ve Alman bilim insanları Albert Einstein ve Max Planck tarafından yapılan bu keşif, 1960 yılında Alman bilim insanı Theodore Maiman'ın kurduğu optik düzenek ile lazer ışınmasını keşfetmesine öncü olmuştur (Sonsuz Us, 2017).



Şekil 6. Çift Yarık Deneyi

LIDAR'ın çalışma prensibi oldukça basittir: Bir yüzeye doğru bir lazer darbesi yayar, yansıyan lazeri sensörlerle yakalar, lazerin yüzeye gidip geri dönmesi için geçen süreyi ölçer ve mesafeyi “Mesafe = (Işık hızı x Geçen zaman) / 2” formülünü kullanarak hesaplar (YellowScan, 2023).

3D haritalama, LIDAR teknolojilerinin entegrasyonu sayesinde önemli ölçüde ilerlemiştir. Bu teknoloji; manzaraların, kentsel ortamların ve nesnelerin son derece ayrıntılı ve doğru üç boyutlu temsillerinin oluşturulmasını sağlar. Otonom araç özelinde ise 3D haritalama yöntemleri, otonom aracın çevresini algılanmasına yardımcı olmak için çevresindeki ortamın ayrıntılı bir haritasını sağlar (Nam vd., 2023) Otonom araçlarda LIDAR görüşü Şekil 7’de gösterilmektedir (AZO Materials, 2018).



Şekil 7. Otonom Araçlarda LIDAR Görüşü

3.3. Kamera

Araçlara yönelik 360° kamera sistemi, aracın çevresinin kapsamlı bir görünümünü sağlayarak güvenliği ve manevra kabiliyetini artıracak şekilde tasarlanmıştır. Bununla birlikte, diğer teknolojiler ile birleştirilerek aracın bilgisayar görüşünü de artırmaya yardımcı olur. Bir kamera için gerekli özellikler, aşağıdaki gibi kategorilendirilir (Spinny Car Magazine, 2013).

Sistem Bileşenleri:

- Tipik olarak aracın etrafına yerleştirilmiş dört ila altı geniş açılı kameradan oluşur.
- Kameralar; genellikle ön ve arka tamponlara, yan aynaların altına ve bazen de tavana yerleştirilir.
- Bu kameralar aracın ön, arka, sol ve sağ tarafları dahil olmak üzere çeşitli perspektifleri yakalamayı sağlar.

Görüntü İşleme:

- Yerleşik yazılım, kamera görüntülerini tek, kusursuz bir görüntü halinde işler.
- Ortaya çıkan görüntü, genellikle bilgi-eğlence ekranında veya otomobilin içindeki özel bir ekranda görüntülenir.
- Park etme ve manevra yapmaya yardımcı olmak için görüntünün üzerine kılavuz çizgileri, göstergeler veya uyarılar yerleştirilebilir.

Sürücü Özellikleri:

- Çoğu sistem, sürücülerin farklı kamera açıları arasında geçiş yapmasına veya daha iyi görünürlük için belirli alanlara yakınlaştırma yapmasına olanak tanır.
- Bu esneklik, kaldırım hasarından kaçınmak veya dar alanlarda gezinmek gibi görevlerde yardımcı olabilir.

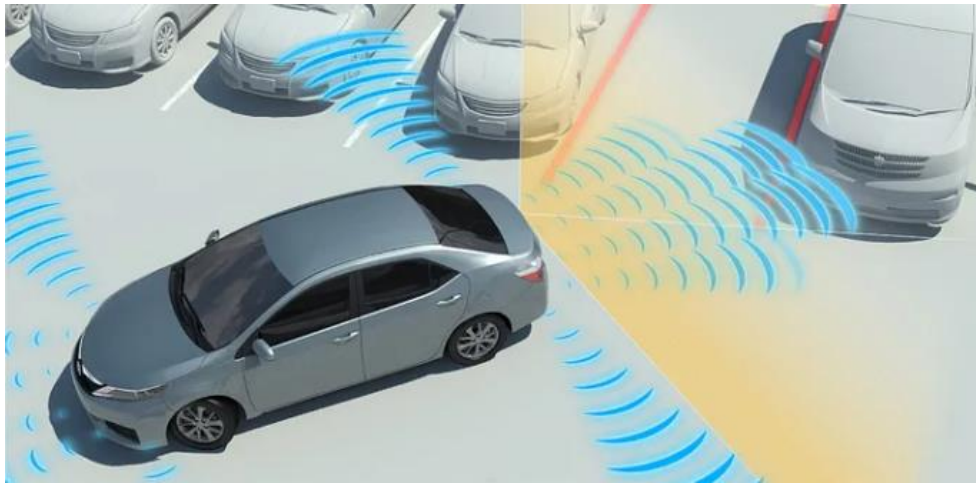
Özetle 360°'lik bir kamera sistemi, güvenliği ve manevra kabiliyetini artırmak için çevrenin kapsamlı bir görünümünü sağlayan, değerli bir katkıdır. Bu teknoloji hali hazırda araçlarda yaygın bir şekilde sürücüye yardım için kullanılmaktadır ve otonom araçlara entegrasyonu, bu sayede kolay olmaktadır. Şekil 8'de araç içi ekranda yer alan kamera görüntüsü görseli bulunmaktadır (Spinny Car Magazine, 2013).



Şekil 8. Araç İçi Ekrandan Kamera Görüntüsü

3.4. Ultrasonik Sensör

Ultrasonik sensörler, otonom araçların çevresini algılaması ve doğru kararlar alabilmesi için kullanılan kritik bileşenlerdir. Radarla benzer çalışma mantığı vardır. Hedef nesneye ultrasonik dalgalar yollar ve geri yansımayı elektrik sinyaline dönüştürür. Bu sensörler, yüksek frekanslı ses dalgaları göndererek çevredeki nesnelerin mesafesini ölçer ve bu sayede araçların yakın çevresindeki engelleri tespit etmelerine olanak tanır. Otonom araçlarda ultrasonik sensörler genellikle kısa mesafeli algılama gerektiren uygulamalarda kullanılır ve bu nedenle düşük hızda gerçekleşen manevralarda ve park etme sırasında önemli bir rol oynar (Robotistan, 2021). Şekil 9'da ultrasonik sensör görseli yer almaktadır (Medium, 2019)



Şekil 9. Ultrasonik Sensör

3.5. Kızılötesi Sensör

Kızılötesi ışınlar, elektromanyetik spektrumda görünür bölgenin hemen dışında, görünür bölge ile mikrodalga arasında yer alır ve bu nedenle insan gözü ile görülmez. Görünür bölgede gözle gördüğümüz renkleri oluşturan fotonlar gibi kızılötesi ışınlar da bir elektromanyetik radyasyondur ve birer fotondur. Bu nedenle kızılötesi ışınlar da ışık hızıyla yayılır (NASA Science, 2024).

Kızılötesi sensörler ise kızılötesi ışınları kullanarak çevresindeki nesneleri algılar ve mesafe ölçümleri yapar. Bu özelliği sayesinde, otonom araçlarda çevresel algılama ve güvenli sürüş sağlama amacıyla kullanılan önemli teknolojik bileşenler arasındadır. Kızılötesi sensörler, özellikle düşük ışık koşullarında veya gece sürüşlerinde etkili bir performans sergiler, bu da onları otonom araçların çevresel farkındalığını artırmada değerli kılar.

Görünür ışık, yasal olarak yalnızca aracın önünde yaklaşık 60 m'lik sınırlı bir menzil için kullanılabilmektedir. Araba şeridinin dışındaki ve arabanın etrafındaki aydınlatma çok sınırlıdır. Bu durum, daha uzun ve daha geniş görüş alanlarını aydınlatmak için kameraların kızılötesi ışıkla çalışması gerektiği anlamına gelir. Kızılötesi ışık, gözle görülebilecek sınırlar dahilinde olduğu sürece aracın her yerinde kullanılabilir (Thakur, 2017). Şekil 10'da kızılötesi sensör örnek görüntüsü yer almaktadır (Fluke, 2023).



Şekil 10. Kızılötesi Sensör Örnek Görüntüsü

3.6. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS)

Otonom araçlar, güvenli ve etkili çalışabilmek için küresel navigasyon uydu sistemine (GNSS) büyük ölçüde bağımlıdır. ABD tarafından kullanılan GPS, Avrupa Birliği (AB) tarafından kullanılan Galileo, Rusya tarafından kullanılan GLONASS ve Çin tarafından kullanılan BeiDou uydu konumlandırma servisleri, araçlara gerçek zamanlı konum bilgisi sağlamaktadır. Bu sistemler, otonom araçların konumlarını hassas bir şekilde belirlemelerine, rotalarını takip etmelerine ve çevrelerini haritalandırmalarına olanak tanır. GNSS verileri, diğer sensörlerle (LIDAR, radar, kameralar, vb.) entegre edilerek araçların güvenli ve doğru bir şekilde navigasyon yapmasını sağlar. Şekil 11’de GNSS gösterimi bulunmaktadır (Bodet Time, 2022).



Şekil 11. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS)

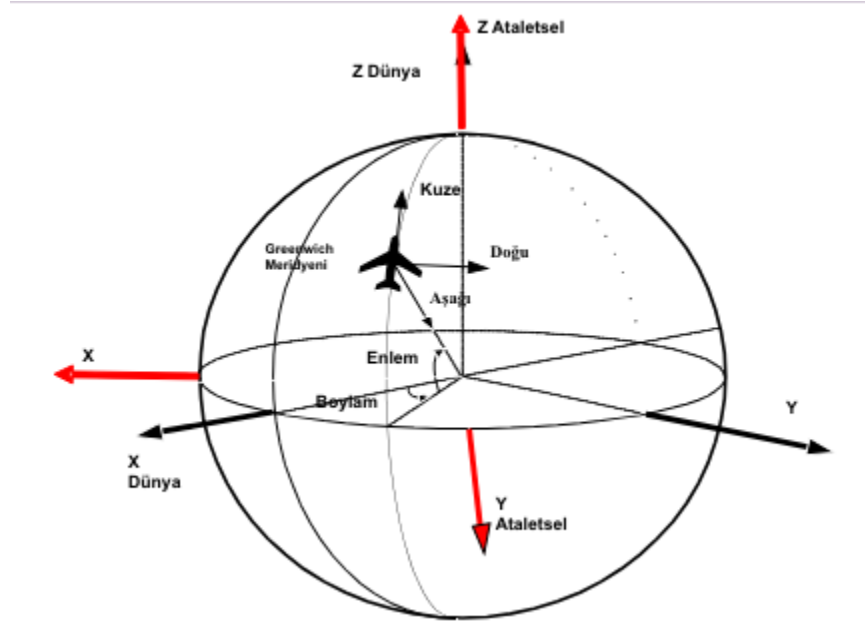
3.7. Ataletsel Navigasyon Sistemleri

Bir ataletsel navigasyon sisteminde, birbirine dik üç eksene yerleştirilmiş ivme ölçerler kullanılarak bu eksenler boyunca sisteme etki eden kuvvetler ölçülür. Yine bu eksenlere yerleştirilmiş üç adet jiroskop, sistemin her bir eksen etrafındaki dönüş hızını ölçer. Bu sistemlerde dört referans ekseni kullanılır (Nalbantoğlu & Seymen, 2007).

- *Ataletsel Eksen Takımı:* Uzak yıldızlara göre dönmediği ve ivmelenmediği varsayılan eksen takımlarıdır. Seyrüsefer amaçlı çalışmalarda genellikle ataletsel eksen takımının z ekseni dünya dönüş ekseni yönünde, x ve y eksenleri ise ekvator düzleminde seçilir.

- *Dünya Eksen Takımı*: Merkezi dünyanın merkezi ile çakışık, dünya ile dönen, z-ekseni dünya dönüş eksenini yönünde ve x-ekseni Greenwich meridyeni ile Ekvator çizgisinin kesişim noktasından geçen bir eksen takımıdır.
- *Seyrüsefer Eksen Takımı*: Merkezi seyir sistemi üzerinde olan ve eksenleri kuzey, doğu ve aşağı (dünya merkezine doğru) yönlerde seçilebilen bir eksen takımıdır.
- *Gövde Eksen Takımı*: Merkezi seyir sistemi üzerinde olan ve eksenleri belirgin araç yönleriyle çakışık olarak seçilen eksen takımıdır.

Şekil 12’de ataletsel navigasyon sistemlerinde kullanılan eksen takımları görseli yer almaktadır (Nalbantoğlu & Seymen, 2007).



Şekil 12. Ataletsel Navigasyon Sistemlerinde Kullanılan Eksen Takımları

Ataletsel navigasyon, insansız araçların hız ve yönelimdeki değişiklikleri takip ederek otonom olarak gezinmesine olanak tanır. Bu yetenek, GPS’in engellendiği ortamlarda sorunsuz bir şekilde çalışmalarını sağlar. Buna ek olarak otonom sistemlerde ataletsel navigasyon kullanmanın avantajlarından biri de dış sinyallerden bağımsız çalışabilmesidir. Bu durum, sinyal paraziti veya zorlu ortamlarla karşılaşıldığında aracı sağlam ve güvenilir kılar (ANELLO, 2023).

4. OTONOM ARAÇ HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİ

Otonom araçlar, akıllı hareketlilikte devrim yaratmak ve modern ulaşımın öncüsü olmak için son teknoloji haberleşme teknolojilerinden yararlanmaktadır. Bu akıllı araçlar, en üst düzeyde güvenlik ve verimlilikle gezinmelerini sağlayan gelişmiş sistemlerin entegrasyonu ile çalışmaktadır. Son yıllarda gelişmekte olan haberleşme ve otonom araç teknolojileri sayesinde, otonom araçlar geliştirilerek prototipler üzerinden test edilmeye başlanmıştır. Bu araçların sorunsuz ve verimli bir şekilde çalışabilmeleri için yüksek hızlı, gecikmesiz ve sürekliliği olan haberleşme teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu teknolojiler otonom araçların belli başlı yeterlilikleri sağlaması için önemlidir.

Otonom araçların; çevresiyle iletişimde olarak bilgi alma kabiliyetleri, çevresindeki durumları gözlemesiyle elde edilen bilgileri kullanıp uygun kararları alması, gerekli manevraları belirleyebilmesi, bu manevraları hayata güvenli bir şekilde geçirebilmesi ve kullanıcı arayüzü ile yolcuların bu bilgi ve manevralardan haberdar edebilmesi olarak sıralanan ve aşağıda özetlenen özellikleri vardır (Mühendis Beyinler, 2020):

- *Bilgi alma kabiliyeti ve çevre ile iletişimde olma:* Otonom araçlar, aracın çevresi hakkında sürekli olarak veri toplayan LIDAR, kameralar ve radar gibi çeşitli sensörlerle donatılmıştır. Ek olarak diğer araçlarla ve akıllı altyapıyla temel bilgileri değiş tokuş etmek için araçtan araca (V2V) ve araçtan altyapıya (V2I) haberleşme teknolojilerini kullanarak çevrenin kapsamlı ve güncel bir şekilde anlaşılmasını sağlar.
- *Gözlemlenen çevreye dayalı olarak uygun kararlar alma:* Aracın sensörleri tarafından toplanan büyük miktarda veri, gelişmiş AI algoritmaları tarafından işlenir. Bu algoritmalar; yol koşullarını değerlendirmek, engelleri belirlemek, yayaları tespit etmek ve diğer yol kullanıcılarının davranışlarını tahmin etmek için bilgileri analiz eder. Bu analize dayanarak otonom araç; hızını ayarlamak, şerit değiştirmek veya gerektiğinde durmak gibi gerçek zamanlı olarak bilinçli kararlar alır.
- *Güvenli seyir için gerekli manevraların belirlenmesi ve bu manevraları güvenli şekilde uygulayabilmesi:* Otonom araç, çevresini değerlendirip karar verdikten sonra güvenli seyir için gerekli manevraları hesaplar. Bu özellik; en uygun rotaları planlamayı, uygun

hızlanma ve frenleme profillerini seçmeyi ve dönüşler, birleştirmeler ve çıkışlar gibi yaklaşan yol değişikliklerini tahmin etmeyi içerir. Gerekli manevraları belirledikten sonra ise araç hassasiyet ve güvenliği göz önünde bulundurarak bu manevraları gerçekleştirir. Trafik kurallarına uyar, uygun takip mesafelerini korur ve diğer araçlar ve yol kullanıcıları ile etkileşimde bulunur.

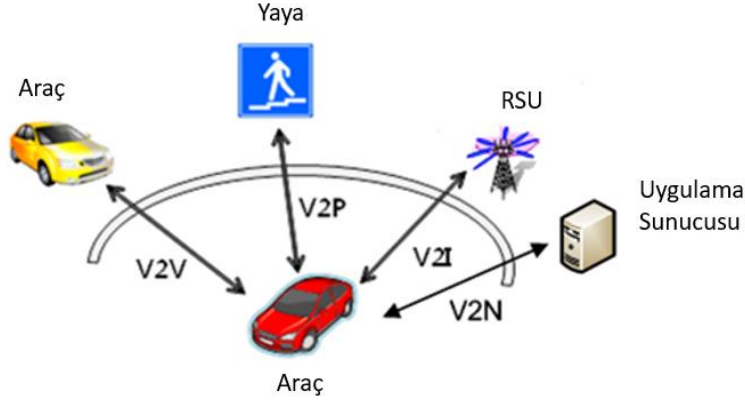
- *Bir kullanıcı arabirimi aracılığıyla yolculara bilgilerin ve manevraların aktarılması:* Otonom araçlar, yolcu konforu ve güveni ön planda tutularak tasarlanmıştır. Yolcuları; aracın hareketleri, yaklaşmakta olan manevralar ve genel yolculuk ilerlemesi hakkında bilgilendirmek için bilgi-eğlence ekranları veya sesli asistanlar gibi kullanıcı arayüzleri ile donatılmıştır. Bu şeffaf iletişim, yolcu güveninin oluşturulmasına yardımcı olur ve genel sürüş deneyimini geliştirir.

Otonom araçların iletişim becerisi, bu araçların tam kapasite ile hizmet verebilmesi için oldukça gereklidir. Bu nedenle haberleşmenin gerçekleşmesi için birçok protokol geliştirilmiştir. Bu protokoller ile araçlar ile araçların çevresindeki çeşitli unsurlar arasındaki iletişim sağlanmaktadır. Bu haberleşmeye V2X haberleşme de denir.

4.1. V2X

V2X haberleşme, araçlar ile araçların iletişim kurabildiği tüm cihazlar arasındaki haberleşme için kullanılan bir terimdir. V2X haberleşme sisteminde yer alan ana haberleşme sistemleri ise şu şekilde sıralanabilir: iki araç arası haberleşme (V2V haberleşme), araçlar ve yol kenarı birimi (RSU) gibi altyapılar arasındaki haberleşme (V2I haberleşme), araçlar ve yayalar arasındaki haberleşme (V2P) ve araçlar ve ağdaki sunucular arasındaki haberleşme (V2N haberleşme). V2X haberleşme sistemleri Şekil 13'te görselleştirilmiştir. V2X kapsamında yer alan haberleşme teknolojileri aşağıda özetlenmiştir (Tech-invoke, 2022):

- *Araçtan Araca Haberleşme (V2V):* Araçlar arasında doğrudan etkileşim sağlayarak güvenlikle ilgili kritik bilgilerin gerçek zamanlı olarak değiş tokuş edilmesini sağlar. Hız, konum, hızlanma ve frenleme durumu gibi veriler paylaşarak durumsal farkındalık artırılır ve araçlar arasında iş birliği teşvik edilir. V2V, aynı zamanda araçların bağlantılı bir şekilde birbirine yakın bir şekilde seyahat ettiği, trafik akışını optimize ettiği ve enerji tüketimini azalttığı müfreze kavramını da kolaylaştırır.



Şekil 13. V2X Haberleşme Çeşitleri

- *Araçtan Altyapıya Haberleşme (V2I):* Araçlar ile çevresindeki altyapı arasında bir bağlantı kurar. Bu teknoloji; araçların trafik sinyalleri, yol işaretleri ve diğer akıllı altyapı bileşenleri ile iletişim kurmasını sağlar. V2I aracılığıyla otonom araçlar; trafik koşulları, yol tehlikeleri ve diğer ilgili veriler hakkında gerçek zamanlı bilgiler alır. Bu durum, otonom araçların rotalarını ve hızlarını optimize etmelerine yardımcı olarak yolculuklarını daha verimli ve güvenli hale getirir. Ek olarak V2I, akıllı trafik yönetimi ve adaptif sinyal kontrol sistemlerinin uygulanmasında çok önemli bir rol oynayarak daha iyi trafik akışına ve tıkanıklığın azaltılmasına katkıda bulunur.
- *Araçtan Yaya Haberleşme (V2P):* Otonom araçlar ile yaya veya bisikletliler arasındaki iletişimi ifade eder. V2P; araçların yayaların varlığını algılamasına, niyetlerini anlamasına ve potansiyel geçiş yollarını tahmin etmesine olanak tanır. Bu bilgi, otonom araçların hem sürücülere hem de yayalara uyarılar vermesini sağlayarak kazaların önlenmesine yardımcı olur ve savunmasız yol kullanıcıları için daha güvenli bir ortam oluşturur.
- *Araçtan Ağ Haberleşme (V2N):* Otonom araçlar ile merkezi bir ağ arasında veri alışverişini içerir. V2N aracılığıyla araçlar; trafik koşulları, harita güncellemeleri ve yazılım geliştirmeleri ile ilgili verileri indirebilir. Havadan güncellemeler, V2N aracılığıyla mümkün kılınarak fiziksel geri çağırma gereke kalmadan araç performansını ve güvenliğini artırır. Ek olarak V2N, gerçek zamanlı trafik verisi toplamayı destekleyerek gelişmiş trafik yönetimi ve planlamasına katkıda bulunur. Haberleşmenin bu yönü, otonom araç filolarının geliştirilmesi ve hayata geçirilmesi için önemlidir ve sürekli gelişen ulaşım ortamının, güncel ve iyi koordine olmasına yardımcı olur.

Otonom araç teknolojilerinde haberleşme protokolleri için ise iki ayrı protokol önerilmiştir. Bunlardan biri Wi-Fi temelli ve sadece akıllı ulaşım sistemleri (AUS) içerisinde yer alan unsurların kullanılabilmesine yönelik hazırlanmış DSRC (IEEE 802.11p) temelli sistemler ve hücreli ağ temelli teknolojiler üzerine inşa edilmiş hücreli V2X (C-V2X) haberleşme sistemleridir.

4.1.1. DSRC

“Tahsis edilmiş kısa mesafeli haberleşme (DSRC)”, araçların kısa mesafelerde, kablosuz olarak bilgi alışverişinde bulunmasını sağlayarak yolda güvenliği, verimliliği ve bağlantıyı artırmaktadır. Araçlar ve yol kenarı altyapısı arasında kesintisiz haberleşmeyi kolaylaştıran DSRC; çarpışmadan kaçınma, trafik yönetimi ve kooperatif sürüş gibi özelliklerin etkinleştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Akıllı Şehir, 2006; DusunIoT, 2023).

Tahsis edilmiş kısa mesafeli haberleşme (DSRC), ABD’de bulunan federal haberleşme komisyonu (FCC) tarafından oluşturulmuş IEEE 802.11p temelli bir haberleşme teknolojisidir. Otonom araçlar da bu haberleşme sisteminden yararlanır. DSRC teknolojisi, IEEE 802.11p standardının yanı sıra araç ortamları için kablosuz erişim (WAVE) standardını da barındırır (Arena vd., 2020). WAVE standardı, IEEE 802.11p ile belirlenmesi yerel sistemlere bırakılmış bölümleri düzenler. Bunlar arasında gönderilen mesaj formatlarının tanımlanması, V2X haberleşmesi için ayrılmış 75 MHz’lik frekans bandının kanal ayarlamalarının yapılması, haberleşme sistemini yönetilmesi ve güvenliğin sağlanması gösterilebilir.

DSRC teknolojisinde iki ayrı birim kullanılır: (i) araç içi birim (OBU) ve (ii) yol kenarı birimidir (RSU). RSU’lar, Wi-Fi bölgeleri için bir sunucu görevi görürken OBU’lar bu bölgelerdeki kullanıcılar gibi davranır. Bu birimler arasındaki haberleşmeler de DSRC teknolojisi sayesinde gerçekleşir. DSRC teknolojisi, sadece V2V ve V2I haberleşme teknolojilerine izin verir. Şekil 14’te OBU (Brookings, 2024) ve Şekil 15’te RSU (Yunex Traffic USA, 2022) gösterimi bulunmaktadır.



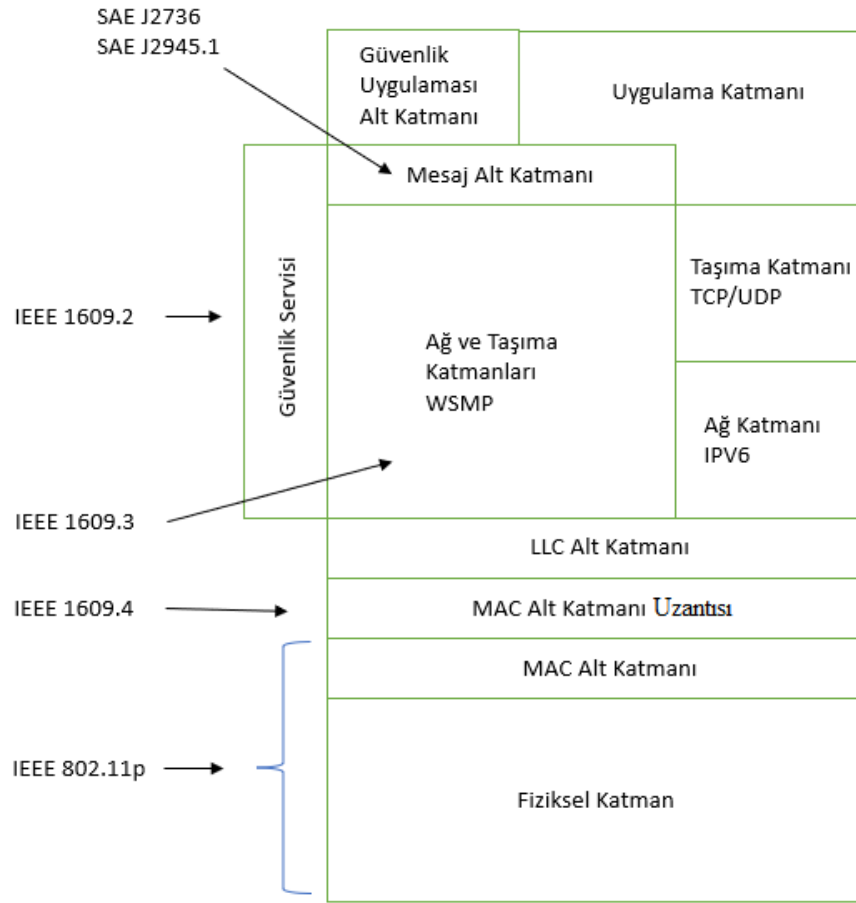
Şekil 14. Araç İçi Birim (OBU) Olan Bir Otonom Araç



Şekil 15. Direğe Monte Edilmiş Bir Yol Kenarı Birimi (RSU)

DSRC teknolojisinin sadece MAC katmanı ve fiziksel katmanı, IEEE 802.11p standardıyla belirlenir. Fakat DSRC mimarisini oluşturmak için birçok başka katman da kullanılmaktadır. Bu katmanlarda kullanılan standartlar ise IEEE 1609.2-4 ile belirlenmiştir. DSRC teknolojisi, TCP/IP tabanlı bir haberleşme sistemi kullanır. Fakat IEEE 802.11p ile tanımlanmış sabit BSS sayesinde

TCP/IP sistemlerinde kullanılan el sıkışma protokolü DSRC’de kullanılmaz. Bu da el sıkışma protokolü kaynaklı gecikmeyi önler. Bununla birlikte, ortak bir tanımlayıcı kullanılması, her ne kadar gecikmeyi azaltsa da güvenlik açısından bilginin doğruluğunu ve kimlik doğrulamasını da saldırıya açık bir hale getirebilir. Bu nedenle alınabilecek tüm güvenlik önlemleri, daha üst katmanlarda alınır. DSRC teknolojisi de üst katmanlarda kullanılan bu güvenlik önlemleri için IEEE 1609.02 standardı ile tanımlanmış güvenlik standartlarını kullanır. Bu güvenlik standardı, bilginin güvenliği ve bütünlüğü için eliptik eğri açık anahtar şifreleme yöntemini kullanır. Ayrıca kimlik doğrulamasını da sağlamak için imzalı özet fonksiyonlarını kullanır. DSRC mimarisinin katmanları, Şekil 16’da görselleştirilmiştir (Arena vd., 2020).



Şekil 16. DSRC Mimarisi

IEEE 802.11p Standardı

IEEE 802.11 standardı, sınırlı (geniş olmayan) alanlarda kablosuz haberleşmenin sağlanması amacıyla oluşturulmuş protokoller bütünüdür. Bu standardın oluşturduğu protokoller bütünü aynı zamanda Wi-Fi olarak bilinen teknolojinin de temelini oluşturur. Wi-Fi, sınırlı alanlarda bir ana sunucudan oluşur ve bu ana sunucu, sınırlı alanda bulunan kullanıcılara kablosuz haberleşme hizmeti sağlar. Bu çalışma yöntemi, otonom araçlarda çalışma için de düzenlenmiş ve IEEE 802.11p standardı ortaya çıkmıştır (IEEE Standards Association, 2010). Wi-Fi temelli V2X teknolojileri de temelinde IEEE 802.11p standardını kullanır. Bu standartla birlikte, teknik özellik standartlaştırılmıştır. Bu standardın getirdiği en temel özellik, V2X haberleşmenin yapılacağı temel frekans bandının belirlenmesi olmuştur. IEEE 802.11p standardıyla birlikte 5,9 GHz frekans bandında, 75 MHz'lik bir frekans bandı sadece V2X haberleşme sistemlerinin kullanımına sunulmuştur. Bu 75 MHz'lik frekans bandının 5 MHz'lik kısmı, diğer frekans bantlarıyla olan girişimi engellemek için koruma vazifesi görür. Kalan 70 MHz'lik kısım ise 10 MHz'lik küçük bantlar haline getirilmiştir ve her bir bant, farklı bir iş için kullanılır. 10 MHz'lik bantlar gerektiğinde birleşerek 20 MHz'lik tek bir bant halinde de kullanıma imkân sağlamaktadır. Bu bantların kullanımı ise yerel yönetimler tarafından karar verilmiş standartlar dahilinde gerçekleşir. Bantların bu şekilde daha önceden belirlenmiş olması ise kullanılacak haberleşme türü için kanal arama işlemini ortadan kaldırır. Böylece daha verimli ve hızlı bir haberleşme hedeflenir.

Bu bantlarda, gürültü durumuna göre gürültüye daha dayanıklı modülasyon tekniklerinden, veri aktarım hızına öncelik veren modülasyon tekniklerine kadar çeşitli modülasyon teknikleri kullanılır: BPSK, QPSK, 16-QAM ve 64-QAM. Böylece 10 MHz'lik bantlar kullanıldığında, veri aktarım hızı 3-27 Mbps arasında olurken 20 MHz'lik bant kullanıldığında ise veri aktarım hızı 6-54 Mbps aralığına yükselir.

Bir diğer önemli IEEE 802.11p özelliği ise aynı frekans bandında, çok daha yüksek veri aktarım hızlarına ulaşılmasına olanak sağlayan ortogonal frekans bölmeli çoklu erişim (OFDMA) dijital modülasyon teknolojisini kullanmasıdır. Bu teknolojiye göre IEEE 802.11p standardında tanımlı olan alt-taşıyıcı sayısı ise bant genişliği fark etmeksizin 52'dir. Sembol zaman aralığı ise 20 MHz bantta ise 4 μ s iken 10 MHz bantta 8 μ s'dir. Bundan dolayı da alt taşıyıcı aralığı 20 MHz bantlarda 312,5 KHz iken 10 MHz bantlarda 156,25 KHz olur. Bu özellikler aynı zamanda Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. IEEE 802.11p Standardına Göre Fiziksel Katman OFDM Parametreleri

Parametreler	20 MHz Bant	10 MHz Bant
Veri Aktarım Hızı	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27
Modülasyon Modu	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Kod Oranı	1/2, 2/3, 3/4	1/2, 2/3, 3/4
Alt-taşıyıcı Sayısı	52	52
Sembol Zaman Aralığı	4 μ s	8 μ s
FFT Aralığı	3.2 μ s	6.4 μ s
Başlangıç Süresi	16 μ s	32 μ s
Alt-Taşıyıcı Aralığı	312.5 KHz	156.25 KHz

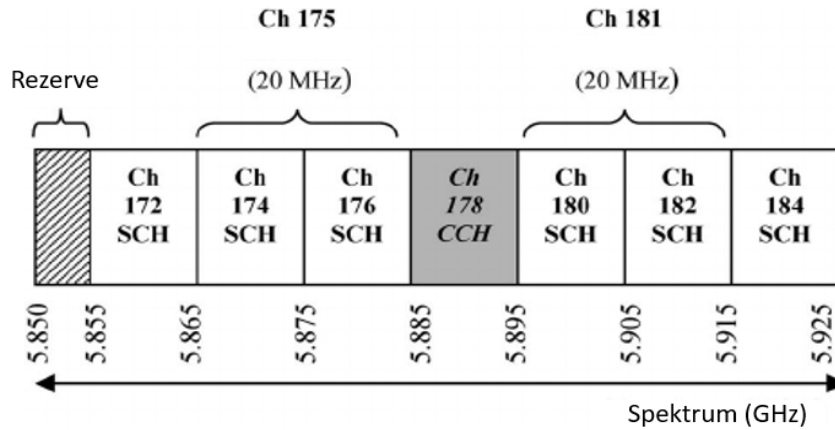
IEEE 802.11p standardında, gecikmeyi azaltmak amacıyla normal Wi-Fi standartlarında yer alan kimlik doğrulama işlemi devre dışı bırakılmıştır. Wi-Fi standardında, kurulan her bir bağlantı için yeni bir bağımsız temel hizmet seti (IBSS) tanımlanır. IEEE 802.11p standardında ise yeni bir BSS tanımlanır. Bu tanımlanan yeni BSS ise sabitlenmiş bir tanımlayıcıya sahiptir. Bu sayede kimlik doğrulama işlemine gerek kalmaz.

IEEE 802.11p temelli sistemlerde bulunan frekans bantları iki yönlüdür ve aynı anda yapılan karşılıklı veri iletimlerinde bir çakışma ve dolayısıyla veri kaybı olma ihtimali yüksektir. Bunu engellemek için ise IEEE 802.11p sistemlerinde, taşıyıcı duyarlı çoklu erişim (CSMA) teknolojisi kullanılır. CSMA, iletişim başlamadan önce kanalın dinlenmesiyle başlar. Eğer kanal boşsa veri aktarımı başlar. Veri aktarımı başladıktan sonra karşıdan da veri gelmeye başlarsa sistem bu çakışmayı algılar ve veri aktarımını yarıda keser. Daha sonra kanalın tekrar boşalmasını bekler. Kanal tekrar sessizleştiğinde bir süre daha beklenir ve veri aktarımı başlar. Bu sayede veri çakışmasından kaynaklı veri kaybı engellenmiş olur.

4.1.1.1. WAVE

“WAVE” sistemi; ABD FCC tarafından tanıtılmış, kısa mesafeli ortamlarda, güvenli ve hızlı iletişimi sağlamayı amaçlayan bir kablolu haberleşme teknolojisidir (Federal Communications Commission, 2022a). Otomotiv alanında otomatik hız kontrol sistemi, çarpışma önleme sistemleri veya yolcu güvenliğini sağlama gibi birçok kullanım alanı vardır.

WAVE teknolojisi, ABD'nin DSRC haberleşme sistemi olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle WAVE, DSRC kapsamında kullanılan 5,9 GHz frekans bandında çalışmaktadır. Bu bant üzerinde, toplam 75 MHz büyüklüğünde bir frekans bandı, araç haberleşmesi için özel olarak ayrılmıştır. WAVE teknolojisine göre ayrılan 75 MHz'lik frekans bandının ilk 5 MHz'lik kısmı diğer bantlarla olabilecek girişimi engellemek için kullanılan koruma bandıdır. Kalan 70 MHz'lik kısmın uçlarında yer alan 10 MHz'lik bantlar ise acil durumlarda kullanılmak üzere ayrılmıştır. Olağan haberleşmelerde bu bölüm kullanılmaz. Böylece acil bir durumlarda kullanılabilecek güvenilir bir kanal elde edilir ve her türlü veri kaybı da minimize edilmiş olur. Kalan 50 MHz'lik kısmın her iki tarafında yer alan 20 MHz'lik bölümler ise AUS teknolojisi dahilinde kullanılan sistemler için ayrılmıştır. Bu sistemlere, otonom sürüş için gereken teknolojiler de dahildir. Bundan dolayı otonom araçların olağan haberleşmesi için de bu frekans bantları kullanılır. Bu 20 MHz'lik iki bant istenirse 10 MHz'lik frekans bantlarına da bölünebilir, istenirse 20 MHz'lik kısımlar bir bütün olarak kullanılabilir. Bu sağlanan esneklikle birlikte, frekans bantlarının verimi de artırılmış olur (Kenney, 2011). IEEE 802.11p temelli sistemler, bu standardın kullandığı 5,9 GHz'lik frekans bandını kullandığı için haberleşmenin menzili çok yüksek değildir. Bu nedenle DSRC'nin menzili ortalama olarak sadece 1 km civarındadır (Morgan, 2010). IEEE 802.11p standardında ayrılmış 75 MHz'lik frekans bandının, DSRC teknolojisinde atamasını yapan WAVE standardının frekans spektrumu Şekil 17'de gösterilmiştir (Arena vd., 2020).

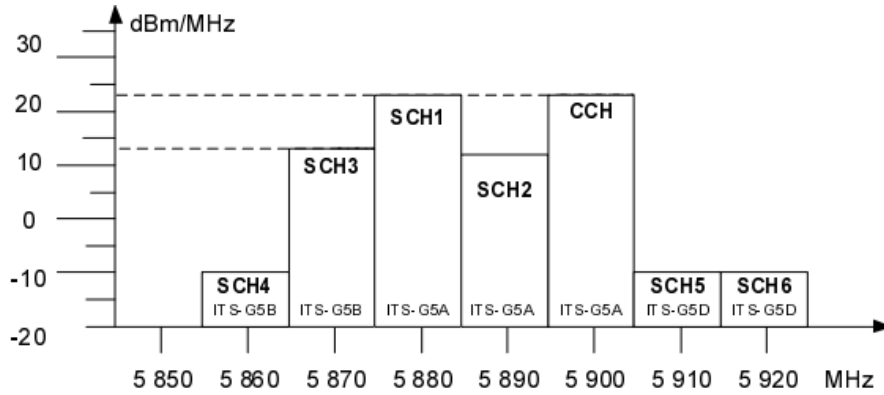


Şekil 17. WAVE Teknolojisinin Frekans Spektrumu

4.1.1.2. ITS-G5

ITS-G5, Avrupa Haberleşme Standartları Enstitüsü (ETSI) tarafından geliştirilmiş ve Avrupa'daki AUS sistemleri için tasarlanmış IEEE 802.11p temelli bir haberleşme teknolojisidir (European

Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2013). DSRC gibi IEEE 802.11p standardı temel alındığından, birçok konuda DSRC ile benzerlikler taşımaktadır. Yine 5,9 GHz frekans bandında çalışmayı amaçlayan ITS-G5 sistemi, 75 MHz'lik bir frekans bandına sahiptir. Bununla birlikte, kanal tahsisinde farklı bir protokol takip etmesi nedeniyle DSRC'den ayrılır. ITS-G5 teknolojisi, ilk 5 MHz'lik kısmı diğer bantlarla olan girişimi engellemek için bir koruma bandı olarak kullanır. Kalan 70 MHz'lik kısım ise 10 MHz'lik bantlara bölünmüştür. İlk 20 MHz'lik bölüm, güvenlik amaçlı olmayan sistemler için ayrılmıştır, sonraki 30 MHz'lik kısım ise yol güvenliğini sağlamak amacıyla oluşturulan uygulamalar için ayrılmıştır. Kalan 20 MHz'lik kısım ise ileride kullanılmak üzere rezerve edilmiştir. ITS-G5 teknolojisinin frekans spektrumu Şekil 18'de görülmektedir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2013).



Şekil 18. ITS-G5 Frekans Spektrumu

ITS-G5 haberleşme sistemi de dijital modülasyon teknikleri olarak BPSK, QPSK, 16-QAM ve 64-QAM modülasyon tekniklerini kullanır ve modülasyon yapılırken OFDMA teknolojisi kullanılır. Yine ITS-G5 teknolojisinde iki adet 10 MHz'lik frekans bandı birleştirilerek 20 MHz'lik tek bir bant kullanılabilir. Bu sayede veri aktarım hızı da 3-27 Mbps aralığından 6-54 Mbps aralığına yükseltilebilir (Mannoni vd., 2019).

Hem DSRC'de hem de ITS-G5'ta alınan bazı paketlere öncelik veren bir sistem bulunmaktadır. Bu sistem gelişmiş dağıtık kanal erişimi (EDCA) olarak adlandırılır. Bununla birlikte, ITS-G5'te değişen kanal koşullarına uyum sağlamak için merkezi olmayan tıkanıklık kontrolü (DCC) isimli bir sistem daha bulunmaktadır. Bu sistem sayesinde, gerektiği zaman kanalın gücü ayarlanır, paketler arasındaki bekleme süresi uygun hale getirilir, modülasyon tekniği değiştirilebilir.

4.1.2. C-V2X

Hücresel araçtan her şeye (C-V2X) teknolojisi, otonom araçların çevreleriyle haberleşmesini kolaylaştırarak yeteneklerini geliştirmede önemli bir rol oynar. Bu entegrasyon; otonom sürüş sistemlerinde güvenliğin, verimliliğin ve karar alma süreçlerinin iyileştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunur.

C-V2X; otonom araçların diğer araçlarla (V2V), altyapıyla (V2I), yayalarla (V2P) ve ağlarla (V2N) doğrudan iletişim kurmasını sağlar. Bu kapsamlı iletişim çerçevesi, araçların çevreleri hakkında gerçek zamanlı bilgi almasını sağlayarak daha bilinçli karar alma ve olası tehlikelere karşı proaktif yanıtlar sağlar. Örneğin araçlar öndeki başka bir araç tarafından ani fren yapıldığında uyarılabilir ve çarpışmaları önlemek için zamanında ayarlamalar yapılabilir (Abou-Zeid vd., 2019).

C-V2X haberleşmesinin düşük gecikmesi ve yüksek güvenilirliği, anında veri alışverişi gerektiren otonom sürüş uygulamaları için kritik öneme sahiptir. Teknolojinin ultra güvenilir, düşük gecikmeli iletişim sağlama yeteneği, çarpışmadan kaçınma ve otonom araçlar arasında koordineli manevralar gibi kritik işlevleri destekler (Abou-Zeid vd., 2019).

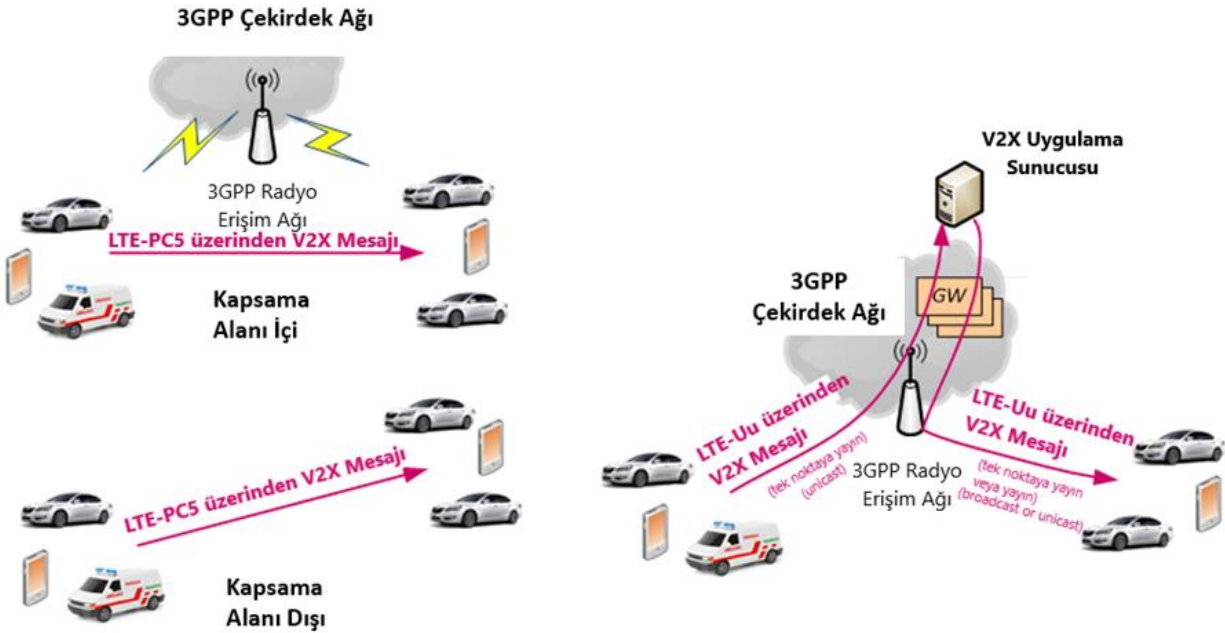
C-V2X teknolojisi iki ana türe ayrılabilir: (i) LTE-V2X ve (ii) NR-V2X. 4G teknolojisine dayanan LTE-V2X, C-V2X'in ilk aşaması olarak hizmet ederken 5G teknolojisine dayanan NR-V2X daha yüksek veri hızları sayesinde daha karmaşık senaryoları mümkün kılar.

4.1.2.1. LTE-V2X

IEEE 802.11p temelli V2X haberleşme teknolojileriyle birlikte, hücresel ağ tabanlı V2X haberleşme teknolojileri de son zamanlarda oldukça popüler olmuştur. 4G teknolojilerinin getirdiği birçok yenilik, V2X haberleşmesinin hücresel ağlar üzerinden yapılmasına olanak sağlamıştır. LTE-V2X (uzun süreli gelişim üzerinden V2X) haberleşme teknolojisi, ilk olarak 2017 yılında Üçüncü Nesil Ortaklık Projesi'nin (3GPP) 2017 yılında yayınlanan 14. teknik raporunda (sürümünde) ortaya çıkmıştır (3GPP, 2017a). 2018 yılında yayınlanan 15. teknik raporda, LTE-V2X teknolojileri daha da geliştirilmiştir (3GPP, 2019a). Bu raporlarda, LTE hücresel ağ teknolojilerinin yardımıyla V2X haberleşmenin nasıl gerçekleştirilebileceği konusunda yapılan çalışmalardan bahsedilmiş ve gereken hizmet şartları belirtilmiştir. Bu hizmet şartları arasında en önemli iki husus ise (i) aktarılan mesajların yaşadığı gecikmeyi 100 ms altında tutmak ve (ii) 500 km/s değerine kadar olan bağıl hızlarda, performans düşüşü yaşamaksızın hizmet verebiliyor

olmaktır. Otonom araçların çevrede gelişen olaylara karşı gösterdiği manevralar çok önemlidir ve bundan dolayı bu manevraları olabildiğince hızlı gerçekleştirmelidir. Bu sebeple düşük gecikme, otonom araçların da dahil olduğu AUS teknolojileri için oldukça önemlidir. Ayrıca 64-QAM dijital modülasyon tekniğine kadar dijital modülasyon teknikleri de bu sistemlere entegre edilmiş ve veri aktarım hızının olabildiğince artırılması amaçlanmıştır (everything RF, 2022).

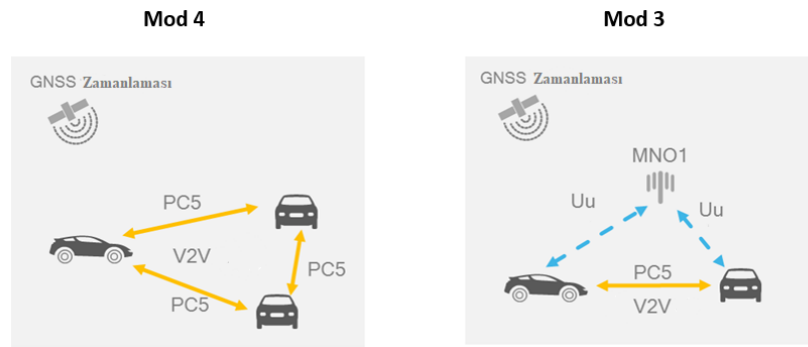
LTE-V2X ile birlikte, iki operasyon modu tanımlanmıştır: (i) PC5 üzerinden V2X haberleşme ve (ii) LTE-Uu üzerinden V2X haberleşme. PC5 üzerinden haberleşme; kapsama alanı içinde veya dışında, iki kullanıcı ekipmanının (UE) birbiriyle doğrudan iletişime geçmesini amaçlar. LTE-Uu üzerinden yapılan haberleşmeler ise bir UE'nin, LTE baz istasyonları (eNB) ile haberleşmesine olanak sağlar. Bu arayüzler, Şekil 19'da görselleştirilmiştir (3GPP, 2017a). Bu sayede hücresele ağlara erişimi olan her türlü cihaz, AUS teknolojilerine ve dolayısıyla otonom sürüş yapan araçların olduğu ağa katılım yapabilir. Bu da IEEE 802.11p temelli sistemlerde katılım sağlayamayan yaya, bisikletli veya sunucuların da V2X haberleşmesine dahil olmasını sağlar. Böylece V2V ve V2I haberleşmenin yanı sıra V2P ve V2N haberleşme de LTE-V2X ile birlikte mümkün olmuştur. Özellikle yayaların V2X haberleşmesine dahil olması çok önemlidir, çünkü yayalar da trafiğin bir parçasıdır. Bu sebeple otonom araçların, yayalardan da bilgi alabiliyor olması yol güvenliği için oldukça kritiktir.



Şekil 19. PC5 ve Uu Arayüzü

Her ne kadar LTE-V2X 2017 yılında yayınlanmış olsa da LTE hücresel ağ teknolojileri, çok daha önce geliştirilmiştir ve bu nedenle güvenlik açısından gelişmiş bir sisteme sahiptir. LTE-V2X haberleşme sistemlerinde kullanılan güvenlik mimarisi, LTE hücresel ağ teknolojilerinin güvenlik altyapısını temel alır. Bu altyapı, ağ seviyesinde kimlik doğrulama, veri şifreleme, mesaj bütünlüğü ve gizlilik gibi özellikleri sağlar. Bu sebeple LTE-V2X haberleşme sistemlerinde de bu güvenlik sistemi kullanılır ve yeni bir güvenlik mimarisi kullanımına gerek kalmaz (3GPP, 2015).

LTE-V2X haberleşme teknolojisinin en önemli noktalarından biri de sunulan kaynakların verimli bir biçimde kullanılmasıdır. Kaynak tahsisi problemi oldukça önemli olduğu için LTE-V2X içerisinde toplam iki adet kaynak tahsisi modu önerilmiştir: (i) Mod 3 ve (ii) Mod 4. Mod 4 kaynak tahsisinde, kullanıcılara bazı kanallar sunulur. Bir kullanıcı iletişim kurmak istediğinde, bu kanallardan birini veya birkaçını bir süreliğine kullanmak ister. Bunu seçmek için de kanalları belli bir süre dinler ve kullanılma ihtimali en düşük olan kanalı seçerek bu kanalı kullanmaya başlar. Bu seçimi yaparken herhangi bir yardım almaz, bu nedenle hücresel ağ kapsama alanı dışında bu mod kullanılır. Kapsama alanı dahilinde de kullanılabilir. Mod 3 kaynak tahsisinde ise kullanıcı kendisi bir kanal seçmek yerine baz istasyonu yardımıyla bir kanal seçer. Bu seçim yapılırken baz istasyonu, kullanıcıdan istek alır ve bu isteğe yönelik boş bir kanalı kullanıcıya tahsis eder. Bununla birlikte, isteklerden kaynaklanan bir trafik oluşması da mümkündür ve bundan dolayı da gecikmeler de istenen değerlerin üzerine çıkabilir. Bunu engellemek için baz istasyonları periyodik olarak kullanıcılara kaynak tahsisi yapabilir, böylece istek trafiğinden de kurtulmuş olur. Ayrıca yayalar gibi çok sık haberleşme kanallarını kullanmayan kullanıcılar da hesaba katılarak daha gelişmiş kaynak tahsisi algoritmaları üretmek de mümkün olmuştur (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2018b). Kaynak tahsisi modları Şekil 20’de görselleştirilmiştir (3GPP, 2017a).



Şekil 20. Mod 3 ve Mod 4 Kaynak Tahsisi Algoritmaları

LTE-V2X ile birlikte V2X haberleşme sistemlerine girmiş bir diğer kavram ise araç müfreze sistemidir. Bu sistem bütün araçların baz istasyonu ile haberleşme ihtiyacını azaltarak kaynakların verimlerini arttırmayı amaçlamaktadır. Araç müfrezesi, yolda birbirine yakın araçların sanal bir grup içerisine alınmasıyla oluşur. Bu grup içerisinde bir tane lider seçilir ve bu lider, müfrezenin temsilcisi olarak davranır ve müfrezedeki araçlar ile baz istasyonu arasındaki haberleşme bu lider araç üzerinden yapılır. Böylece her araç, ayrıca bir kanal kurmak zorunda kalmaz ve haberleşme daha verimli bir şekilde gerçekleştirilebilir (Nardini vd., 2018).

Özellikle 16. teknik raporla birlikte, yarı-otonom ve tam-otonom sürüş için de çalışmalar hız kazanmıştır. LTE-V2X haberleşme, otonom araçların sadece araç üzerinde bulunan sensörleri değil, diğer araçlarda ve yol kenarlarında bulunan sensörleri de kullanmasına olanak sağlamıştır. Bu da yol güvenliğini ve verimliliğini artıran unsurlar arasında olmuştur. Aynı zamanda uzaktan kontrol araç teknolojisi de bu raporda ilk olarak tanıtılmıştır. Otonom sürüş ve uzaktan kontrol teknolojisini de birleştirilmesi yönünde adımlar atılmıştır (3GPP, 2020).

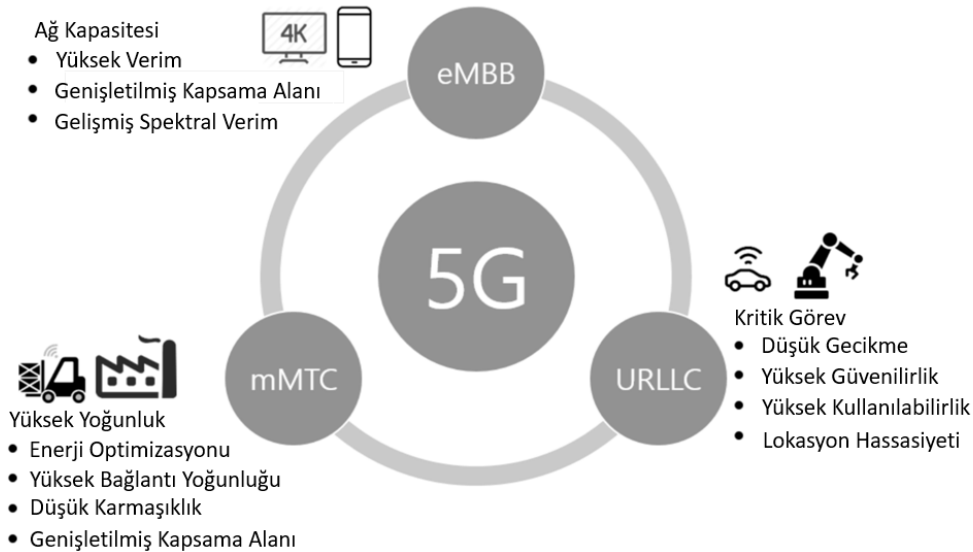
4.1.2.2. NR-V2X

LTE teknolojisi 2019-2020 yıllarında yerini yavaş yavaş 5G, bir diğer adıyla yeni radyo (NR), teknolojilerine bırakmaya başlamıştır. 5G teknolojisi hali hazırda olan LTE teknolojilerini çok daha ileriye taşımış, ayrıca yeni birçok teknolojiyi de tanıtmıştır. Bununla birlikte, hücresel ağ tabanlı V2X haberleşme sistemleri de 5G'ye geçiş yapmaya başlamıştır. 2020'de yayınlanan 3GPP 16. teknik raporu (3GPP, 2020) ve 2022'de yayınlanan 17. teknik raporla birlikte (3GPP, 2022), 5G-V2X haberleşme sistemlerinin de temeli atılmıştır.

LTE-V2X haberleşme sistemlerine benzer olarak yine iki adet operasyon modu tanımlanmıştır: (i) PC5 arayüzü üzerinden haberleşme ve (ii) Uu referans noktası üzerinden haberleşme. Bu referans noktaları, LTE-V2X ile tanımlanan referans noktalarının geliştirilmiş halleridir. NR tabanlı PC5 arayüzü, çekim gücüne bağlı olarak en doğru bağlantı noktalarını kendi seçebilir şekilde tasarlanmış ve farklı hücresel ağ noktaları ile uyumlu bir şekilde çalışacak biçimde dizayn edilmiştir. Yine 5G baz istasyonları tarafından kapsamı alanı içinde olup olmamasının bir önemi yoktur, PC5 arayüzü iki şekilde de çalışabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Bununla birlikte, LTE tarafından sağlanan PC5 arayüzünü de destekleyen 5G-V2X; LTE-V2X ve 5G-V2X arasında geriye uyumlu bir şekilde çalışmaktadır.

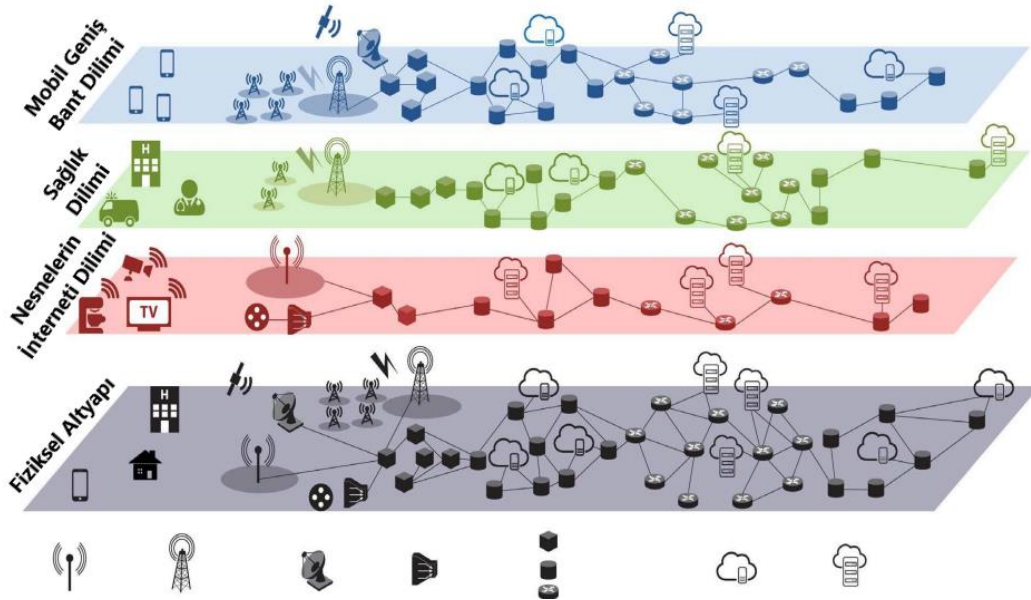
Uu referans noktası ise 5G baz istasyonları aracılığıyla haberleşme yapmak için kullanılmaktadır. Fakat her zaman baz istasyonlarına bağlanmak gecikmeyi arttırabileceğinden uç bilişim mekanizmalarını da kullanarak gecikmeyi düşürmeyi amaçlar (3GPP, 2017b).

5G ağları, üç temel servis göz önüne alınarak tasarlanmıştır: (i) mMTC (büyük makine tipi haberleşme), (ii) eMBB (gelişmiş mobil geniş ağ) ve (iii) URLLC (ultra güvenilir düşük gecikmeli haberleşme) (Khan vd., 2022). mMTC sayesinde sadece telefonların değil, mümkün olan her türlü nesnenin 5G ağlarına katılması sağlanır. Bu da 5G ağlarında benzeri görülmemiş bir bilgi birikmesine sebep olur. Birçok nesnenin çok yüksek internet hızı ihtiyacı olmaması sebebiyle ağ yoğunluğu arttıkça internet servisi kalitesi azalır. eMBB ise hali hazırda bulunan bant genişliğini çok daha fazla arttırarak ağ kapasitesini çok daha üst seviyelere çıkarmayı amaçlar. Son olarak URLLC ise LTE’de elde edilen gecikme miktarlarını daha da aşağıya çekerek kritik uygulamalarda daha hızlı tepkime alınması sağlanır. Görülebileceği üzere otonom sürüş için bahsedilen üç servis de oldukça kritik öneme sahiptir. mMTC ile birçok sensör ve kullanıcı, V2X haberleşmeye katılarak otonom sürüş için güvenliği ve verimi artırabilir. URLLC ile gerekli bilgiler, çok daha az bir gecikme ile son kullanıcıya aktarılır ve gereken manevraların çok daha hızlı yapılabilmesi sağlanır, eMBB ile de video gibi yüksek boyutlu verilerin daha hızlı aktarılması sağlanarak otonom sürüş için daha fazla veri sağlanmış olur. Bu servisler, Şekil 21’de görselleştirilmiştir (Siddiqi vd., 2019).



Şekil 21. Üç Ana 5G Servisi

Haberleşme gecikmelerini en aza indirmek amacıyla gerekli servislerin ihtiyaç duyulduğu kadar V2X haberleşmeye sunulması, AUS teknolojileri ve dolayısıyla otonom sürüş için oldukça önemlidir. Bunun için de ağ dilimlendirme teknolojisi kullanılır (Foukas vd., 2017). LTE ve öncesinde kurulan fiziksel altyapı, direkt olarak genel ağ görevi görüyordu. Ağ dilimlendirme teknolojisi ise yazılım tanımlı ağ (SDN) ve SDN tabanlı ağ fonksiyonlarının sanallaştırılması (NFV) teknolojilerinin yardımıyla istenen özelliklere sahip sanal ağların oluşmasını sağlamaktadır. Her türlü uygulama için özel ağ oluşturulması, bu uygulamaların verimini artırmaktadır. V2X için de SST 4 (Dilim/Hizmet Tipi 4) isimli bir sanal ağ dilimi oluşturulmuştur (3GPP, 2017b). Bu sayede 5G-V2X haberleşme daha verimli bir hale getirilmiştir. Şekil 22’de ağ dilimlendirme görselleştirilmiştir (Ordenez-Lucena vd., 2017).



Şekil 22. Ağ Dilimlendirme İllüstrasyonu

5G-V2X’te, kaynak tahsisi için için iki ayrı mod tanımlanmıştır: (i) Mod 1 ve (ii) Mod 2. Mod 1 ile kaynak tahsisinde, kullanıcılara dinamik bir şekilde baz istasyonu tarafından kaynak tahsis edilir. Bu kaynak tahsisleri de baz istasyonlarına tanımlanmış özel radyo kaynak kontrolü algoritmaları ile yapılır. Mod 2 kaynak tahsisinde ise kaynaklar Mod 4’e benzer bir şekilde otonom olarak kullanıcı tarafından seçilir. Mod 4 kaynak tahsisinde olduğu gibi öncelikle kanal dinlenir. Kanalların doluluk oranı incelendikten sonra kaynaklar seçilir. Kaynak seçildikten sonra veri

çarpışmasını engellemek için veri gönderilmeden hemen önce son kez kanal dinlenir ve aksi bir durum yoksa veri iletimi başlar (Castañeda Garcia vd., 2021)¹.

Ayrıca 5G-V2X ile birlikte, hata kontrol algoritması olan hibrit otomatik tekrar isteği (HARQ) kullanılır. TCP/IP tabanlı bir sistem olan HARQ, gönderilen veri paketlerinin doğru ulaşım ulaşıldığını kontrol eder. Doğru ulaşmayan paketleri tekrar göndererek hataları minimize etmeyi amaçlar (Ahmed vd., 2021).

5G-V2X aynı zamanda birçok teknolojiyi de geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çok etkin olmayan cihazlarda, V2X haberleşme kanallarının kontrolü azaltılarak elde edilen güç tasarrufu ve hata oranı arttıkça araç müfrezelerinin arasındaki mesafeyi değiştirmek örnek olarak verilebilir (3GPP, 2019b).

4.1.3. Hibrit Yöntem

Hem hücreli ağ tabanlı V2X haberleşme teknolojisi olan C-V2X'in hem de IEEE 802.11p temelli haberleşme teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Hibrit V2X haberleşme teknolojilerinde ise amaç her iki sistemin avantajlarını birleştirerek daha verimli bir V2X haberleşme sistemi kurmaktır. Hibrit V2X haberleşme sistemleri, diğer yöntemler gibi standartlaşmamış olsa da son zamanlarda hibrit V2X haberleşme sistemleri konusunda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Ansari, 2021; Mir vd., 2020).

IEEE 802.11p temelli sistemler için inşa edilen altyapı, sadece V2X haberleşmeye yönelik olduğundan dolayı bu altyapı tam kapasite olarak V2X haberleşme için kullanılabilir. IEEE 802.11p temelli sistemlerde, kimlik doğrulama gibi işlemler olmadığı için çok daha düşük bir gecikmeyle hizmet verilebilmektedir. Bu sistemlerin kısa mesafede hizmet vermesi, gecikmeyi daha da düşürmektedir. Otonom sürüş gibi zaman kritik uygulamalarda, düşük gecikme çok önemlidir (Wevers & Lu, 2017).

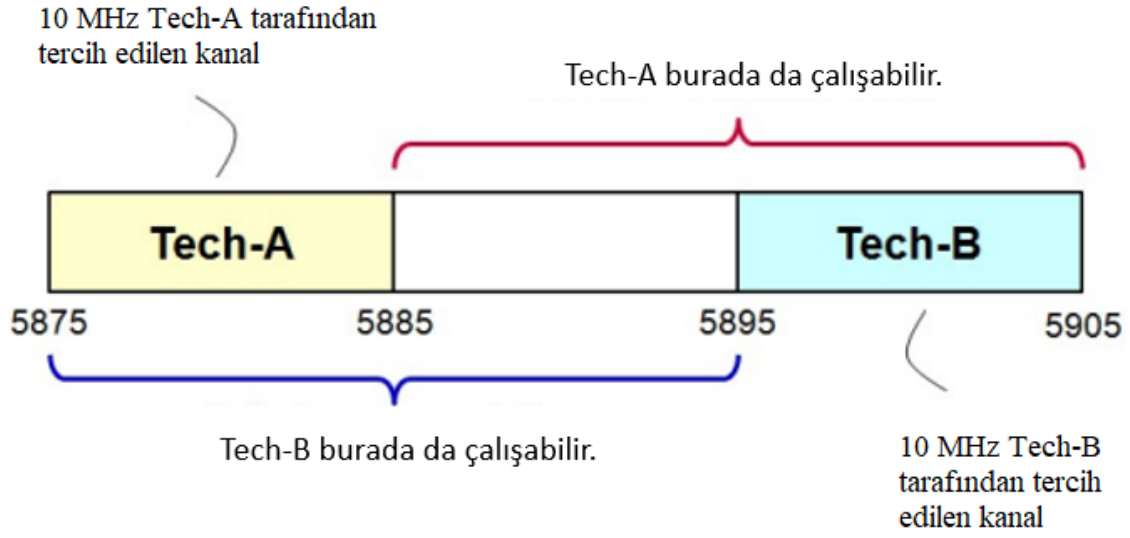
C-V2X haberleşme teknolojilerinde ise ihtiyaç olan altyapı, hücreli ağlarla birlikte yapıldığı için ilave bir yatırıma gerek yoktur. V2X haberleşme için tahsis edilmiş 5,9 GHz frekans bandı dışında frekans bantları da kullanılabildiği için C-V2X çok daha yüksek bir kapasite ile hizmet verebilmektedir. Kurulan baz istasyonları sayesinde, çok daha geniş bir kapsama alanı sunmaktadır

¹ LTE'de iki mod bulunur: Mod 3 ve Mod 4. 5G'de ise Mod 1 ve Mod 2 bulunur.

(Lucero, 2016). Ayrıca hücresel ağı bağlanan tüm cihazların V2X haberleşme ağına dahil edilebilmesi, sadece alt yapının ve araçların değil; yayaların, bisikletlilerin ve sunucuların da V2X haberleşme ağına dahil olmasını sağlayabilmektedir. Bu da çok büyük bir avantaj sunmaktadır (Digi International, 2024).

Haberleşme sistemlerinin hibrit çalışabilmesi için kaynak tahsis edilmesi önem taşımaktadır. Böylece gerektiğinde kısa mesafeli V2X haberleşme sistemlerine geçiş yapılabilecek, gerektiğinde ise C-V2X haberleşme ağına geçiş yapılabilecektir. Bundan dolayı kaynakların sürekli gözlemlenmesi gerekmekte olup bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Mir vd., 2020). Kaynak tahsisi yapılabilmesi için her iki V2X ağı için hizmet kalitesi parametreleri oluşturulmuştur. C-V2X haberleşme sistemlerinde ağ üzerinde bulunan yük, kısa mesafeli haberleşme sistemlerinde ise kanalın doluluk oranı önemlidir. Ayrıca C-V2X hazır altyapı kullandığından dolayı kullanılan kaynağın belli bir maliyeti de vardır. Kısa mesafeli haberleşme sistemlerinde ağ tamamen V2X haberleşmeye ait olduğundan dolayı ilave bir maliyeti yoktur. Böylece hangi ağ sisteminin daha uygun olduğu hesaplanır ve kullanıcıya o ağ tahsis edilir. Tahsis yapıldıktan sonra gözlem devam eder ve gerekirse ağ sistemleri arasında geçiş de yapılabilir. Bu ise sürekli servis değişimine sebep olabilir ve engellenmesi için çalışmalar yapılmıştır (Rimedo Labs, 2022; Torgunakov vd., 2022)

C-V2X haberleşme sistemleri ve DSRC sistemleri bir arada çalışırken ortaya çıkan bir başka sorun daha vardır. DSRC sistemlerinde kullanılan frekans bandı 5,9 GHz iken C-V2X haberleşme sistemlerinde PC5 arayüzü üzerinden gerçekleştirilen haberleşmeler de 5,9 GHz frekans bandı üzerinden yapılır. Dolayısıyla bu iki sistem aynı anda çalıştığında sinyallerin girişim yapma olasılığı vardır. Bu nedenle de girişim sorununun engellenmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çözümlerden biri 5GAA tarafından sunulmuştur (5GAA, 2018). Bu sunulan çözümde 5,9 GHz frekans bandında kullanılan kanalların bir bölümünün sadece C-V2X haberleşme sistemlerinde, bir bölümünün sadece DSRC sistemlerinde, kalan bölümünün de ortak olarak kullanılması önerilmiştir. Böylece her iki tarafa tahsis edilen kanallarda girişim ihtimali ortadan kalkmaktadır. Ortak kanallar kullanılmadan önce ise kanalın dolu olup olmadığı kontrol edilir. Doluysa kanal kullanılmaz, boşsa kullanılabilir. Böylece girişim problemi engellenmiş olur. Bu çözüm Şekil 23'te görselleştirilmiştir (5GAA, 2018).



Şekil 23. Hibrit V2X Ağları için Örnek Kaynak Tahsisi

Sonuç olarak ortak kullanımdan kaynaklı birçok problem ortaya çıkmaktadır, fakat çalışan bir hibrit sistemin avantajları nedeniyle karşılaşılan sorunları çözmek için yapılan çalışmalar devam etmektedir.

5. OTONOM ARAÇ SÜRÜŞ MİMARİLERİ

Otonom araçların geliştirilmesi, tasarım ve operasyonlarının karmaşıklığının yönetilmesi, sistematik ve organize bir yaklaşım gerektirir. Bu karmaşıklık; aracın çevresini algılayabilmesini, kararlar alabilmesini ve güvenli bir şekilde çalışabilmesini sağlamak için sensörler, bilgi işlem platformları, haberleşme sistemleri ve yazılım çerçeveleri gibi çeşitli bileşenlerin entegrasyonunu zorunlu hale getirir. Bu zorluğun üstesinden gelmek için otonom sürüş mimarileri; otonom sürüş sistemlerinin tasarımını, geliştirilmesini ve dağıtımını yönlendiren temel modeller olarak önerilmiştir (Velasco-Hernandez vd., 2020).

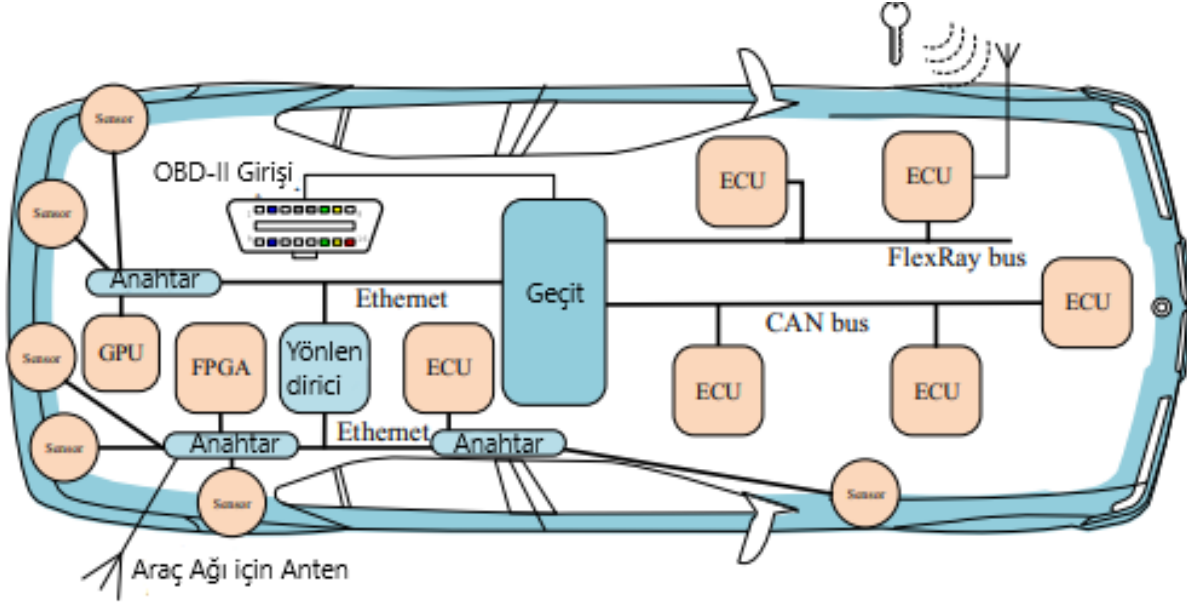
Otonom araç sistem mimarisi, bir aracın insan müdahalesi olmadan çalışmasını sağlamak için çeşitli bileşenleri ve teknolojileri birleştiren çerçevedir. Bu mimari, aracın çevresi hakkında gerçek zamanlı veriler sağlayan kameralar, LIDAR ve radar gibi çeşitli donanımların birleşimini kapsar. Bununla birlikte, makine öğrenmesi (ML) veya AI yöntemleri içeren yazılımlarla algoritma oluşturulur. Bunlar aracın içinde bulunan ve motor beyni olarak tasvir edilen elektronik kontrol ünitesinin (ECU) kontrolünü ele alır (Zong vd., 2018).

Son zamanlarda otonom araç tasarımı için hem merkezi hem de dağıtık mimariler tartışılmaktadır. 2014 yılında yayınlanan “Otonom Araç Geliştirilmesi-Bölüm I: Dağıtık Sistem Mimarisi ve Geliştirme Süreci” adlı makalede; merkezi mimarinin yüksek hesaplama kapasitesi gerektirdiği, ölçeklenebilirlikten yoksun olduğu, hata toleransı ve güvenliği garanti etmenin zor olduğu ileri sürülmüştür. Otonom sürüş uygulamalarının, birden fazla hesaplama biriminde uygulandığı dağıtık bir mimari benimsenmiştir. Bu mimarinin avantajı, karmaşıklığın birden fazla alt sisteme ayrıştırılabilmesi ve sağlamlık ile güvenlik riskinin de alt sistemlere dağıtılabilmesidir (Jo vd., 2014).

2015 yılında yayınlanan “Otomotiv Mimarisinde Yeni Trendleri Gösteren Otonom Elektrikli Araç Prototipi” adlı makalede yazarlar, tüm bilgileri merkezi bir hesaplama ünitesinde işlemek ve arızalı çalışma davranışı için çalışma zamanı ortamı sağlamak üzere merkezi bir mimari geliştirmeyi amaçlayan geleceğin e-arabaları için sağlam ve güvenilir otomotiv bilgi işlem ortamı (Robust and Reliant Automotive Computing Environment for Future eCars, RACE) projesini sunmaktadır.

Sistem entegrasyonunun, konfigürasyonunun basitleştirilebilmesi ve tüm fonksiyonlara ait bilgilerinin daha rahat paylaşılabilmesi avantajları sunulmaktadır (Buechel vd., 2015).

Bu fikirlerin harmonisi üzerine otonom araç için oluşturulan mimari, Şekil 24'te gösterilmiştir (Zheng vd., 2016). Otonom araç mimarisinde yer alan bileşenler aşağıda kısaca özetlenmiştir:



Şekil 24. Otonom Araç Mimarisi

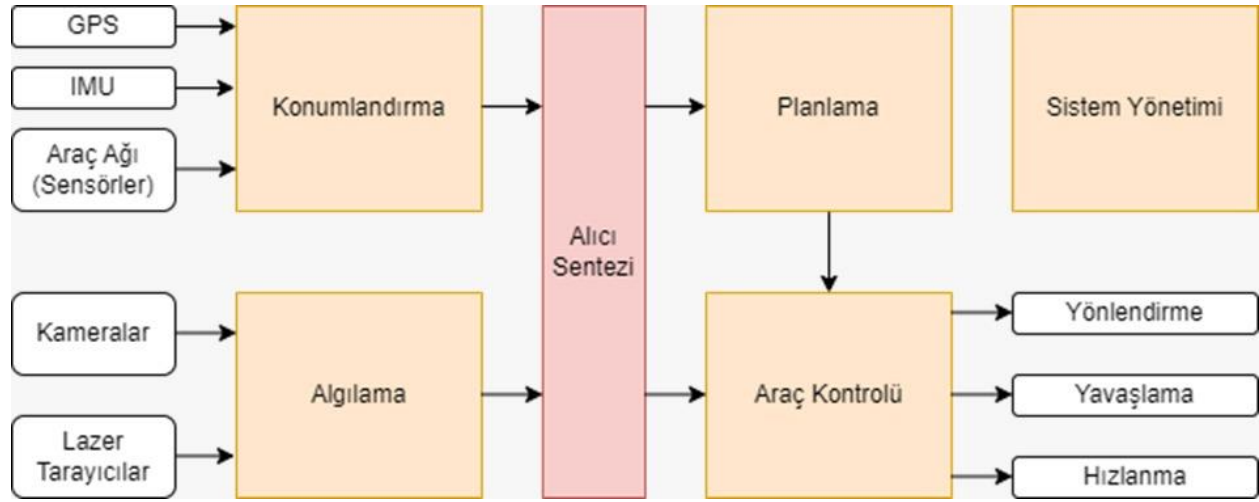
- *OBD-II Girişi (Araç İçi Tanılama-II):* Bu port, araç tanılama verilerine erişmek için standart bir arayüz sağlar. Genellikle bir tanılama aracı veya bilgisayar gibi harici cihazlara bağlanarak araç tanılama ve izleme sistemleri için kullanılır.
- *Sensör:* Sensörler, aracın çevresinden ve dahili sistemlerden veri toplar. Bunlara kameralar, LIDAR, radar ve ultrasonik sensörler gibi çevresel sensörler ve motor performansı, sıcaklık ve basınç için dahili araç sensörleri dahildir.
- *Anahtar:* Bir araçtaki ağ anahtarı; sensörler, ECU'lar ve işlemciler gibi çeşitli cihazlar arasında iletişimi sağlar. Araç ağının farklı bölümlerindeki veri akışını yönetmeye yardımcı olur.
- *Grafik İşleme Birimi (GPU):* GPU, özellikle otonom sistemlerde görüntü işleme ve derin öğrenme gibi görevler için yoğun paralel hesaplamaları işlemekten sorumludur.
- *Alan Programlanabilir Kapı Dizisi (FPGA):* FPGA'lar, sensör verilerini işleme ve otonom sistemler için özel algoritmalar uygulama gibi belirli yüksek performanslı görevleri destekleyen yeniden programlanabilir donanımlardır.

- *Yönlendirici*: Yönlendirici, araç içindeki farklı alt ağlar arasındaki iletişimi kolaylaştırır. Bir sistemden veya protokolden gelen verilerin diğerine doğru şekilde yönlendirilmesini sağlar.
- *Ethernet*: Ethernet kabloları ve bağlantıları, genellikle ECU'lar, sensörler ve işlemciler gibi bileşenleri bağlamak için kullanılan araç içinde yüksek hızlı veri aktarımı sağlar.
- *Ağ Geçidi*: Ağ geçidi, farklı ağlar veya iletişim protokolleri (örneğin, CAN veri yolu, FlexRay) arasında bir köprü görevi görür. Aracın iletişim ağları genelindeki veri akışını yönetir ve güvence altına alır.
- *Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU)*: ECU, bir aracın kontrol sisteminin kritik bir bileşenidir. Sensörlerden toplanan verileri işler ve motor yönetimi, frenleme ve direksiyon gibi çeşitli işlevler için komutları yürütür.
- *Denetleyici Alan Ağı (CAN) Veri Yolu*: CAN veri yolu, araçlarda ECU'lar ve sensörler arasında gerçek zamanlı haberleşme için yaygın olarak kullanılan sağlam bir haberleşme protokolüdür. Güvenlik açısından kritik sistemlerde verimli veri aktarımını destekler.
- *FlexRay Bus*: FlexRay, gelişmiş araç kontrol sistemlerinde kullanılan yüksek hızlı bir haberleşme protokolüdür. Frenleme ve otonom kontrol gibi sistemler için kesin ve hataya dayanıklı haberleşme sağlar.
- *Araç Ağı için Anten*: Anten; aracın hücresele ağlar, GPS veya V2X sistemleri gibi harici ağlarla haberleşmesini sağlar.

Otonom araçlar, büyük miktarda verileri işledikçe, bu verilerin aktarımı için artan bant genişliği ve ölçeklenebilirlik ihtiyaçları ortaya çıkmaktadır. Bu durum; denetleyici alan ağı (CAN) gibi geleneksel veri yolu teknolojilerinin kapasite sınırlarına ulaşmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda tam anahtarlamalı Ethernet (Fully-Switched Ethernet) otomotiv alanında otonom sürüş teknolojileri için iyi bir seçenek haline gelmektedir. Daha iyi zamanlama garantisi sağlamak için zamana duyarlı ağ (Time-Sensitive Networking/eskiden Ethernet AVB olarak biliniyordu) haberleşmesi ve zamanla tetiklenen Ethernet (Time-Triggered Ethernet) gibi Ethernet uzantıları önerilmiştir. Bu heterojen veri yollarını birbirine bağlamak için haberleşme çerçevelerini hedef veri yolu formatına dönüştürmek üzere bir ağ geçidi kullanılır. OBD-II (on-board diagnostics-II/Araç içi teşhis-II) bağlantı noktaları da mühendislerin ve teknisyenlerin sorun teşhisi amacıyla araç içi trafiği izlemesi için ağ geçidi aracılığıyla bağlanır. Şekil 24'te gösterilen otonom araç mimarisi, çeşitli veri yollarının (örneğin Ethernet, CAN ve FlexRay) bir ağ geçidi üzerinden

bağlandığı ve çeşitli hesaplama birimlerinin (ECU, alanda programlanabilir kapı dizisi/FPGA ve grafik işlemci birimi/GPU dahil) veri yolu sistemine bağlandığı bir sistemi ifade eder.

Otonom araçların çalışmasında yer alan bileşenler ve sistemler, Şekil 25'te gösterilmiştir (Jo vd., 2015).



Şekil 25. Otonom Araç Çalışma Prensipleri

Otonom araçların sürüş mimarileri, (i) teknik ve (ii) işlevsel olmak üzere iki ana dalda incelenebilir. Teknik mimari, donanım ve yazılım gibi fiziksel bileşenlere odaklanarak bunların sistem içindeki uygulanmasını ve entegrasyonunu ayrıntılı olarak açıklarken işlevsel mimari; süreçlerin mantıksal akışını ve verilerin toplandığı, işlendiği ve sürüş kararları almak için kullanıldığı aşamaları açıklar. Bu bakış açıları birlikte ele alındığında, otonom sürüş sistemleri hakkında kapsamlı bir anlayış sunarak gerçek dünya uygulamaları için ölçeklenebilir, güvenilir ve güvenli çözümlerin oluşturulmasını sağlar. Aşağıdaki bölümlerde, teknik mimari ve işlevsel mimari ayrıntılı olarak incelenmiştir (Velasco-Hernandez vd., 2020).

5.1. Teknik Mimari

Otonom sürüş mimarisinin teknik mimarisi, bir aracın otonom olarak çalışmasını sağlayan donanım ve yazılım bileşenlerini inceler. Bu bakış açısı, otonom sürüş sistemlerinin temelini oluşturan fiziksel unsurlara (sensörler, işlem birimleri, haberleşme ağları ve yazılım çerçeveleri) odaklanır (Velasco-Hernandez vd., 2020).

5.1.1. Donanım Katmanı

Donanım katmanı, sensörler aracılığıyla aracın iç durumunu ve dış çevresel koşulları algılayan bir yapı olarak tanımlanabilir. Bu sensörler genel olarak proprioseptif sensörler² ve eksteroseptif sensörler³ olmak üzere iki türe ayrılır (Velasco-Hernandez vd., 2020):

a. Proprioseptif Sensörler

Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS), uydularla iletişim kurarak mutlak konumlandırma bilgisi sağlar ve aracın Dünya yüzeyindeki konumunu belirlemesine olanak tanır. Atalet Ölçüm Birimi ve Ataletsel Navigasyon Sistemi; hızlanmayı, dönüşü ve diğer hareketle ilgili parametreleri ölçerek aracın GNSS sinyalleri zayıf veya mevcut olmadığında bile hareketini ve yönünü izlemesini sağlar. Kodlayıcılar, tekerlek dönüşünü ve hızını ölçerek doğru odometri hesaplamalarına katkıda bulunur.

b. Eksteroseptif Sensörler

Kameralar; diğer araçlar, yayalar, trafik işaretleri ve şerit işaretleri gibi nesneleri algılamak ve sınıflandırmak için işlenebilen görüntü veya video biçiminde görsel bilgileri yakalar.

LIDAR sensörleri hassas nesne algılama ve haritalama için gerekli olan ortamın ayrıntılı üç boyutlu temsillerini (nokta bulutları) oluşturmak için lazer darbeleri yayar.

Radar sensörleri nesneleri algılamak ve menzillerini, açılarını ve hızlarını ölçmek için radyo dalgalarını kullanır.

Ultrasonik Sensörler yakındaki nesneleri tespit etmek için yüksek frekanslı ses dalgaları yayar, genellikle park yardımı ve düşük hızlı engel tespiti için kullanılır.

Bu sensörler, güvenli ve etkili otonom sürüşü etkinleştirmek için gerçek zamanlı olarak işlenmesi gereken büyük miktarda veriler üretir. Bu veriler, işlem birimi tarafından işlenir. Otonom araçlardaki işlem birimleri, yoğun hesaplama görevlerini ele almak üzere tasarlanmıştır ve üç dalda incelenebilir (Velasco-Hernandez vd., 2020).

1. Yüksek performanslı işlemci (Central Processing Unit, CPU), genel hesaplama görevlerini yöneten ve çeşitli alt sistemleri koordine eden çok çekirdekli işlemcidir.

² Proprioseptif sensörler; konum, hız ve ivme gibi kinematik verilerin belirlenmesinde kullanılır.

³ Eksteroseptif sensörler; aracın çevresini ve nesneleri tanımada kullanılır.

2. Grafik İşleme Birimi (Graphics Processing Units, GPU), paralel işleme için geliştirilmiştir ve özellikle görüntü ve sensör veri analizi için ML ve DL’de kullanılan karmaşık algoritmalar için kullanılmaktadır.
3. Alan Programlanabilir Kapı Dizisi (Field Programmable Gate Array, FPGA), gerçek zamanlı sinyal işleme ve sensör birleştirme algoritmaları gibi belirli görevleri verimli bir şekilde yürütmek üzere programlanabilen özelleştirilebilir bir birimdir.

Bunların yanı sıra araç içindeki haberleşme, dahili ağ arayüzleri tarafından kolaylaştırılır. Bu ağ arayüzleri; farklı bileşenlerin ve alt sistemlerin, verileri, verimli ve güvenilir bir şekilde değiştirmesini sağlar. Bu ağ arayüzleri, yüksek bant genişliğine sahip arayüzler ve düşük bant genişliğine sahip ağlar olarak iki dalda incelenebilir (Velasco-Hernandez vd., 2020).

1. Yüksek bant genişliğine sahip arayüzler, USB 3.x ve Gigabit Ethernet gibi örnekleri olan ve kameralar ile LIDAR gibi sensörlerden gelen büyük veri akışlarını önemli bir gecikme olmadan işleme birimlerine ileten birimlerdir.
2. Düşük bant genişliğine sahip ağlar ise denetleyici alan ağı (Controller Area Network, CAN) ve yerel bağlantı ağı (Local Interconnect Network, LIN) gibi örnekleri olan ve motor yönetimi, fren sistemleri ile diğer kritik kontroller gibi işlevler için elektronik kontrol üniteleri (Electronic Control Unit, ECU) arasında gerçek zamanlı kontrol haberleşmeleri için kullanılan birimlerdir.

Otonom araçlar; dahili haberleşmenin ötesinde, V2X haberleşmesi yeteneklerini de bünyesinde barındırır. V2X; aracın diğer araçlar (V2V), altyapı (V2I), yayalar (V2P) ve ağlar (V2N) dahil olmak üzere harici varlıklarla etkileşime girmesini sağlar. Bu yetenek; trafik koşulları, yol tehlikeleri ve kooperatif manevralar hakkında bilgi sağlayarak durumsal farkındalığı artırır ve daha güvenli ve daha verimli sürüşe katkıda bulunur (Velasco-Hernandez vd., 2020).

“Mobil platform” olarak adlandırılan aracın kendisi, kontrol komutlarını yürüten aktüatörler içerir. Aktüatörler; direksiyon, hızlanma ve frenleme gibi mekanik sistemleri kontrol eder. Mobil platformun tasarımı; binek otomobil, ticari kamyon veya arazi aracı gibi türler doğrultusunda, uygulamaya bağlı olarak değişir (Velasco-Hernandez vd., 2020).

Platform stabilizasyon bileşenleri ise genellikle çekiş kontrolü, elektronik stabilite programları ve kilitlenmeyi önleyici frenleme özellikleriyle ilgilidir. Araç çalışır durumdayken araç platformunu kontrol edilebilir bir durumda tutma amacıyla uygunsuz hareket talepleri reddedilebilir veya aracın

fiziksel yetenekleri ve güvenlik kapsamı dahilinde kalacak şekilde uyarlanabilir (Behere & Törngren, 2015).

Yörünge uygulama bileşenleri; karar verme ve kontrol tarafından oluşturulan yörüngeyi fiilen yürütülmesinden sorumludur. Bu; dikey hızlanma (itiş), yanal hızlanma (yönlendirme) ve yavaşlamanın (frenleme) birleşimiyle elde edilir (Behere & Törngren, 2015).

5.1.2. Yazılım Katmanı

Yazılım katmanında, otonom sürüşün karmaşıklığı, çeşitli bileşenleri etkili bir şekilde yönetmek ve entegre etmek için karmaşık yazılım çerçeveleri ve standartları gerektirir. Yazılım katmanı dört farklı dalda incelenebilir (Velasco-Hernandez vd., 2020).

ML, AI ve DL algoritmaları, sensör verilerini yorumlamak için algılama görevlerinde yaygın olarak kullanılır. Gerçek zamanlı işletim sistemleri (Real-Time Operating Systems, RTOS), görevlerin sıkı zamanlama kısıtlamaları içinde yürütüldüğü bir bilgi işlem ortamı sağlar; gecikmiş yanıtların kazalara yol açabileceği güvenlik açısından kritik uygulamalar için gereklidir. Veri toplama yazılımları, sürücülerin aracın sensörleri aracılığıyla elde ettiği tüm verileri, sağlıklı ve güvenli bir şekilde toplamasını sağlar. Bunların yanı sıra kullanıcı arayüzünü ve aktüatörleri kontrol etmek ve aracın durumunu izlemek için gerçek zamanlı ve kritik yazılım gibi araç operasyonunun farklı yönleriyle ilgilenen yazılım bileşenleri de vardır. Yazılımdaki bu kompleks durum, belirli kalıpları takip etme ve bu tür sistemlerin hem düşük hem de yüksek seviyede başarılı bir şekilde geliştirilmesini, yönetilmesini ve dağıtılmasını sağlayan standartları uygulama ihtiyacı oluşturur. Bu yazılım çerçeveleri, otonom araç yazılımının senkronize bir şekilde çalışması için yapılandırılmış bir yol sağlar (Velasco-Hernandez vd., 2020).

Otonom araçların geliştirilmesi büyük ölçüde nesne tanıma ve sınıflandırma konusunda üstün olan sinir ağlarına dayanır. Bu araçlar, temelde yollardaki beyaz çizgileri takip etmek için bilgisayarlı görü (CV) algoritmalarını kullanır. Gerçek ve simüle edilmiş yollarda, binlerce saatlik sürüş ve milyonlarca kilometrelik kapsamlı eğitimlerle oluşturulan otonom sürüş modeli, otomobilin hareketlerine rehberlik eder. Genellikle video oyunu şirketleri tarafından geliştirilen bu simülasyonlar, otonom araçların hem yaygın hem de nadir olayları ele almasına olanak tanır. Doğruluk için sürekli gelişen yazılım modelleri, gerçek zamanlı çıkarım için araçlarda kullanılır.

CNN'ler; nesneleri algılar, sınıflandırır ve bölümlere ayırırken tekrarlayan sinir ağları (recurrent neural networks, RNN'ler) zamansal verileri işler.

Otonom araçların çalışmasına yönelik algoritmalar, birden fazla görevi aynı anda veya sırayla yapmasını gerektirir. Bu görevlere örnek olarak sensörlerden alınan verilerin algılanması veya uygun yörüngenin uygulanması için bir hesaplama serisinin başlatılıp bitirilmesi verilebilir. Bu görevlerin hatasız bir şekilde yapılabilmesi için araç bilgisayarının enerji tüketiminin ve performansının incelenmesi gerekir. Otonom araç işletim platformu konusunda farklı çözüm önerileri getirilmiştir. En yaygın olanlar; (i) GPU temelli platform, (ii) dijital sinyal işleme (Digital Signal Processing, DSP) temelli platform, (iii) FPGA temelli platform ve (iv) uygulamaya özel tümleşik devre (Application Specific Integrated Circuit, ASIC) temelli platform olarak sıralanabilir (S. Liu vd., 2017).

a. Grafik İşleme Birimi (GPU) Temelli Platform

GPU temelli platformlar, otonom sürüş teknolojilerinde yüksek işlem gücü gerektiren görevler için optimize edilmiştir. Özellikle DL hesaplamalarında ve paralel işlem yeteneklerinde güçlü bir performans sunarak otonom sistemlerin ihtiyaçlarını karşılamaktadır.

NVIDIA PX2 platformu, otonom sürüş için bir GPU tabanlı çözümdür. Her GPU'nun özel bir belleği ve derin sinir ağı (deep neural network, DNN) hızlandırma için özel talimatları vardır. Optimize edilmiş giriş/çıkış (input/output, I/O) mimarisi ve DNN hızlandırma ile her PX2, saniyede 24 trilyon DL hesaplaması gerçekleştirebilmektedir. Bu, AlexNet DL iş yüklerini çalıştırdığında, saniyede 2.800 görüntü işleyebilme anlamına gelmektedir (S. Liu vd., 2017).

b. Dijital Sinyal İşleme (DSP) Temelli Platform

DSP temelli platformlar, enerji verimliliği ve düşük güç tüketimiyle öne çıkan çözümler sunmaktadır. Görüntü işleme gibi belirli görevlerde yüksek performans sağlayarak otonom araçların hassas ve hızlı karar alma süreçlerini desteklemektedir.

Texas Instruments'ın TDA'sı, DSP tabanlı bir otonom sürüş çözümüdür. Bir TDA2x SoC, görüntü işleme işlevleri için tasarlanmış iki kayan noktalı C66x DSP çekirdeğinden ve dört adet tamamen programlanabilir görüntü hızlandırıcıdan oluşmaktadır. Hızlandırıcılar, TDA'nın, daha az güç tüketerek ARM Cortex-15 CPU ile mümkün olandan sekiz kat daha hızlı görme görevlerini tamamlamasına olanak tanımaktadır (S. Liu vd., 2017).

CEVA'nın başka bir DSP tabanlı çözümü olan CEVA-XM4, video akışlarında CV görevlerini yürütmek üzere tasarlanmıştır. Başlıca avantajı enerji verimliliği olup CEVA-XM4, saniyede 30 kare (fps) hızında, 1.080 piksellik bir video için 30 mW'tan daha az güç gerektirmektedir (S. Liu vd., 2017).

c. Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi (FPGA) Temelli Platform

FPGA temelli platformlar, esneklik ve paralel işlem gücü sunarak otonom sürüş sistemleri için etkili çözümler sağlamaktadır. Özellikle sensör füzyonu gibi görevlerde yüksek doğruluk ve güvenilirlik elde etmek için kullanılmaktadır.

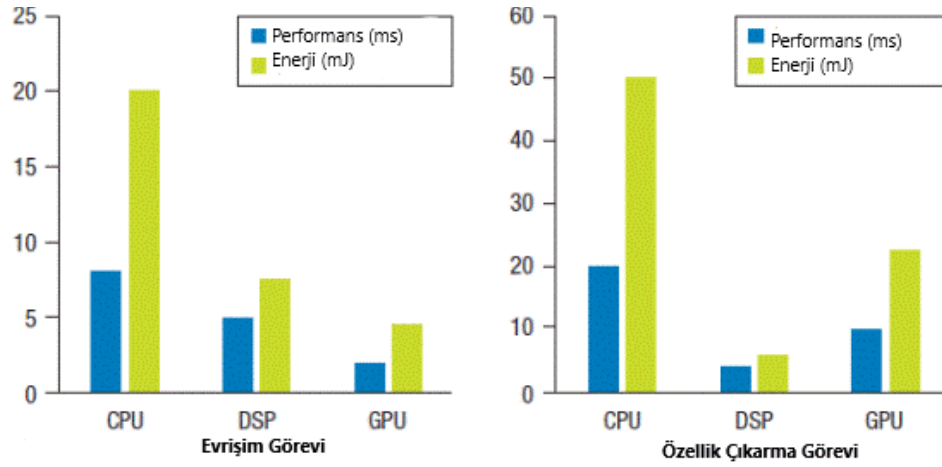
Altera'nın Cyclone V SoC'si, Audi ürünlerinde kullanılan FPGA temelli bir otonom sürüş çözümüdür. Altera'nın FPGA'leri, güvenilir nesne algılama elde etmek için birden fazla sensörün verilerini birleştirerek sensör füzyonu için optimize edilmiştir. UltraScale, evrişimli sinir ağı (CNN) görevlerini çalıştırırken Watt başına saniyede 14 görüntü (görüntü/s/W) elde ederek Tesla K40 GPU'dan (4 görüntü/s/W) daha iyi performans göstermektedir. Ayrıca nesne takibi için canlı 1.080 piksellik video akışında 60 fps'ye ulaşmaktadır (S. Liu vd., 2017).

d. Uygulamaya Özel Tümlşik Devre (ASIC) Temelli Platform

ASIC temelli platformlar, otonom sürüş sistemleri için özel olarak tasarlanmış donanımlar sunmaktadır. Bu platformlar, belirli görevler için optimize edilmiş yüksek performans ve düşük enerji tüketimi avantajı sağlar.

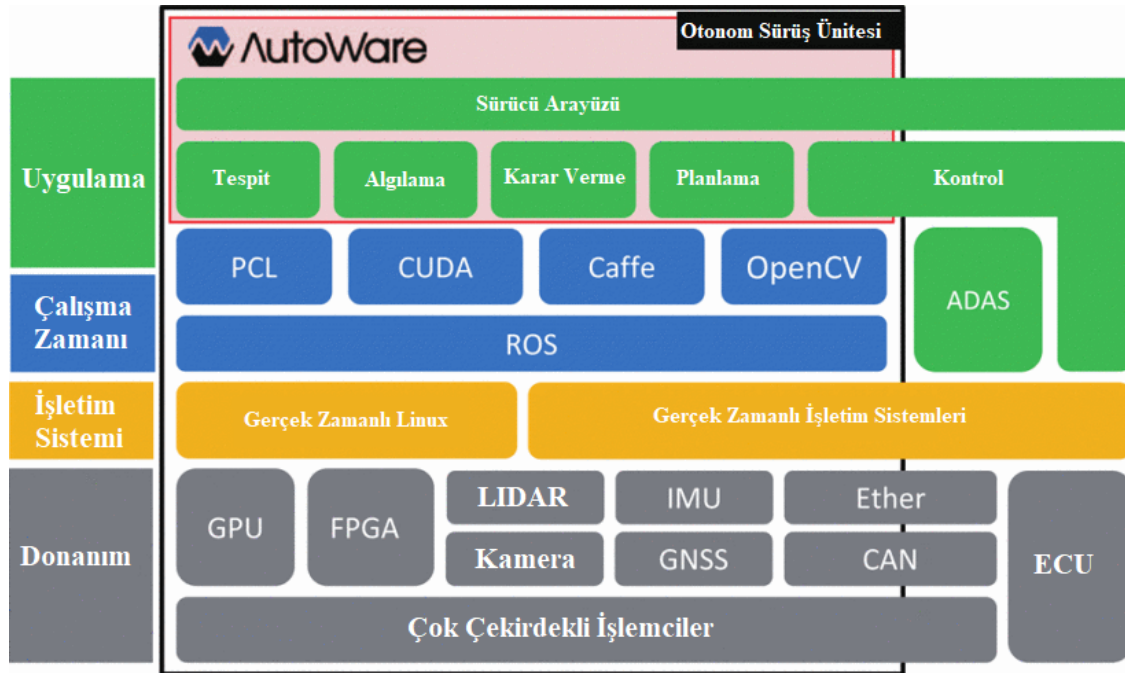
MobileEye EyeQ5, otonom sürüşe yönelik önde gelen ASIC tabanlı bir çözümdür. EyeQ5, her biri CV, sinyal işleme ve ML görevleri de dahil olmak üzere kendi algoritma ailesi için optimize edilmiş, heterojen, tamamen programlanabilir hızlandırıcılara sahiptir. Bu mimari çeşitlilik sayesinde, uygulamalar her görev için en uygun çekirdeği kullanarak hem hesaplama süresinden hem de enerjiden tasarruf sağlayabilmektedir (S. Liu vd., 2017).

Farklı otonom araç işletim platformlarının evrişim ve özellik çıkarma görevleri için harcadıkları enerji ve buna karşılık gelen performans değerleri Şekil 26'da gösterilmiştir (S. Liu vd., 2017):



Şekil 26. Platformların Enerji/Performans Karşılaştırması

Otonom araç yazılımlarında kullanılan algoritmalar, insan muhakemesini taklit edecek ve ötesinde ortalama insan muhakemesinden daha iyi karar verecek şekilde tasarlanır. Birçok ülkede kentsel alanlarda uzun mesafelerde kullanılan otonom araçlar için “Autoware” olarak isimlendirilen ve otonom araçların açık kaynak yazılım yığını uygulamaları test edilmiştir. Autoware; algılama, karar verme, planlama ve kontrol modüllerini içeren zengin bir yazılım paketi sağlamaktadır. Autoware sayesinde geleneksel araçlar, otonom araçlara dönüştürülebilmektedir. Autoware kullanan otonom araçlar için yazılım yığını, Şekil 27’de gösterilmiştir (Kato vd., 2018).



Şekil 27. Autoware Kullanan Otonom Araçlar için Eksiksiz Yazılım Yığını

İstanbul Okan Üniversitesi tarafından geliştirilen OPINA, akıllı, haberleşen ve otonom araç teknolojileri alanında yazılım ve donanım geliştirme süreçlerini desteklemek amacıyla tasarlanmış, açık inovasyon metodolojisini temel alan teknik bir altyapı platformudur. Platform, yazılım ve donanım geliştirme, simülasyon, test, sertifikasyon, eğitim ve mentorluk gibi hizmetlerin yanı sıra, ulusal ve uluslararası iş birliği ve iş geliştirme olanakları sağlamaktadır. Proje kapsamında, endüstri, üniversite ve KOBİ’ler arasında inovasyon odaklı bir iş birliği ekosisteminin oluşturulması ve bu ekosistemin sürdürülebilir şekilde geliştirilmesi hedeflenmektedir (İstanbul Okan Üniversitesi, 2024).

5.2. İşlevsel Mimari

Otonom sürüş mimarisinin işlevsel mimari bölümü; otonom aracın çevresini algılamasını, bilinçli kararlar almasını, güvenli ve verimli bir şekilde çalıştırmak için eylemler gerçekleştirmesini sağlayan süreçlerin mantıksal akışına odaklanır. Bu mimari (i) algılama, (ii) planlama ve karar verme, (iii) hareket ve araç kontrolü ile (iv) sistem denetimi olmak üzere dört temel aşamada yapılandırılmıştır. Bu aşamaların her biri, ham sensör verilerini eyleme geçirilebilir kontrol komutlarına dönüştürmede ve genel sistemin değişen koşullar altında güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamada önemli bir rol oynar (Velasco-Hernandez vd., 2020).

Otonom araçlar, genellikle çalışma prensibi olarak “Algıla-Planla-Harekete Geç” modelini kullanmaktadır (FunctionalSafetyEngineer.com, 2023). Bu modelin “Algıla” aşamasında, otonom araçların kameralar, sensörler, tarayıcılar ve konumlandırma sistemleri ile çevresi hakkında bilgi elde etmesi sağlanmaktadır. “Planla” aşamasında, otonom aracın istikametini belirlemesi ve bu bağlamda güvenli bir şekilde bu istikamete nasıl gideceğinin planlaması yapılmaktadır. “Harekete Geç” aşamasında ise yapılan planlama kapsamında hareket ederek belirlenen istikamete gidilmesi sağlanmaktadır.

5.2.1. Algılama Aşaması

Otonom araç teknolojilerinde sürüş, robotik sistemler kullanılarak gerçekleştirildiği için araçların çevresinde bulunan hareketli ve hareketsiz nesnelerin algılanması, güvenli sürüşün sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Sürücülü araçlarda, sürücüler davranışlarını çevredeki hareketli veya hareketsiz cisimleri dikkate alarak gerçekleştirmektedir. Bu bağlamda, otonom

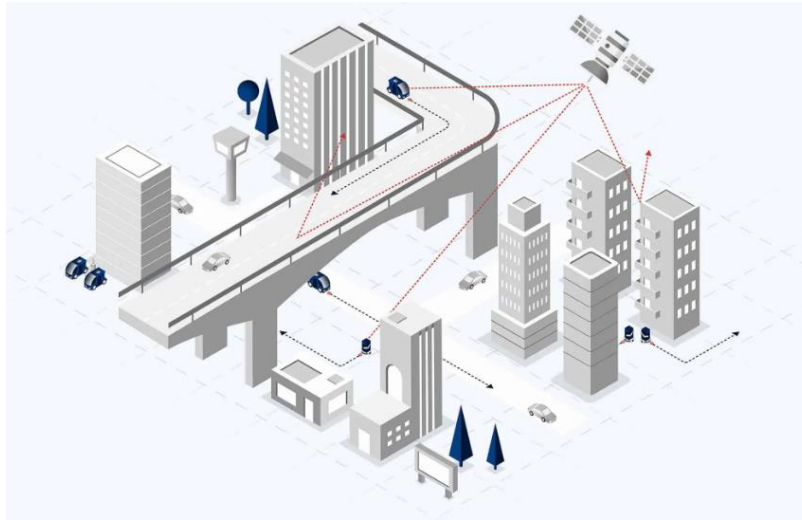
araçların da sorunsuz çalışan ve eksiksiz bir şekilde tanımlama sürecini yöneten bir algılama sistemine ihtiyacı vardır (Jo vd., 2015).

Algılama aşaması, aracın durumu ve çevresindeki ortam hakkında kapsamlı bir anlayış oluşturmak için çeşitli sensörlerden veri toplayıp işleyerek işlevsel mimarinin temelini oluşturur. Kameralar, LIDAR, radar ve GNSS gibi sensörler, sürekli olarak bir dünya modeli oluşturmak için kullanılan verileri sağlar; bu model, aracın çevresindeki nesnelerin, arazinin ve diğer ilgili unsurların bir temsidir. Bu aşama konumlandırma ve haritalama ile nesne algılama olmak üzere iki temel işlevi yerine getirir (Velasco-Hernandez vd., 2020).

Konumlandırma

Konumlandırma, gerekli isabet oranı sağlanmak koşuluyla aracın dünyadaki konumunu belirlemeden sorumludur. Buna ek olarak harita eşleştirme teknolojisi ile birlikte çalışarak algılanan nesnelerin koordinat sistemindeki yerini tayin eder. Tipik bir konumlandırma bileşeni, GPS ve atalet ölçü biriminin bir kombinasyonu olarak çalışır (Behere & Törngren, 2015).

Otonom araçların en uygun rotayı bulma ve en güvenli araç hareketini sağlama sürecinde, konumlandırma sistemlerinin önemi büyüktür. Otonom aracın bulunduğu konumun ve aracın hızının tespit edilmesinin hassas bir şekilde gerçekleştirilmesi kritik bir husustur. Güvenli ve sorunsuz bir otonom sürüş sisteminin oluşturulması için sağlanması gereken en önemli ve ilk adım hatasız çalışan bir konumlandırma sisteminin kullanılmasıdır. Şekil 28’de otonom araç konumlandırma sistemi görseli bulunmaktadır (Unmanned Systems Technology, 2022).



Şekil 28. Otonom Araç Konumlandırma Sistemi

Geliştirilmekte olan otonom araç teknolojileri dahilinde kullanılan konumlandırma sistemleri, farklı algılama ve konum tespit teknolojilerinin bir arada kullanılmasıyla oluşturulmaktadır (Bosch, 2023). GNSS, bu teknolojilerden birisidir. Bu teknoloji, kullanıcılara hassas konum bilgileri sağlamak amacıyla bir dizi uydu ve alıcıdan oluşan bir sistemdir. GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou gibi farklı ülkeler ve bölgeler tarafından geliştirilen çeşitli GNSS sistemleri bulunmaktadır (X. Liu vd., 2019).

GNSS'e ek olarak araçların hızının ve yönünün tespit edilmesinde ataletsel ölçüm birimleri (IMU) de kullanılmaktadır.

GNSS ve IMU'ya ek olarak otonom araçların özellikle çevreyi algılamada kullandığı radar, LIDAR, kamera ve sensörler de konumlandırma sistemi kapsamında kullanılmaktadır. Bu teknolojilerin bir sentez olarak kullanılmasının en önemli avantajı, GNSS ve IMU'nun tek başına kullanıldığı durumlara kıyasla daha kesin ve net konumlandırma sağlamasıdır. Radar, LIDAR, kamera ve sensörlerin kullanımı ile konumlandırma sistemindeki hata daha da aza indirilebilmekte ve otonom araç teknolojilerinin uygulanabilirliği artırılabilir.

Diğer yandan otonom araç; haritalama, eşzamanlı yerelleştirme ve haritalama (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) gibi teknikleri kullanarak çevrenin haritalarını oluşturur veya günceller. Nesne algılama; yayalar, diğer araçlar, yol işaretleri ve engeller gibi varlıkları belirler ve sınıflandırır; böylece sistemin olası etkileşimleri ve tehlikeleri tahmin etmesini sağlar (Velasco-Hernandez vd., 2020). Konumlandırma ve algılama sistemleri kapsamında gerçekleştirilen faaliyetlerin sentezlenmesi ile otonom araçların çevreleri, kendi konumları ve hızları hakkında farkındalığı üst düzey bir seviyeye çıkarılmaktadır. Böylelikle otonom sürüş mimarisinde yer alan sonraki adımlar (planlama ve araç kontrolü) güvenli ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Jo vd., 2015). Şekil 29'da otonom araçların algılama sistemi görseli yer almaktadır (Global Infrastructure Hub, 2020).

EN 16803-1 standardı, AUS için GNSS tabanlı konumlandırma sistemi kullanımını ele almaktadır. Bu standart, konumlandırma sistemi değerlendirmesi için gereken konumlandırma performans özelliklerini ve metriklerini tanımlamaktadır (European Commission, 2016). ETSI TS 103 246-1 standardı ise GNSS tabanlı konumlandırma sistemlerinin işlevsel gereksinimlerini tanımlamaktadır. GNSS sinyallerinin güç seviyelerini ve GNSS tabanlı konumlandırma sistemlerinin performansını değerlendirmek için kullanılan metrikleri içermektedir. Aynı zamanda,

GNSS tabanlı konumlandırma sistemlerinin tasarımı, kurulumu ve işletimi için bir rehber niteliği taşımaktadır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2017).



Şekil 29. Otonom Araçların Algılama Sistemi

IEEE 1780-2022 standardı, IMU'ların tasarımı, testi ve performans değerlendirmesiyle ilgili kriterleri içermektedir. Ayrıca IMU'ların doğruluk, hassasiyet, çözünürlük ve güvenilirlik gibi performans özelliklerini belirlemek için kullanılan metrikleri tanımlamaktadır (IEEE Standards Association, 2022b).

ISO 26262 standardı, otomotiv endüstrisindeki elektrik/elektronik sistemlerin işlevsel emniyet gereksinimlerini belirlemektedir. Aynı zamanda, otonom araçların algılama sistemleri kapsamında kullanılan elektrik/elektronik bileşenler de bu standartla uyumlu olmalıdır (Rohm Semiconductor, 2020).

PAS 1880:2020 standardı, otonom araçlar için kontrol sistemlerinin geliştirilmesi ve değerlendirilmesine yönelik bir kılavuz görevi görmektedir. Aynı zamanda, otonom araç geliştiricileri için kontrol sistemi yönergelerini belirlemektedir (BSI Knowledge, 2020).

5.2.2. Planlama ve Karar Verme Aşaması

Algılama aşaması çevrenin doğru bir temsilini sağladığında, planlama ve karar alma aşaması devreye girer. Bu aşama, aracın hedefine doğru ilerlemesi için hem küresel planlar hem de yerel eylemler üretmeye odaklanır. Yüksek düzeyde, küresel bir harita kullanarak A noktasından B noktasına rotayı belirlemek gibi uzun vadeli yörüngeler oluşturur. Daha ayrıntılı bir düzeyde, çevrede gözlemlenen dinamik koşullara dayalı olarak geçiş noktaları veya belirli eylemler tanımlayarak kısa vadeli hareketleri planlar. Sistemin, ani engeller veya otonom acil frenleme (Autonomous Emergency Braking, AEB) ihtiyacı gibi beklenmeyen durumlarla başa çıkmak için reaktif davranışları da hesaba katması gerekir. Ayrıca, güvenli ve uyumlu bir çalışma sağlamak için trafik kuralları, hız sınırları ve harita güncellemeleri gibi harici girdiler, karar alma sürecine dahil edilir (Velasco-Hernandez vd., 2020).

Planlama sistemi, otonom araç hareketlerinin planlanmasında kullanılmaktadır. Bu işlem üç adımdan oluşmaktadır: Öncelikle makro ölçekte rota oluşturulmaktadır. Bu adımda, bulunan konum ve ulaşılması hedeflenen konum arasında bir rota ortaya çıkarılmakta ve hareketin bu rota üzerinde yapılması planlanmaktadır. Ardından ikinci adımda, alıcı sentezi kapsamında elde edilen çevresel farkındalık ve oluşturulan rota dahilinde gerçekleştirilecek sürüş davranışlarına karar verilmektedir. Son adımda ise aracın bölgesel hareketlerine karar verilmektedir. Bu adımda, tespit edilen hareketli ve hareketsiz cisimler de dikkate alınarak mikro ölçekte hareket planlaması yapılmaktadır ve engellerle, yayalarla, araçlarla vb. hususlarla çarpışma durumunun önüne geçilmesi hedeflenmektedir (Jo vd., 2015).

Planlama yapıldıktan sonra, oluşturulan planın araç kontrolü ile uygulanmaya başlanması, otonom araç sistemlerinin en önemli hususlarından birisidir. Otonom sürüş mimarisinin önceki adımlarında gerçekleştirilen çevresel farkındalığı artırma ve sürüş davranışının belirlenmesi süreçleri bir arada değerlendirilerek araç kontrol edilmektedir. Bu kontrol kapsamında aracın yönlendirilmesi, hızlanması ve yavaşlaması gibi hususlar, aktüatörler tarafından gerçekleştirilmektedir (Jo vd., 2015).

Yörünge oluşturma bileşeni, dünya koordinat sistemine tekrarlı bir şekilde serbest yörüngeler gönderir ve bunların arasından en doğru olanı seçer. Bu bileşen, enerji kullanılabilirliği ve platformun durumu gibi kriterlerle sınırlandırılabilir.

Teşhis ve arıza yönetimi, mevcut yeteneklere göre genel sistemin durumunun belirlenmesi anlamına gelir. Tanımlanan durum; artıklık yönetimi, yeteneklerin sistematik olarak bozulması, güvenli durumlara geçişlerin tetiklenmesi ve potansiyel sürücü devri gibi davranışları yönetmek için kullanılabilir.

Reaktif kontrol veya diğer adıyla refleks, çevreden gelen beklenmedik uyaranlara anında tepki verme işini üstlenir. Örneğin ani fren yaparak çarpışmayı hafifletme reaktif kontrol olarak değerlendirilebilir. Bu bileşenler nominal sistemle paralel olarak çalışır ve bir tehdit tespit edilirse nominal davranış isteklerini geçersiz kılar (Behere & Törngren, 2015).

SAE J3018 standardı, otonom araçların planlama ve hareket kontrolünü tanımlayan bir standarttır. Standart, otonom araç sistemlerinin tasarımı, gelişimi ve uygulamasında bir referans olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır (SAE International, 2019a).

ISO 34502-1 standardı ise otonom araçların hareket planlamasının temel ilkelerini ve gereksinimlerini tanımlayan bir standarttır. Standart, otonom araçların güvenli ve verimli bir şekilde hareket etmesini sağlamak için tasarlanmıştır (International Organization for Standardization (ISO), 2022d).

5.2.3. Hareket ve Araç Kontrolü Aşaması

Hareket ve araç kontrolü aşaması, planlama aşamasında alınan kararları aracın aktüatörleri tarafından yürütülen fiziksel eylemlere dönüştürür. Bu aşama; aracın fiziksel sınırlamalarını, geometrisini ve dinamiklerini göz önünde bulundurarak planlanan yörüngeyi takip etmek için direksiyon, hızlanma ve frenleme sistemlerini kontrol etmeyi içerir. Bu aşamada verilen komutlar, hedef pozisyonları gibi yüksek seviyeli hedeflerden, direksiyon açılarında veya fren kuvvetlerinde hassas ayarlamalar gibi düşük seviyeli talimatlara kadar değişebilir. Bu aşama, normal çalışmayı geçersiz kılmak ve kazaları önlemek için çarpışma önleme modülleri gibi reaktif sistemlerden kaynaklanan yüksek öncelikli komutlara öncelik vermesi gerektiğinden, güvenlik mekanizmalarıyla sıkı bir şekilde bağlantılıdır (Velasco-Hernandez vd., 2020).

5.2.4. Sistem Denetimi Aşaması

Sistem denetimi aşaması, otonom sürüş sistemleri kapsamında bulunan tüm bileşenlerin denetlendiği ve kontrolünün yapıldığı önemli bir aşamadır. Aracın hızı, yönü, arızaları, konumu

vb. her türlü bilgi, sistem yönetimi kapsamında yer almaktadır. Aynı zamanda, herhangi bir sorun tespit edildiği anda sistem yönetimi, aracı ani durdurma gibi sürüşe müdahale edilen yöntemlere başvurabilmektedir (Jo vd., 2015). Böylelikle sistem yönetimi kapsamında otonom araçların sürüş davranışlarına etki edilebilmektedir.

Yazılım katmanında sistem denetimi, otonom sürüş yazılım yığınının tutarlılığını ve bütünlüğünü doğrular, veri değerlerinin kabul edilebilir aralıklarda kalmasını, güncelleme oranlarının sürdürülmesini ve tutarsızlıkların derhal tespit edilmesini sağlar. Otonom araçların güvenlik açısından kritik doğası göz önüne alındığında, bu aşama, arızaları belirlemede ve sistem arızalarını önlemek için düzeltici önlemler almada, hayati bir rol oynar.

6. TÜRKİYE’DE YÜRÜTÜLEN OTONOM ARAÇ ÇALIŞMALARI

Ülkemizde çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından otonom araç çalışmaları yapılmaktadır. Yapılan anket çalışmaları kapsamında, Türkiye’de otonom araç teknolojileri üzerine çalışmalar yapan kurum ve kuruluşlar ile görüşülmüştür. Bu kurum ve kuruluşlar tarafından Türkiye’de yürütülen otonom araç çalışmalarına ve projelere ilişkin bilgiler elde edilmiştir.

Bu rapor kapsamında yer alan otonom araç çalışmaları, paydaşlar ile gerçekleştirilen anket görüşmeleri ve internet üzerinden yapılan detaylı bir kaynak taraması ile tespit edilerek derlenmiştir. Bu bölümde, her iki yöntem ile elde edilen projelere ilişkin bilgiler yer almaktadır.

6.1. Kurum ve Kuruluşların Çalışmaları

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yayınlanmış “Mobilite Yol Haritası” eylem planı kapsamında, bağlantılı ve otonom araç teknolojileri üzerine Ar-Ge ve test çalışmalarının yapılabileceği bir test merkezinin kurulması planlanmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022). Kurulacak test merkezinde, hangi senaryoların gerçekleştirileceğine dair bir çalışma devam etmektedir ve bu çalışmalar içerisinde otonom araçların trafikte karşılaşabileceği durumların bir demo kapsamında test edilmesi için hem fiziksel hem de sanal testler planlanmaktadır. Belirtilen test merkezinde; farklı kurum ve kuruluşların, özel sektör kuruluşlarının, üniversitelerin ve sivil toplum kuruluşlarının geliştirdikleri otonom araçları test edebilmeleri hedeflenmektedir. Test merkezinde kullanılacak donanımsal bileşenler (kamera, sensörler radar vb.) yurt dışından temin edilmektedir. Donanımların birbirleri ile entegre çalışmasını sağlayan kontrol üniteleri ve yazılımlar ise yerli ve milli olarak üretilebilmektedir. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın çalışmaları ile Seviye 4 otonom araç teknolojilerinin geliştirilmesi desteklenmektedir. Yakın bir tarihte ise Seviye 5 için çalışmalara başlanması planlanmaktadır.

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı öncülüğünde kamu kurumları, özel sektör, üniversite ve STK temsilcilerinin katılımıyla otonom araç çalışma grubu oluşturulmuş olup ülkemizde otonom araçların test prosedürünün ve mevzuatının oluşturulması kapsamında “Türkiye’de Otonom

Araçların Yaygınlaştırılması için Öneriler Raporu” hazırlanmıştır. Raporda, otonom sürüşün yaygınlaştırılması için yol altyapısının oluşturulması, gerekli yol işaretlemelerinin ve K-AUS çalışmalarının hız kazanması öncelikli görülen aksiyon adımları arasında yer almaktadır.

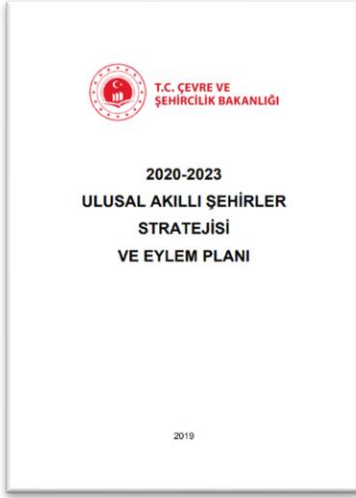
Türkiye Otomobili Girişim Grubu (Togg)

Togg, Türkiye’nin yerli ve milli otomobil girişimidir ve bu proje, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın liderliğinde yürütülmektedir. Yeni nesil araçlara benzer olarak geliştirilen elektrikli Togg T10X ile Seviye 2 otonom sürüş sağlanmaktadır. Adaptif ve pasif sürüş destek asistanı bulunan araçta, otonom fonksiyonlar arasında akıllı adaptif seyir kontrolü (ACC) ve akıllı şerit takibi sistemi bulunmaktadır. Bununla birlikte geliştirilen “yoğun trafik pilotu” olarak isimlendirilen yazılım sayesinde, Togg T10X sürücüleri, 15 km/h hıza kadar olan yoğun trafikte, ellerini direksiyondan çekip kontrolü arabaya bırakabilirler. Gelecek güncellemeler ile bu teknolojinin ilerlemesi planlanmaktadır (LOG, 2023). Şekil 30’da Togg T10X görseli bulunmaktadır (Togg, 2024).



Şekil 30. TOGG T10X

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı

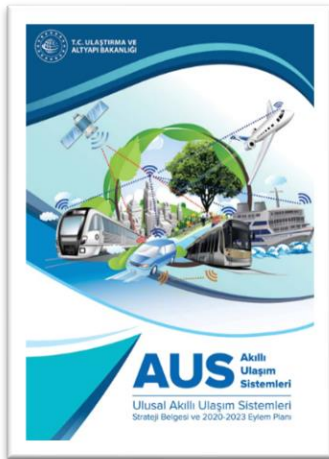


Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2019 yılında yayınlanan “2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı” kapsamında otonom araç teknolojilerinin yaygınlaşmasının akıllı şehirlere doğrudan katkı yapacağını vurgulamıştır. Bu bağlamda özellikle otonom otobüsler aracılığı ile toplu taşıma sisteminde otonom araçların kullanımının artmasının sera gazı emisyonlarının azaltılması konusunda önemli bir etkisi olacağı öngörülmektedir. Bu amaçla ulaşım altyapısının geliştirilmesi ve uygun mevzuatların düzenlenmesi gerektiği belirtilmiştir (Türkiye Cumhuriyeti Çevre Şehircilik ve

İklim Değişikliği Bakanlığı, 2019).

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından taslak olarak yayınlanan “2024-2030 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı”nda, otonom araç teknolojilerinin giderek daha fazla benimsenmesinden akıllı şehirlerin doğrudan fayda sağlayacağı vurgulanmaktadır. Bu bağlamda otonom araç teknolojilerinin lojistikte kullanımına yönelik araştırma ve geliştirme altyapısının oluşturulmasının yanı sıra otonom araçlar için test alanları belirlenmesi hususlarına yer verilmiştir (Türkiye Cumhuriyeti Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı



Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından 2020 yılında yayınlanan “Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı” kapsamında altyapının otonom sürüşe hazır hale getirilerek tam otonom araçların ulaşım modlarında yaygınlaştırılması uzun dönem hedefler arasında yer almıştır. Buna ek olarak otonom araçlara ait testlerin yapıldığı ve sertifikalandırmanın gerçekleştirildiği Otonom Sürüş Test ve Sertifikasyon Merkezlerinin kurulması da hedeflenmiştir. Bu amaçla yerli ve milli teknolojilerinin geliştirilmesi için teşvik mekanizmalarının oluşturulması gerektiği belirtilmiştir

(Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020).

Türkiye Otomotiv Yan Sanayi İhtisas Organize Sanayi Bölgesi (TOSB)

TOSB İnovasyon Merkezi önderliğinde İTÜ Otomotiv Teknolojileri Araştırma Geliştirme Merkezi (OTAM) ve İTÜ Mekatronik Eğitim ve Araştırma Merkezi (MEAM) ile iş birliği yaparak “Sürücüsüz Araç Test Parkuru” kurulmuştur. Gebze’de yer alan bu özel alanda, sürücüsüz araçlar için test sürüşleri gerçekleştirilecektir. Parkur, İTÜ OTAM’ın otonom araçlarını test etmek ve diğer şirketlerin görüntü işleme, AI ve otonom araç teknolojileriyle ilgili çalışmalarını yürütmelerine imkân sunacak şekilde geliştirilmiştir. Parkur, gelişim sürecinde olan sürücüsüz araç teknolojilerine katkıda bulunmayı ve otomotiv sektöründe yüksek katma değer yaratmayı hedeflemektedir (TOSB | Otomotiv Tedarik Sanayi İhtisas Organize Sanayi Bölgesi, 2023). Şekil 31’de TOSB otonom araç görseli bulunmaktadır (TOSB | Otomotiv Tedarik Sanayi İhtisas Organize Sanayi Bölgesi, 2023).



Şekil 31. TOSB Otonom Araç

TEKNOFEST / Bilişim Vadisi

2022 yılında gerçekleştirilen TEKNOFEST’te, Robotaksi yarışması yapılmıştır. İlk olarak 2018 yılında yapılan yarışmanın pisti büyütülerek trafik koşullarına daha yakın bir hale getirilmiştir. Dubalar yerine şeritler yer alarak otonom araçların “Şerit Değiştir” komutu test edilmiştir. Araçların kavşak dönüşünü tamamlayabilmeleri ve engelli park yerini algılayarak park edilmemesi gerektiğini algılaması da isterler arasında yer almıştır. Yarışmada başarılı olmak için kurallara uygun olarak yolcu alma, yolcu indirme, park alanına ulaşma, park etme ve doğru rotayı takip etme

görevleri değerlendirilmiş ve bu görevleri başarıyla yerine getiren araçlar başarılı sayılmıştır (AUS Türkiye, 2022).

2023 ve 2024 yıllarında gerçekleştirilen Robotaksi yarışmalarında takımlar, “Hazır Araç Kategorisi” ve “Özgün Araç Kategorisi” olmak üzere iki ayrı kategoride yarışmıştır. Hazır araç kategorisinde takımlar, TEKNOFEST kapsamındaki otonom araç platformlarında yazılımlarını çalıştırırken özgün araç kategorisinde ise baştan aşağı üretimi ve yazılımı takımlara ait olan araçlar yarışmıştır (TEKNOFEST, 2024).

6.2. Özel Sektör Çalışmaları

OTOKAR

OTOKAR tarafından Seviye 4 otonom araç projesi yürütülmektedir. Ar-Ge fazında devam eden projede kullanılan prototipte; aracın konumunu belirmeye yarayan bir modül, çevredeki diğer objelerin konumlarını hesaplamaya yarayan bir modül ve karar alan bir modül bulunmaktadır. Ayrıca bir hata durumunda, uzaktaki ya da yakındaki operatörün kontrolü ele alması için bazı sistemler geliştirilmiştir ve araca entegre edilmiştir. Bunlara ek olarak araç otonom sürüş sırasında meydana gelebilecek ve aracın tepki veremeyeceği durumlarda sürücülerin müdahale edebileceği sistemler de yer almaktadır.

Araçta, Ethernet ve gerçek zamanlı kinematik (Real Time Kinematics, RTK) sim kartı üzerinden sensörler ile iletişim sağlanmaktadır. Ayrıca geliştirilen otonom araçta kullanılan ve firma tarafından geliştirilmiş yazılımlar mevcuttur. Donanım olarak kamera, radar, ultrasonik sensörler, GPS anteni ve RTK kullanılmaktadır. Ek olarak sensör verilerinin incelendiği, kararların alındığı araç bilgisayarı mevcuttur.

Sürücü ve yolculara gerekli durumlarda haber verebilmek için insan makine arayüzü (HMI) ekranlarının kullanılması hedeflenmektedir. Aracın konumunu ve yönünü görselleştirerek sunmak da hedefler arasındadır.

Belirtilen araç ile yapılan saha uygulamaları, fabrika içerisindeki yollarda yürütülmektedir. Test çalışmaları ile ilgili olarak ilk etapta kampüs içerisinde, daha sonra şehir içi yollarda hayata geçirilmesi planlanan senaryolar mevcuttur. Kampüs içerisindeki testler aktif olarak yapılmaktadır. Kampüs içerisinde yapılan testler ile yolcunun mobil uygulamadan aracı çağırabilmesi, aracın o

noktaya giderek yolcuyla alması ve gitmek istenilen noktaya aracı en kısa yoldan götürebilmesi hedeflenmektedir. Kampüs içerisinde aktif olarak yayalar, forkliftler ve kampüs içi araçlar engel olarak çalışmalara dahil edilmekte ve otonom aracın bu engellere tepkisi üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Şekil 32’de OTOKAR otonom otobüs görseli bulunmaktadır (Otokar, 2021).



Şekil 32. OTOKAR Otonom Otobüs

HAVELSAN

HAVELSAN tarafından yürütülen otonom araç projesinde, kablo kumandalı araç ile HDMap kullanılarak Seviye 3 otonom sürüş yapılmaktadır. Geliştirilen araçta; konumlandırma modülü baz istasyonu ile TCP/IP üzerinden, araç içi otonom modüller ise ROS (Robot Operating System) üzerinden haberleşme sağlamaktadır. Araç içi otonomi modülleri 15 fps ile çalışmaktadır ve yapılan testlerde gecikmeden kaynaklı herhangi bir sorun ile karşılaşmadığı belirtilmiştir.

BARKAN adı verilen otonom araç kullanılarak çeşitli senaryoların testi gerçekleştirilmektedir. Kavşak, yaya geçidi, duran araç, yol çalışması, şerit değiştirme gibi senaryolar, gerçekleştirilen test çalışmalarına dahildir. Aynı zamanda şehir içinde şerit takibi, verilen duraklara ve hedefe ulaşma, trafik ışığı ve trafik işaretleri tanıma ve ona uygun ilerleme, yayalara ve diğer araçlara bağlı olarak durma ya da şerit değiştirme gibi senaryolar üzerine çalışılarak testler başarıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 33 (HAVELSAN, 2023a) ve 34’te (HAVELSAN, 2023b) sırasıyla BARKAN ve BARKAN 2 görselleri yer almaktadır.



Şekil 33. HAVELSAN Otonom İnsansız Kara Aracı “BARKAN”



Şekil 34. HAVELSAN Otonom İnsansız Kara Aracı “BARKAN 2”

HAVELSAN tarafından geliştirilen bir diğer araç olan KAPGAN, zorlu çevre şartlarında yüksek manevra kabiliyetine sahip ve çeşitli görevleri yerine getirebilen, otonom ağır sınıf bir kara aracıdır.

Yürütülen otonom araç çalışmalarında kullanılan sistem bileşenleri; algılama, konumlama, davranışsal tahminleme, planlama, kontrol, görselleştirme, arayüz yazılımları, CAN bileşenleri ve simülasyon ortamıdır. Bu çalışmalar sırasında kullanılan haberleşme ara katmanı, araç içi otonomi modellerinde ROS ile sağlanmaktadır. Kullanılan yazılımlar C++ ve Python yazılım geliştirme dillerinde geliştirilmekte, yararlanılan teknolojiler ise DL ve görüntü işlemedir. Şekil 35'te KAPGAN görseli bulunmaktadır (HAVELSAN, 2023c).



Şekil 35. HAVELSAN Otonom İnsansız Kara Aracı “KAPGAN”

LeoDrive

LeoDrive tarafından askeri, yolcu taşıma ve yük taşıma amaçlı olmak üzere üç alanda, Seviye 4 ve Seviye 5 otonom araç teknolojileri üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Askeri alanda; engebe, yokuşlu yol, dağ yolu gibi arazi koşulların belirsiz ve düzensiz olduğu ortamlarda sürüş gibi gündelik hayatta trafikte karşılaşılmayan problemler üzerinde çalışılmıştır. Yolcu taşıma alanına yönelik otonom teknolojiler kullanılarak yürütülen çalışmalar, araç boyutlarının yol boyutlarıyla uyumlu olduğu durumlarda sistemin sorunsuz bir şekilde çalıştığını ortaya koymaktadır.

Geliştirilen ve testleri yapılan otonom araçlarda, mevcut durumda, sadece uzaktan acil durdurmaya ve belirli bir konuma yerleştirmeye yönelik bazı bilgiler aktarılmaktadır. Bölgede GSM bağlantısının olduğu durumlarda, GPS verisi aktarma üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Donanım olarak radar tarayıcılar, radar, kamera, ultrasonik algılama sensörleri ve veri işleyen

bilgisayarlar kullanılmaktadır. Projeler kapsamında haberleşme için GSM, radyo modemler ve 4G teknolojileri kullanılmaktadır.

Mevcut durumda, sahada Teknoloji Hazırlık Seviyesi 5-7 (Technology Readiness Level 5-7, TRL5-7, TRL5-7) arasında prototip testleri yapılmaktadır. Gelecek çalışmalarda, normal yol koşullarında birden fazla araçla sürüşe geçilmesi hedeflenmekte, bu kapsamda fonksiyonel testler ve tümleşik testler⁴ yürütülmektedir. Bu testler yürütülürken referansa mimari oluşturma çalışmaları sürdürülmekte, otonom araç yazılımı geliştirilmekte ve entegre ve ayırık donanımlar üretilmektedir. Şekil 36'da LeoDrive otonom araç görseli yer almaktadır (LeoDrive, 2022).



Şekil 36. LeoDrive Otonom Aracı

TURKCELL

Uzaktan araç yönetimi ile ilgili haberleşme sistemleri deneme gösterimleri yapılmış olup İstanbul Havaalanı'nda başarıyla test edilmiştir. Ayrıca AI yöntemleri ile sürücünün veya araç içindeki yolcuların gerçek zamanlı video analiziyle duygu ve sağlık durumlarının tespiti üzerine çalışmalar yürütülmektedir.

Firma tarafından yürütülen çalışmalarda, 4.5G ve 5G mobil şebeke bağlantısı üzerinden güvenlik ve otonom sürüşe ilişkin farklı senaryolar üzerine çalışılmaktadır. 5G test şebekesi üzerinden uzaktan araç yönetimi ile ilgili denemeler yapılmıştır.

⁴ Tümleşik test, yazılım bileşenlerinin kademeli olarak entegre edildiği ve daha sonra birleşik bir grup olarak test edildiği bir yazılım testi türüdür (Katalon, 2023).

Otonom araç çalışmaları kapsamında 5GAA, yeni nesil mobil şebekeler (NGMN) ve 3GPP çalışmaları yakından takip edilmektedir.

TEMSA

TEMSA tarafından 2015 yılından yana otonom araç çalışmaları yapılmaktadır. Mevcut otonom araç teknoloji çalışmaları, 9 metrelik elektrikli otonom otobüsler üzerinde yürütülmektedir. Bu araçlar, Seviye 4 otonom özelliği taşımaktadır ve donanımsal olarak LIDAR, radar, stereo kamera, IMU, GPS ve GNSS üniteleri ile donatılmıştır.

Araçlar ve bilgisayar arasındaki bağlantı genel olarak denetleyici alan ağı esnek veri hızı (Controller Area Network Flexible Data-Rate, CANFD) veya Ad Hoc bağlantılar gibi hızlı altyapılar ile sağlanmaktadır. Araçlar arasındaki bağlantı ise CAN üzerinden 1000 Mbps hızında sağlanmaktadır. Bu bağlantılar üzerinden araçlara konum bilgileri iletilmektedir.

Otonom araç teknolojileri kapsamında, özellik tanıma, DL yöntemleri ve yapay sinir ağları gibi çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Otonom araç çalışmalarında temel olarak SAE standartlarında Seviye 3 ve Seviye 4 otonom uygulamalar takip edilmektedir. Bunlara ek olarak CEN/TC 122 (Ergonomics/Ergonomi) standardı kapsamında da insan ile makine arasındaki ergonomi incelenmektedir. Şekil 37’de TEMSA otonom araç görseli yer almaktadır (Türk İnternet, 2018).



Şekil 37. TEMSA Otonom Otobüsü

ULAK Haberleşme

ULAK Haberleşme, otonom araç teknolojileri kapsamında gerekli olan haberleşme altyapısı konusunda çalışmalar yürütmektedir. Bu bağlamda V2X teknolojisine yönelik OBU ve RSU geliştirmelerine devam edilmektedir.

ULAK Haberleşme bünyesinde, 3GPP tarafından tanımlanan 4G ve 5G destekli C-V2X teknolojileri ile IEEE 802.11p standardına dayalı DSRC teknolojileri kapsamında donanım ve yazılım geliştirmeleri yapılmaktadır. ETSI tarafından belirlenen AUS standartları çerçevesinde senaryolara yönelik gecikme ve güvenlik gereksinimleri üzerine çalışılmaktadır. Kritik bilgiler, eğer işlenmesi gerekiyorsa (görüntü işleme gerektiren senaryolar gibi), ULAK Haberleşme tarafından geliştirilen uç bilişim sistemleri ile çözülmekte ve böylece gecikme minimuma indirilmektedir. Ayrıca V2V kapsamında araçtan araca iletişim protokolleri de desteklenerek yine gecikme en aza indirilmektedir.

Güvenliğe yönelik ise C-V2X kapsamında hava arayüzünden haberleşme gerçekleştirileceği için siber güvenlik çok önemli bir unsur olarak ele alınmaktadır. ULAK'ın geliştirme süreçlerinde, protokol yığını (bir bilgisayar ağının protokol takımı veya protokol ailesi üzerine uygulaması) mimarisindeki güvenlik katmanının yanı sıra, UN R155 (Cybersecurity and Cybersecurity Management System/ Siber Güvenlik ve Siber Güvenlik Yönetim Sistemi) ve UN R156 (Software Update and Software Update Management System/Yazılım Güncelleme ve Yazılım Güncelleme Yönetim Sistemi) dikkate alınmaktadır. Donanım emniyet modülü (Hardware Security Module, HSM) kullanarak C-V2X modüllerine ek güvenlik tedbirleri uygulanmaktadır.

Ford Otosan

Ford Otosan ve AVL, "Platooning-Otonom Konvoy" adlı ortak Ar-Ge iş birliği projesinin ilk fazını başarıyla tamamlamıştır. Projenin sonuçları; tır taşımacılığını yeniden şekillendirme, yol güvenliğini artırma ve otonom sürüş uygulamasına katkıda bulunma potansiyeline sahiptir. Projenin Türkiye'de otonom araç geliştirme faaliyetlerinin önünü açacağı, karbon salınımı ve yakıt tüketiminin azaltılmasına katkı sağlayacağı, yol güvenliğini artıracığı ve akıllı ulaşımı mümkün kılacağı öngörülmektedir. Ayrıca projenin sonraki aşamalarında "SAE Seviye 4" otonom sürüş fonksiyonlarını geliştirme ve uçtan uca (Hub-to-Hub) otonom karayolu taşımacılığı sağlama hedefleri bulunmaktadır. Bu iş birliği, Ford Otosan'ın otonom araç teknolojilerindeki yatırım ve

geliştirme faaliyetleri ile AVL'nin ulaştırma sistemlerindeki uzmanlığı ve küresel mühendislik yeteneklerini birleştirmeyi hedeflemektedir (Ford Otosan, 2020).

Buna ek olarak Ford Otosan 2014 yılında Eskişehir’de bir Ar-Ge merkezi kurmuştur. 1250 m²’lik alan kapasitesine sahip bu test merkezi, dokuz ağır ticari araca aynı anda hizmet verme kapasitesine sahiptir. Bu alan, kurulan teknik altyapı sayesinde uzaktan veri takip sistemine imkân sağlamaktadır. Bu merkezde Seviye 4 otonom tır testleri yapılmaktadır (Ford Otosan, 2023). Şekil 38’de Ford Otosan otonom tır görseli yer almaktadır (Ford Otosan, 2024).



Şekil 38. Ford Otosan Otonom Tır

BMC

Türkiye’nin zırhlı kara aracı üreticilerinden olan BMC, otonom askeri araç üzerine çalışmalar yapmaktadır. 2019 yılında düzenlenen 14. Uluslararası Savunma Sanayii Fuarında (IDEF’19) “Amazon” adı verilen çok amaçlı zırhlı araç prototipi tanıtılmıştır. Patlayıcılara karşı dayanıklı olan ve içinde otomatik yangın söndürme sistemi bulunan araç, Amazon Uzaktan Kumanda Sistemli varyantı ile insansız ve uzaktan kumanda ile kullanılabilir. içinde bulunan karartma ve kamuflaj ışığı gibi fonksiyonların gerçek zamanlı kullanılmasına imkân sağlayan araç, LOS (Line of Sight/Görüş Açısı) şartlarda 5 km, yerleşim alanları içerisinde ise 1 km yarıçapında uzaktan kullanılabilir (Anadolu Ajansı, 2019a; BMC, 2023). Şekil 39’da BMC otonom araç “Amazon UKS” görseli bulunmaktadır (BMC, 2023).



Şekil 39. BMC Otonom Aracı “Amazon UKS”

KARSAN

e-ATAK adı verilen Seviye 4 otonom sürüş teknolojisine sahip otobüs üreten firma, özellikle bulut teknolojisinin getirdiği avantajlardan yararlanmaktadır. Sabit bir operasyon ve görev merkezinden canlı takip edilebilen bu araçlar, anlık veri akışını sağlamak ve gerektiğinde uzaktan müdahale edilerek rota değişikliği sağlanarak zor durumdan kurtarılabilmektedir. LIDAR, kamera, IMU, GNSS, radar ve ultrasonik sensör donanımlarına sahip olan bu otobüs, aynı zamanda Li-Ion bataryalarla çalışmaktadır ve bu sayede tek şarjla bir tam iş gününü tamamlayabilmektedir. %100 elektrikli üretilen bu araç sayesinde çevreye salınan CO₂ en aza indirgenmiştir (KARSAN, 2023). Şekil 40’da otonom e-ATAK araç görseli yer almaktadır (KARSAN, 2023).



Şekil 40. Otonom e-ATAK

Anadolu İsuзу

Anadolu İsuзу tarafından Ar-Ge aşamasında olan bir otonom araç çalışması yürütölmektedir. Bu çalışma kapsamında kapalı bir kampüs ortamında, otonom otobüs çalışmaları yapılmaktadır. Belirtilen kapalı kampüs ortamı Gebze Teknik Üniversitesi'nde yer almaktadır ve bu alanda test senaryosu çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Kullanılan otonom otobüs, Seviye 4 otonom sürüş özelliğine sahiptir ve donanım olarak radar, LIDAR, muhtelif sensörler, kamera ve kontrol üniteleri ile donatılmıştır. Otonom araç test çalışmaları, kapalı ve çevrim dışı bir ortamda devam ettiği için mevcut aşamada aracın diğer araçlarla veya çevresi ile haberleşmesi bulunmamaktadır. Anadolu İsuзу, Ar-Ge çalışmalarında, LeoDrive ile iş birliği yapmaktadır. Şekil 41'de Anadolu İsuзу otonom otobüs görseli yer almaktadır (egirişim, 2023).



Şekil 41. Anadolu ISUZU Otonom Otobüsü

6.3. Girişimlerin Çalışmaları

Eatron

Eatron tarafından 2019 yılının ağustos ayında başlayan otonom araç testleri ile bu alanda önemli bir ilerleme hedeflenmektedir. Çalışmaların daha kararlı ve takip edilebilir bir zeminde ilerlemesi için iki araç ile test edilen, otoyol otopilotu adlı uygulamanın geliştirilmesine odaklanılmaktadır. Otoyol üzerinde gerçekleştirilen bu uygulama ile araçların, İstanbul'un karmaşık ve yoğun trafik şartlarına uyum sağlama düzeyi artırılmaktadır. Eatron, şu anda Seviye 2 otonom sürüşe sahip

araçlarla test yapmaktadır ve bu araçlar şerit takibi, hız kontrolü ve belirli koşullarda sürücüsüz sürüş yeteneklerini barındırmaktadır (Independent Türkçe, 2021). Şekil 42’de Eatron otonom araç görseli yer almaktadır (Webtekno, 2021).



Şekil 42. Eatron Otonom Aracı

TRAGGER

Türk girişimi olan TRAGGER; Türkiye’de üretilen %100 elektrikli hizmet araçlarını, FEV Türkiye mühendisleri tarafından geliştirilen akıllı araç fonksiyonları ile otonom hale getirmektedir. TRAGGER araçları; fabrikalar, depolar, havaalanları gibi alanlarda yük ve insan taşımacılığı için kullanılmaktadır. FEV Türkiye tarafından geliştirilen sensörler ve AI modelleri ile TRAGGER araçlarına Seviye 4 otonom sürüş özelliği kazandırılmıştır. Araçta bulunan sensörler sayesinde, araç çevresini 360° algılayabilmekte ve çarpışma ihtimalini hesaplayabilmektedir. TRAGGER araçları ile sürücü asistan sistemleri de test edilmektedir. FEV Türkiye’nin geliştirdiği ileri acil frenleme sistemi, dur-kalk destekli ACC, şerit takip asistanı, kör alan tespit fonksiyonu, park asistanı ve ileri çarpışma uyarıcı sistemi gibi birçok ileri sürücü asistan sistemleri, araçlar üzerinde kurulu olup test edilmeye hazır durumdadır. TRAGGER araçlarının uzaktan kontrol edilmesi ve verilerin bulut tabanlı bir altyapıda merkezi olarak toplanması için gerekli çalışma da tamamlanmıştır (TEHAD | Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçlar Derneği, 2021). Şekil 43’te TRAGGER otonom hizmet aracı görseli yer almaktadır (TRAGGER, 2021).



Şekil 43. TRIGGER Otonom Hizmet Aracı

CDMMobil

CDMMobil, otonom araç trendlerini takip eden ve otonom sistem ve sensör geliştiricilerine altyapı çözümleri sunan bir şirkettir. TRIGGER markası altında, otonom sistem geliştiricilerine yönelik “Drive By Wire” özellikli araçlar sunmaktadır. “Drive By Wire” sistemi; aracın gaz, direksiyon, fren gibi fonksiyonlarının, sürücü yerine bir kontrol ünitesi tarafından kontrol edildiği elektromekanik sistemleri ifade etmektedir. Bu iş birliği, otonom sürüş ve sensör teknolojileri üzerinde çalışan müşterilere özel çözümler üretmeyi amaçlamaktadır. FEV Türkiye-CDMMobil iş birliğiyle geliştirilen otonom araç platformu, birçok otonom fonksiyon geliştirme çalışmasına hizmet etmektedir. Bu platformda ileri acil frenleme sistemi, dur-kalk destekli ACC, şerit takip asistanı, kör alan tespit fonksiyonu, park asistanı ve ileri çarpışma uyarıcı sistemi gibi ileri sürücü asistan sistemleri bulunmaktadır. TRIGGER Pro araçlarında uygulanan bu sistemler üzerinde otonom sürüş ve sensör teknolojileriyle ilgili test çalışmaları yapılmaktadır (CDMMobil, 2021).

ADASTEÇ

ADASTEÇ tarafından, toplu taşıma alanında Seviye 4 otonom otobüs çalışmaları yapılmaktadır. Diğer otonom araçlar ile haberleşme, DSRC teknolojileri (IEEE 802.11p tabanlı) ile sağlanmakta ve bu bağlantı teknolojileri üzerinden, araçlara trafik ışıklarının durum bilgisi iletilmektedir. Donanım olarak sensörler, ağ ve teknolojik parçalar ile donatılan otonom otobüs çalışmalarında; ISO 21448 (Road Vehicles – Safety of the Intended Functionality/Karayolu Taşıtları – Amaçlanan İşlevselliğin Güvenliği), ISO 22737 (Intelligent Transport Systems/Akıllı Ulaşım Sistemleri), ISO

26262 (Road Vehicles-Functional Safety/Karayolu Taşıtları-İşlevsel Emniyet), NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration/ Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi), ISO 27001 (Information Security, Cybersecurity and Privacy Protection/ Bilgi Güvenliği, Siber Güvenlik ve Gizliliğin Korunması), ISO/SAE 21434 (Road Vehicles – Cybersecurity Engineering/Karayolu Araçları – Siber Güvenlik Mühendisliği) ve ISO 17840 (Road Vehicles – Information for First and Second Responders/Karayolu Taşıtları – Birinci ve İkinci Müdahale Ekipleri için Bilgiler) standartları takip edilmektedir. Bu otonom otobüslerin, Michigan Eyalet Üniversitesi'nde, öğrenciler ve personel tarafından kullanılması planlanmaktadır (Green Car Congress, 2021). Şekil 44'te ADASTEC tarafından yazılım geliştirmeleri yapılan otonom otobüs görseli yer almaktadır (Green Car Congress, 2021).

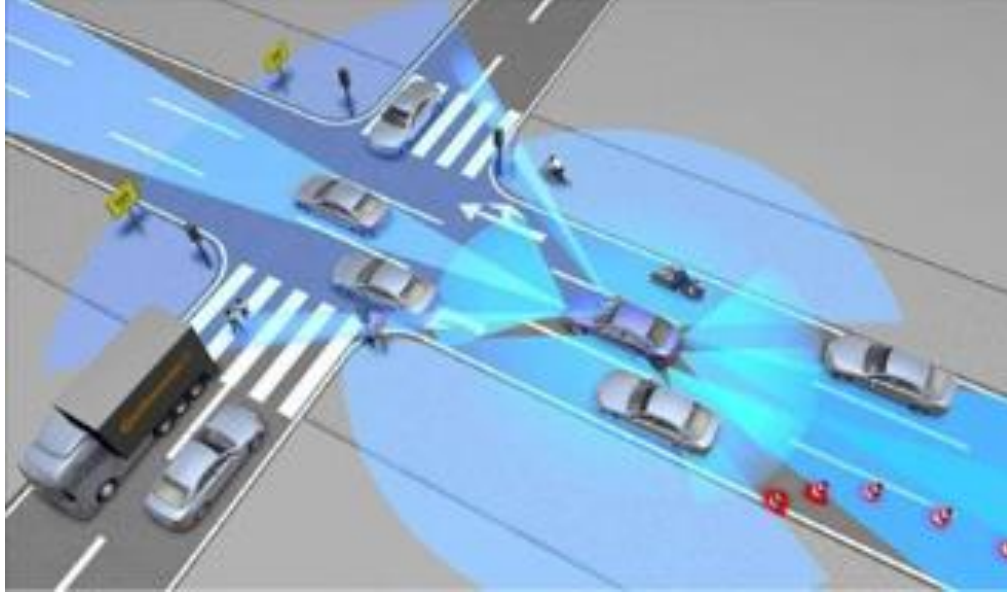


Şekil 44. ADASTEC Otonom Otobüsü

Numesys

Numesys, özellikle havacılık ve savunma başta olmak üzere birçok sektör için geliştirdiği yazılımları ile nümerik analiz çalışmaları yaparak firmalara destek olmaktadır. Otomotiv sektöründe de oldukça ileri seviyede simülasyon becerisine sahip ve araçların geliştirilmesine yardımcı olan şirket, otomotiv çözümlerinin sistem ve gömülü yazılımları alanında, otonom sürüş

ile ADAS alanında da çalışmalarını sürdürmektedir (numesys, 2023). Şekil 45'te numesys otonom sistemler örneği yer almaktadır (numesys, 2023).



Şekil 45. numesys Otonom Sistemler

6.4. Akademik Çalışmalar

Boğaziçi Üniversitesi

Boğaziçi Üniversitesi Otonom Sistemleri Ekibi “BURST”, 2017 yılında kurulmuştur. Kurulduğundan günden bugüne Vector, Bubble ve 59RK isimli üç adet araç tasarlayıp üreten ekip, Teknofest Robotaksi ve TÜBİTAK Efficiency Challenge yarışmalarına katılmaktadır. Bu yarışmalar arasından Teknofest Robotaksi simülasyon yarışmalarında “Bubble” aracıyla birincilik kazanmaktadır. 59RK üretilen ilk araç olup çelik şasi ve karbonfiber kabuğa sahiptir. Bubble ise üretilen ikinci araç olup çelik şasi ve cam elyaf kabuğa sahiptir. Aracın elektronik aksamında batarya yönetim sistemi (Battery Management System, BMS) kullanılmıştır (Boğaziçi Üniversitesi Otonom Sistemleri Ekibi | BURST, 2021). Şekil 46'da Boğaziçi Üniversitesi'nin otonom aracı “Bubble” görseli yer almaktadır (Boğaziçi Üniversitesi Otonom Sistemleri Ekibi | BURST, 2021).



Şekil 46. Boğaziçi Üniversitesi Otonom Aracı “Bubble”

Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ)

ODTÜ, Teknokent içinde bulunan Gears Ltd. ile iş birliği içinde yürütülen otonom araç projesinde, “yarı otonom sürüş destek modülü” adlı teknolojiyi araçlarına entegre etmiştir. Seviye 2+ otonom sürüş içerisinde tanımlanan bu teknoloji sayesinde araç; otomatik şerit takibi yapabilmekte ve etrafındaki canlı ve cansız varlıkları tespit edebilmektedir. Kapalı saha testlerini başarılı bir şekilde tamamlayan araç, aynı zamanda Seviye 3 otonom sürüş yetenekleri için de hazırlık aşamalarını sürdürmektedir. Ayrıca bu prototip araç, 2019 yılında Teknofest’te sergilenmiştir (Anadolu Ajansı, 2019b; Gears Ltd, 2021; ODTÜ-METU, 2022). Şekil 47’de Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nin otonom araç görseli bulunmaktadır (Anadolu Ajansı, 2019b).



Şekil 47. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Otonom Aracı

İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ)

İTÜ MEKAR Laboratuvarı'nın "Gezgin" adlı otonom elektrikli golf aracı; LIDAR, GPS, kamera ve ses ötesi sensörleri ile çevresini algılayarak rotasını tayin edebilme yeteneğine sahiptir. Bu araç, yalnızca ultrasonik sensörleri kullanarak park edebilmektedir. Ayrıca Otonom Sistemler Araştırma Laboratuvarı'nda da çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Hava trafiği ve lojistik açısından da araştırmaların yürütüldüğü bu laboratuvar, otonom araçlar ile yayalar arası iletişim için lazer tabanlı projektör bildiri sistemi üretilmiştir. Bu sistem sayesinde araç, üzerinde bulunan sensörler aracılığıyla karşısına çıkan engelleri saptayarak rotasını değiştirebilmektedir (Güvenç, 2010; İstanbul Teknik Üniversitesi, 2022). Şekil 48'de İstanbul Teknik Üniversitesi'nin otonom aracı "Gezgin" görseli yer almaktadır (Erdoğan Altuğ, 2016).



Şekil 48. İstanbul Teknik Üniversitesi Otonom Aracı "Gezgin"

Marmara Üniversitesi

VeNIT Lab ve BigTRI, Bağlantılı ve Otonom Araç (CAV) ve ADAS/AD sistemlerinin testini mümkün kılacak simülasyon temelli test platformları üstünde çalışmalar yürütmektedir. Bu platform; ADAS/AD ve CAV üzerinde gerçekleştirilecek olan validasyon ve verifikasyon (V&V) işlemlerinin düşük maliyet ve büyük ölçekli olarak aynı zamanda tekrarlanabilir bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda BigTRI ve VeNIT Lab, CAV ve ADAS/AD uygulamaları konusunda araştırma ve geliştirme çalışmaları sürdürmektedir. Yapılan çalışmalarda;

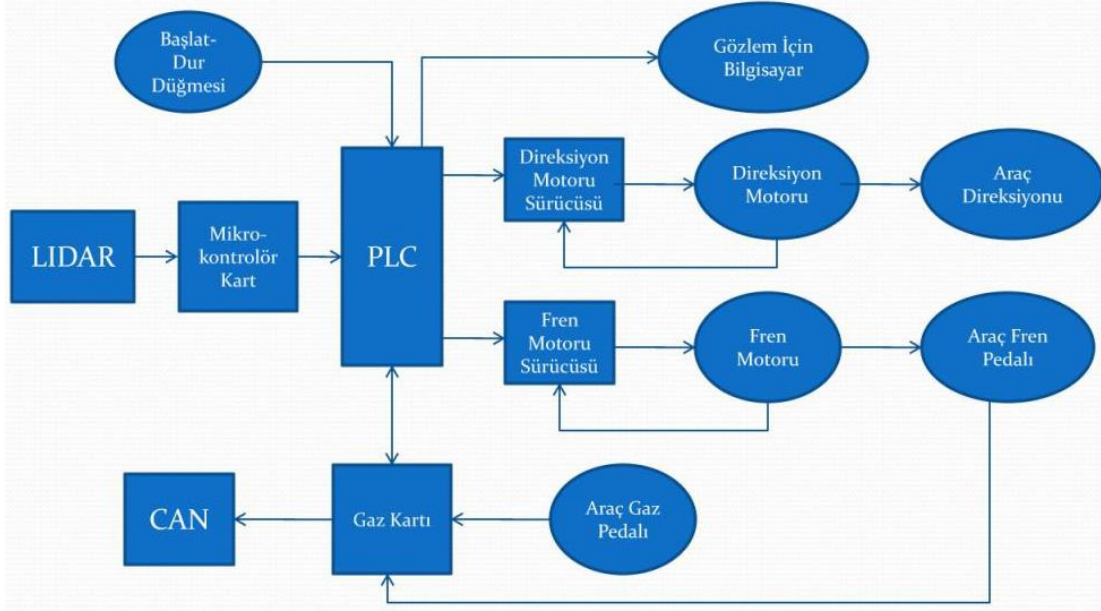
ISO/SAE21434 (Road Vehicles – Cybersecurity Engineering/Karayolu Araçları – Siber Güvenlik Mühendisliği), ISO/SAE 26262 (Functional Safety/İşlevsel Emniyet) ve ISO 21448 (Road Vehicles – Safety of the Intended Functionality/Karayolu Taşıtları – Amaçlanan İşlevsellik Güvenliği) standartları göz önünde bulundurulmaktadır. Çalışmalarda kullanılmakta olan CAV’lar; V2X ve C-V2X haberleşme protokollerinden, standartlarından ve teknolojilerinden yararlanmaktadır.

Marmara Üniversitesi idaresi tarafından CAV’lara yönelik uygulama geliştirme, test altyapısı çalışmaları ve Ar-Ge faaliyetleri öncelikli çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, konvoy (platooning), ani fren ve otonom park konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca VeNIT Lab ve BigTRI tarafından geliştirilmiş ve kullanılmakta olan “Bağlantılı Araç Dijital İkiz Platformu”, büyük-ölçekli V2X uygulama ve servis testlerini mümkün kıldığı gibi siber güvenlik testlerinin gerçekleştirilmesini de sağlamaktadır.

İstanbul Okan Üniversitesi

AB ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilen OPINA Projesi ile İstanbul Okan Üniversitesi’nin Ulaştırma Teknolojileri ve Akıllı Otomotiv Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (UTAS) tarafından otonom araç çalışmaları yürütülmüştür. Bu proje ile endüstri, üniversite ve KOBİ arasında yenilik ve iş birliği ortamı oluşturulması hedeflenmiştir. Projenin ortakları; küresel pazar rekabet gücünü artırmayı, aynı zamanda yeni kurulacak olan şirketler için de kaynak ve destek sağlamayı hedeflemiştir (OPINA, 2023). OPINA, yeni kurulacak simülasyon sistemiyle otonom araçlar için geliştirilen ürünlerin farklı yol, hava ve trafik koşullarında performanslarını değerlendirme imkânı sunarak geliştirme süreçlerini hızlandırmayı ve sektörün uluslararası pazarda rekabet gücünü artırmayı hedeflemektedir. Fiziki test pistleri ve sanal simülasyon olanaklarıyla uluslararası akreditasyon süreçlerini destekleyen bir merkez olarak Türkiye’nin küresel hareketlilik ekosistemindeki konumunun güçlendirilmesi amaçlanmaktadır (İstanbul Okan Üniversitesi, 2024; Rekabetçi Sektörler Programı, 2024). İstanbul Okan Üniversitesi tarafından geliştirilen otonom aracın çalışma algoritması Şekil 49’da (Okan Üniversitesi, 2023b), otonom araç görseli ise Şekil 50’de (Okan Üniversitesi, 2023a) yer almaktadır.

Otonom Araca Genel Bakış



Şekil 49. Otonom Araç Çalışma Algoritması



Şekil 50. İstanbul Okan Üniversitesi Otonom Aracı

Karabük Üniversitesi

Karabük Üniversitesi Elektrikli Araç Takımı (KBUELAR – TULPAR) önderliğinde geliştirilen otonom araç, elektromobil kategorisindeki 75 takımın katıldığı yarışmada otonom kategorisinde

yer almıştır. Geliştirilen bu araç, TÜBİTAK tarafından düzenlenen Alternatif Enerjili Araç Yarışları'nda "Teknik Yeterlilik Bandrolü" alan ilk takım olmuştur (Küllüye Karabük, 2018).

Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ)

YTÜ, otonom araç teknolojileri alanında çeşitli projeler ve öğrenci takımlarıyla aktif çalışmalar yürütmektedir. Özellikle Makine Teknolojileri Kulübü bünyesinde faaliyet gösteren Astrid Otonom Takımı, Ekim 2020'de kurulmuş olup uçtan uca Seviye 5 otonom araç Ar-Ge'sine odaklanmaktadır (YTÜ Astrid Otonom Takımı, 2023)

Ayrıca, YTÜ Alternatif Enerjili Sistemler Kulübü (AESK); elektrikli, hidrojenli ve otonom prototip araçlar geliştirerek ulusal ve uluslararası yarışmalarda üniversiteyi temsil etmektedir (YTÜ Makine Fakültesi, 2024).

Üniversite, otonom sistemler ve akıllı ulaştırma teknolojileri üzerine akademik etkinlikler de düzenlemektedir. Örneğin, 2017 yılında gerçekleştirilen "Akıllı (Otonom) Toplu Taşıma Araç ve Sistemleri Çalıştayı"nda, sektörün akademiden beklentileri ve üniversite-sanayi iş birliği modelleri tartışılmıştır (Yıldız Teknik Üniversitesi, 2017).

YTÜ'nün otonom araç teknolojileri alanındaki çalışmaları, Türkiye'nin yerli ve milli otomobil üretimine katkı sağlamayı hedeflemekte ve öğrencilerin teorik bilgilerini pratik projelerle pekiştirmelerine olanak tanımaktadır. Özellikle AESK, TÜBİTAK tarafından düzenlenen Alternatif Enerjili Araç Yarışları'nda hidromobil ve otonom araç kategorilerinde birincilik elde ederek önemli başarılarla imza atmıştır (TÜBİTAK, 2018).

7. DÜNYADA YÜRÜTÜLEN OTONOM ARAÇ ÇALIŞMALARI

Birçok ülkede otonom araçlar konusunda yürütülen çalışmalarda önemli gelişmeler sağlanmıştır. Ülkelerin çeşitli kurum ve kuruluşları tarafından yayınlanan politika belgelerinde ve raporlarda, otonom araç teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik hususlara yer verilmiş, birçok projeye imza atılmıştır. Bu bölümde, Avrupa'dan yedi ülkede (Almanya, Avusturya, Birleşik Krallık, Estonya, Fransa, İspanya ve İtalya), ABD'de, Asya-Pasifik ve Orta Doğu'dan altı ülkede (Avustralya, BAE, Çin, Güney Kore, Japonya ve Yeni Zelanda) otonom araç geliştirme çalışmalarına yönelik yayımlanan politika belgeleri ve raporlar ile geliştirilen projeler incelenmiştir.

7.1. Avrupa Ülkeleri

7.1.1. Almanya

7.1.1.1. Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları

Vay

Avrupa'da trafiğe açık alanda, aracın içinde herhangi biri olmadan sürülen ilk arabaya sahip olan Vay, otonom sürüşe farklı bir bakış açısı getirmiştir. Uzaktan sürüş teknolojisi ile uzaktan şoför tanımlarını ortaya çıkartan şirket, bu sayede araba kiralama hizmetinde önemli bir yer edinmiştir. Şehir içinde belirli konumlar arasında, binen yolcunun herhangi bir müdahalesi olmadan ilerleyebilen arabalar; bunu, sensörler ve kameralar aracılığıyla alınan verilerin ve görüntülerin, gecikme olmadan merkezde işlenmesiyle başarmaktadır.

Güvenliğin taviz verilemez bir kriter olduğunu savunan şirket, insan-makine iş birliğinin örnekleri arasındadır. Ülkelerin ortaklığı ile altyapıların da gelişmesi ve telekomünikasyon şirketlerinin desteğiyle gelişmeye devam eden bu teknoloji, Barcelona'dan Berlin'e sorunsuz bir sürüş gerçekleştirmeyi başarmıştır. Şekil 51'de Vay otonom aracı görseli bulunmaktadır (Vay, 2023).



Şekil 51. Vay Otonom Aracı

Goggo Network

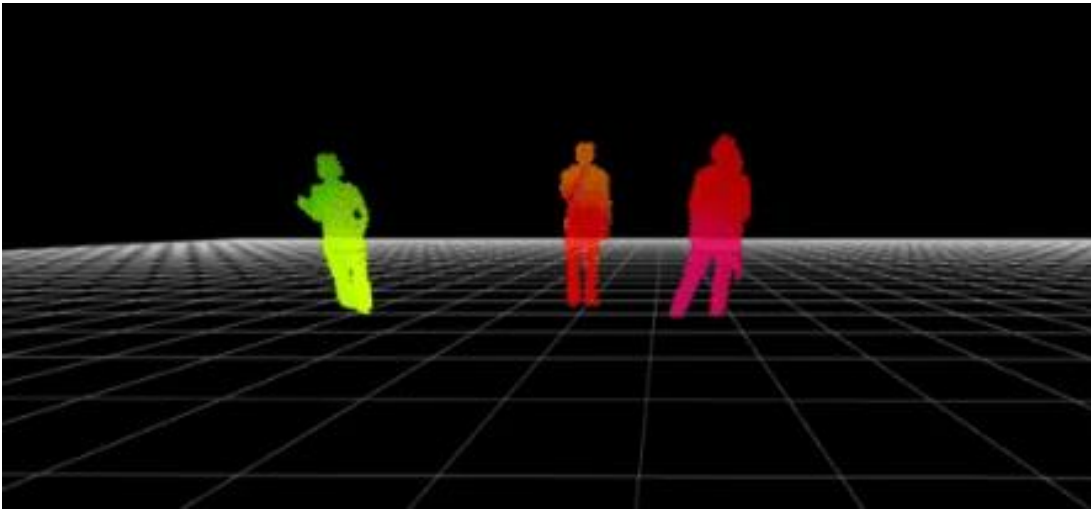
Lojistik alanında küçük kargo robotları ile başlayan yolculuğuna, otonom market arabaları ile devam şirket, marketten eve taşıma hizmeti vermektedir. Otonom hareketlilik ağı (AMNs) ile trafikte yer alan otonom, elektrikli ve bağlantılı araçların birbirine bağlanması için çalışmalar yapan şirket, yük taşıma kapasiteleri 1, 2, 24 ve 50 kargo olan ve buna bağlı olarak büyüklükleri değişen robotlara sahiptir. Bunlardan 24 ve 50 kargo kapasitesine sahip olanlar, trafiğe kapalı alanları öncelikli rota belirlese de 2022 yılının son çeyreğinde trafiğe açık alanda da kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişme, lojistik sektörü açısından Avrupa'daki ilk örnektir. Şekil 52'de Goggo Network Carrefour otonom market arabası görseli yer almaktadır (Goggo Network, 2023).



Şekil 52. Goggo Network Carrefour Otonom Market Arabası

Blickfeld

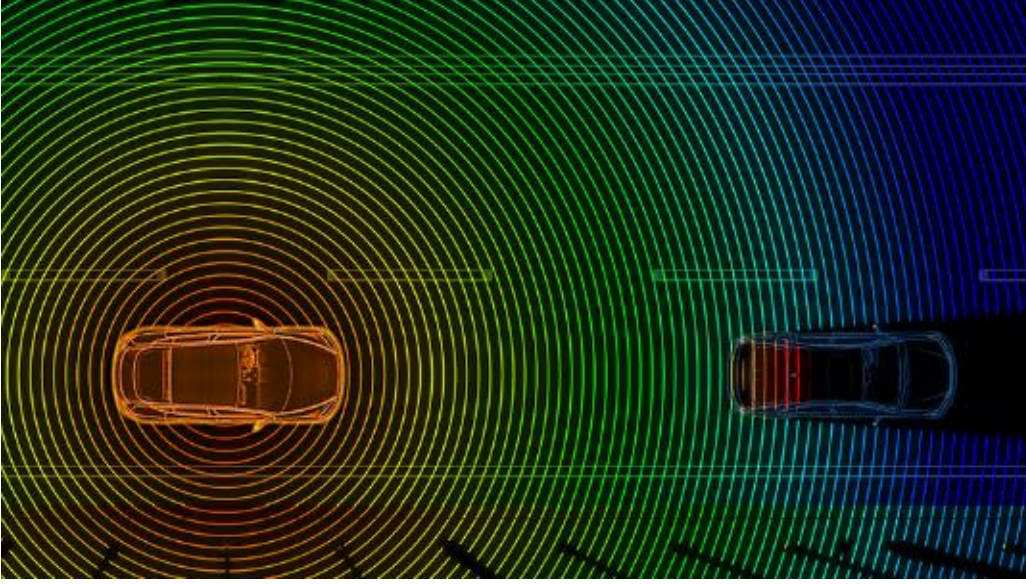
Blickfeld, otonom araçlarda da bulunan ve birçok alanda yararlanılan LIDAR çözümleri sunmaktadır. Üretilen LIDAR sensörleri, ortamın yüksek çözünürlüklü ve 3D olarak algılayabilmektedir. Bu sayede otonom araçlar, etrafını daha doğru bir şekilde tanıyabilmekte ve kararlarını daha isabetli şekilde verebilmektedir. Bu donanım, küçük robot araçlardan endüstriyel makineler kadar çok büyük bir kullanım alanına sahiptir. Şekil 53'te LIDAR sensörü görüntü örneği yer almaktadır (Blickfeld, 2023).



Şekil 53. LIDAR Sensörü Görüntü Örneği

Scantinel Photonics

Çip üstü LIDAR üreticisi olan şirket, kendilerine özgü olan ve sadece 1550nm büyüklüğe sahip olan bu donanım LIDAR teknolojisini, geniş bir kullanım yelpazesine entegre edilebilir hale getirmeyi hedeflemektedir. Seri üretim için tasarlanan bu donanım, 300 metrelik bir çalışma menziline sahiptir. Bunun yanı sıra verimli çoğullama yoluyla yüksek piksel ölçeklenebilmesine sahiptir (Scantinel, 2023). Şekil 54'te LIDAR sensör araç tanımlaması örnek gösterimi yer almaktadır (Scantinel, 2023).



Şekil 54. LIDAR Sensör Araç Tanımlaması Örnek Gösterimi

FERNRIDE

Otonom lojistik konusunda faaliyet gösteren şirketlerden biri olup bu amaçla operasyonel üretkenliği artırmayı ve lojistik sektöründe şoförlerin geleceğini yeniden tanımlamayı amaçlamaktadır. İnsan-makine iş birliği temel alınarak geliştirilen teknoloji ile Seviye 4 otonom tırlar, uzaktan erişime sahip bir personel tarafından, sürekli olarak genel merkezden kontrol edilmektedir. Bu sayede tırın içinde bulunan şoförlerin daha aktif bir şekilde dinlenebilmesi ve şoförün daha az efor ile daha fazla yol katetmesinin sağlanması ve daha yüksek gelir elde edilebilmesi hedeflenmektedir. Şekil 55'te FERNRIDE otonom tırı görseli bulunmaktadır (Fernride, 2023).



Şekil 55. FERNRIDE Otonom Tır

Mercedes-Benz

Otonom sürüşün güvenlik ve konforu artırmasının yanı sıra sürüşte geçen zamanın da değerlendirilebileceği yönüyle önemli olduğunu vurgulayan Mercedes-Benz, 17 Mayıs 2022 tarihinden itibaren S Seviye araçlarında Seviye 3 otonom sürüşü kullanmaktadır.

“Sürüş Pilotu” olarak isimlendirilen bu teknoloji ile birlikte aracın frenleme, manevra, güç ve sensör sistemleri birlikte çalışmaktadır. Batarya, direksiyon motoru, tekerlek hız sensörleri ve veri hesaplaması için sistemin algoritmaları kullanılmaktadır. Optik, ultrason ve radyo dalgaları gibi sistemlerin birbirini desteklemesi üzerine inşa edilen sistem sayesinde, her zaman güvenli çalışma sağlanmaktadır. Esas olarak radarı, kameraları ve bir LIDAR’ı kapsayan bu sensörler bütünü, bunlarla birlikte, mikrofona ve nem ölçeri de içinde barındırmaktadır. Genel olarak 30’den fazla sensör, bu sistemin sürüş görevinin üstesinden güvenilir bir şekilde gelebilmesini sağlamaktadır. Sürüş Pilotu, aracın hız ve mesafe ayarlaması ile şerit takibi özelliklerini başarıyla gerçekleştirmektedir (Mercedes-Benz Group, 2023). Şekil 56’da Mercedes-Benz otonom araç konsepti görseli yer almaktadır (Mercedes-Benz Group, 2023).



Şekil 56. Mercedes-Benz Otonom Araç Konsepti

Audi

Geleceğin dünyasında otonom sürüşün önemi dolayısıyla çalışmalarını sürdüren Audi, bu amaçla konsept arabalarını gösterime sunmuştur. Şirket, henüz herhangi bir üretimi olmamasına rağmen, “Yerküre” ve “Gökküre” adı verilen iki araç ile gelecekte yer almayı hedeflemektedir. Şekil 57’de “Yerküre” (Audi, 2023a), Şekil 58’de “Gökküre” (Audi, 2023b) konsept araçlarının görselleri yer almaktadır.



Şekil 57. Audi “Yerküre” Konsept Aracı



Şekil 58. Audi “Gökküre” Konsept Aracı

BMW

Şirket, BMW 7 Serisi arabalarında Seviye 2 ve Seviye 3 otomasyonunun bir kombinasyonunu kullanmaktadır. Bu uygulama, Seviye 2 BMW Otoyol Asistanı’nın Seviye 3 BMW Personal Pilot L3 ile entegre edilmesidir.

BMW Otoyol Asistanı; 130 km/s hıza kadar çalışan, yollar arasında sabit bariyerler bulunan otoyollarda sürüş konforunu artırmak için tasarlanmıştır. Direksiyon ve Şerit Takip Asistanları’nın bir parçası olan bu sistem, sürücünün durumsal farkındalığını korurken uzun süreler boyunca ellerini direksiyondan çekmesine olanak tanımaktadır. Trafik koşulları izin verdiği takdirde, direksiyon ve hız ayarlamalarını yöneterek otonom olarak sollama yapabilmekte ve sürücü gerekirse müdahale etmeye hazır olmaktadır.

BMW Kişisel Pilot L3, özellikle 60 km/s hıza kadar trafik sıkışıklıklarında, Seviye 3 otomasyon seviyesinde sürüş sunmaktadır. Bu sistem; sürücülerin ellerini direksiyondan çekmelerine ve dikkatlerini telefon görüşmeleri yapmak, okumak veya araç içi eğlencenin tadını çıkarmak gibi diğer aktivitelere kaydırmalarına imkân sağlamaktadır. Ancak sürücü sistem işaret ettiğinde kontrolü yeniden ele almaya hazır olmalıdır (BMW Group, 2024). Şekil 59’da BMW G70 görseli yer almaktadır (BMW Türkiye, 2023).



Şekil 59. BMW G70

Volkswagen

Sürüş asistanı sistemlerini baz alarak otonom sürüşü geliştirmeyi hedefleyen Volkswagen, arabalarını hali hazırda farklı durumlar için farklı yardım seçenekleri sunan bir AI destekli sistemler ile donatmıştır. Radar ve ultrasonik sensörlerin yanı sıra çok fonksiyonlu kameraların da yardımını alan sistem, trafikteki diğer araçları ve savunmasız yol kullanıcılarını tespit ederek buna uygun uyarılar yapmaktadır.

Seviye 4 ve Seviye 5 otonom sürüşte de çalışmalarını sürdüren şirket, şehir içi gibi sınırlı trafik alanlarında kullanılmak üzere geliştirilecek olan ve Seviye 4 otonom sürüşe sahip “SEDRIC” adı verilen bir robotaksi konsept çalışması yapmıştır. Seviye 5 konusunda da çalışmalarını sürdüren marka, “I.D. VIZZION” adı verilen ve şoförün arabanın kendisi olacağı bu otonom araç ile limuzin olarak geliştirilen bir konsept araba tasarlamıştır (Volkswagen UK, 2023). Şekil 60’da Volkswagen “I.D. Vizzion” (Volkswagen, 2023a) ve Şekil 61’te “Sedric” konsept araçlarının görselleri bulunmaktadır (Volkswagen, 2023b).



Şekil 60. Volkswagen “I.D. Vizzion” Konsept Aracı



Şekil 61. Volkswagen “Sedric” Konsept Aracı

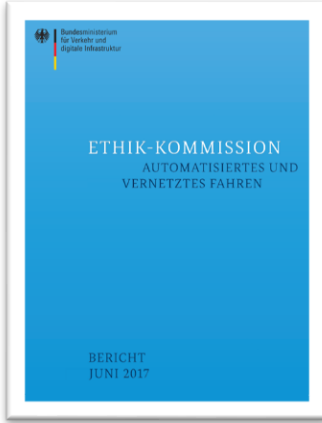
Porsche

Spor araba sürücülerinin bazı kritik manevraları araca bırakmaya izin verme eğiliminde olduğunu fark eden Porsche, bu amaçla otonom sürüş fonksiyonları üzerinde çalışma yapmaktadır. Otonom araçların ölümlü kazalarını %20 oranında azaltabilmek için 11 milyar mil mesafelik bir testten geçmesi gerektiğini belirten mühendisler, bunun için markanın kendine ait bilgisayarlarında, özel simülasyonlar oluşturmuştur. Porsche Mühendislik Görsel ADAS Test Merkezi (PEVATeC) olarak adlandırılan bu merkezde, otonom araçlarda kullanılan çeşitli algoritmalar ve sensörler test edilmektedir. Bu testlerde oldukça gerçekçi benzetimi yapılan yol, kaldırım, duvar ve araçlar sayesinde; otonom sürüşte kullanılacak olan kamera, LIDAR, radar ve ultrason sistemleri de daha isabetli şekilde test edilmektedir (Porsche, 2023a). Şekil 62’de Porsche otonom sürüş test aracı görseli yer almaktadır (Porsche, 2023b).



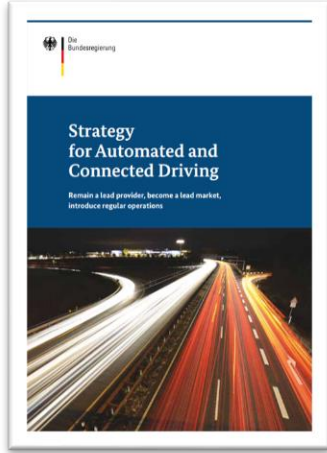
Şekil 62. Porsche Otonom Sürüş Test Aracı

7.1.1.2. Politika Belgeleri ve Raporlar



“Otonom ve Bağlantılı Sürüş” raporu, Federal Almanya Ulaştırma Bakanlığı etik komisyonu tarafından 2017’de yayınlanmıştır. Bu rapor, otonom sürüş teknolojileri için etik ilkeler ve yönergeler belirlemeyi amaçlamaktadır. Rapor, bu teknolojinin toplum ve bireyler için kabul edilebilir bir şekilde geliştirilmesi ve uygulanması için öneriler sunmayı amaçlamaktadır. Rapor, çeşitli etik konularını ele almaktadır. Özellikle sürücüsüz araçların insanlar ve diğer araçlarla nasıl etkileşimde bulunacağı, önceliklerin nasıl belirleneceği ve insana müdahale durumlarında nasıl davranılacağı gibi konular ele

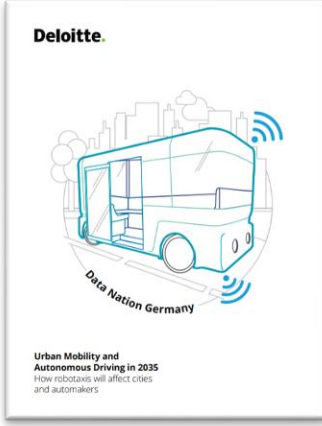
alınmıştır. Bir otonom aracın kazaya karışması durumunda kimin sorumlu olduğu gibi konulara da değinilmiştir. Rapor, otonom ve bağlantılı araç teknolojilerinin toplum ve bireyler için kabul edilebilir bir şekilde kullanılması için gerekli olan yasal düzenlemelerin yapılması gerektiğini belirtmektedir (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017).



“Otonom ve Bağlantılı Sürüş için Strateji” isimli strateji raporu, Federal Almanya Ulaştırma İnşaat ve Kentsel Gelişim Bakanlığı (BMVI) tarafından 2022 yılında yayınlanmıştır. Raporda, Almanya’nın otonom ve bağlantılı sürüş teknolojilerinin gelişiminde lider bir ülke olmak için stratejik hedefleri ve eylem planları belirlediği açıklanmaktadır. Almanya’nın otonom ve bağlantılı sürüş teknolojileri için bir dizi adım atması gerektiğine işaret etmekte ve bu adımların bir listesini sunmaktadır. Bu adımlar arasında Almanya’nın:

- Araştırma ve geliştirme faaliyetlerine yatırım yapması
- Yüksek hızlı internet erişimi sağlaması
- Sürücüsüz araçların test edilmesine ve sürücüsüz araç teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik deneyimli ve lisanslı sürücülerin eğitimini desteklemesi
- Yol altyapısının otonom ve bağlantılı sürüş teknolojilerine uygun hale getirilmesi
- Yasal düzenlemelerin geliştirilmesi
- Veri gizliliğine yönelik tedbirler alması

- Avrupa'daki otonom ve bağlantılı sürüş teknolojileri projeleriyle iş birliği yapması gibi adımlar yer almaktadır (Die Bundesregierung, 2022).



2019 yılında Deloitte tarafından Yayınlanan “Almanya’da Otonom Sürüş: Güvenli, Verimli ve Emniyetli” adlı rapor, Almanya’nın otonom araç teknolojileri konusunda yayınladığı eylem planlarını incelemektedir. Almanya’nın otonom araç teknolojileri konusunda güçlü bir yasal çerçeveye sahip olduğundan bahsedilmektedir. Almanya’da otonom araçların kullanımına ilişkin yasal çerçevenin 2022 yılında yürürlüğe girmesi planlanmıştır. Almanya, otonom araç teknolojilerinin geliştirilmesine ve kullanımına yönelik önemli yatırımlar yapmakta olup 2020 yılında otonom araçların test edilmesi ve geliştirilmesi için ayrılan bütçe yaklaşık 320 milyon avrodur. Almanya’nın otonom araç teknolojisi konusunda yayınladığı söz konusu raporda, 2025 yılına kadar otonom araçların “Seviye 4” düzeyine ulaşması hedeflenmektedir. Bu seviye, aracın tamamen otonom olarak belirli koşullar altında sürüş yapabilmesi anlamına gelmektedir. Otonom araçların geliştirilmesi ve test edilmesi için belirli bölgelerde pilot projeler yürütmektedir. Münih şehrinde otonom minibüslerin kullanıldığı bir pilot proje yürütülmüştür ve Frankfurt’ta otonom araçların test edilmesi için bir test pisti kurulmuştur (Deloitte, 2019).

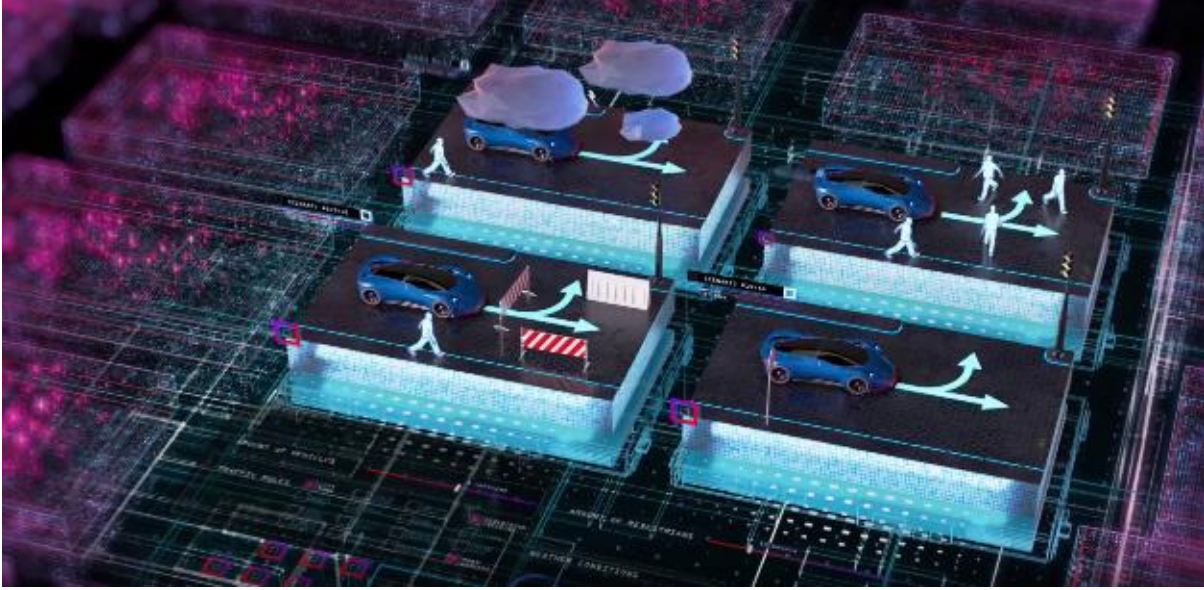
7.1.2. Avusturya

7.1.2.1. Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları

dSPACE

dSPACE, otonom araç çalışmaları yürüten kurumlara, ürettiği simülasyon programıyla destek vermektedir. Simülasyon çalışmalarının doğruluk oranını artırmak için hizmet verdiği kurumların kullandıkları sensörlerden elde edilen veriler ışığında ve AI destekli sistemler yardımıyla hem arabanın hem de bulunduğu ortamın dijital ikizini oluşturmaktadır. Bu aşamadan sonra otonom aracın uzmanlaşacağı bir temel senaryo hazırlanmaktadır. Yeterli seviyeye geldikten sonra, çeşitli algoritmalar ile birlikte bu temel senaryonun hava koşulları veya yaya bulunması durumu gibi trafikteki çeşitli durumları barındıran sayısız farklı senaryo çalışması hazırlanmaktadır. Yüksek

performanslı bulut teknolojisi sayesinde, simülasyonlar hızlı bir şekilde ve ortaya çıkan sonuçlarla araç üstünde geliştirmeler yapılmaktadır. Şekil 63'te senaryo çoğaltma illüstrasyonu yer almaktadır (dSPACE, 2023).



Şekil 63. dSPACE Senaryo Çoğaltma İllüstrasyonu

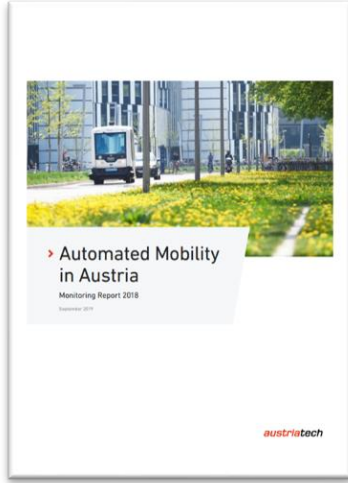
7.1.2.2. Politika Belgeleri ve Raporlar



“Otonom Araçlar: Avusturya Yol Haritası” belgesi, Avusturya Bilim, Araştırma ve Ekonomi Bakanlıkları tarafından 2016 yılında yayınlanmıştır. Belgede, otomasyonun geliştirilmesine yönelik hedefler ve bu hedeflere ulaşmak için önerilen eylem planları yer almaktadır. 2030 yılına kadar Avusturya’da tüm araçların %10’unun otonom araçlar olması hedeflenmektedir. Gelişmekte olan otonom sürüş pazarının, Avusturya’daki 170 milyar avroya yakın ciro elde eden otomotiv sektörüne katkıda bulunacağına değinilmektedir.

Otonom araçların, trafik kazalarından kaynaklanan ölümler ve yaralanmaların azaltılmasına yardımcı olması beklenmektedir. Belgede belirtilen verilere göre, 2015 yılında Avusturya’da 475 kişi trafik kazalarında hayatını kaybetmiştir. Tüm kazaların yaklaşık %70’inin; sürücünün dikkatinin dağılması, yetersiz hız ve yol vermeme nedenlerinden kaynaklandığı belirtilmektedir ve bu oranın otonom araçların yaygınlaşmasıyla düşmesi

beklenmektedir (Federal Ministry Republic of Austria | Transport Innovation and Technology vd., 2016).



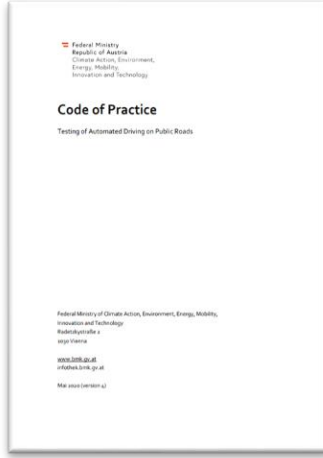
AustriaTech tarafından 2019 yılında yayınlanan “Avusturya’da Otonom Hareketlilik: İzleme Raporu 2018”, Avusturya’da otonom araçların durumunu ve ilerlemesini izlemeyi amaçlamaktadır. Ülkede otonom araçların test edilmesi için 11 farklı test alanı oluşturulduğu belirtilmektedir. ALP.Lab projesi ile 20km’lik bir otoyolda, optimal güvenlik koşulları altında, otonom araçların geliştirilme sürecinin kısaltılmasının hedeflendiğinden bahsedilmektedir.

Avusturya, 2019-2022 yılları için 65 milyon avro büyüklüğünde bir bütçe ile yeni bir eylem programı geliştirmiştir. Ancak veri koruması, araç ve rotayla ilgili verilerin kullanımı ve siber güvenlik gibi konularda belirsizliklerin devam ettiği belirtilmektedir. Bu raporda ayrıca, araçların kullanım alanları, otonom araçların güvenliği, araçların enerji verimliliği ve diğer konular hakkında bilgi verilmektedir (AustriaTech, 2019).



Avusturya Federal Bakanlığı tarafından 2019-2022 yılları için 2018 yılında hazırlanan “Otonom Hareketlilik için Eylem Programı”; otonom, bağlantılı ve mobil taşımacılık alanında ilerlemeyi hızlandırmak ve bu teknolojilerin güvenli, sürdürülebilir ve insan odaklı bir şekilde uygulanmasını sağlamak amacıyla hazırlanmıştır. Program; mevcut mevzuatın gözden geçirilmesi, test alanlarının geliştirilmesi, endüstriyel iş birliği ve Ar-Ge çalışmaları gibi bir dizi öneri içermektedir. Avusturya Ulaştırma, Yenilik ve Teknoloji Bakanlığı (BMVIT), Avusturya’da otonom sürüşün gelişimini desteklemek için bu dönemde yaklaşık 25

milyon avro yatırım yapmıştır (Federal Ministry Republic of Austria | Transport Innovation and Technology, 2019).



“Otonom Sürüşün Test Edilmesi ve Doğrulanması için Uygulama Kuralları” başlıklı belge, 2020 yılında AustriaTech tarafından yayınlanmıştır. Otonom sürüş teknolojilerinin test edilmesi ve doğrulanması için yönergeler seti sağlanmıştır. Test sürecinin farklı aşamaları, test sürüşlerinin nasıl yapılacağı, verilerin nasıl kaydedileceği ve analiz edileceği gibi konular detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Testlerin güvenliği, test araçlarının ve sürücülerin nitelikleri, test sürüşlerinin etik sorunları gibi konulara da değinilmiştir (Federal Ministry Republic of Austria | Climate Action Environment Energy Mobility Innovation and Technology, 2020).



Avusturya Federal Bakanlığı tarafından 2022 yılında yayınlanan “Otonom Sürüş Düzenlemeleri” başlıklı rapor, Avusturya’da otonom sürüş teknolojisinin mevzuatını düzenlemek amacıyla hazırlanmıştır. Belge, otonom araçların Avusturya’da kullanımına ilişkin koşulları, mevcut yasal düzenlemeleri ve bu teknolojinin kullanımına yönelik yasal gereklilikleri ele almaktadır. Ayrıca raporda otonom araçların kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek sorunların çözümü için öneriler de yer almaktadır (RIS, 2022).

7.1.3. Birleşik Krallık

7.1.3.1. Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları

Wayve

Geleceğin hareketliliğini yeniden düzenlemek amacıyla yola çıkan Wayve, otonom sürüşü somutlaştırılmış zekâ üzerinden kurgulamaktadır. DL temelli üretilen çözüm ile otonom sürüşte gerekli olan ve yüksek çözünürlüklü haritalar ve programlama kurallarına bağlı çalışan pahalı ve karmaşık robotik parçalardan kurtulmayı hedeflemektedir.

“AV2.0” adı verilen bu AI destekli yaklaşım sayesinde, araçlar daha önce test edilmediği, hatta ilk defa gördüğü ortamlarda bile sorunsuz gidebilmektedir. Veri odaklı algoritma ve DL ile birlikte, araçlar sürekli olarak gelecekte olabilecek senaryoları tahmin etme yeteneğini geliştirmektedir.

Kamera ve radardan toplanan verilerin, kesintisiz ve anlık olarak işlenmesiyle genişleyen ve bir sinir ağına benzeyen bu sistem ile en temel araçlarda bile güvenlik ve performans geliştirmesi sağlanabilmektedir. şekil 64’te Wayve otonom araç görseli yer almaktadır (Wayve, 2023).



şekil 64. Wayve Otonom Araçları

Oxa

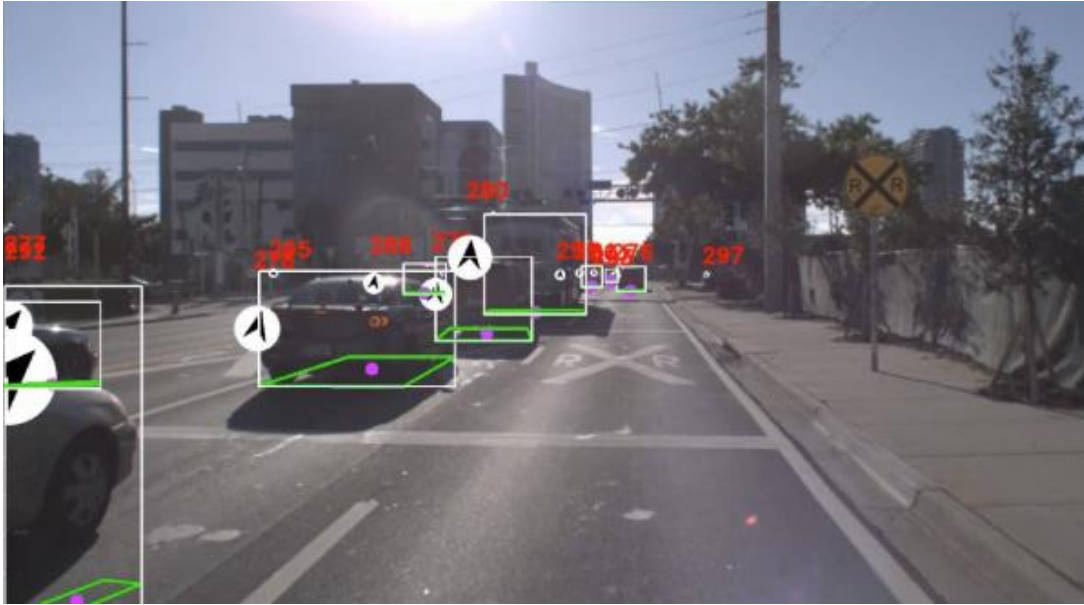
Otonom sürüşün yaygınlaşmasının cihazlardan bağımsız bir şekilde başarılacağını savunan Oxa, “Oxa Sürücü” ismini verdiği bir yazılım üretmiştir. Herhangi bir aracın herhangi bir ortamda otonom sürüş özelliğı kazanabildiğı bu kapsamlı sistem sayesinde, lojistikten yolcu taşımaya kadar hayatın her alanında otonom sürüşü sağlamak hedeflenmektedir. Diğer teknoloji platformlarıyla uyumlu şekilde ayarlanmış yazılım, üretilmiş her sensörle birlikte çalışabilmektedir. Bu yazılımın bir üst versiyonu olan “Oxa MetaSürücü” ise alt sürümünün özelliklerine ek olarak önceden eğitilmiş AI modeli ile desteklenmektedir. Bununla birlikte, dijital ikiz teknolojisinin getirdiğı sanal dünyadaki benzetim çalışmaları ile gerçek hayata önceden hazırlanan sistem, daha başarılı ve gerçek zamanlı konumlama yapabilmektedir. Bu çalışmaların yanı sıra “Oxa Merkez” adı verilen ve filolara özel hizmet veren yazılım ise otonom araç filolarının güvenliğini ve yönetilebilirliğini artırmaktadır. Google Cloud teknolojisinden yararlanılan bu yazılım ile çok büyük veriler yönetilerek olası tehlikelere karşı önceden önlem alınmaktadır. şekil 65’te Oxa sürücü entegre edilmiş bir araç görseli bulunmaktadır (Oxa, 2023).



Şekil 65. Oxa Sürücü Entegre Edilmiş Bir Araç

Humanising Autonomy

Humanising Autonomy, otonom karar verme mekanizmasına sahip makineler için gereken insan davranışının doğru bir şekilde sınıflandırılarak tahmin etme yeteneğini geliştirmek amacıyla bir sistem üretmiştir. Etik CV yazılımı olarak tanımlanan ve “Davranış Yapay Zekâsı” adı verilen platform temelinde geliştirilen “İnsanlaştırılmış Sürücü Destek Sistemi (HDAS)” adı verilen teknoloji ile birlikte, sürücülerin ve savunmasız yol kullanıcılarının güvenliğinin artırılması hedeflenmektedir. Kullanılan çarpışma uyarısının insanda oluşturduğu mantığı, sisteme uyarlayabilen şirket, bu sayede yanlış alarmların ve manevraların sayısını önemli ölçüde azaltmaktadır. Şekil 66’da etik CV örneği bulunmaktadır (Humanising Autonomy, 2023).



Şekil 66. Etik CV Örneği

Opteran

Böceklerin yıllar süren evriminin arkasındaki doğallığın ve hayatta kalma güdüsünün ihtişamından ilham alarak otonom araçların da aynı şekilde gelişmesi için bir algoritma üreten şirket, bu algoritmaya “Doğal Zekâ” adını verdi. Tersine mühendislik yöntemini referans alarak böceklerin çalışma fonksiyonlarını otonom araçların beynine uyarlayan Opteran, bu sayede yaşayan bir makine yapmayı hedeflemektedir. Bu üretilen sistem ile bir otonom araç karşılaştığı problemleri bir böcek gibi çözmeye çalışmayı öngörmektedir (Opteran, 2023):

- *Mücadeleci koşullar:* Yetersiz ışık ve olumsuz hava koşulları gibi farklı ve zorlayıcı durumlarda kaldığında, bulunduğu ortamı tolere ederek çalışmaya devam edecektir.
- *Tanımlanmamış çevre:* GPS teknolojisinden bağımsız olarak kullanılan navigasyon ile birlikte, açık ya da kapalı alan olması fark etmeksizin, her girdiği ortamda görerek öğrenmektedir. Bu durum, hafızada düşük yer kaplayan haritalar ile sağlanmaktadır.
- *Çoklu görev:* İçerisinde bulunduğu koşullara uyum sağlamak için yapılması gereken görevleri uygun sırada öncelemektedir.
- *Dinamik nesneler:* Etrafında bulunan her türlü statik ve dinamik nesneyi tespit eder ve buna uygun çarpışma uyarısını devreye alır. Bunun için ise sensörlerde sıfıra yakın gecikme başarılmıştır.

Şekil 67’de doğal zekâ illüstrasyonu yer almaktadır (Opteran, 2023).



Şekil 67. Doğal Zekâ İllüstrasyonu

Rolls-Royce

Rolls-Royce, “Rolls-Royce 103EX” modeli ile özgünlüğü hedeflemektedir. Yarının şehirleri içinde sessiz ve eforsuz bir otonom sürüş vaat eden şirket, arabanın içini de yolcu için sınırsız bir konfor alanı oluşturması amacıyla tasarlamıştır. Aracın içinde hareket ederken dışarıdaki seslerden tamamen arınarak konforlu bir sürüş sağlanmasını hedeflemektedir. Şekil 68’de Rolls-Royce 103EX görseli bulunmaktadır (Rolls-Royce, 2023).



Şekil 68. Rolls-Royce 103EX

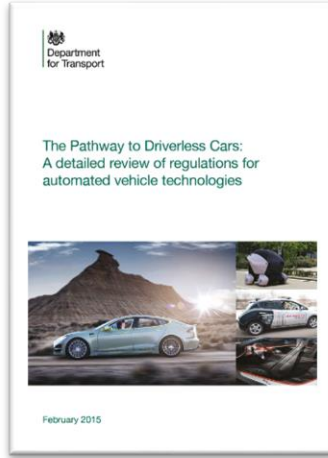
Bentley

2030 yılı için sıfır emisyon hedefi koyan ve bu yolda atılımlara başlayan Bentley, bu hedef doğrultusunda otonom araç için bir konsept çalışma yapmıştır. Şirket “Bentley EXP 100 GT” ismi verilen konsept modeli, 2035 yılında çıkarmayı hedeflemektedir. AI sistemleri içeren bu teknoloji, çevresindeki ses, görüntü ve diğer girdileri kaydedip işlemcisine aktarmaktadır. İşlemci, aldığı bu verileri daha etkili bir şekilde işleyerek kullanıma sunmakta, böylece hem konfor hem de güvenlik seviyesini artırmaktadır (Bentley, 2023). Şekil 69’da Bentley EXP 100 GT görseli yer almaktadır (Bentley, 2023).



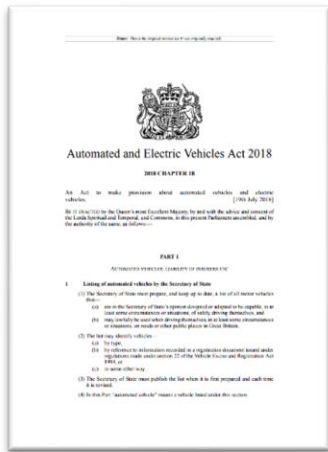
Şekil 69. Bentley EXP 100 GT

7.1.3.2. Politika Belgeleri ve Raporlar



Birleşik Krallık Ulaştırma Bakanlığı tarafından 2015’te Yayınlanan “Sürücüsüz Arabalara Giden Yol Yönetmeliklerin Detaylı İncelemesi” isimli belge, otonom araçlara yönelik yasal düzenlemeleri ve otonom araçların gelişimi hakkında bir inceleme sunmaktadır. Bu raporda, otonom araçların güvenliği, sürücüsüz araçların yasal düzenlemeleri, sigorta gereksinimleri ve sürücüsüz araçların kabul edilmesi için gerekli altyapı gibi konular ele alınmaktadır. Bu belge, otonom araç teknolojileri konusunda yasal düzenlemeleri inceleyen ilk önemli raporlardan biridir. Rapor;

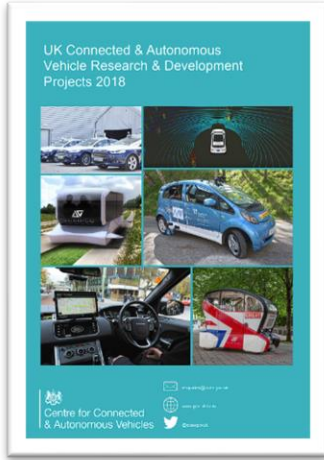
otonom araçların yasal olarak tanınmasının, güvenlik yönetmeliklerinin ve sürücüsüz araçların kullanımının düzenlenmesinin önemi üzerinde durmaktadır. Birleşik Krallık hükümetinin otonom araç teknolojilerinin geliştirilmesi için aldığı önlemler, sürücüsüz araç testleri için lisanslama ve test merkezleri kurulması, ulusal araç test merkezlerinde sürücüsüz araç testlerinin yapılmaya başlanması gibi konuları içermektedir. Rapor ayrıca otonom araçların altyapısı, siber güvenlik ve veri gizliliği gibi konuları da ele almaktadır. Birleşik Krallık, otonom araç teknolojisini ilerletmek ve dünya lideri olmak için, mevcut mevzuat ve politikalarını sürekli güncelleyerek bu alanda ilerlemeyi hedeflemektedir (UK Department for Transport, 2015).



2018’de Birleşik Krallık Meclisinden geçen “Otonom ve Elektrikli Araçlar Yasası”, Birleşik Krallık’ta elektrikli ve otonom araçların kullanımı ve hayata geçirilmesi için düzenlemeleri ve gereklilikleri belirleyen bir mevzuat parçasıdır. Düşük emisyonlu araçların benimsenmesini teşvik etmeye ve karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik daha geniş eylem planının bir parçasıdır. Yasa, elektrikli araçlar için şarj noktalarının kurulması ve çalıştırılmasına yönelik hükümlerin yanı sıra otonom araçların Birleşik Krallık yollarında test edilmesi ve hayata geçirilmesine ilişkin düzenlemeleri içermektedir.

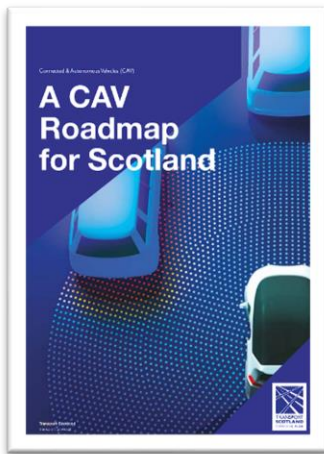
Bunun yanı sıra, tüm yeni arabaların ve minibüslerin 2040 yılına kadar etkili bir şekilde sıfır emisyonlu olması için bir hedef belirlenmiştir. Bu hedefi destekleyen kilit planlardan biri, bireylerin ve işletmelerin elektrikli araç satın almaları için mali teşvikler sağlayan Plug-In Araç Hibesidir. Buna ek olarak ulaşım da dahil olmak üzere ülke ekonomisinin farklı sektörlerinde

emisyonları azaltmak için bir dizi önlem belirleyen Temiz Büyüme Stratejisi de başlatılmıştır. Yasa genel anlamda, elektrikli araç alımları için hibeler ve şarj altyapısına yatırım dahil olmak üzere düşük emisyonlu araçların benimsenmesini teşvik etmeyi amaçlayan daha geniş bir dizi politika ve girişimin bir parçasıdır (UK Legislation, 2018).



2018’de Yayınlanan “Birleşik Krallık Bağlantılı ve Otonom Araç Araştırma ve Geliştirme Projeleri” raporu, Birleşik Krallık’ın Otonom Araçlar Merkezi (Centre for Connected and Autonomous Vehicles, CCAV) tarafından finanse edilen ve otonom araç teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik bir dizi araştırma ve geliştirme projesini içermektedir. Rapor, otonom araç teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik 68 farklı araştırma ve geliştirme projesini kapsamaktadır. Bu projeler; otonom araçların güvenliği, veri gizliliği, siber güvenlik, etik, enerji verimliliği ve yolcu deneyimi gibi konuları ele almaktadır.

Projelerin toplam bütçesi 400 milyon sterlin civarındadır. Rapor ayrıca, projelerin özelliklerini, bütçelerini, sürelerini ve yürütücü kuruluşlarını da detaylı bir şekilde sunmaktadır. Bu projelerin birçoğu; üniversiteler, araştırma merkezleri ve özel sektör firmaları tarafından yürütülmektedir. Bu araştırma ve geliştirme projeleri; otonom araç teknolojilerinin güvenliği, verimliliği ve sürdürülebilirliği gibi konuların ele alınmasına ve bu teknolojilerin gelecekte yaygınlaştırılmasına katkı sağlamayı hedeflemektedir (UK Centre for Connected & Autonomous Vehicles, 2018).



2021 yılında son güncellemesi yapılan “İskoçya için Bağlantılı ve Otonom Araç Yol Haritası” isimli belge, İskoçya hükümetinin, otonom ve bağlantılı araçlar teknolojilerinin kullanımını artırmak için belirlediği yol haritasını içermektedir. Otonom ve bağlantılı araç teknolojilerinin İskoçya’da kullanımının artırılması ve bu teknolojilerin ekonomik fırsatlar oluşturması için belirlenen ana hedefler sunulmaktadır. Ayrıca otonom ve bağlantılı araçların kullanımını artırmak için bir dizi politika belirlenmiştir. Bunlar arasında, otonom araçların toplu taşıma ve ticari kullanımına yönelik

teşvikler ve destekler ile otonom araç teknolojileri geliştirmek amacıyla Ar-Ge ve inovasyon çalışmaları için fonlar sağlanması gibi politikalar yer almaktadır (Transport Scotland, 2019).



İngiltere Hukuk Komisyonu ve İskoçya Hukuk Komisyonu tarafından 2022 yılında hazırlanan “Otonom Araçlar ve Yeni Ulaşım Teknolojileri: Hukuki Sorunlar” başlıklı rapor, otonom araçların gelişmesi ve kullanımının hukuki açıdan ele alınmasını amaçlamaktadır. Rapor, otonom araçların mevcut hukuki çerçeveler içinde nasıl ele alınabileceğini ve bu teknolojinin yol açabileceği hukuki sorunları ele almaktadır. Raporda, otonom araçların sürücü sorumluluğu, sigorta ve davalar gibi konularda nasıl ele alınabileceği tartışılmaktadır. Raporda; otonom araçlarda veri gizliliği, etik ve siber güvenlik gibi konuların da ele alınması, otonom araçların yasal çerçevesinin güncellenmesi ve bu teknolojinin getireceği hukuki sorunların çözüme kavuşturulması gerektiği vurgulanmaktadır (Law Commission of England and Wales & Scottish Law Commission, 2022).



2022 yılında, Birleşik Krallık’ın otonom araç teknolojilerine yönelik bir stratejik planı olan “Merkezi Finansmanlı Otonom Araçlar (CAV) Araştırma ve Geliştirme Programı” kapsamında, “Bağlantılı ve Otonom Hareketlilik 2025: Birleşik Krallık’taki Sürücüsüz Araçların Faydalarını Fark Etmek” adlı rapor yayınlanmıştır. Rapor, otonom araçların yaygınlaşması ile elde edilebilecek potansiyel faydaları belirlemekte ve Birleşik Krallık’ın bu teknolojiyi geliştirmek için alması gereken önlemleri sıralamaktadır. Rapor, otonom araçların yaygınlaşmasıyla birlikte birçok faydanın elde edilebileceğini

vurgulamaktadır. Bunlar arasında trafik kazalarının azaltılması, yolculukların daha güvenli ve konforlu hale getirilmesi, hava kirliliğinin azaltılması, trafik sıkışıklığının giderilmesi ve daha fazla hareketlilik imkânı sunulması yer almaktadır. Ayrıca otonom araçların geliştirilmesi için finansmanın önemine vurgu yapılmaktadır. Birleşik Krallık hükümeti, otonom araç teknolojileri için araştırma ve geliştirme çalışmaları için yeterli finansman sağlamakta ve bu alanda öncü olmayı hedeflemektedir. Birleşik Krallık’taki otonom araç sektörünün, 2035 yılına kadar 42 milyar sterlinlik bir değer oluşturması beklenmektedir. Ayrıca otonom araçların geliştirilmesi ve kullanımına yönelik çeşitli öneriler sunulmaktadır. Bunlar arasında, otonom araçların test edilmesi için pilot projelerin yürütülmesi, otonom araçların kullanımına yönelik yasal düzenlemelerin

hazırlanması, sürücü eğitimlerinin güncellenmesi ve kullanıcıların otonom araçlara nasıl uyum sağlayacağına ilişkin çalışmalar yapılması yer almaktadır (Her Majesty Government, 2022)..



Zenic, Birleşik Krallık hükümeti tarafından finanse edilen bir organizasyondur ve otonom araç endüstrisini geliştirmek için kurulmuştur. Birleşik Krallık'ta, sanayi, akademi ve hükümeti bir araya getirerek sektörde iş birliği ve inovasyonu teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Bu organizasyon tarafından Mart 2023'te hazırlanan "2035'e Kadar Birleşik Krallık Bağlantılı ve Otonom Hareketlilik

Yol Haritası" isimli rapor, Birleşik Krallık'taki otonom taşımacılık sektörünün 2035 yılına kadar nasıl gelişeceği ve bu süreçte karşılaşılabilecek zorlukların nasıl aşılabileceğine yönelik bir yol haritası sunmaktadır. Ayrıca CAV teknolojilerinin ve altyapısının geliştirilmesi için iş birliği ve yatırım yapılması gerektiği vurgulanmaktadır. Rapor, ülkedeki otonom taşımacılık sektörünün ekonomik ve toplumsal faydaları hakkında bilgi vermektedir. Ek olarak trafik güvenliğini, sürdürülebilirliği ve erişilebilirliği artırmak için teknolojinin geliştirilmesinin ve uygulanmasının yanı sıra politik, yasal ve düzenleyici çerçevenin de uygun hale getirilmesi gerektiği belirtilmektedir (Zenic, 2023).

7.1.4. Estonya

7.1.4.1. Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları

Auve Tech

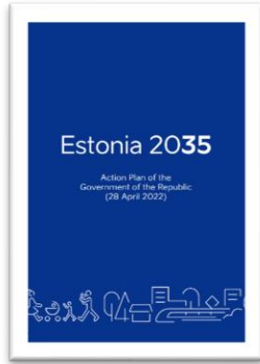
Auve Tech, otonom toplu taşıma sistemleri alanında faaliyet gösteren bir şirket olup farklı ortamlara uyum sağlama ve filo yönetimi konularında çalışmalar yapmaktadır. Şirketin geliştirdiği otonom sürüş özelliğine sahip MiCa, çeşitli hava koşulları ve trafik durumlarında hizmet verebilen bir servis aracıdır. Saatte maksimum 25 km hız yapabilen ve sekiz yolcu kapasitesine sahip olan MiCa, günde 20 saate kadar kesintisiz hizmet sunabilmektedir. MiCa, emniyeti artırmak için gelişmiş sensör ve kamera teknolojileri kullanmaktadır. Bu sistemler arasında LIDAR, radar, GNSS, IMU ve iç-dış kameralar yer almaktadır. Ayrıca aracın hem içinde hem dışında iki adet manuel acil durdurma butonu bulunmakta, böylece emniyet en üst seviyeye çıkarılmaktadır.

MiCa'nın "farklı ortamlara uyum sağlama" özelliği, aracın çeşitli hava şartlarında (yağmur, kar, sis gibi), farklı yol tiplerinde (asfalt, stabilize yol, engebeli araziler gibi) ve değişen trafik yoğunluklarında sorunsuz çalışmasını ifade etmektedir. Bunun yanı sıra, akıllı şehir altyapılarına ve filo yönetim sistemlerine entegre olabilme yeteneği sayesinde, geniş bir kullanım alanına sahiptir. Şekil 70'te MiCa otonom servis aracı görseli yer almaktadır (Auve Tech, 2024).



Şekil 70. MiCa Otonom Servis Aracı

7.1.4.2. Politika Belgeleri ve Raporlar



Avrupa Komisyonu'nun 2022 yılında hazırladığı "Estonya 2035: Cumhuriyet Hükümeti Eylem Planı" adlı belgede, Estonya'nın 2035 yılına kadar yapması gereken düzenlemelere yer verilmiştir. Bu kapsamda Estonya genelinde entegre hareketliliği sağlamak amacıyla sosyo-ekonomik ve çevresel faktörleri dikkate alan bir modelin geliştirilmesi ve uygulanması kararlaştırılmıştır. Bu plan kapsamında entegre hareketlilik; hafif trafik, destekli ulaşım sistemleri, kara, deniz, hava ve demir yolu taşımacılığını içerdiği gibi sürücüsüz araçların kullanımını da kapsamaktadır (European Commission, 2022).

7.1.5. Fransa

7.1.5.1. Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları

PROPHESSEE

Göz ve beyin arasındaki sinirsel bağlantıdan yola çıkan şirket, olay bazlı görsel sistem geliştirmiştir. Bu sistemde nöromorfik sensörler ve biyolojiden esinlenmiş algoritmalar kullanılmaktadır. Bu geliştirilen teknoloji sayesinde tüm piksellerin aynı anda kayıt yaptığı kare tabanlı sensörler yerine her bir pikselin birbirinden bağımsız olduğu olay tabanlı sensörler kullanılmaktadır. Bu sayede kameraların anlık kare mantığında kaybolan görüntülerin yerine, kusursuz ve sürekli bir bilgi akışı sağlanmaktadır. Buradaki teknoloji, canlılarda olduğu gibi o anki senaryo ile ilgisi olmayan girdilerin işleme alınmamasıdır. Bu sistem sayesinde otonom araçlar daha sağlıklı bilgi akışı sağlayabilmekte ve olası durumlardaki acil durumları daha hızlı fark edebilmektedir. Şekil 71’de olay temelli görüş örneği yer almaktadır (PROPHESSEE, 2023).



Şekil 71. Olay Temelli Görüş Örneği

EasyMile

DL temelli geliştirilen teknolojisi ile EasyMile, kısıtlı ortamlarda Seviye 4 otonom sürüş gerçekleştirmektedir. Yeni nesil radar, kamera ve LIDAR sensörleriyle donatılan araçlar, bu sayede anlık olarak aracın 360° çevresini gözetleyerek veri elde edebilmektedir. Bununla birlikte geliştirilen bu teknoloji, araçtan bağımsız bir şekilde geliştirilmiştir ve bu sayede her araca entegre olabilmektedir. Benzetim çalışmaları aşamasında ise robotik, CV ve araç dinamikleri alanlarından faydalanılmaktadır. Şirket geliştirdiği teknoloji ile üç farklı araç üretmiştir (EasyMile, 2023):

- *EZTow*: Otonom çekici hizmeti sunan bu araç ile endüstriyel sahada, lojistik merkezlerinde, havaalanlarında ve bu örnekler gibi akıllı yerleşim birimlerinde, yük taşıma yapılmaktadır. Şekil 72’de EZTow otonom çekici görseli yer almaktadır (EasyMile, 2023).



Şekil 72. EZTow Otonom Çekici

- *EZTug*: Otonom tersane kamyonu hizmeti sunan bu araç ile dünya ticaretinin büyük bir bölümünün gerçekleştiği limanlarda, lojistik operasyonları 7/24 devam ettirmek için kullanılmaktadır. Şekil 73’te EZTug otonom tersane kamyonu görseli yer almaktadır (EasyMile, 2023).



Şekil 73. EZTug Otonom Tersane Kamyonu

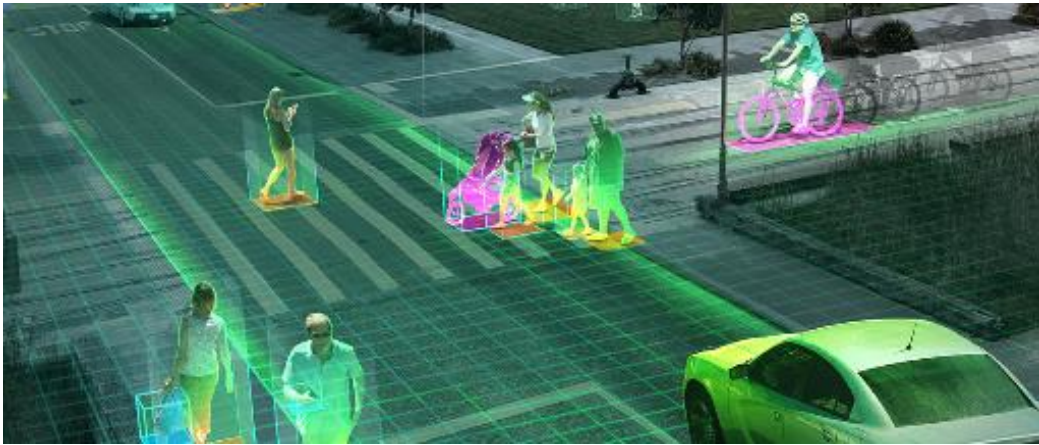
- *EZ10*: Değişen hava koşullarına dayanıklı ve savunmasız yol kullanıcılarının da içinde bulunduğu karışık trafik koşullarında çalışabilen bu servis aracı sayesinde, üniversite kampüsü gibi kısıtlı ortamların yanı sıra şehir merkezleri gibi trafiğe açık ortamlarda da yolcu taşınabilmektedir. Şekil 74’te EZ10 otonom servis aracı görseli yer almaktadır (EasyMile, 2023).



Şekil 74. EZ10 Otonom Servis Aracı

Heex Technologies

Verinin büyüklüğü yerine doğruluğunun önemli olduğunu savunan Heex Technologies, bu kapsamda geliştirdiği olay temelli yaklaşıma sahip algoritma ile araçların çevresinden topladığı verilerden, sadece AI destekli sistemlerin karar vermesine yardımcı olacak bölümleri ayıklayabilen bir sistem geliştirmiştir. Toplanan verilerin ilgili olmayan %99'unu dışarı atarak veri işleme hızını 10 katına çıkarabilen bu sistem, aynı zamanda AI algoritmalarının, otonomun önünde engel oluşturabilecek hata payını da önemli ölçüde düşürmektedir. Toplanan büyük verinin akıllı veriye, ardından ilgili veriye dönüştürülmesi olarak özetlenebilecek bu sistem, CV ve robotik alanlarıyla birlikte çalışmaktadır. Bu sayede AI modeli gerçek koşullara uygun şekilde eğitilmektedir. Şekil 75'te CV örnek gösterimi yer almaktadır (Heex Technologies, 2023).

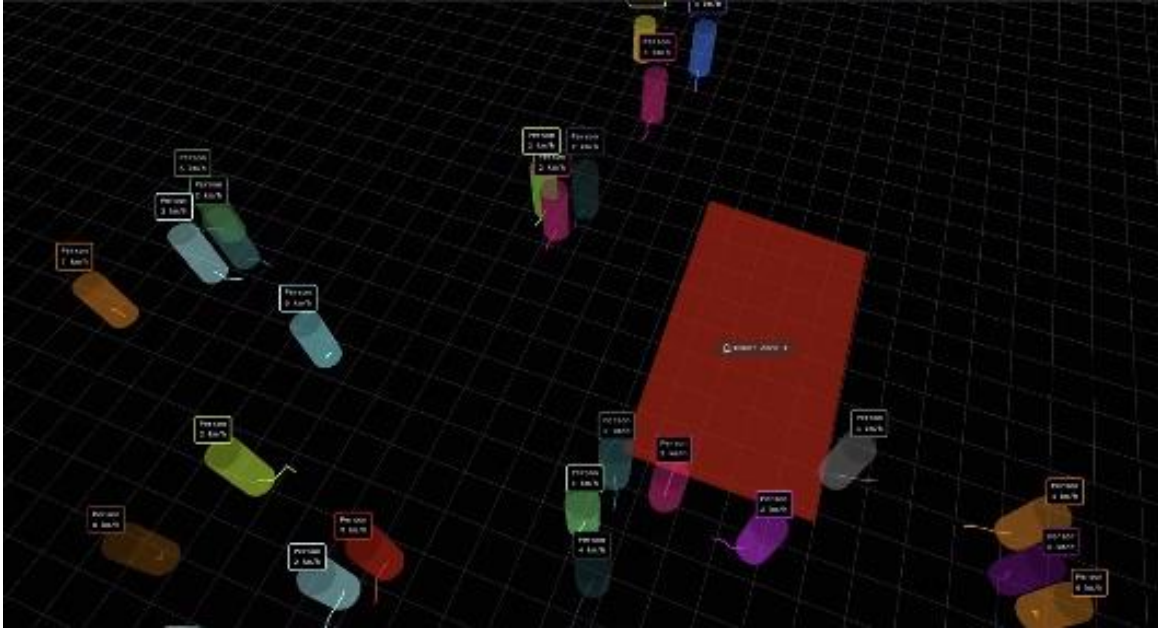


Şekil 75. CV Örnek Gösterimi

Outsight

LIDAR temelli yazılımıyla akıllı şehirler de dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde hizmet veren şirket, üç boyut algılama özelliği sayesinde belirli alanlardaki yoğunluğu tespit edebilmektedir.

“Uç yapay zekâ LIDAR” olarak tanımlanan bu teknoloji sayesinde verimli bir “aksiyon alınabilir veri” sağlanmaktadır. Konumlandırma ve üç boyutlu yüksek çözünürlüklü algı sağlayan bu sistem ile 30 saniye içinde çevre tam olarak detaylı şekilde görselleştirilmektedir. Şekil 76’da yazılım örnek gösterimi yer almaktadır (Outsight, 2023).



Şekil 76. Yazılım Örnek Gösterimi

Renault

Otonom sürüş ile birlikte müşterilerine daha stressiz ve verimli alan sağlamayı amaçlayan Renault, geliştirilen “Gözler Kapalı/Elleme” moduyla direksiyonun kontrolünü sürücünden arabaya aktarmaktadır. Araca monte edilmiş LIDAR, uzun mesafe cephe radarı, orta mesafe köşe radarı, cephe dijital kamerası, dört adet 180° dijital kamera barındıran sensör seti ile 360° gözetleme sistemi sayesinde sürekli olarak veri toplamakta ve bu veriler aracın beyininde işlenmektedir. Şekil 77’de Renault otonom sürüş görseli bulunmaktadır (Renault Group, 2023).



Şekil 77. Renault Otonom Sürüş

Peugeot

Yeni geliştirilen e-EFSANE konsepti ile birlikte Peugeot, otonom sürüş teknolojisinde önde olmayı hedeflemektedir. Zamanın daha doğru kullanılması üzerinden bir tasarım ortaya çıkaran şirket, yeni özelliklerle birlikte sürekli güncelleştirilen “Duyarlı e-Kokpit” ile sürücüsüz kullanımı hizmete sunmuştur. Bu sistemin iki modu bulunmaktadır (Peugeot, 2023):

- *Yumuşak*: Dijital yüzeylerin ve bilgilerin minimuma indirgenmiş bir karışımı
- *Keskin*: Dijital aktivitelere maksimum seviyede bağlantı

Şekil 78’de Peugeot e-EFSANE konsepti görseli yer almaktadır (Peugeot, 2023).



Şekil 78. Peugeot e-EFSANE Konsepti

Citroën

Şehir içi hareketlilik konusunda insanı ön plana çıkararak araç tasarlamayı hedefleyen Citroën, bu amaçla açık kaynak, kümülatif ve paylaşımlı bir sistem ortaya çıkarmıştır. Üçüncü parti yazılımlarla da desteklenebilen bu teknoloji, izin alan her şirket tarafından geliştirilmeye açıktır. “Citroën Otonom Hareketlilik Vizyonu” isimli bu projenin en önemli bölümü bir şehri bütün bileşenlerini kolektif olarak bir araya toplamasıdır. Bu doğrultuda farklı koşullara uygun dört farklı araç geliştirilmiştir. Şekil 79’da Sofitel Seyahat, Şekil 80’de Pullman Güç Sporu, Şekil 81’de Jdecaux Şehir Sağlayıcısı, Şekil 82’de Citroën Kaykay görseli bulunmaktadır (Citroën, 2023).

- *Sofitel Seyahat*: Kapıları camdan yapılmış bu araç ile yolculuk sırasında şehri izleyerek keyif alınması amaçlanmıştır.



Şekil 79. Sofitel Seyahat

- *Pullman Güç Sporu:* Seyahat sırasında spor yapmaya imkân sağlayan bu tasarım ile araç içinde hareketlilik sağlanmaktadır.



Şekil 80. Pullman Güç Sporu

- *Jcdecaux Şehir Sağlayıcısı*: Toplu taşıma için üretilmiş bu araç ile herkesin toplu taşımaya konforlu bir şekilde ulaşması amaçlanmaktadır.



Şekil 81. Jcdecaux Şehir Sağlayıcısı

- *Citroën Kaykay*: Bir kayak şeklinde tasarlanan ve maksimum 25 km/saat hıza ulaşabilen bu araç ile kısıtlı yerlerde hareketliliğin artırılması hedeflenmektedir.



Şekil 82. Citroën Kaykay

Venturi

Temiz enerji ve otonom sürüşü birleştiren bir tasarım olan “Eclectic” isimli konsept araç ile Venturi, şehir içi hareketlilikte yenilenebilir enerjinin önemini vurgulamaktadır. Aracın üzerinde bulunan fotovoltaik hücreler ile kendi enerjisini yolda üretebilen aracın, trafikte otonom olarak da sürüş gerçekleştirebilmesi amaçlanmaktadır. Şekil 83’te Eclectic görseli yer almaktadır (Venturi, 2023).



Şekil 83. Eclectic

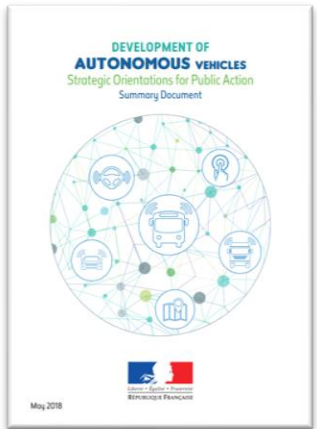
7.1.5.2. Politika Belgeleri ve Raporlar



“Otonom Araçların Geliştirilmesi Kamu Eylemi için Stratejik Yönelim Özet Belgesi” isimli belgede, Fransız hükümetinin otonom veya sürücüsüz araçların geliştirilmesine yönelik politika eylemlerini belirleyen stratejik çerçevenin özeti sunulmaktadır. Otonom araçların geliştirilmesi, taşımacılık ve yol güvenliği politikaları ile endüstriyel sektör açısından zorluk oluşturmaktadır. Bu nedenle Fransız hükümeti; içişleri, ekonomi ve maliye bakanlıkları ile ulaştırma ve dijital işlerden sorumlu devlet bakanını görevlendirdiği proje kapsamında, otonom araçların geliştirilmesine yönelik politika eylemlerini belirleyen bir strateji oluşturmuştur. Belge, halka açık danışma sürecinin ardından yayınlanmıştır. Bu belgenin yayınlanması, proje kapsamındaki ilk aşamanın sonuçlanması olarak değerlendirilebilmektedir (Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, 2018).



Fransa Ekonomi Bakanlığı tarafından 2019 yılında yayınlanan “Fransa’da Yarının Otomobillerini Üretmek” başlıklı belgede, Fransa’nın otonom araç teknolojisi alanındaki politikaları ve stratejileri hakkında bilgi verilmektedir. Bu belgede, Fransa’nın otonom araçlar konusunda lider bir ülke olmayı hedeflediği belirtilmektedir. Bunun için otonom araçlar için gerekli olan altyapı ve standartlar gibi konularda çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca otonom araçların yaygınlaştırılması için gerekli düzenlemelerin oluşturulduğu ve otonom araç teknolojisiyle ilgili Ar-Ge faaliyetlerine yatırım yapıldığı da belirtilmektedir (Ministère de l’Économie des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique, 2019).



“Otonom Karayolu Hareketliliğinin Geliştirilmesine Yönelik Fransız Stratejisi 2020-2022”, Fransa’nın 2020-2022 yılları için otonom araç mobilitesinin geliştirilmesi stratejisini ortaya koymaktadır. Bu strateji belgesinde, otonom araçların toplumda kabul edilmesi, güvenliği, sürdürülebilirliği, altyapı ihtiyacı ve insan faktörünün ele alınması gibi konulara odaklanılmıştır. Ayrıca mevzuat ve düzenlemelerin yapılması

ve otonom araçların teknolojik olarak geliştirilmesi de hedeflenmektedir (Gouvernement Français, 2020).



“Otonom Araçların Kullanım Koşullarına ve Otonom Ulaşım Sistemlerinin Devreye Alınmasına İlişkin Fransız Mevzuat Çerçevesi”, 2022’de Fransa Ulaştırma Bakanlığı tarafından hazırlanmıştır. Söz konusu mevzuat; otonom sistemlerin uzaktan müdahale sorumluluğunu üstlenen bir kişi tarafından denetlenmesi ve önceden tanımlanmış rotalar veya bölgelerde dağıtılması şartıyla tüm otomasyon seviyelerini kapsamaktadır. Bu sistemler için genel güvenlik hükümleri ve sürücü veya uzaktan müdahale sorumlusu için gereksinimler belirlenmiştir. Mevzuat,

tamamen otonom sistemlerin belirli bir güvenlik gösterimi sürecinden geçtikten sonra hizmete alınabileceği koşulları da belirlemektedir. Güvenlik gösterimi sürecini desteklemek için bir dizi referans belge tasarlanmıştır. Aynı zamanda ilgili belge; kısmen otomatik, yüksek derecede otonom ve tamamen otonom araçların tanımlarını ve otonom karayolu taşımacılık sistemlerinin kullanım koşullarını sağlamaktadır. Mevzuat, güvenliğin önemini vurgulamakta ve herhangi bir otomatik karayolu taşımacılık sisteminin kullanıcılar, işletme personeli ve üçüncü taraflar açısından güvenlik düzeyinin en az mevcut güvenlik düzeyine eşit olacak şekilde tasarlanmasını şart koşmaktadır (Ministère Chargé des Transports, 2022).

7.1.6. İspanya

7.1.6.1. Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları

Discoperi

Aracın sensörler aracılığıyla topladığı verilerin analizi ve alarmı üzerine çalışmalar yapan Discoperi, depolanabilir ve paylaşılabılır bir veri ağı sayesinde üçüncü parti yazılım şirketlerinin de bu sistemi geliştirmesine imkân sağlamaktadır. Blokzincir, nesnelerin interneti (IoT), AI ve büyük veri teknolojilerinden yararlanılan bu yazılım için özel bir donanım üretilmiştir. “Sistem Gözü” olarak adlandırılan 45mmx55mm boyutlarında olan bu donanım, her araca monte edilebilmektedir ve buna bağlı telefon uygulamasının kullanımı ile anlık güncelleme alınabilmektedir. Şekil 84’te sistem gözü görseli yer almaktadır (Discoperi, 2023).



Şekil 84. Sistem Gözü

Rokubun

Klasik GNSS sistemlerinin üzerine inşa edilen ve daha isabetli navigasyon teknolojileri sunan Rokubun; insansız hava araçlarında, konum temelli çalışan V2X sistemlerinde, geniş alanlı lojistik hizmetlerinde ve hassas tarımda kullanılmak üzere çözümler geliştirmiştir. “Jason Bulut PPK Servisi” adı verilen hizmet sayesinde, otonom araçların çalışması için önemli bir konu olan pozisyon bilgisinin geliştirilmesi ile araçlar daha güvenli bir konumlandırma yeteneğine sahip olması hedeflenmektedir. Şekil 85’te örnek navigasyon görüntüsü bulunmaktadır (Rokubun, 2023).



Şekil 85. Örnek Navigasyon Görüntüsü

Xesol Innovation

İnsan tespiti konusunda uzmanlaşan ve çalışmalarını bu alanda yürüten şirket, geliştirdiği algoritma ile CV teknolojisini kullanarak görüntülerdeki insanları tespit etmektedir. “Horux” adı verilen bu sistem, herhangi bir ortamda her türlü vücut pozisyonundaki insanı tanıyabilmektedir. “Horux++” isimli geliştirilmiş sistem ise bulut teknolojisinden ve mikroservislerden yararlanmaktadır ve üçüncü partilere de lisanslanabilmektedir. Şekil 86’da örnek kamera görüntüsünden yaya tespiti görseli bulunmaktadır (Xesol Innovation, 2023).



Şekil 86. Örnek Kamera Görüntüsü

SEAT

SEAT ve Galiçya Otomotiv Teknoloji Merkezi beraberliğinde geliştirilen “DIANA”, geleceğin hareketliliğinin pilot projesi olarak tanıtılmaktadır. SEAT Leon modeli üzerinde yapılan modifikasyonlar konusunda çalışmalar yürütülen projede; beş LIDAR, beş radar, altı kamera, 12 ultrasonik sensör ve sekiz bilgisayar kullanılmaktadır. Çok büyük boyutlu durumsal veriyi milisaniyeler içinde işleyebilen bu sistem sayesinde araç çevresini 360° görebilmekte ve konumunu tam olarak belirleyebilmektedir. DIANA, üç farklı fonksiyona sahiptir:

- *Otonom Şoför*: Düşük hızlı trafikte, araç kontrolü eline alır ve manevraları kendi yapar.
- *Otonom Vale Parkı*: Araç sürücüsüz olarak park yapar.
- *Çağırma*: Araç telefon uygulamasından belirlenen bir konumdan bir konuma yolcusunu götürür.

Hali hazırda Seviye 3 otonom sürüşe sahip olan DIANA projesinde, otonom araç seviyeleri atlanmadan önce birincil öncelik, mevcut teknolojilerin %100 güvenilir olması ve böylelikle otonom aracın çevresinin de güvenliğini sağlanmasıdır. Şekil 87’de SEAT DIANA görseli yer almaktadır (SEAT, 2021).



Şekil 87. SEAT DIANA

Irizar

2016 yılında başlayan “Automost” projesi ile birlikte Irizar hem şehir içi ulaşım hem de liman, fabrika veya lojistik sahaları gibi endüstriyel ortamlarda kullanılan taşımacılık sistemleri olarak tanımlanabilecek endüstriyel ulaşım konusunda verimlilik, güvenliği ve sürdürülebilirliği artırmayı amaçlamaktadır. İspanya Ekonomi Bakanlığı tarafından finanse edilen proje sonucunda otonom bir otobüs üretilmiştir ve bu otobüs Malaga Limanı’nda terminaller arası servis aracı olarak görev yapmaktadır.

Çalışmaları devam etmekte olan “Yüksek Tavsiye” projesi ile belirli otomasyon fonksiyonlarını yerine getirebilen bir otopilot üzerinde çalışılmaktadır. Bu fonksiyonlar arasında garajlarda park etme ve manevra yapabilme bulunmaktadır.

Ayrıca Avrupa Komisyonu tarafından fonlanan “Oto Sürüş” projesi ile Avrupa ölçeğinde ekosistem oluşturulmaya çalışılmaktadır. Otonom araçlar için gerekli standartların oluşturulması ve bileşen parçaların sağlanmasında, Irizar çalışmalara destek olmaktadır (Grupo Irizar, 2023).

“Oto Sürüş” projesinin somut örneklerini 2020 yılında almaya başlayan şirket, sıfır karbon emisyonuna sahip 60 kişilik bir otonom otobüs üretmiştir. Malaga Şehir Meclisi’ne sunulan bu

proje ile Malaga şehrinde otonom sürüş yapılması planlanmıştır. Şekil 88’de Irizar otonom otobüs görseli yer almaktadır (Grupo Irizar, 2020).



Şekil 88. Irizar Otonom Otobüs

7.1.6.2. Politika Belgeleri ve Raporlar



“Otonom Sürüşte İspanyol Yaklaşımı” isimli belge, İspanya’da otonom sürüşle ilgili çeşitli konuları ele almaktadır. İspanya’nın otonom sürüşe yönelik ulusal ve bölgesel stratejik planlarını, karşılaşılan zorlukları ve öğrenilen dersleri, iş birliği alanlarını ve sürücü belgeleri, sigorta ve sorumluluk gibi konuların geleceğini kapsamaktadır. Dijital ve yazılım çözümleri için

daha hızlı ve daha akıllı bir yasal çerçeve ihtiyacı vurgulanmakta, mevcut yol güvenliği sistemi ile tarafsız, esnek, iddialı ve uzun vadeli bir vizyona sahip düzenlemelerin gerekliliği tartışılmaktadır. Otonom araçlar için test gereklilikleri ve koşulları, yasal konular ve istikrarlı, açık ve esnek bir düzenleyici çerçevenin gerekliliği ele alınmaktadır. Ayrıca gerçek trafikte otonom araçların test edilmesi ve işletiminin teşvik edilmesi, ulusal araştırma enstitüleri ve endüstriler için yatırım çekilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Comobity uygulaması, Mobileye ile iş birliği içinde yürütülen DGT projesi ve Barselona Kurulu Kooperatif ve Otonom Sürüş gibi otonom sürüşle ilgili çeşitli girişimler ve projelere değinilmiştir (España Ministerio del Interior, 2017).

7.1.7. İtalya

7.1.7.1. Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları

eVS-embeddedVisionSystems

Gelişmiş algoritma ve model geliştirmede faaliyet gösteren şirket, makinelerin görsel veriyi işlemesini sağlayacak teknolojiler üretmektedir. Görsel farkındalığı ve nesne tespiti konularında ilerleme sağlanan bu sistem; görüntü işleme, örüntü tanıma, ML ve DL teknolojilerinden faydalanmaktadır. Çeşitli şirketlerle ortak yürütülen çalışmalar ile stratejik danışmanlık veren şirket, algoritmalarını farklı durumlara göre özelleştirebilmektedir.

“Detecto” ismi verilen işlemci ile arabaların sensörleri için programlanabilir mantık çerçevesinde nesne tespitini hızlandırmaktadır. Aracın karar vermesi için doğru tanınması gerekli olan nesneler olarak tanımlanan ve insan, bina ya da araç olarak örneklendirilebilen anlamsal nesnelerin tespiti bu sistem ile hızlandırılmaktadır. Bu teknolojinin üretiminde, işlemci üreticisi AMD ile birlikte çalışmaktadır. Şekil 89’da görsel tanıma örneği yer almaktadır (eVS-Embedded Vision Systems, 2023).



Şekil 89. Görsel Tanıma Örneği

Maserati

ADAS teknolojilerine önem veren Maserati, bu amaçla Seviye 2 otonom sürüşü Levante, Quattroporte ve Ghibli modellerine etkili bir şekilde entegre etmiştir (Maserati USA, 2023). Üniversitelere de destek veren Maserati, Politecnico di Milano ile birlikte sürücüsüz araç geliştirmeleri yapmaktadır. Üniversitedeki çalışma ekibi Maserati MC20 Cielo modeli ile yaklaşık 1000 mil uzunluğundaki dayanıklılık yarışı olan “Mille Miglia” parkurunda, test sürüşleri

gerçekleştirmektedir. Bu projenin nihai hedefi 2024 yılı itibarıyla 1500 km uzunluğundaki bu parkuru tamamen otonom şekilde bitirebilmektir. Şekil 90’da Maserati MC20 Cielo görseli yer almaktadır (Innovation Origins, 2023).



Şekil 90. Maserati MC20 Cielo

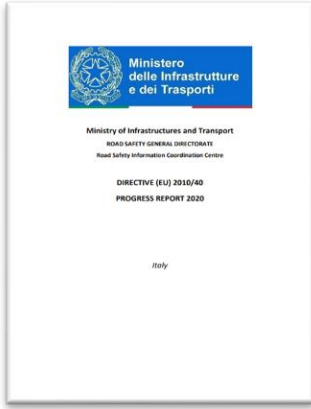
IVECO

Avrupa’nın tır üreticilerinden biri olan IVECO, “PlusDrive” adı verilen teknoloji ile donatılmış IVECO S-Way model tırını, Almanya’nın otoyollarında sürüşe başlatmıştır. Yaklaşık altı aylık bir test sürecinden sonra gelinen bu aşama ile beraber, geleceğin sanayi ve lojistik alanındaki atılımların önü de açılmıştır. AI temelli otonom sürüş yazılımının yanı sıra LIDAR, radar ve kameralardan oluşan ileri seviye sensör sistemi bulunan bu araçlar, yollarda giderken topladığı veriler ile teknolojinin gelişmesine katkı sağlamaktadır (IVECO, 2023a). Şekil 91’de tır etrafındaki görüş örneği gösterilmiştir (IVECO, 2023b).



Şekil 91. Tır Etrafındaki Görüş Örneği

7.1.7.2. Politika Belgeleri ve Raporlar



“2020 İtalya AUS ilerleme Raporu”, İtalya’nın AUS politikaları, stratejileri, mevzuatı ve eylem planlarının yanı sıra AUS alanındaki ilerlemeleri hakkında ayrıntılı bilgi vermektedir. Rapor, İtalya’nın 2018-2019 arasındaki AUS eylem planının uygulanmasını incelemekte ve mevcut durumda ülkenin AUS stratejileri ve politikalarını değerlendirmektedir. Raporda belirtilen bilgilere göre, İtalya 2019-2021 yılları arasında yeni bir AUS stratejisi benimsemiştir. Bu strateji, 2018-2019 arasındaki AUS eylem planına dayanarak İtalya’da

sürdürülebilir mobilitayı teşvik etmek ve trafik güvenliğini artırmak için bir dizi önlem almayı öngörmektedir. Bu önlemler arasında, AUS uygulamalarının ve hizmetlerinin geliştirilmesi, uyumlu ve standartlaştırılmış bir altyapının oluşturulması, veri paylaşımının teşvik edilmesi ve kullanıcıların bilgilendirilmesi yer almaktadır. İtalya’da AUS mevzuatı da belirli bir düzenleme çerçevesinde yürütülmektedir. Bu düzenleme çerçevesi, kamuya açık yolların ve otoyolların AUS uygulamalarına uyumlu hale getirilmesini amaçlamaktadır. AUS uygulamaları ile ilgili olarak İtalya’da bazı hükümet kurumları da faaliyet göstermektedir. Ulaştırma Bakanlığı, Ulusal Otomobil Kulübü ve İtalya’daki diğer bazı kurumlar, AUS konularında çalışmalar yapmaktadır. İtalya’nın AUS stratejisi ve politikaları, ülkenin sürdürülebilir hareketlilik ve trafik güvenliği konularındaki hedeflerine ulaşmasına yardımcı olacak bir dizi önlemi içermektedir. Bu önlemler, AUS hizmetlerinin ve uygulamalarının geliştirilmesini, altyapının standardize edilmesini, veri paylaşımını ve kullanıcıların bilgilendirilmesini kapsamaktadır (Italia Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2020).



2022 yılında “ISDC Avukatlık Bürosu” tarafından yayınlanan “Otonom Sürüşün Belirli Hususlarına İlişkin Yönetmelik Hakkında Hukuki Görüş” başlıklı bir hukuki görüş belgesinde, sürücüsüz araçların hukuki düzenlemeleri, uluslararası ve AB düzeyindeki mevzuat, sürücüsüz araçların etik ve güvenliği, sürücüsüz araçların üretimi ve piyasaya sürülmesi gibi konular ele alınmıştır. Belge, İtalya’daki sürücüsüz araçlarla ilgili düzenleyici çerçeve hakkında bilgi vermektedir. İtalya’da, sürücüsüz araçlar için düzenlemeler hazırlamak amacıyla bir çalışma grubu kurulmuştur. 2017 yılında,

İtalyan Hükümeti tarafından sürücüsüz araçların test edilmesi için bir düzenleme yayınlanmıştır. Bu düzenleme, bir sürücünün test aracında bulunmasını gerektirmekte ve test edilen araçların yüksek teknolojik özellikleri ve güvenlik sistemleri ile donatılması gerektiğini belirtmektedir. İtalyan hükümeti, sürücüsüz araçların kullanımına ilişkin bir yol haritası hazırlama konusunda çalışmalar yapmaktadır. İtalya, Avrupa’da sürücüsüz araçların kullanımına yönelik yasal çerçevenin oluşturulması konusunda öncülük eden ülkeler arasındadır (E-Avis ISDC, 2022).

7.2. ABD

7.2.1. Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları

NVIDIA

NVIDIA şirketinin otonom sürüşten sorumlu bölümü olan “NVIDIA DRIVE”, yüksek performansa sahip işleme, görselleştirme ve AI teknolojilerini birleştirerek otonom sürüş teknolojisini sürekli geliştirmeye odaklanmıştır. Geliştiricilere açık ve kapsamı sürekli genişleyen bu sistem ve “NVIDIA DRIVE Thor” adı verilen araç içi bilgisayar ile NVIDIA; kendine ait olan otonom araçta testler yapmaya devam etmektedir. Otonom aracın birçok farklı yapıtaşı üzerinde çalışmalar yapan NVIDIA, otonom sürüşü dört farklı dalda incelemektedir (NVIDIA Automotive, 2023):

AI Altyapısı: “NVIDIA DRIVE Altyapısı” olarak isimlendirilen bu yapı; veri işleme, etiketleme, eğitim ve simülasyon yoluyla doğrulama imkânı sunan kapsamlı bir iş akışı olarak tanımlanır. Bu altyapının içinde kullanılan “NVIDIA DGX” sistemi ile geniş ölçekli eğitim ve derin ağ modellerinin optimizasyonu sağlanmaktadır. Buna ek olarak “NVIDIA DRIVE Takımyıldızı” sistemi sayesinde fizik tabanlı simülasyonların önü açılmıştır.

- *Otonom Sürüş Platformu:* “NVIDA DRIVE AGX” olarak isimlendirilen yazılım temelli platform sayesinde, otonom araçların büyük ölçeklerdeki sensör verilerini işleyerek gerçek zamanlı kararlar vermesi sağlanmaktadır.
- *Üretime Hazır AV (Autonomous Vehicle/Otonom Araç) Platformu:* “NVIDIA DRIVE Hyperion” adındaki bu geliştirme ve referans platformu sayesinde, otonom araçların dizaynı için bir mimari oluşturulmuştur. “NVIDIA Orin” temelli AI algoritmaları ile işlem yapan bu sistem, sensör paketinin geliştirilmesini, test edilmesini ve değerlendirilmesini sağlamaktadır. “DRIVE AV” adında tüm yazılım ihtiyacını karşılayan paket bir sistem ile

otonom araç için yazılım yapılmasına imkân vermektedir. Buna ek olarak “DRIVE IX” adındaki sistem, sürücü izleme ve görselleştirme alanında kullanılmaktadır.

- *Akıllı Asistanlar:* “NVIDIA DRIVE Concierge” adında geliştirilen sistem ile yolcular araç içine gömülü avatarlar aracılığı ile akıllı sistemlere erişime sahiptir. Bunun yanında navigasyon teknolojisini temel alarak geliştirilen “NVIDIA DRIVE Chauffeur” ile bir konumdan diğer konuma araç kendi gidebilmektedir.

Şekil 92’de NVIDIA otonom sürüş teknolojisi görseli bulunmaktadır (NVIDIA, 2022).



Şekil 92. NVIDIA Otonom Sürüş Teknolojisi Görseli

Waymo

Milyonlarca kilometrelik gerçek sürüş testi ve milyarlarca kilometrelik simülasyonlar ile dünyanın otonom araçlarla ilgili en büyük veri birikimine sahip olan şirket, ABD’nin 13 farklı eyaletinde sürüş gerçekleştirmiştir. “Waymo Sürücü” adı verilen sistem sayesinde, tam otonom araç özellikleri sağlanmıştır. Geliştirilen teknoloji; aracın sürüleceği bölgenin haritasının en ince ayrıntısına kadar çıkarılmasına dayanmaktadır. İnternette toplanan veriler ile LIDAR, radar ve 360° kamera ile donatılan aracın algıladığı veriler, anlık olarak karşılaştırılmakta ve aracın konumu gerçek zamanlı olarak belirlenmektedir. Bununla birlikte rotadaki tüm sinyal ve trafik ışıklarının da konumu ve durumu sürekli güncellenerek araca aktarılmaktadır. Ardından hali hazırda bulunan veri birikimi sayesinde trafikte yaşanabilecek olaylar önceden tahmin edilmekte ve aracın karar

verme mekanizması buna uygun hareket etmektedir (Waymo, 2023). Şekil 93'te Waymo otonom araç örnek güzergâhı yer almaktadır (Waymo, 2022).



Şekil 93. Waymo Otonom Araç Örnek Güzergâhı

MAY Mobility

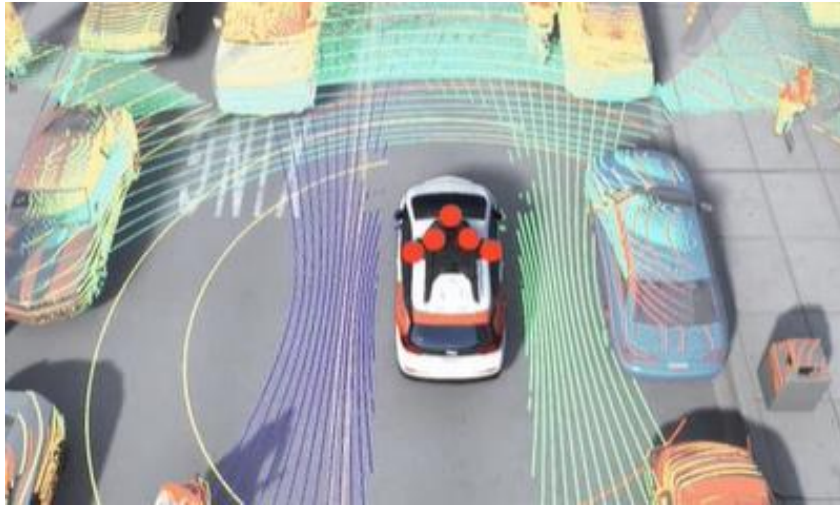
MAY Mobility, yolcuların güvenliğini en önemli hedef haline getirmiştir. Kural temelli algoritmik sistemlerin aksine çok politikalı karar verme (MPDM) yöntemini baz alan bir otonom sistem geliştirilmiştir. Bu sistemde araç içindeki bilgisayar, etrafındaki nesneleri algıladıktan sonra senaryolar oluşturmaya başlamakta ve bunları gerçek zamanlı olarak simüle etmektedir. Ardından ortaya çıkan simülasyon sonuçları içindeki en güvenli opsiyonu seçerek yoluna devam etmektedir. En güvenli rotayı bulmak için ise sensörlerden toplanan veriler ile oluşturulan simülasyonların sonuçları, hali hazırda bulunan veri birikimindeki simülasyon sonuçları karşılaştırılmaktadır (May Mobility, 2023b). Şekil 94'te örnek senaryo çözümü gösterilmiştir (May Mobility, 2023a)



Şekil 94. Örnek Senaryo Çözümü

Cruise

Cruise şirketinin ürettiği otonom araba, aracın 360° etrafını görebilen sensörleri sayesinde saniyeler içinde çok miktarda veri toplamaktadır. Araba, şerit takibi ve şerit değiştirme özelliklerinin yanı sıra trafikte oluşan boşlukları görerek ona uygun bir şekilde aracı yönlendirmektedir. Bir konumdan diğer konuma güvenli ve verimli bir şekilde götürmekte, trafikteki manevraları normal sürücülerin yaptığı gibi doğal gözükmemektedir. Test aracının yanı sıra “Origin” adı verilen kargo ve taksi aracı ile otonom sürüşü, engelli bireyler tarafından da kullanılabilir olarak geliştirmektedir. Şekil 95’te Cruise araç algılama görseli bulunmaktadır (Cruise, 2023).



Şekil 95. Cruise Araç Algılaması

Tesla

Tesla şirketinin arabalarında kullandığı “Otopilot” teknolojisi, otonom sürüşün dünyadaki öncüsüdür. Menzili 60m ile 250m arasında değişen ve arabanın etrafını 360° sarabilen sekiz kamera sayesinde, araba etrafındaki her türlü gelişen olaya tepki verebilmektedir. Sensörlerin ileri teknolojisinin yanı sıra “Hardware 3” adlı araç içi bilgisayar, eski nesil teknolojilere oranlara 40 kat daha fazla işlem gücüne sahiptir. Bu donanım ve yazılımın birleşmesinden ortaya çıkan araç, insan müdahalesi olmadan tam otonom sürüş yapabilmektedir. Kendi kendine karar verme yeteneği ile hızlanma, fren ve direksiyon kontrolü yapabilmektedir. Araç; şerit takibi yapabilmekte, şerit değiştirebilmektedir. Aracın trafikteki bu özelliklerinin yanında arabaya entegre edilen AI teknolojileri tarafından işlenmesi halinde, takvimde planlanan hedefe, herhangi farklı bir komut verilmeden giderek yolcuyu bırakıp otoparkta belirlenen yere park edebilmektedir. Diğer öne çıkan fonksiyonu ise telefonda verilen bir komutla harekete geçirilerek sürücünün konumuna getirilebilmesidir. Şekil 96’da Tesla otonom sürüş görseli yer almaktadır (Tesla, 2023).



Şekil 96. Tesla Otonom Sürüş

Ford

Ford; kapatılan “Argo AI” yerine yeni nesil araçları için eller serbest, gözleri uzakta bir sürücü destek sistemi geliştiren “Latitude AI” adında bir yan kuruluş oluşturmuştur. ML, robotik, yazılım, sensörler, sistem mühendisliği ve test operasyonları gibi çeşitli alanlarda uzmanlığa sahip bir

ekipten oluşan bu ekip, sürüş deneyimini iyileştirmek için otonom sürüş teknolojisi portföyünü geliştirmeyi hedeflemektedir. Özellikle trafik sıkışıklığı ve uzun otoyol yolculukları gibi sıkıcı ve stresli durumlarda, otonom sürüşü arttırmayı hedefleyen şirket, müşterilerine en iyi bu şekilde hizmet vermeyi hedeflemektedir.

Bağlı kuruluşun genel merkezi Pittsburgh'da olup Dearborn, Michigan ve Palo Alto'da ek mühendislik merkezleri bulunmaktadır. Ayrıca Güney Karolina'da bir test pisti tesisi işletmeyi planlamaktadır (Ford, 2023). Şekil 97'de Ford otonom aracı görseli bulunmaktadır (Bloomberg, 2023).



Şekil 97. Ford Otonom Aracı

Chevrolet

Chevrolet, Chevrolet Bolt EUV isimli %100 elektrikli arabalarını, otonom sürüşe hazır hale getirmek için çalışmalarını sürdürmektedir. Bu amaçla geliştirilen “Süper Yolculuk” isimli teknoloji, bu teknoloji ile uyumlu olan ABD ve Kanada’da toplam 400.000 km’den fazla uzunluktaki yolda, otonom sürüş sunmaktadır. Chevrolet’in kendi geliştirdiği “OnStar” sistemi ile çalışan bu teknoloji; gerçek zamanlı kameralar, sensörler, GPS ve LIDAR teknolojilerinin birleşiminden oluşmaktadır. Ayrıca gerçek zamanlı olarak harita verisi güncellemesi de alarak buna uygun rota belirlemektedir. Bu donanımların yanında, şerit ortalama ve şerit değiştirme özelliklerini de eksiksiz bir şekilde gerçekleştirebilmektedir.

Hâlâ eksikleri bulunan bu sistem için Chevrolet tarafından aşağıda listelenen durumlarda “Süper Yolculuk” sisteminin kullanılmaması gerektiği belirtilmektedir (Chevrolet, 2023b):

- Uyumlu bir yol bulunmadığı durumlar
- Zor veya belirsiz sürüş koşulları
- Şerit işaretlerinin zayıf veya görüşün sınırlı olduğu durumlar
- Tünel veya inşaat bölgesi
- Yağmur, sulu kar, sis, buz veya kar dahil olmak üzere kaygan veya diğer olumsuz koşulları
- Bir yol kenarı veya servis sürüşü
- Römork çekileceği senaryoda Super Cruise römork çekme özelliği ile donatılmadığı durumlar
- Otoyol veya otoban çıkış şeridi

Şekil 98’de Chevrolet Bolt EUV görseli yer almaktadır (Chevrolet, 2023a).



Şekil 98. Chevrolet Bolt EUV

Jeep

Arazi aracı konusunda seçenekler sunan ve Stellantis N.V. bünyesinde yer alan Jeep, otonom sürüşü arazi koşullarına uyum sağlayacak şekilde geliştirmektedir. Stellantis şirketinin Jeep için tahsis ettiği Utah’da yer alan test merkezinde, arazide otonom sürüş testleri gerçekleştirmektedir. Bunun yanı sıra bu teknolojinin gelişmesi için Stellantis, kendi AI sistemleri ve otonom sürüş biriminden de yararlanmaktadır.

Jeep, iki adet elektrikli “Jeep Grand Cherokee 4xe” model araca uyarlanan, gelişmiş AI ve otonom arazi sürüş teknolojisi ile hem bu yollara aşina olan insanların sürüş deneyimini artırmayı hem de arazi sürüşüne yeni başlayan sürücülere yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Alçak montajlı LIDAR, sensör ve kameralarla donatılan araçların, araç içi robot ile geliştirilmesi de düşünülmektedir. Arazi koşullarında AI destekli sistemlerin insanlardan daha uygun ve güvenli rotalar oluşturabileceği çözümler geliştirilmesine çalışılmaktadır (Stellantis, 2023). Şekil 99’da Jeep Grand Cherokee 4xe otonom test aracı görseli yer almaktadır (TheDrive, 2023).



Şekil 99. Jeep Grand Cherokee 4xe Otonom Test Aracı

Cadillac

Geleceğin hareketliliğinde iki kişilik elektrikli lüks araçlar kategorisinde bir etki oluşturmak isteyen Cadillac, bu amaçla “İç Mekân” isimli bir proje ortaya koymuştur. Proje kapsamında yolculuk deneyimini geliştirmek ve bireylerin kendilerine daha fazla zaman ayırmasını sağlamak amacıyla tam otonom araçların geliştirilmesine öncelik vermiştir. “Cadillac Halo Konsept Portfolio” adı verilen araç portfolyosu dahilinde geliştirilen otonom sürüş ile rahatlığı artırırken aynı zamanda sıfır kaza, sıfır emisyon ve sıfır sıkışıklık da hedeflenmektedir. Bu konsept dahilinde geliştirilen “Sosyal Alan” ise altı kişiye kadar yolculuk imkânı sağlayan ve sosyalleşmeyi artırmayı hedefleyen bir tasarıma sahiptir. Biyometrik veri girişi ve ML temelli ve Cadillac’ın tabiatına uyarlanabilecek şekilde geliştirilen bu sistem, General Motors’un Ultifi yazılım platformu ile de

sürekli güncellenebilir durumdadır. Ayrıca Goodyear firmasının sağladığı “Goodyear Görüş Hattı” ismi verilen lastik basıncı, sıcaklığı, yükü ve diğer performans belirteçlerinin tespit edilebildiği lastik zekâsı teknolojisi kullanılmaktadır. Bu iş birlikleri, otonom sürüşün geliştirilmesi sürecinde hız kazanılmasında önem arz etmektedir (Cadillac, 2022). Şekil 100’de “İç Mekân” (Cadillac, 2023a) ve Şekil 101’de “Sosyal Alan” (Cadillac, 2023b) konsept araçları yer almaktadır.



Şekil 100. Cadillac “İç Mekân” Konsept Aracı



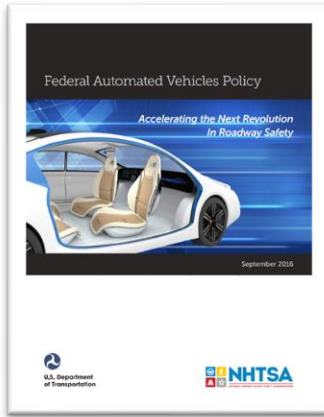
Şekil 101. Cadillac “Sosyal Alan” Konsept Aracı

7.2.2. Politika Belgeleri ve Raporlar



“AASHTO için Bağlantılı/Otonom Araç Araştırma Yol Haritası”, ABD’nin Ulaştırma Araştırma Kurulu (TRB) tarafından hazırlanan Ulusal Kooperatif Karayolu Araştırma Programı (NCHRP) 20-24 projesinin bir parçasıdır ve ulaştırma sektöründeki araştırma konularının bir yol haritasını sunmaktadır. Ulaştırma sektörünün gelecekteki zorluklarına cevap verebilmek için gerekli olan araştırma alanları belirtilmektedir. Bu kapsamda; ulaştırma güvenliği, sürdürülebilirlik, verimlilik, yenilik ve teknoloji, ekonomik gelişme,

insan faktörleri, yasal ve yönetsel konular gibi birçok konu ele alınmaktadır. Yol haritasında, her konu için mevcut durum analiz edilerek gelecekteki ihtiyaçlar için öneriler sunulmuştur. Bu konuların incelenmesi için kullanılacak araştırma yöntemleri ve yaklaşımları açıklanmıştır. Genel anlamda bu belge; ulaştırma sektöründeki araştırmacıların, karar vericilerin ve uygulayıcıların gelecekteki çalışmalarını planlamalarına yardımcı olacak bir kaynak olarak tasarlanmıştır (Shladover & Gettman, 2014).



2016 yılında Yayınlanan “Federal Otonom Araçlar Politikası-Karayolu Güvenliğinde Bir Sonraki Devrimi Hızlandırmak” başlıklı doküman, ABD Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi’nin (NHTSA) otonom araçlarla ilgili federal politikalarını açıklamaktadır. Otonom araçların mevcut durumu ve gelecekteki potansiyel faydaları değerlendirilirken teknolojinin getirdiği yeni sorunlar ve zorluklar da ele alınmaktadır. Bu kapsamda, otonom araçların test edilmesi ve sertifikasyonu, veri güvenliği, etik sorunlar,

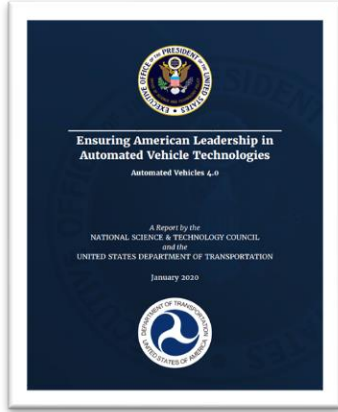
devlet düzenlemeleri ve diğer birçok konuya değinilmiştir. Ayrıca otonom araç teknolojilerinin geliştirilmesi ve benimsenmesine yönelik teşvikler, standartlar ve rehberlik sağlamak için federal düzenleyicilerin rolü de açıklanmaktadır (United States Department of Transportation & NHTSA | National Highway Traffic Safety Administration, 2016).

2018 yılında yayınlanan “Ulaşımın Geleceğine Hazırlanmak: Otonom Araçlar 3.0” başlıklı yol haritası, ABD Ulaştırma Bakanlığı tarafından yayınlanmıştır. Otonom araçların potansiyel faydalarını, toplum ve ekonomi üzerindeki etkilerini, mevcut yasal çerçevenin otonom araçların



geliştirilmesine uygunluğunu ve otonom araçların yol açabileceği zorlukları ele almaktadır. Buna göre ABD’de trafik kazaları en büyük can kaybını oluşturmaktadır. ABD Ulaştırma Bakanlığı, 2017’de trafik kazalarındaki can kaybı sayısını 39.141 olarak açıklamıştır. Trafik kazalarının %94’ü insan hatası nedeniyle meydana geldiğinden ve otonom araçların 2035 yılına

kadar trafik kazalarından kaynaklanan ölümleri ciddi olarak azaltılabileceğinden bahsedilmektedir. Otonom araçlar için gereken altyapıyı ve yönetmelikleri geliştirmek için federal, eyalet ve yerel hükümetlerin ve sanayinin birlikte çalışması gerektiğine dikkat çekilmektedir. ABD’de, otonom araçların yaygınlaşmasıyla birlikte tasarruf elde edilebileceği ifade edilmektedir. Ayrıca otonom araçların sürüş güvenliğini ve veri güvenliğini sağlamak için gerekli olan teknolojik gelişmeler ve standardizasyon da ele alınmaktadır. Otonom araçların yaygınlaşmasının, ABD’de yeni iş imkânları oluşmasına katkıda bulunabileceği öngörüler arasında yer almaktadır (United States Department of Transportation, 2018).



ABD Ulaştırma Bakanlığı tarafından 2020 yılında hazırlanan “Otonom Araç Teknolojilerinde Amerikan Liderliğini Sağlamak: Otonom Araçlar 4.0” başlıklı belgede, otonom araç teknolojisinin ABD ekonomisi için büyük faydaları olacağı öngörülmektedir. Bu teknolojinin yaygınlaşmasının, ABD ekonomisine fayda sağlayabileceğinden bahsedilmektedir. Ayrıca otonom araçların yaygınlaşmasının, trafik kazalarından kaynaklanan ölümleri ve trafik sıkışıklıklarını azaltılabileceği ifade edilmektedir. Otonom

araçların, her yıl ulaşım maliyetlerinde ortalama milyonlarca dolar tasarruf sağlayabileceğine ve ABD’deki otomotiv sektöründe yeni iş fırsatları sunma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir (National Science & Technology Council & United States Department of Transportation, 2020).

ABD Ulaştırma Bakanlığı’na bağlı AUS Ortak Program Ofisi tarafından 2020 yılında hazırlanan “Stratejik Plan 2020-2025” stratejik planıyla otonom araçlar, bağlantılı araçlar ve diğer AUS teknolojilerinin geliştirilmesi, test edilmesi ve uygulanmasının hızlandırılması hedeflenmiştir. Belgede bahsedilen veriler arasında, AUS’a yapılan toplam ulusal yatırımın, en büyük 75 bölgede



25 milyar doları aşması ve akıllı araç sisteminin sadece ABD’deki yolculara yılda 2,3 milyar doları geçen bir fayda sağlaması bulunmaktadır. Planda, beş yıllık dönemde gerçekleştirilmesi planlanan birçok proje ve hedef yer almaktadır. Bu projeler arasında, AUS’un geliştirilmesi, trafik yönetim sistemlerinin optimize edilmesi, otonom araçların güvenliği, elektrikli araçların yaygınlaştırılması, bisiklet yollarının artırılması ve birçok diğer proje bulunmaktadır. Bu projelerin tamamlanmasıyla trafik kazalarının önlenmesi, trafik akışının optimize edilmesi, enerji tasarrufunun artırılması ve sürdürülebilir bir ulaşım sistemi sağlanması hedeflenmektedir (United States Department of Transportation, 2020).

7.3. Asya-Pasifik ve Orta Doğu Ülkeleri

7.3.1. Avustralya

7.3.1.1. Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları

Keolis Downer

2017 yılından bu yana çalışmalarını sürdüren Keolis Downer, otonom araçların özellikle ilk ve son mildeki yolculukları üzerine yoğunlaşmıştır. Otonom araçların toplu taşıma ağlarına entegrasyonu ve diğer ulaşım modlarına bağlantısı için testler yürüten şirket, Avustralya’nın dört eyaletinde, beş uygulama üzerinden hizmet vermektedir (Keolis Downer, 2023):

- Raby Körfezi Sürücüsüz Servis
- Newcastle Sürücüsüz Servis
- La Trobe Üniversitesi Sürücüsüz Servis
- Renmark Sürücüsüz Otobüs “Murray”
- Flinders “Flex” Sürücüsüz Servis

Şekil 102’de Keolis Downer sürücüsüz servis aracı görseli yer almaktadır (Sustainable Bus, 2020).



Şekil 102. Keolis Downer Sürücüsüz Servis

Advanced Navigation

Kara, deniz, hava ve uzay uygulamaları için navigasyon sistemleri ve robotik teknolojileri üzerine çalışan Advanced Navigation, AI ve DL algoritmalarının daha verimli ve daha hızlı çalışmasını sağlamak amacıyla araştırma, test etme ve otomatik üretim alanında hizmet vermektedir.

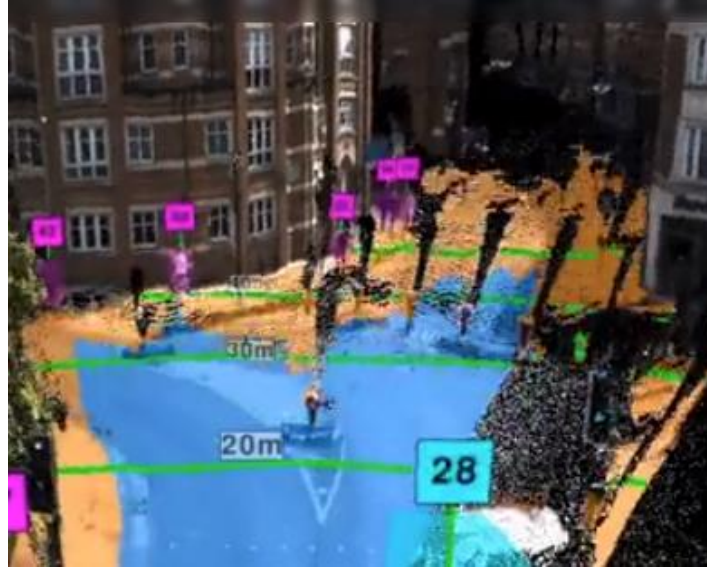
Otomotiv sektöründe de çözümler üreten şirket, yarış arabalarının yanı sıra otonom araba ve otonom tırlar için navigasyon sistemi sağlamaktadır. Buna ek olarak insan için tehlikeli olabilecek arazi ve hava koşullarında kullanılmak üzere karada ve deniz yatağında ilerleyebilen otonom araç “UGV” üretilmiştir. Şekil 103’te navigasyon sistemine sahip yarış arabası görseli yer almaktadır (Advanced Navigation, 2023).



Şekil 103. Navigasyon Sistemine Sahip Yarış Arabası

Visionary Machines

Zengin ve yüksek doğrulukta mekansal veri toplama yeteneğine sahip algılama sensörleri ile makinelerin çevresini anlamasını geliştiren Visionary Machines, bu teknolojisini otonom araçlara da entegre etmiştir. Çevresini üç boyutlu şekilde modelleyebilen bu teknoloji, tamamen pasif olarak çalışmakta, çevresine herhangi bir sinyal göndermemektedir. Sis, toz, yağmur ve zifiri karanlık gibi zorlu hava koşullarında da çalışabilen sistem, anlık konumlandırma ve haritalandırmayı buluttan alınan canlı nokta veriler ile işleyerek gerçek zamanlı bir harita ortaya çıkarmaktadır. Otonom sürüş için kullanılan bu sistem; çok modlu yük taşımacılığı, robotik, madencilik, inşaat, toplum güvenliği ve savunma alanlarında da kullanılmaktadır. Şekil 104’te sensör görüntüsü örneği yer almaktadır (Visionary Machines, 2023).



Şekil 104. Sensör Görüntüsü Örneği

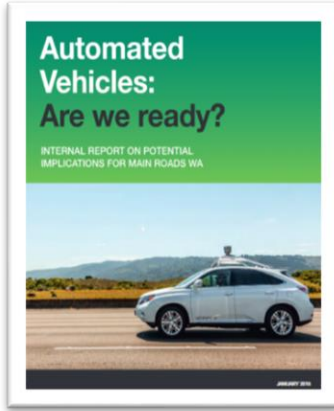
Applied EV

Ticaret ve otomotiv endüstrileri için bir devrim yapmayı amaçlayan Applied EV, geleceğin güvenli, sürdürülebilir, esnek ve verimli olmasını hedeflemektedir. Karayolu ve arazi koşulları için tasarlanan araçları ile hizmet veren şirket, geliştirdiği “Dijital Omurga” teknolojisi ile otonom araçların her türlü parçasını kontrol edebilen yazılımlar geliştirmektedir. Seviye 4 otonom sürüş sağlayan bu teknoloji, “Blanc Robot” adı verilen yük taşıma aracı ile yollarda hayat bulmuştur. Diğer araçlardan farklı olarak bu araç çift yönlü olarak gidebilmektedir (Applied EV, 2022b). Şekil 105’te “Blanc Robot” otonom yük taşıma aracı gösterilmektedir (Applied EV, 2022a).



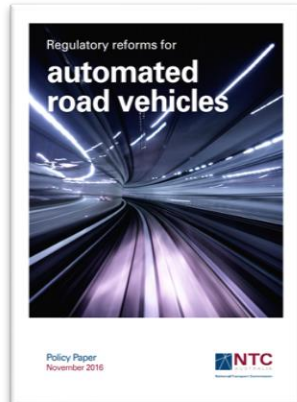
Şekil 105. “Blanc Robot” Otonom Yük Taşıma Aracı

7.3.1.2. Politika Belgeleri ve Raporlar



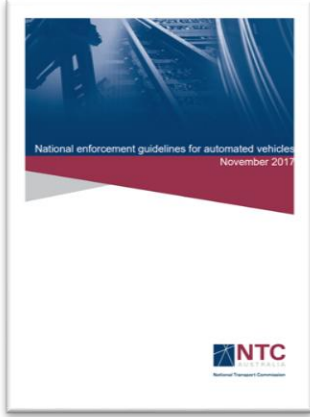
“Otonom Araçlar: Hazır mıyız?” isimli rapor, 2015 yılında “Main Roads Western Australia” tarafından yayınlanmıştır. Raporda, otonom araç teknolojilerinin kullanımının artmasıyla ilgili olası etkilerden ve bunların yönetilmesi için alınabilecek tedbirlerden bahsedilmektedir. Rapor; trafik akışının iyileştirilmesi, güvenlik, çevresel sürdürülebilirlik, altyapı kullanımı ve müşteri deneyimi gibi konulara odaklanarak otonom araç teknolojilerinin faydalarını ve zorluklarını ele almaktadır. Bunun yanı sıra, Avustralya’nın Batı

Avustralya eyaletindeki yol ağı için uygun olan bağlantılı araç teknolojilerinin belirlenmesini ve uygulanmasını adreslemektedir. Raporda; bağlantılı araç teknolojilerinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için hükümetler, özel sektör ve akademik kuruluşlar arasında iş birliğine ihtiyaç olduğu ve bu teknolojilerin yaygınlaştırılması için yasal ve düzenleyici düzenlemelerin yapılması gerektiği belirtilmektedir (Main Roads Western Australia, 2015).



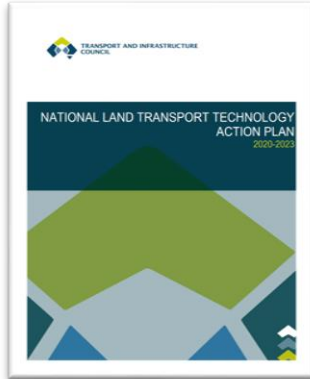
“Otonom Karayolu Araçları için Düzenleyici Reformlar” başlıklı politika belgesi, 2016 yılında Avustralya Ulusal Ulaşım Komitesi tarafından yayınlanmıştır. Avustralya’da otonom araçların yaygınlaştırılması için mevcut düzenlemelerin gözden geçirilmesi gerektiğinden ve uygun bir yasal çerçevenin oluşturulmasının önemli olduğundan bahsedilmektedir. Belgede; otonom araçların farklı seviyeleri, teknolojik ve yasal zorluklar, sürücüsüz araçların

uygulanması için düzenleyici çerçevenin gereklilikleri gibi konular gündeme getirilmektedir. Bununla birlikte, otonom araçların kullanımının yaygınlaşması ile birlikte trafik güvenliği, çevre etkileri, veri güvenliği ve sürücülerin mesleki durumlarının gibi konularda ortaya çıkabilecek potansiyel sorunları ele almaktadır. Avustralya hükümetinin, eyaletlerinin ve diğer ilgili paydaşların, otonom araçların yaygınlaştırılması için uygun yasal ve düzenleyici düzenlemelerin yapılmasında iş birliği yapmaları gerektiği vurgulanmaktadır (NTC Australia, 2016).



“Otonom araçlar için ulusal yaptırım yönergeleri” başlıklı belge, Avustralya Ulusal Taşıma Komisyonu tarafından 2017 yılında yayınlanmıştır. Otonom araçların yapacağı trafik ihlallerinin nasıl işleneceği konusunda yönergeler sağlanmaktadır. Otonom araçlarda trafik ihlallerinin nasıl uygulanacağına dair örnekler ve bu araçların yasal düzenlemelerine ilişkin yasal ve kurumsal düzenlemeleri incelemek isteyen ilgili taraflar için yararlı bilgiler içermektedir. Trafik ihlallerine ve cezalarına ilişkin çeşitli durumlar ele alınmış ve her bir

durum için hangi yasaların ve kuralların geçerli olduğu açıklanmıştır. Bu yönergeler, otonom araçların yaygınlaşmasıyla birlikte trafik yasalarının nasıl uygulanacağına dair belirsizlikleri azaltmaya yardımcı olmayı amaçlamaktadır (NTC Australia, 2017).



“Ulusal Kara Taşımacılığı Teknolojisi Eylem Planı” isimli rapor, 2019 yılında Avustralya Ulaştırma ve Altyapı Meclisi tarafından hazırlanmıştır. 2020-2023 yılları için Ulusal Kara Ulaşım Teknolojisi Eylem Planı’nı içermektedir. Eylem planı, Avustralya’nın karayolu ağında teknolojinin kullanımını artırmak ve ulaşım sisteminin daha güvenli, verimli ve sürdürülebilir hale getirmek için alınacak adımları belirlemektedir. Eylem planı, altı ana hedefe odaklanmaktadır:

1. Araç teknolojilerinin benimsenmesi
2. Yol ve araçların birbirleriyle iletişim kurmasını sağlayan teknolojilerin kullanımı
3. Geleceğin sürdürülebilir ulaşım sistemlerine yönelik çalışmalar
4. Veri toplama ve analizinin iyileştirilmesi
5. Karayolu altyapısının geliştirilmesi
6. Ulusal teknoloji yönetim çerçevesinin oluşturulması

Eylem planı, bu hedeflerin gerçekleştirilmesi için belirli aksiyonları da önermektedir. Bu aksiyonlar, yerel ve federal hükümetler, endüstri ve diğer paydaşların katılımını gerektirmektedir. Ayrıca İlgili Girişimler başlığı altında Avustralya'daki ilgili diğer çalışmalara yer verilmiştir (Transport and Infrastructure Council, 2019).

7.3.2. Birleşik Arap Emirlikleri (BAE)

7.3.2.1. Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları

Acacus

BAE'de otonom araç teknolojileri geliştiren Acacus, ilk başarılı yol testini 2017 yılında gerçekleştirmiştir. Dubai'nin dünyadaki en akıllı şehir olması vizyonu kapsamında Dubai Polisi ile yapılan anlaşmada, sürücüsüz devriye araçlarının Dubai'de dolaşımı kararlaştırılmıştır. AI ve ML teknolojileri öncülüğünde geliştirilen bu araçların, fazlasıyla geliştirilmeye devam etmesi planlanmaktadır. Bu geliştirmeler sırasında maliyet etkin çözümlere ağırlık verilmesi öngörülmektedir. Şekil 106'da Acacus otonom araç görseli yer almaktadır (Acacus, 2024).



Şekil 106. Acacus Otonom Aracı

A2RL (Abu Dabi Otonom Yarış Ligi)

Otonom araç yarışı serisi olarak tanımlanan A2RL, dünyanın her yerinden gelen mühendis, bilim insanı ve yazılımcıların, otonom yarış arabalarını yarıştırdığı bir platformdur. Bu platformda, hızlı

ve yetenekli AI destekli yarış aracı tasarlayarak şampiyonluk amaçlanmaktadır. 2024 yılında düzenlenen ve 600.000'den fazla insanın takip ettiği yarışta, sekiz araç yarışmıştır ve 2025 yılında da bir yarış daha düzenlenmesi planlanmaktadır. Otonom yarış araçları hız ve manevra gibi kabiliyeti konularda büyük hassasiyet gerektirdiğinden otonom araçların gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır (A2RL, 2024). Şekil 107'de A2RL'de yarışan bir otonom yarış arabası görseli bulunmaktadır (Abu Dhabi Autonomous Racing League, 2024).



Şekil 107. A2RL'de Yarışan Bir Otonom Yarış Arabası

TXAI

BAE'nin ilk otonom taksi operasyonu olan TXAI, Abu Dabi'de bulunan iki ada olan Yas Adası ve Saadiyat Adası'nda ve bu iki adanın arasındaki yollarda hizmet vermektedir. Seviye 4 otonom taksiler kullanılan ve bir telefon uygulaması aracılığıyla taksi çağrılabilen bu hizmette, yolcular otonom taksiye rota önerebilmekte ve park edeceği yeri seçebilmektedir. Bununla birlikte her taksi, yolculukta bir sorun çıkmaması ve güvenlik önlemini artırmak amacıyla içinde bir refakatçi görevli ile gelmektedir (TXAI, 2024). Şekil 108'de TXAI otonom taksi görseli yer almaktadır (ShiftDelete.Net, 2022).



Şekil 108. TXAI Otonom Taksi

7.3.2.2. Politika Belgeleri ve Raporlar



ABD-BAE İş Konseyi tarafından 2020 yılında yayınlanan “BAE Akıllı Hareketlilik” adlı raporda, BAE’de akıllı hareketliliğin çeşitli yönlerden artırılmasının hedeflendiği belirtilmektedir. Bu kapsamda birinci öncelik, 2030 yılına kadar Dubai Emirliği’ndeki sürücüsüz ulaşımın toplam ulaşım oranının %25’e yükseltilmesi olup ulaşım masraflarının %44 oranında, çevre kirliliğinin %12 oranında düşürülmesi ve ulaşımında geçen zamanın yıllık 396 milyon saat azaltılması hedeflenmektedir (U.S.-U.A.E. Business Council, 2020).

7.3.3. Çin

7.3.3.1. Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları

Momenta

Momenta, büyük veri kullanarak gerçek hayattaki senaryoları ve kritik durumları çözmek için veriye dayalı algoritmalar geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu teknoloji, sürekli geliştirilebilir olup nadir senaryoları dahi kendi başına çözmeye yeteneğine sahiptir. Bunu da algılama, yüksek

özünürlüklü haritalama, tahmin etme ve planlama fonksiyonlarının tamamını yaparak başarmaktadır.

Momenta Otonom Sürüş (MSD) ismi verilen otonom sürüş sistemi ile taksi ve özel araçlarda sürücüsüz sürüş hedeflenmektedir. “Uçan Tekerlek L4” olarak isimlendirilen proje ile otonom endüstrisinde öncü firmalardan biri olmayı hedeflemektedir.

Bir diğer özel araç otonom sürüş çözümü olan Mpilot ise amaca yönelik seri üretime hazır bir teknolojidir. Rekabet ettiği diğer teknolojilere kıyasla 10 kat daha iyi performans gösteren bu sistem ile yüksek seviyede otonom sürüş imkânı sunmaktadır. Şekil 109’da Momenta otonom araç görseli yer almaktadır (Momenta, 2021).



Şekil 109. Momenta Otonom Araç

WeRide

Hem Çin’de hem de ABD’de sürücüsüz araç testi için izin almayı başaran ilk şirket olan WeRide, Seviye 4 otonom sürüş teknolojileri geliştirmektedir. 20 milyon km’nin üzerinde otonom sürüş yapmayı başarmış olan şirket, “WeRide One” adı verilen otonom sürüş teknolojisini, arabalarına entegre etmiştir. Kullanıcılardan alınan geri dönüşlerle birlikte sürekli olarak güncellenen teknoloji, bu özelliği sayesinde yeni araçlar ve yeni uygulamalar için de uyumluluğu sağlamaktadır. WeRide, teknolojisini kullanacak dört farklı model üretmiştir:

Robotaksi: Çin’in en büyük otonom taksi filosu olan WeRide Robotaksi filosu, 950.000 km’nin üzerinde yolculuk yapmıştır (WeRide, 2023). Şekil 110’da WeRide robotaksi filosu görseli yer almaktadır (TechCrunch, 2021b).



Şekil 110. WeRide Robotaksi Filosu

Robootobüs: Seviye 4 otonom sürüş seviyesine sahip bu otobüsler, toplu taşıma hizmetinde kullanılmaktadır. Herhangi bir sürücü kabini veya direksiyon bulunmayan bu araçlar, 40 km/saat hıza kadar hızlarda gidebilmektedir. Şekil 111’de WeRide Robootobbüs görseli yer almaktadır (Land Transport Guru, 2023).



Şekil 111. WeRide Robootobüs

Robovan: Şehir içi lojistik sektöründe kullanılan Seviye 4 otonom sürüşe sahip bu kargo araçları ile yük taşıma açısından firmaların rahatı ve esnekliğinin artırılması hedeflenmiştir. Şekil 112’de WeRide Robovan görseli bulunmaktadır (TechCrunch, 2021a).



Şekil 112. WeRide Robovan

Robosüpürücü: Seviye 4 otonom sürüşe sahip olan ve 24 saat çalışma kapasitesiyle dünyanın ilk yol süpürücüsüdür. Su püskürtme özelliği de olan bu araç, seri üretime geçmeye hazır bir şekilde beklemektedir. Şekil 113'te WeRide Robosüpürücü görseli bulunmaktadır (IoT World Today, 2022).



Şekil 113. WeRide Robosüpürücü

Zongmu Technology

Zongmu Technology, otonom sürüş ve gelişmiş sürücü destek sistemleri (ADAS) için yenilikçi çözümler geliştiren lider bir teknoloji şirkettir. Şirket, DL ve CV teknikleri kullanılarak geliştirilen algoritma sayesinde, araçların etrafını isabetli bir şekilde tanımasını sağlayan bir teknoloji geliştirmiştir. Şirket; makine görüşü için özelleştirilmiş yüksek çözünürlüklü kamera,

4D yüksek hassasiyetli nokta bulutu, 360° akıllı ortam algılama ve yeni nesil ultrasonik algılama teknolojilerine sahip olan bu sistemi, kendi aracına entegre etmiştir ve testlerini sürdürmektedir. Şekil 114'te Zongmu Technology yazılım test aracı görseli bulunmaktadır (Zongmu Technology, 2021).



Şekil 114. Zongmu Technology Yazılım Test Aracı

Apollo

Seviye 4 otonom minibüs ile hizmet veren Apollo, bu minibüste donanım olarak radar, LIDAR, anten, ön ve arka kameralar ile bu sensör sisteminden toplanan verileri işleyecek bir bilgisayar ünitesine sahiptir. Ayrıca verilerin kaydedilmesi için uçaktakilere benzer bir kara kutu aracın içinde bulunmaktadır. Maksimum 40 km/saat hıza ulaşabilen bu minibüs; öndeki aracı takip etme, engelleri tanıma ve aşma, şerit takibi ile kavşak geçme yeteneklerine sahiptir. Şekil 115'te Apollo otonom minibüs görseli yer almaktadır (Apollo, 2018).



Şekil 115. Apollo Otonom Minibüs

Dongfeng Motor

Dongfeng Motor Group, Seviye 4 otonom sürüş teknolojisine sahip otobüslerin seri üretimine başlayarak bu araçları Çin'in Pekin gibi bazı bölgelerinde kullanıma sunmuştur. Altı yolcu kapasitesine sahip olan bu araç, 30 km/saat hıza ulaşabilmektedir. Araç veya savunmasız yol kullanıcısı bulunması durumunda yavaşlayıp fren yapma yeteneğine sahiptir. Ayrıca herhangi bir acil durum oluştuğunda uzaktan kontrol merkezi, otobüsün kontrolünü milisaniyeler içinde alabilmektedir Şekil 116'da Dongfeng Motor otonom araç görseli bulunmaktadır (Yicai Global, 2020).



Şekil 116. Dongfeng Motor Otonom Aracı

7.3.3.2. Politika Belgeleri ve Raporlar

Çin Halk Cumhuriyeti, 2020'nin başına kadar otonom sürüşün sınıflandırmasını tanımlamak için SAE tarafından yayınlanan “otonom sürüş seviyeleri” gibi herhangi bir standardı resmi olarak yayınlamamış veya uluslararası standartları benimsememiştir. Bununla birlikte, 9 Mart 2020'de Çin Sanayi ve Bilgi Teknolojileri Bakanlığı, içeriği SAE düzeylerine benzeyen otonom sürüşü sınıflandıran Taşıtlar için Sürüş Otomasyonu Taksonomisine İlişkin Ulusal Standartlar taslağını yayınlamıştır (CMS, 2020b).

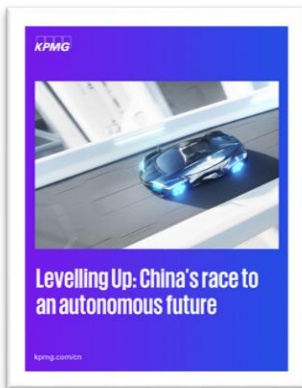


“Hareketliliğin Geleceğini Tanımlamak: Çin ve Almanya’da Akıllı ve Bağlantılı Araçlar (ICV’ler)” adlı rapor, Almanya Uluslararası İş Birliği Kurumu (GIZ) tarafından 2018 yılında yayınlanmıştır. Bu rapor, Çin ve Almanya’da Akıllı ve Bağlantılı Araçların (ICV’ler) gelişimini ele almaktadır. Çin’in son yıllarda gerçekleştirdiği yasal değişiklikler, ulusal stratejiler ve bağlantıya dayalı teknolojilerdeki gelişmeler, Almanya gibi önde gelen ICV rakipleriyle arasındaki farkı kapatmasına

yardımcı olmuştur. Rapor, Çin'deki ICV sistemlerinin kapsamlı bir bakışını sunmakta ve en son piyasa ve politika gelişmelerinin detaylı analizini içermektedir. Rapor, Almanya ile karşılaştırarak Çin hükümetinin, ICV ekosisteminin oluşumunu teşvik etmek için somut adımlar attığını ortaya koymaktadır. Rapor; NDRC, MIIT, MOT, MPS, SAC ve CAC gibi Çin'deki ICV ile ilgili konulardan sorumlu düzenleyici kurumları da ele almaktadır. Her iki ülkede ICV'lerin gelişimiyle ilgili karşılaşılan zorlukları ve fırsatları, kapsamlı bir yasal çerçevenin zorunluluğunu, uyumluluk için temel standartları ve fiziksel ve dijital altyapıya büyük yatırımların gerekliliğini vurgulamaktadır (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2018).



Amerikalı uluslararası yönetim danışmanlık firması olan McKinsey tarafından 2019 yılında “Çin Otonom Araçlarda Devrime Nasıl Yardımcı Olacak?” adlı raporda, Çin'in otonom araç sektöründe liderlik için gerekli unsurlara sahip olduğu ve otomotiv endüstrisindeki büyük veri analizi, bulut bilişim ve IoT gibi teknolojileri kullanarak bu hedefe ulaşabileceği belirtilmektedir. Çin hükümetinin, otonom araçların üretimi, test edilmesi ve kullanımı için gerekli düzenlemeleri ve politikaları oluşturarak sektörün gelişimini desteklediği belirtilmektedir. Bu politikaların, özellikle otonom araç teknolojileri için özel test tesislerinin inşası, otonom araçlara ayrılmış özel şeritlerin oluşturulması ve otonom araçların kullanımı için gerekli altyapının oluşturulması gibi konuları kapsadığına dikkat çekilmektedir. Bu raporda, Çinli teknoloji şirketlerinin ve otomobil üreticilerinin otonom araç teknolojileri alanında büyük ilerlemeler kaydettiği, yabancı şirketlerin de Çin'deki bu gelişmelerden yararlanmak için iş birlikleri yaptığından bahsedilmektedir. Bu rapor, Çin'in otonom araç teknolojileri alanında önemli bir güç haline geldiğini ve bu alanda küresel bir liderlik rolü oynayabileceğini öngörmektedir (McKinsey & Company, 2019).



KPMG tarafından 2022 yılında yayınlanan “Seviye Yükseltme: Çin'in otonom bir gelecek yarışı” başlıklı belge, Çin'in otonom araç teknolojisi konusundaki ilerlemesini ve pazar potansiyelini ele almaktadır. Raporda, Çin'deki otonom araç endüstrisinin mevcut durumu, sektörün geleceği ve Çin'in otonom araç teknolojisinde liderlik için izlediği stratejiler hakkında bilgi verilmektedir. Ayrıca Çin hükümetinin otonom araç teknolojisi konusunda uygulamaya koyduğu politikalar ve bu

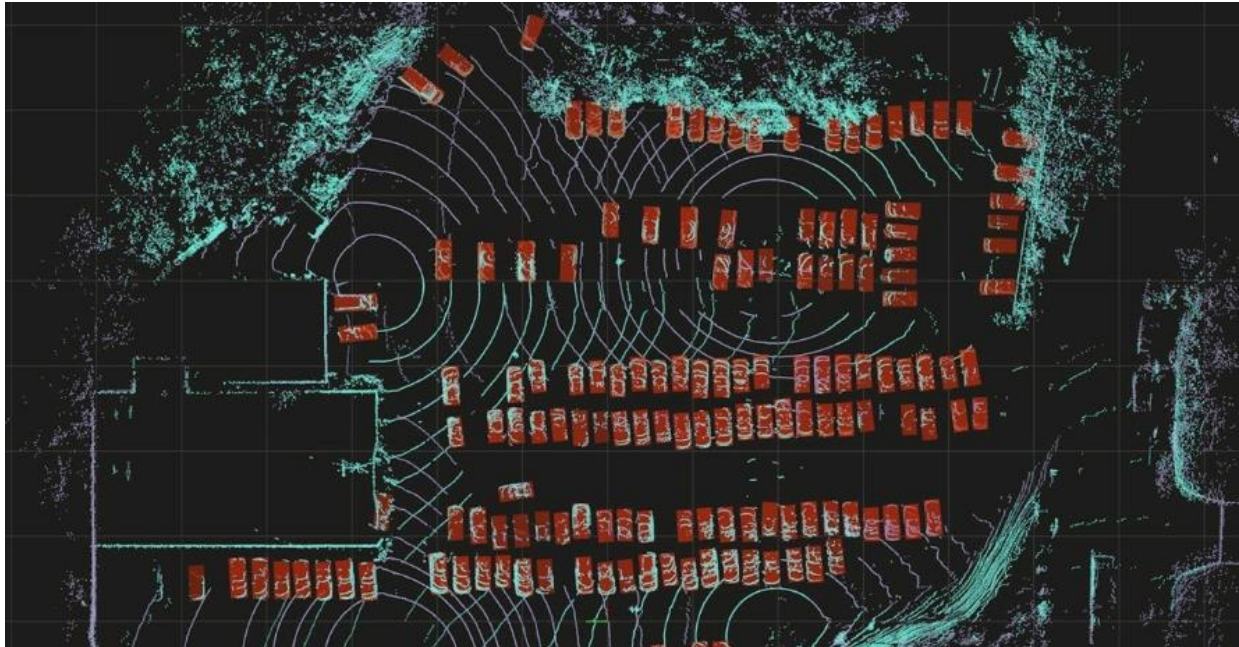
politikaların sektöre etkileri de raporda ele alınmaktadır. Çin'in otonom sürüş teknolojileri için halen bazı zorluklarla karşı karşıya olduğu ve bu teknolojilerin tüm potansiyellerine ulaşması için daha fazla yatırım yapılması gerektiği de vurgulanmaktadır (KPMG, 2022).

7.3.4. Güney Kore

7.3.4.1. Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları

Seoul Robotics

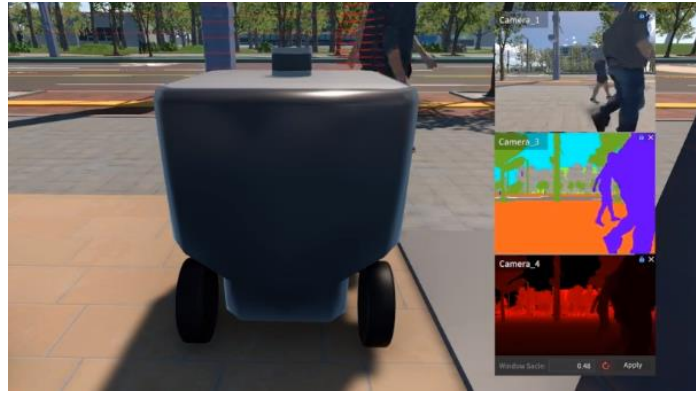
Gerçek zamanlı olarak gerçek dünyanın 3D modelini oluşturan bir 3D algılama motoru üreten Seoul Robotics, bu teknolojinin üretilmesinde DL yöntemlerini kullanmıştır. “SENSR” adı verilen teknoloji ile akıllı altyapı sistemi oluşturulmaktadır. Bu sistem ile sensör görüşüne giren her araç, yaya ve bisikletli tespit ve takip edilmektedir. Bu sistemin üzerine inşa edilen “Seviye 5 Kontrol Kulesi (LV5 CTRL TWR)” ile türünün ilk örneği olan altyapı üzerinden otonomi sistemi geliştirilmiştir. Otonom olmayan araçları, altyapı üzerinde bulunan sensörler ve bilgisayarlardan oluşan bir ağa bağlayan bu teknoloji ile kontrollü bir alan içerisinde bulunan araçlar, otonom hale getirilmektedir. Bu sistemde araçların üzerinde sensör bulunması gerektirmemektedir. Şekil 117’de akıllı altyapıya bağlı araçların kuşbakışı görüntüsü bulunmaktadır (Seoul Robotics, 2023).



Şekil 117. Akıllı Altyapıya Bağlı Araçların Kuşbakışı Görüntüsü

MORAI

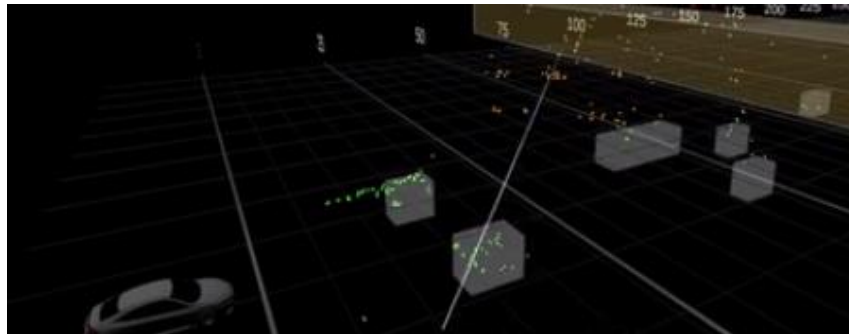
Yüksek çözünürlü harita ve güçlü fizik motoru ile gerçek dünyanın dijital ikizini oluşturan MORAI; kara, deniz ve hava olmak üzere her türlü ortamdaki otonom ulaşım modunun benzetim çalışmasını yapmaktadır. Oluşturulan sanal dünyada, araçlara yerleştirilen kamera, LIDAR, GPS, radar ve atalet ölçüm birimlerinden gelen veriler bu program aracılığıyla işlenmektedir. Bu benzetim programı sayesinde, yapay senaryoların yanı sıra gerçek dünyadan toplanan verilerden ortaya çıkan senaryolar da test edilmektedir. Bulut teknolojisini de kullanan bu program, hızlı ve uygun maliyetli çalışmalar yapılmasını mümkün kılmaktadır. Şekil 118’de sanal dünyada sensör uygulaması görüntülenmektedir (MORAI, 2023).



Şekil 118. Sanal Dünyada Sensör Uygulaması

Bitsensing

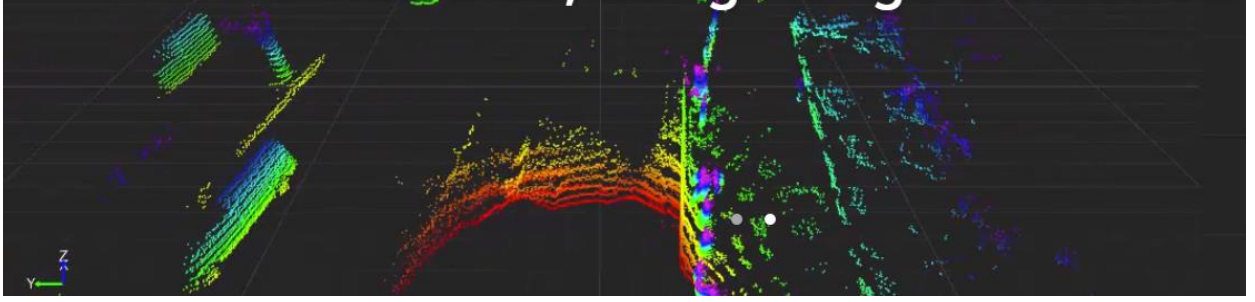
Dört boyutlu radar teknolojisi olan “AIR 4D” teknolojisini geliştiren şirket, bu radar ile otonom araçların daha uzun menzilden isabetli ve güvenilir nesne sınıflandırması yapmasını sağlamaktadır. 4D radar, geleneksel radarların yanı sıra nesnelerin uzunluğunu tahmin etmekte, köprü gibi üzerinde bulunduğu araç ile arasında yükseklik farkı olan cisimleri tespit etmektedir. Şekil 119’da 4D radar algılaması görüntülenmektedir (bitsensing, 2022).



Şekil 119. 4D Radar

AutoL

Otonom sürüşün popülerleşmesi ve teknolojik ilerlemesinin devam etmesi vizyonuna sahip olan AutoL, yüksek hassasiyetli LIDAR üretmiştir. Otomotiv sektörü için özel olarak üretilen bu donanım, uzun menzilli tespit yeteneğine sahiptir ve diğer LIDAR donanımlarına göre hacim olarak daha küçüktür. Bu sayede otomotiv endüstrisinin istediği dayanıklılık seviyesini karşılamaktadır. Şekil 120’de AutoL yüksek hassasiyetli LIDAR görüşü görseli yer almaktadır (AutoL, 2021).



Şekil 120. AutoL Yüksek Hassasiyetli LIDAR Görüşü

a2z

Otonom sürüş konusunda kapsamlı çalışma alanına sahip olan a2z, birden fazla konuda teknoloji geliştirmektedir. Bu teknolojiler aşağıdaki gibi sıralanabilir (a2z, 2023):

- *LIDAR*: Kar ve yağmur gibi sesleri filtreleme özelliğine sahip nesne algılama ve ayırt etme teknolojisine sahip sensördür.
- *Kamera*: AI temelli olan kamera; şerit, nesne ve trafik ışığını tespit etmektedir.
- *Vektör Haritası ile Konumlandırma*: LIDAR sensörden alınan veriler ile yüksek çözünürlüklü haritayı eşleyerek konumlandırma yapmaktadır.
- *Karar Verme*: Başarılı bir şekilde yaya ve araç ayrımı yapmaktadır.

Geliştirilen teknolojilerin yanı sıra bu teknolojilerin kullanılacağı iki kişilik ve dört kişilik olmak üzere binek araç ve aynı zamanda otobüs de üretilmiştir. Şekil 121’de a2z kamera görüşü görseli yer almaktadır (a2z, 2023).



Şekil 121. a2z Kamera Görüşü

Hyundai

Geliştirilen “Hyundai Akıllı Duyu” teknolojisi ile araçlarına Seviye 2 otonom sürüş özelliği ekleyen firma, bu teknolojiye sensörler, kameralar, uyarı ve alarm sistemlerini yazılımıyla entegre etmektedir. Aracın önünde bulunan radarlar; araç, yaya ve bisikletlileri tespit ederek olası çarpışma durumlarında uyarı göndermekte ve gerekirse aracı frenlemektedir. Ön cama monte edilmiş kameralar ile aracın önündeki yol takip edilmekte ve aracın şeritten çıkmaması sağlanmaktadır. Şekil 122’de olası çarpışma önleyici sensör illüstrasyonu yer almaktadır (Hyundai Australia, 2023).



Şekil 122. Olası Çarpışma Önleyici Sensör İllüstrasyonu

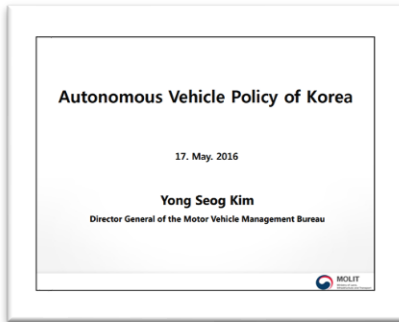
SsangYong

Üretilen SsangYong Korando modeli, Seviye 3 otonom sürüş için test sürüşlerine başlamıştır. Üretilen araç; şerit değişimi, öndeki araç ile olan mesafeyi koruma kabiliyetlerine sahiptir. Ayrıca yüksek çözünürlüklü haritanın bulunduğu yerlerde, tam olarak konum bilgisine sahip olmakta ve bu yerlerde kendi kendine gidebilmektedir. Bununla birlikte, olası kaza durumu gibi acil durumlarda ise sürücüye kontrolü ele alması için uyarı vermektedir. Şekil 123'te SsangYong otonom test aracı görseli bulunmaktadır (KG MOBILITY, 2020)



Şekil 123. SsangYong Otonom Test Aracı

7.3.4.2. Politika Belgeleri ve Raporlar



Güney Kore Arazi, Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı tarafından 2016 yayınlanan “Güney Kore’nin Otonom Araç Politikası” adlı belge, Kore’nin otonom araç politikasını ele alınmaktadır. Motorlu Araç Yönetim Bürosu ve onun organizasyonu, otonom araçların tanıtımı, ticarileştirilmesi için destek politikası, etkisi ve özeti gibi konulara değinilmektedir. Otonom araçların ticarileştirilmesi için destek politikası, kurum, altyapı, teknoloji

ve endüstri konularını kapsamaktadır. Bu politika, otonom araç test sürüş sistemlerinin tanıtılmasını, ticarileştirme için mevcut kurumların yenilenmesini, altyapının geliştirilmesini, temel otonom araç güvenliği teknolojilerinin geliştirilmesini ve uzmanların eğitilmesini amaçlamaktadır. Otonom araçların etkisi, trafik ölümlerinde azalma, iş yaratma ve daha iyi yaşam standartları gibi konuları da ele almaktadır. Belgede ayrıca otonom araç üreticileri için sorumluluk

yasası konuları ve sürücü destek sistemlerinin evrimi de tartışılmaktadır (Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2016).



Güney Kore Arazi, Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı (MOLIT) tarafından yayınlanan, “Güney Kore Hükümeti Seviye 3 Otonom Araçlar İçin Güvenlik Standartlarını Duyurdu” adlı belgede, Seviye 3 otonom araçlar için güvenlik standartlarının açıklandığı belirtilmektedir. Standartlar, Dünya Araç Düzenlemeleri Uyum Forumu’nda, otonom araç güvenlik standartları üzerine yürütülen araştırma projeleri ve devam eden tartışmalar temelinde geliştirilmiştir. Standartlar, bir yedekleme sistemi, sürücü mevcudiyet tanıma sistemi, geçiş talebi, minimum risk manevrası ve acil manevra gibi gereklilikleri içermektedir. Yeni standartlar,

otomobil üreticilerinin Seviye 3 otonom araçlar üretmesine ve satmasına olanak tanımakta ve tüketiciler için güvenlik sağlamaktadır. Bakanlık, ayrıca otonom sürüş çağı için ulaşım sistemlerini ve politikalarını yenilemeyi, otonom araçlar için pilot işletme alanları belirlemeyi ve altyapı inşa etmeyi planlamaktadır (Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2020).



2022 yılında yayınlanan “Teknolojik İş Birliğine Hazırlık” belgesinde; hükümetin, 2022 yılından itibaren koşullu otonomiye (Seviye 3) yetkilendirmeyi ve 2024 yılından itibaren ticari kullanım için tam Seviye 4’ün tamamlanmasını hedeflediğine değinilmiştir. Otonom Sürüş Teknolojisi Geliştirme Yenilik Projesi, entegre seviye 4+ otonom sürüş teknolojilerinin tam ticarileşmesi için 2027 yılına kadar temel oluşturmayı amaçlamakta ve otonom araç hizmetleri ekosistemini şekillendirmek için 84 ayrıntılı görevi desteklemektedir. Bu belgede aynı zamanda Güney Kore Ticaret,

Sanayi ve Enerji Bakanlığı (MOTIE) ile MOLIT’in mevcut yasalara ve hükümet politikalarına uygun hareket ettiği belirtilmektedir. LG Uplus Corp. ve Hyundai Motor Group gibi Kore şirketlerinin, son yıllarda daha gelişmiş otonom araçlar geliştirmek için yarışmakta olduğundan söz edilmektedir. Kore hükümeti, 2027 yılına kadar Seviye 4 otonom sürüş araçlarının gelişimini hızlandırmak ve ilgili teknolojileri desteklemek için 1,1 trilyon KRW (974 milyon ABD doları)

harcamayı planlamaktadır. Gyeonggi Otonom Sürüş Merkezi, otonom araç şirketlerinin gelişmesini desteklemek için çeşitli destek programları sağlamaktadır (Invest Korea, 2021).

7.3.5. Japonya

7.3.5.1. Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları

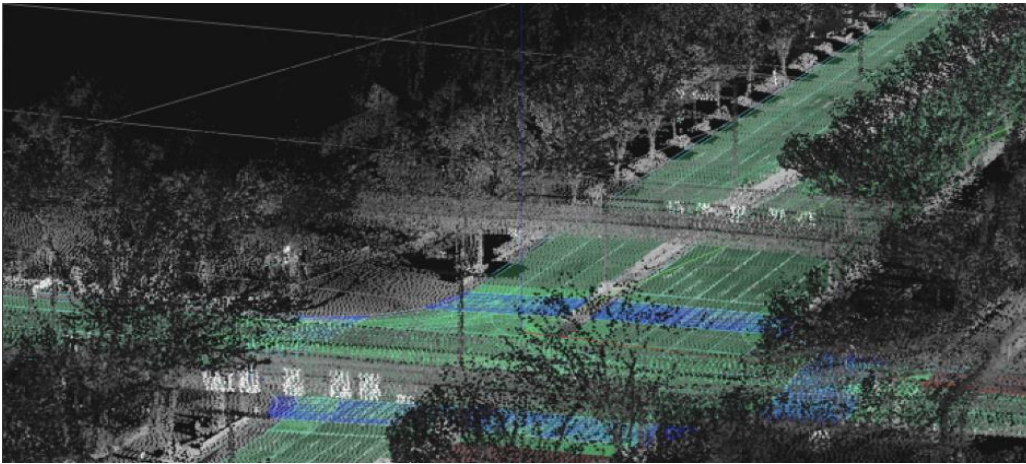
Tier IV

Shinpei Kato öncülüğünde, Autoware Vakfı tarafından Linux ve ROS işletim sistemleri temelinde geliştirilen, dünyanın ilk açık kaynak otonom sürüş yazılımı “Autoware” ile otonom sürüşü tasarlamak için gerekli olan bütün fonksiyonlar yerine getirilebilmektedir ve TIER IV şirketi; Autoware yazılımının geliştirilmesinde öncülük eden şirketlerden biridir (TIER IV Inc., 2023a). Farklı ortamlarda test edilmesi sayesinde, farklı koşullara uyum sağlayacak bir seviyeye gelmiştir. Bununla birlikte “Pilot.Auto”, “Web.Auto” ve Edge.Auto isminde, birbirine ve Autoware yazılıma entegre olabilecek üç platform geliştirilmiştir (TIER IV Inc., 2023b).

Pilot.Auto: Otonom sürüş senaryolarını, kullanıcı tarafından belirlenen bilgisayar, sensör ve arabalar üzerinden gerçekleştirme görevini sağlar.

Web.Auto: Pilot.Auto bileşenlerini verimli bir şekilde geliştirmek ve uygulamaları çalıştırmak için yazılım araçları ve veri hatları sağlar.

Edge.Auto: Pilot.Auto ile Web.Auto’yu tamamlayan bu platform, sensörleri ve bilgisayarları yazılım araçlarıyla birleştirerek kapsamlı bir referans platformu görevi görür. Şekil 124’te TIER IV yazılımı örnek görüntüsü bulunmaktadır (TIER IV Inc., 2023a).



Şekil 124. TIER IV Yazılımı Örnek Görüntüsü

Dynamic Map Platform

Gelecekteki benzetim çalışmaları için gerçek dünyanın sanal ortama aktarılması, yani bir metaverse oluşturulması gerektiğini savunan şirket, bu alanda çalışmalarını sürdürmektedir. Yüksek doğruluk seviyesinde üç boyutlu veri sağlayan şirket, otonom sürüşün de içinde bulunduğu akıllı şehirler, lojistik ve taşıma alanlarında araştırma yapmaya yardımcı olmaktadır.

ileri seviyelerdeki ölçüm, noktalama ve veri entegrasyon teknolojilerini bir araya getirilerek oluşturulan teknoloji sayesinde, santimetre seviyesinde mutlak isabet sağlanmaktadır. Bu yüksek çözünürlüklü üç boyutlu harita ile 10 Japon otomobil üreticisinin gereksinimleri ortak bir alanda birleştirilmiştir ve bu sayede ortak bir çalışma yürütülebilmektedir. Şekil 125’te örnek şeritlendirme görseli yer almaktadır (Dynamic Map Platform, 2023).



Şekil 125. Örnek Şeritlendirme

ZMP

Geliştirilen “RoboCar” ismi verilen otonom sürüş geliştirme platformu olan bu sistem, otonom sürüş desteği sağlamaktadır ve çeşitli kullanım alanları sunmaktadır. Kapalı alanda test imkânı sunan ve gerçek bir arabanın onda biri boyutunda olan tek koltuklu elektrikli araçların yanı sıra minivan ve SUV tipi araçlarda da test yapılabilir (ZMP, 2023b).

Sürücüsüz araç konusunda da çalışmalarını sürdüren ZMP, “CarTomo” adı verilen bir sistem dahilinde test aracı üretmiştir. 3D-LIDAR, GNSS ve şirketin kendi ürettiği sensör olan “RoboVision3” ile donatılmış araç, yine şirketin kendi ürettiği bir otonom sürüş bilgisayarı olan “IZAC” tarafından yönetilmektedir (ZMP, 2023a). Şekil 126’da Robocar SUV (ZMP, 2023d) ve Şekil 127’de Robocar mini EV otobüs (ZMP, 2023c) gösterilmektedir.



Şekil 126. Robocar SUV



Şekil 127. Robocar Mini EV Otobüs

Turing

Turing, elektrikli otonom araç endüstrisinde önemli bir konuma gelmeyi amaçlamakta olup LIDAR olmadan sadece kamera üzerinden çalışan bir AI sisteminin kavram kanıtını⁵ geliştirmiştir.

2022 yılında ise Chiba ve Hokkaido bölgelerinde test sürüşlerini gerçekleştiren şirket, bu testlerde 500 saatlik veri toplamıştır. Turing, 2025 yılında 100 araçlık bir pilot üretim yapmayı, ardından 2027 yılında yıllık 10.000 araba üretebilecek bir montaj hattı kurmayı planlamaktadır. Şekil 128'de Hokkaido test gezisi görülmektedir (Turing, 2022).

⁵ Kavram kanıtı; bir fikir, düşünce, teori veya kavramın, ekonomik ve teknik pencereden incelenerek uygulama potansiyeline sahip olduğunu doğrulama yaklaşımıdır (Gezer, 2022).



Şekil 128. Hokkaido Test Gezisi

ITDLab

ITDLab, akıllı stereo⁶ kamera geliştirmektedir. Herhangi bir nesnenin dış hatlarının son derece net bir şekilde yakalanmasını sağlayan bu donanım, tam otomatik kalibrasyon teknolojisini de barındırmaktadır. Bu sayede diğer kameralardan farklı olarak, sürekli hesaplama yaparak görüntüyü güncelleyebilmesi sayesinde kullanım alanı genişlemektedir. Nesnenin sensörden uzaklığına göre kamera üzerinde renginin değişmesi de başka bir özelliğidir. Şekil 129’da stereo kamera görüntüsü yer almaktadır (ITD Lab, 2023).



Şekil 129. Stereo Kamera Görüntüsü

⁶ Stereo: Sesin üç boyutlu gibi algılanmasını sağlayan düzenektir (Türkçe Ne Demek?, 2020).

BrainIV

Otonom sürüş AI sistemlerinin dünyanın her yerinde öğrenilmesi ve geliştirilmesi için çalışmalar yapan BrainIV, bunun için DL ve sinyal işleme teknolojilerini kullanmaktadır. “Otoadam” adı verilen AI üretim servisi ile dünyada bu alanda çalışma yapmak isteyen şirketlere destek olmaktadır. Otonom sürüş atölyelerini desteklemekte, veri toplama araçları oluşturmakta, etiketleme araçları sağlamakta ve DL modellerinin öğrenilmesi ile kullanılmasına yardımcı olmaktadır. Şekil 130’da BrainIV AI sistemlerine sahip eğitim aracı görüntülenmektedir (BrainIV, 2021).



Şekil 130. BrainIV Yapay Zekâsına Sahip Eğitim Aracı

Toyota

Trafik kazalarından kaynaklanan ölümleri sıfıra indirmek amacıyla otonom sürüşe yönelik çalışmalar yapan Toyota, bu hedefini gerçekleştirebilmek için iki farklı konsept sunmuştur:

- *Şoför*: Bu teknoloji aracın kendi kendini sürmesidir, yani tam otonom sürüş sağlamaktadır.
- *Muhafız*: Bu teknolojide sürücü ve AI sistemleri rolleri paylaşmaktadır. Yani muhafız sistemi sürekli olarak çevreyi kontrol etmekte ve herhangi bir güvenlik tehlikesinde, olumsuz bir sonucu önlemek için devreye girmektedir.

Bu teknolojiler arasında muhafız teknolojisine eğilim daha fazladır çünkü şoför sistemini oluşturma yolunu muhafız sisteminin mükemmelleştirilmesinden geçmektedir. Seviye 4 otonom sürüş sağlayan muhafız ile otonom sürüşün önündeki savunmasız yol kullanıcıları veya hava koşulları gibi durumların üstesinden gelinmesi hedeflenmektedir. Şekil 131’de Toyota otonom sürüş görseli bulunmaktadır (Toyota Europe, 2023).



Şekil 131. Toyota Otonom Sürüş

Subaru

“Görme Yeteneği Sürücü Yardım Teknolojisi” olarak isimlendirilen sistem ile Subaru, sürüş esnasında sürekli olarak trafiği ve aracın hareketini takip ederek sürücüyü uyarılar oluşturmakta ve bu sayede güvenliği artırmaktadır. Dikiz aynasına yerleştirilen kameralar sayesinde çalışan sistem ile önündeki araç ile olan mesafesini koruyabilmektedir. Şerit takip sistemini de beraberinde getiren bu teknoloji ile çarpışma tehlikesine karşı sürücü uyarılmakta, olası hasarı azaltmak için motordan alınan gücü de kesmektedir. Şekil 132’de görme yeteneği sürücü destek teknolojisi illüstrasyonu yer almaktadır (Subaru, 2022).



Şekil 132. Görme Yeteneği Sürücü Destek Teknolojisi İllüstrasyonu

Nissan

2016 yılında duyurulan ve 2019 yılında tek şeritte sürücüsüz şekilde gidebilen navigasyonlu otoyol sürüşüne evrilmiş olan “ProPILOT”, Nissan tarafından birçok farklı modelde kullanılmaktadır. Farklı ortamlardaki başarısını test etmek için Japonya’nın başkenti Tokyo’nun yanı sıra İngiltere’de Londra ve ABD’de Silikon Vadisi’nde de testler yürütülmüştür. 2017 yılında üretilen prototip ile çalışmalarını sürdüren Nissan; bu arabasında 12 adet kamera, 12 adet sonar sensör, dokuz adet radar sensör, altı adet lazer tarayıcı ve yüksek çözünürlüklü harita kullanmaktadır. Bu donanımlar ile birlikte, geliştirilen yazılımlar sayesinde yolda karşılaşılan engelleri aşması sağlanmaktadır. Şekil 133’te ProPilot test aracı görseli bulunmaktadır (Nissan, 2023).



Şekil 133. ProPilot Test Aracı

Isuzu

Isuzu MU-X modeli ile yeni sürücü asistanı sistemlerini getiren şirket, bu modelinde 3D görüntüleme özelliğine sahip stereo kamera, arka radarlar ve elektrikli direksiyon sistemini araca eklemiştir. Bunlarla birlikte hem ön hem de arkadaki araçların tespitini yapan araç, görsel ve işitsel uyarı sistemi ile sürücüyü olası tehlikelere karşı uarmaktadır. Bu uyarılar, aşağıdaki gibi kategorilendirilebilir (Isuzu, 2023):

- Kaza Öncesi Güvenlik
 - ✓ *ileride Çarpışma Uyarısı:* Araç bir kaza yapma ihtimali ile karşı karşıya kaldıysa sürücüye uyarı gönderir, eğer sürücünden cevap alınamazsa, otonom fren sistemi devreye girerek aracı durdurur.
 - ✓ *Dönüş Yardımı:* Dönüş sırasında araca başka bir araç yaklaştığında, aracı otomatik olarak frenler.

- ✓ *Yanlış Hızlanmanın Azaltılması*: Eğer yanlışlıkla hızlandıysa otomatik olarak motora giden gücü keser.
- Hız Yardımı
 - ✓ *Adaptif Seyahat Kontrolü*: Öndeki araç ile hızı otomatik olarak eşitler.
 - ✓ *Trafik İşareti Tanıması*: Trafik işaretlerini tespit ederek sürücüye hız ile ilgili uyarı gönderir.
- Şerit Desteği
 - ✓ *Şeritten Ayrılma Uyarısı*: Sürücünün istemsiz bir şekilde şeritten ayrılmaması için sürücüye uyarı gönderir.
 - ✓ *Şeritten Ayrılma Önlemi*: Sürücünün kendi şeridinden ayrılmaması için şeride doğru direksiyona yardımcı güç verir.
 - ✓ *Şerit Takip Sistemi*: Seyahat sırasında şeridin ortasından gitmeye yardımcı olur.
 - ✓ *Acil Durum Şerit Takibi*: İstemli bir şekilde şerit değiştirirken hedef şeritten başka bir araç gelmesi durumunda, sürücünün kendi şeridine geri dönmesi için direksiyona güç verir.

Şekil 134’te Isuzu kamera görüşü illüstrasyonu yer almaktadır (Isuzu, 2023).

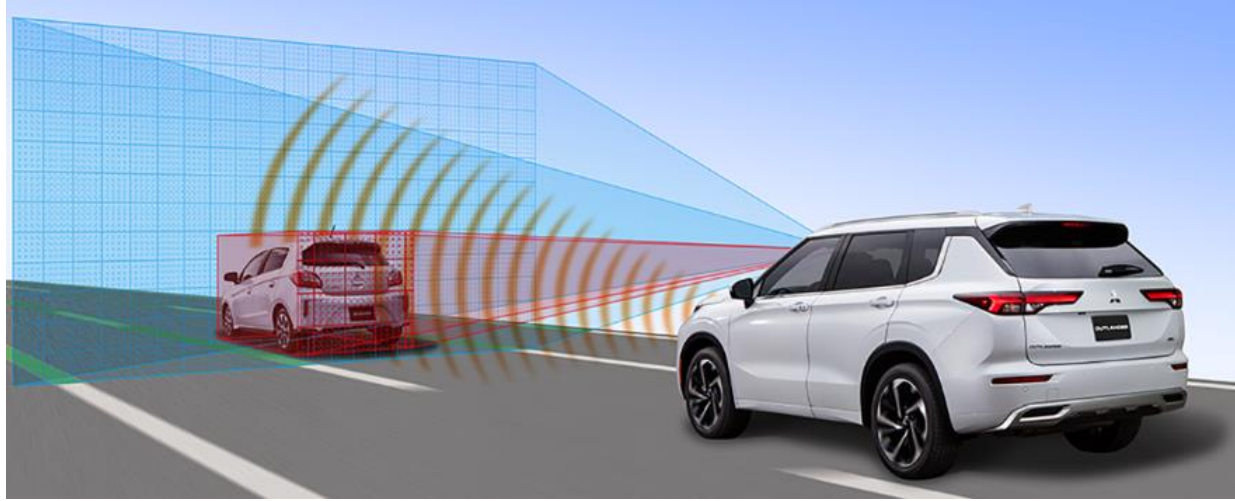


Şekil 134. Isuzu Kamera Görüşü İllüstrasyonu

Mitsubishi Motors

Kamera ve radarlardan toplanan verileri, navigasyon verileri ile birlikte kullanarak çalışan “MI-PILOT” teknolojisi; aracın hızlanmasını, frenlenmesini ve direksiyonunu kontrol eder.

Böylelikle hem uzun yolda hem de yoğun trafikte güvenli ve rahat bir yolculuk imkânı sunar. Yoğun trafikte etraftaki araçların tespitini yapar ve aracın ilerlediği şeride geçen arabaları önceden fark ederek buna göre önlem alır. Uzun trafikte ise öndeki araçlarla olan mesafesini koruyarak sürücünün yol ile daha az uğraşmasını sağlar. Şekil 135'te MI-PILOT örnek gösterimi yer almaktadır (Mitsubishi Motors, 2023).



Şekil 135. MI-PILOT Örnek Gösterimi

7.3.5.2. Politika Belgeleri ve Raporlar



“Evrensel Hizmetler için Otonom Sürüş” isimli belge, Japonya’da “Bakanlıklar Arası Stratejik İnovasyon Teşvik Programı (SIP)” adlı program kapsamında 2018 yılında hazırlanmıştır. Bu program; trafik kazaları, trafik sıkışıklığı ve sürücü kıtlığı gibi toplumsal sorunları ele almak için otonom sürüş teknolojisinin pratik olarak uygulanmasını ve yaygınlaştırılmasını hedeflemektedir. 2025 yılına kadar

hareketlilik ve lojistik hizmetleri, özel araçları da içeren yüksek düzeyde sürücüsüz araç kullanım hedefi de bu program kapsamındadır. Ayrıca otonom sürüş için bir siber-fiziksel alan olan “Toplum 5.0” oluşumu hedeflenmekte ve otomobil endüstrisinin rekabet gücünün artırılması amaçlanmaktadır. Program, yerel hükümetler ve işletmeler de dahil olmak üzere çeşitli paydaşlarla iş birliği yapılmasını, test ve ticarileştirme için alan operasyon testleri oluşturulmasını öngörmektedir. Program; altyapı iş birliği, test ortamları oluşturma, araç geliştirme ve ticarileştirme planlarını içermektedir. Program ayrıca, otomatik ve ileri sürüş teknolojilerini

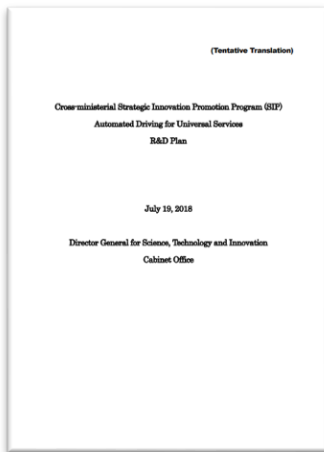
desteklemek için haritaların ve coğrafi verilerin kullanımını teşvik etmektedir (Director General for Science Technology and Innovation Cabinet Office, 2018).

Japonya Otomobil Üreticileri Derneği tarafından yayınlanan “Japonya’nın Motor Endüstrisi 2022” adlı belge, Japonya hükümeti ve Japonya Motosiklet Tanıtım ve Güvenliği Derneği tarafından alınan önlemlere ve girişimlere değinmektedir. Bu önlemler, Japonya’nın otomotiv endüstrisinde güvenlik, çevre koruma ve otonom sürüş teknolojilerinin benimsenmesini teşvik etmektedir. Hükümet, otonom sürüşün uygulanması için gerekli olan tedbirlerin bir taslağını yayınlamış, Karayolu Trafik Kanunu ve Karayolu Araçları Kanunu’nu, otonom sürüş sistemleri için güvenlik standartlarına uygunluğu zorunlu hale getirecek şekilde revize etmiştir. Doküman ayrıca, “Ömrünü Tamamlamış Araçların Geri Dönüşüm Kanunu” ve “Kaynakların Etkin Kullanımının Teşvik Edilmesi Kanunu” gibi yasal düzenlemelerle kaynakların etkili kullanımını, atık azaltımını ve geri dönüşümü teşvik etmektedir. Otomobil üreticileri, geri dönüştürülebilir ve kolayca sökülebilir hafif malzemeler kullanarak araç tasarımı yapmak, üretim sürecinde oluşan atıkları azaltmak ve geri dönüştürmek için çaba sarf etmektedir. Dokümanda, Japon otomobil üreticileri ile endüstrideki diğer şirketler arasındaki stratejik ortaklıklara da değinilmektedir (Japan Automobile Manufacturers Association, 2022).

7.3.6. Yeni Zelanda

7.3.6.1. Otonom Araç Geliştirme Çalışmaları

Ohmio



Ohmio; HMI Teknolojileri şirketi tarafından geliştirilen AI sistemlerinin yanı sıra güçlü navigasyon teknolojileri kullanılarak tasarlanan bir otonom araçtır. Rotası belli olan bir tramvay hattı gibi kendine bir rota çizerek ilerleyen bu araç, kendi kendine haritalama özelliği sayesinde Yeni Zelanda’da birçok farklı yerde kolayca kullanılabilir. Otonom araç; havaalanları ve limanlar gibi büyük alanlara sahip ve lojistik gerektiren yerlerde, hastaneler ve bakımevleri gibi yardım gerektiren yerlerde, okul ve üniversite kampüsleri ile eğlence alanlarında kullanılmaktadır. Şekil 136’da

Ohmio otonom araç görseli yer almaktadır (Ohmio, 2024).



Şekil 136. Ohmio Otonom Aracı

7.3.6.2. Politika Belgeleri ve Raporlar



Yeni Zelanda Ulaştırma Bakanlığı'nın 2022 yılında hazırladığı "Uzun Vadeli İçgörüler Özeti" adlı raporda, ülkedeki ulaşımın geleceğine ilişkin planlara yer verilmiştir. Rapora göre geleceğin ulaşım sistemlerinde yer alacak otonom araçlara önem verilmesi gerektiği, otonom araçların operasyonel harcamaların düşürülmesi konusundaki etkisi büyük olacağı için otonom araçlara yapılan yatırımın uzun vadede ülkeye finansal kazanç getireceği ve bu kazancın diğer alanlarda kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu amaçla yapılması gereken yatırımların başında fiziksel ve dijital altyapının kurulumu gelmektedir. Fiziksel altyapının ömrünün 50 ile 100 yıl

arası olmasına karşılık, dijital altyapının teknolojinin hızlı ilerlemesi dolayısıyla sürekli güncelleme gerektirdiğine dikkat çekilmektedir (Te Manatū Waka, 2022).

BÖLÜM VIII

8. OTONOM ARAÇ TEKNOLOJİLERİNDE KULLANILAN STANDARTLAR

Otonom araç teknolojileri üzerine Ar-Ge faaliyetleri yürüten kurum ve kuruluşların takip ettiği çeşitli standartlar mevcuttur. Bu standartlar, farklı kuruluşlar tarafından yayınlanmıştır. Aşağıda literatürde yer alan ve otonom araç teknolojileri geliştirmede kullanılan standartlar ve tanımları mevcuttur. Tablo 3’te, çeşitli kuruluşlar tarafından yayınlanan otonom araçlara yönelik teknoloji standartları verilmiştir.

Tablo 3. Otonom Araçlara Yönelik Standartlar

Kurum	Standart Kodu	Standartın İngilizce Başlığı	Standartın Türkçe Başlığı
UL	UL 4600	Standard for Safety for the Evaluation of Autonomous Products	Otonom Ürünlerin Değerlendirilmesine Yönelik Emniyet Standardı
SAE	SAE J2945/2	Dedicated Short Range Communications (DSRC) Performance Requirements for V2V Safety Awareness	V2V Emniyet Bilinci için Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC) Performans Gereksinimleri
	SAE J3016	Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles	Karayolu Motorlu Taşıtlar İçin Sürüş Otomasyon Sistemleriyle İlgili Terimlerin Taksonomisi ve Tanımları
	SAE J3018	Safety-Relevant Guidance for On-Road Testing of Prototype Automated Driving System (ADS)-Operated Vehicles	Prototip Otonom Sürüş Sistemi (ADS) ile Çalışan Araçların Yol Üzerinde Test Edilmesine Yönelik Emniyetle İlgili Kılavuz
	SAE J3114	Human Factors Definitions for Automated Driving and Related Research Topics	Otonom Sürüş ve İlgili Araştırma Konuları için İnsan Faktörleri Tanımları
	SAE J3134	Automated Driving System (ADS) Marker Lamp	Otonom Sürüş Sistemi (ADS) İşaret Lambası
	SAE J3171	Identifying Automated Driving Systems-Dedicated Vehicles (ADS-DVs) Passenger Issues for Persons with Disabilities	Otonom Sürüş Sistemleri-Özel Araçlarda (ADS-DVs) Engelli Bireyler için Yolcu Sorunlarının Belirlenmesi
	SAE J3197	Automated Driving System Data Logger	Otonom Sürüş Sistemi Veri Kaydedici
ISO	ISO 15622	Intelligent Transport Systems—Adaptive Cruise Control Systems—Performance Requirements and Test Procedures	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Adaptif Seyir Kontrol Sistemleri-Performans Gereksinimleri ve Test Prosedürleri
	ISO 15623	Intelligent Transport Systems—Forward Vehicle Collision Warning Systems—Performance Requirements and Test Procedures	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Önden Araç Çarpışma Uyarı Sistemleri-Performans Gereksinimleri ve Test Prosedürleri

Kurum	Standart Kodu	Standardın İngilizce Başlığı	Standardın Türkçe Başlığı
	ISO 17361	Intelligent Transport Systems—Lane Departure Warning Systems—Performance Requirements and Test Procedures	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemleri-Performans Gereksinimleri ve Test Prosedürleri
	ISO 19237	Intelligent Transport Systems—Pedestrian Detection and Collision Mitigation Systems (PDCMS)—Performance Requirements and Test Procedures	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Yaya Algılama ve Çarpışma Azaltma Sistemleri (PDCMS) — Performans Gereksinimleri ve Test Prosedürleri
	ISO 19638	Intelligent Transport Systems—Road Boundary Departure Prevention Systems (RBDPS)—Performance Requirements and Test Procedures	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Yol Sınırından Ayrılmayı Önleme Sistemleri (RBDPS)-Performans Gereksinimleri ve Test Prosedürleri
	ISO 20035	Intelligent Transport Systems—Cooperative Adaptive Cruise Control Systems (CACC)—Performance Requirements and Test Procedures	Akıllı Ulaşım Sistemleri – Kooperatif Adaptif Seyir Kontrol Sistemleri (CACC)-Performans Gereksinimleri ve Test Prosedürleri
	ISO 21202	Intelligent Transport Systems—Partially Automated Lane Change Systems (PALS)—Functional/Operational Requirements and Test Procedures	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Kısmen Otonom Şerit Değiştirme Sistemleri (PALS)-İşlevsel/Operasyonel Gereksinimler ve Test Prosedürleri
	ISO 21434	Road vehicles — Cybersecurity Engineering	Karayolu Taşıtları — Siber Güvenlik Mühendisliği
	ISO 21448	Road Vehicles — Safety of the Intended Functionality	Karayolu Taşıtları-Amaçlanan İşlevselliğin Emniyeti
	ISO 21717	Intelligent Transport Systems—Partially Automated In-Lane Driving Systems (PADS)—Performance Requirements and Test Procedures	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Kısmen Otonom Şerit İçi Sürüş Sistemleri (PADS)-Performans Gereksinimleri ve Test Prosedürleri
	ISO 21734-1	Intelligent Transport Systems—Performance Testing for Connectivity and Safety Functions of Automated Driving Buses in Public Transport—Part 1: General Framework	Akıllı Ulaşım Sistemleri—Toplu Taşımada Otonom Otobüslerin Bağlanabilirlik ve Emniyet Fonksiyonlarının Performans Testi—Bölüm 1: Genel Çerçeve
	ISO 22078	Intelligent Transport Systems—Bicyclist Detection and Collision Mitigation Systems (BDCMS)—Performance Requirements and Test Procedures	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Bisikletli Tespit ve Çarpışma Azaltma Sistemleri (BDCMS)-Performans Gereksinimleri ve Test Prosedürleri
	ISO 22733-1	Road Vehicles — Test Method to Evaluate the Performance of Autonomous Emergency Braking Systems Part 1: Car-to-Car	Karayolu Taşıtları — Otonom Acil Fren Sistemlerinin Performansını Değerlendirmek İçin Test Yöntemi Bölüm 1: Araçtan Araca
	ISO 22733-2	Road Vehicles — Test Method to Evaluate the Performance of Autonomous Emergency Braking Systems Part 2: Car to Pedestrian	Karayolu Taşıtları — Otonom Acil Fren Sistemlerinin Performansını Değerlendirmek İçin Test Yöntemi Bölüm 1: Araçtan Yayaya

Kurum	Standart Kodu	Standardın İngilizce Başlığı	Standardın Türkçe Başlığı
	ISO 22737	Intelligent Transport Systems — Low-Speed Automated Driving (LSAD) Systems for Predefined Routes — Performance Requirements, System Requirements and Performance Test Procedures	Akıllı Ulaşım Sistemleri — Önceden Tanımlanmış Rotalar için Düşük Hızlı Otonom Sürüş (LSAD) Sistemleri — Performans Gereksinimleri, Sistem Gereksinimleri ve Performans Test Prosedürleri
	ISO 23150	Road Vehicles—Data Communication Between Sensors And Data Fusion Unit for Automated Driving Functions—Logical Interface	Karayolu Taşıtları—Otonom Sürüş Fonksiyonları İçin Sensörler ve Veri Tümlleştirme Birimi Arasındaki Veri Haberleşmesi— Mantıksal Arayüz
	ISO 26262-1	Road Vehicles — Functional Safety Part 1: Vocabulary	Karayolu Taşıtları-İşlevsel Emniyet Bölüm 1: Sözlük
	ISO 26262-2	Road Vehicles — Functional Safety Part 2: Management of Functional Safety	Karayolu Taşıtları-İşlevsel Emniyet Bölüm 2: İşlevsel Emniyet Yönetimi
	ISO 26262-3	Road Vehicles — Functional Safety Part 3: Concept Phase	Karayolu Taşıtları-İşlevsel Emniyet Bölüm 3: Konsept Aşaması
	ISO 26262-4	Road Vehicles — Functional Safety Part 4: Product Development at the System Level	Karayolu Taşıtları-İşlevsel Emniyet Bölüm 4: Sistem Düzeyinde Ürün Geliştirme
	ISO 26262-5	Road Vehicles — Functional Safety Part 5: Product Development at the Hardware Level	Karayolu Taşıtları-İşlevsel Emniyet Bölüm 5: Donanım Düzeyinde Ürün Geliştirme
	ISO 26262-6	Road Vehicles — Functional Safety Part 6: Product Development at the Software Level	Karayolu Taşıtları-İşlevsel Emniyet Bölüm 6: Yazılım Düzeyinde Ürün Geliştirme
	ISO 26262-7	Road Vehicles — Functional Safety Part 7: Production, Operation, Service and Decommissioning	Karayolu Taşıtları-İşlevsel Emniyet Bölüm 7: Üretim, Operasyon, Servis ve Devre Dışı Bırakma
	ISO 26262-8	Road Vehicles — Functional Safety Part 8: Supporting Processes	Karayolu Taşıtları-İşlevsel Emniyet Bölüm 8: Destekleme Süreçleri
	ISO 26262-9	Road Vehicles — Functional Safety Part 9: Automotive Safety Integrity Level (ASIL)-Oriented and Safety-Oriented Analyses	Karayolu Taşıtları-İşlevsel Emniyet Bölüm 9: Otomotiv Emniyet Bütünlüğü Seviyesi (ASIL) Odaklı ve Emniyet Odaklı Analizler
	ISO 26262-10	Road Vehicles — Functional Safety Part 10: Guidelines on ISO 26262	Karayolu Taşıtları-İşlevsel Emniyet Bölüm 10: ISO 26262 ile İlgili Yönergeler
	ISO 26262-11	Road Vehicles — Functional Safety Part 11: Guidelines on Application of ISO 26262 to Semiconductors	Karayolu Taşıtları-İşlevsel Emniyet Bölüm 11: ISO 26262'nin Yarı İletkenlere Uygulanmasına İlişkin Yönergeler
	ISO 34501	Road Vehicles — Test Scenarios for Automated Driving Systems — Vocabulary	Karayolu Taşıtları — Otonom Sürüş Sistemleri için Test Senaryoları — Sözlük
	ISO 34502	Road Vehicles — Test Scenarios for Automated Driving Systems — Scenario Based Safety Evaluation Framework	Karayolu Taşıtları — Otonom Sürüş Sistemleri için Test Senaryoları — Senaryo Tabanlı Emniyet Değerlendirme Çerçevesi

Kurum	Standart Kodu	Standardın İngilizce Başlığı	Standardın Türkçe Başlığı
	ISO 37168	Smart Community Infrastructures — Guidance on Smart Transportation by Electric, Connected and Autonomous Vehicles (eCAVs) and Its Application to On-Demand Responsive Passenger Services with Shared Vehicles	Akıllı Topluluk Altyapıları — Elektrikli, Bağlantılı ve Otonom Araçlar (eCAV'ler) ile Akıllı Ulaşım İlişkin Kılavuz ve Paylaşımlı Araçlar ile Talebe Duyarlı Yolcu Hizmetlerine Uygulanması
	ISO 37181	Smart Community Infrastructures — Smart Transportation by Autonomous Vehicles on Public Roads	Akıllı Topluluk Altyapıları — Kamu Yollarında Otonom Araçlar Tarafından Akıllı Ulaşım
	ISO/IEC 27001	Information Security, Cybersecurity and Privacy Protection — Information Security Management Systems — Requirements	Bilgi Güvenliği, Siber Güvenlik ve Mahremiyet Koruması — Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemleri — Gereksinimler
	ISO/TR 21959-1	Road Vehicles—Human Performance and State in The Context of Automated Driving—Part 1: Common Underlying Concepts	Karayolu Taşıtları—Otonom Sürüş Bağlamında İnsan Performansı ve Durumu—Bölüm 1: Altta Yatan Olağan Kavramlar
	ISO/TR 21959-2	Road Vehicles—Human Performance and State In The Context of Automated Driving—Part 2: Considerations In Designing Experiments to Investigate Transition Processes	Otonom Sürüş Bağlamında İnsan Performansı ve Durumu—Bölüm 2: Geçiş Süreçlerini Araştırmak İçin Deney Tasarlamada Dikkat Edilmesi Gerekenler
	ISO/TR 4804	Road vehicles — Safety and Cybersecurity for Automated Driving Systems — Design, Verification and Validation	Karayolu Taşıtları — Otonom Sürüş Sistemleri için Emniyet ve Siber Güvenlik — Tasarım, Doğrulama ve Geçerlilik
	ISO/TS 22133	Road vehicles — Test Object Monitoring and Control for Active Safety and Automated/Autonomous Vehicle Testing — Functional Requirements, Specifications and Communication Protocol	Karayolu Taşıtları — Aktif Emniyet ve Otonom Araç Testi için Test Nesnesi İzleme ve Kontrolü — İşlevsel Gereksinimler, Özellikler ve Haberleşme Protokolü
	ISO/TS 5255-1	Intelligent Transport Systems—Low-Speed Automated Driving System (LSADS) Service—Part 1: Role and Functional Model	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Düşük Hızlı Otonom Sürüş Sistemi (LSADS) Hizmeti-Bölüm 1: Rol ve İşlevsel Model
	ISO/TS 5255-2	Intelligent Transport Systems—Low-Speed Automated Driving System (LSADS) Service—Part 2: Gap Analysis	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Düşük Hızlı Otonom Sürüş Sistemi (LSADS) Hizmeti - Bölüm 2: Boşluk Analizi
IEEE	IEEE 1609.2	IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments-Security Services for Application and Management Messages	Araç Ortamlarında Kablosuz Erişim için IEEE Standardı-Uygulama ve Yönetim Mesajları için Güvenlik Hizmetleri
	IEEE 1609.12	IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments -Identifiers	Araç Ortamlarında Kablosuz Erişim (WAVE) için IEEE Standardı –Tanımlayıcılar

Kurum	Standart Kodu	Standardın İngilizce Başlığı	Standardın Türkçe Başlığı
	IEEE 2846	IEEE Standard for Assumptions in Safety-Related Models for Automated Driving Systems	Otonom Sürüş Sistemleri için Emniyete İlişkin Modellerdeki Varsayımlar için IEEE Standardı
ETSI	ETSI GR IP6 030	IPv6-based Vehicular Networking (V2X)	IPv6 tabanlı Araç Ağı (V2X)
	ETSI GR IPE 007	IPv6 Enhanced Innovation (IPE); IPv6-based 5G for Connected and Automated Mobility	IPv6 Gelişmiş İnovasyon (IPE); Bağlantılı ve Otonom Hareketlilik için IPv6 tabanlı 5G
	ETSI GR MEC 022	Multi-Access Edge Computing (MEC); Study on MEC Support for V2X Use Cases	Çoklu Erişim Uç Bilişimi (MEC); V2X Kullanım Durumları için MEC Desteği Üzerine Bir Çalışma
	ETSI TR 103 300-1	Intelligent Transport Systems (ITS); Vulnerable Road Users (VRU) Awareness; Part 1: Use Cases Definition	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); Savunmasız Yol Kullanıcıları (VRU) Farkındalığı; Bölüm 1: Kullanım Durumlarının Tanımı
	ETSI TR 103 508	SmartM2M; SAREF Extension Investigation; Requirements For Automotive	SmartM2M; SAREF Uzatısı Araştırması: Otomotiv için Gereksinimler
	ETSI TR 103 562	Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Analysis of the Collective Perception Service (CPS)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); Araç Haberleşmesi; Temel Uygulamalar Seti; Toplu Algı Hizmeti (CPS) Analizi
	ETSI TR 103 579	Intelligent Transport Systems (ITS); Pre-Standardization Study on Payment Applications in Cooperative ITS Using V2I Communication	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); V2I Haberleşmesi Kullanan Kooperatif AUS'ta Ödeme Uygulamalarına İlişkin Ön Standardizasyon Çalışması
	ETSI TR 126 985	5G; Vehicle-to-Everything (V2X); Media Handling and Interaction	5G; Araçtan Her Şeye (V2X); Medya İşleme ve Etkileşim
	ETSI TS 103 300-2	Intelligent Transport Systems (ITS); Vulnerable Road Users (VRU) Awareness; Part 2: Functional Architecture and Requirements Definition	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); Savunmasız Yol Kullanıcıları (VRU) Farkındalığı; Bölüm 2: İşlevsel Mimari ve Gereksinimlerin Tanımı
	ETSI TS 123 285	Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Architecture Enhancements for V2X Services	Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (UMTS); LTE; V2X Hizmetleri için Mimari Geliştirmeler
CEN	CEN/TR 17828	Road Infrastructure-Automated Vehicle Interactions-Reference Framework	Yol Altyapısı-Otonom Araç Etkileşimleri-Referans Çerçevesi
	CEN/TS 17395	Intelligent Transport Systems-eSafety-eCall For Automated And Autonomous Vehicles	Akıllı Ulaşım Sistemleri-eEmniyet-Otonom araçlar için eÇağrı

UL Standartları

UL 4600 : UL 4600, kendiliğinden sürüş yapan araçlar gibi tamamen otonom sistemleri, madencilik, tarım, bakım ve hafif insansız hava araçları dahil diğer araçların uygulamalarını kapsar. Bu standart, otonom ürünlerin, mevcut durumlarına ve işletme ortamının algılanmasına dayanarak insan müdahalesi olmadan güvenli ve amaçlanan şekilde çalışma yeteneğini ele almaktadır. ML, işletme ortamının algılanması ve otonomluğun diğer güvenlik yönleri için gerekli olan donanımın ve yazılımın emniyeti de ele alınmaktadır (Standards & Engagement, 2023).

SAE Standartları

SAE J2945/2 : Araçtan araca (V2V) emniyet farkındalığı uygulamalarında kullanılan DSRC sistemlerine yönelik performans gereksinimlerini belirten bir standarttır. Bu standart, araçların konumu, hızı ve ivmelenmesi gibi kinematikle ilgili önemli bilgileri alışverişinde bulunabilmesini sağlamak için DSRC sistemlerinin karşılaması gereken kriterleri ve spesifikasyonları özetlemektedir. Standart, bu performans gereksinimlerini belirleyerek araçların gerçek zamanlı verileri paylaşmasına ve kazaları önlemek ve genel ulaşım güvenliğini artırmak için bilinçli kararlar almasına olanak tanır (Society of Automobile Engineers, 2018).

SAE J3016 : Bu standart, otonom sürüş görevinin bir bölümünü veya tamamını sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştiren motorlu araç sürüş otomasyon sistemlerini tanımlar. Bu standarda göre araçlar ve bunların karayollarındaki işletmeleri bağlamında, sıfır sürüş otomasyonundan (Seviye 0) tam sürüş otomasyonuna (Seviye 5) kadar altı sürüş otomasyonu seviyesi için ayrıntılı tanımlar içeren bir sınıflandırma sağlanır (SAE International, 2021):

- Seviye 0: Sürüş Otomasyonu Yok
- Seviye 1: Sürücü Yardımı
- Seviye 2: Kısmi Sürüş Otomasyonu

- Seviye 3: Koşullu Sürüş Otomasyonu
- Seviye 4: Yüksek Sürüş Otomasyonu
- Seviye 5: Tam Sürüş Otomasyonu

- SAE J3018** : Bu standart, SAE J3016 tarafından tanımlanan prototip şartlı, yüksek ve tam (3 ila 5 Seviyeleri) otonom sürüş sistemleri tarafından çalıştırılan araçların yol üstü testleri için araç içi yedek sürücü eğitimi için önemli emniyet konuları hakkında, öncül bir rehberlik sağlar (SAE International, 2019a).
- SAE J3114** : Otonom sürüşün insan faktörleri yönlerine ve bununla ilgili araştırma konularına ilişkin tanımlar ve terminoloji sağlayan bir standarttır. Aynı zamanda otonom araçlar ve bunların işleyişi bağlamında sürücü izleme, kullanıcı arayüzleri ve insan-makine etkileşimi gibi kritik konuları ele alarak otonom sürüş sistemleriyle insan etkileşimiyle ilgili tartışmaları ve çalışmaları açıklığa kavuşturmaya yardımcı olacak temel kavramları ve terimleri tanımlar. Bu standart; endüstri profesyonelleri, araştırmacılar ve paydaşlar arasında araştırma, geliştirme ve iletişimi kolaylaştırmak için otonom sürüş alanında ortak bir anlayış ve dil oluşturmayı amaçlar (Society of Automobile Engineers, 2016).
- SAE J3134** : Bu SAE standardı, otonom sürüş sistemi (ADS) donanımlı araçlarda işaret lambalarının kullanımı, performansı, kurulumu, etkinleştirilmesi ve değiştirilmesi için yönergeler sağlar. Belge, ADS donanımlı araçlardaki işaret lambalarının türlerini ve işlevlerini tanımlar ve görünürlük, renk ve yerleşimleri için gereksinimleri belirler. Ayrıca belge, işaret lambalarının etkinleştirilmesi ve değiştirilmesi konusunda rehberlik sağlar ve ADS davranışıyla işaretlemelerin koordinasyonu için öneriler sunar. Bu standardın amacı, ADS donanımlı araçlarda işaret lambalarının kullanımına standart bir yaklaşım sağlamak, yol üzerinde tutarlılık ve emniyeti teşvik etmektir (SAE International, 2019b).
- SAE J3171** : Bu standart, Seviye 4 ve 5 otonom sürüş sistemine sahip araçların; görsel, bilişsel ve/veya fiziksel engelleri nedeniyle normal sürücü belgesi alamayan

kişilere, özgürce seyahat etme imkânı sunmayı hedeflemektedir. Bu standart, bu engellilere odaklanırken, diğer engellilere de rehberlik sağlar (SAE International, 2019c).

SAE J3197 : Bu standart, belirtilen tetikleme eşik kriterlerini karşılayan bir olay sırasında ADS'nin performansını analiz etmek için yararlı olabilecek çeşitli veri öğeleri için ortak veri çıkış formatları ve tanımları sağlar. Standartın; veri ögesi tanımlarını yönetmesi, minimum veri ögesi seti sağlaması ve motorlu araç uygulamaları için geçerli olan ortak bir ADS veri kaydedici kayıt formatını belirtmesi amaçlanır (Society of Automobile Engineers, 2021).

ISO Standartları

ISO 15622 : Akıllı ulaşım sistemleri alanında adaptif seyir kontrol sistemleri (ACCS) için performans gereksinimlerini ve test prosedürlerini tanımlayan bir standarttır. Bu standart, ACCS'nin performans ve işlevsellik açısından karşılaması gereken belirli kriterleri özetlemektedir. Ayrıca bu sistemlerin etkinliğini ve güvenilirliğini değerlendirmek için ayrıntılı test prosedürleri de sağlar. Bu standart, gereklilikleri ve test protokollerini oluşturarak ACCS teknolojilerinin tanımlanmış performans standartlarına uygunluğunu sağlamaya yardımcı olur ve akıllı ulaşım sistemlerinde adaptif seyir kontrol sistemlerinin güvenli ve verimli bir şekilde uygulanmasına katkıda bulunur (International Organization for Standardization (ISO), 2018k).

ISO 15623 : Akıllı ulaşım sistemleri alanında önden araç çarpışma uyarı sistemleri (FVCWS) için performans gereksinimlerini ve test prosedürlerini belirleyen bir standarttır. Bu standart, FVCWS'nin performans ve işlevsellik açısından karşılaması gereken belirli kriterleri özetlemekte ve sürücülere diğer araçlarla yaklaşan önden çarpışmalar konusunda uyarılar sağlamaya odaklanmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin etkinliğini ve güvenilirliğini değerlendirmek için ayrıntılı test prosedürleri sağlar. Bu standart, FVCWS teknolojilerinin tanımlanmış performans standartlarına uymasını sağlamada önemli bir rol oynayarak akıllı ulaşım sistemlerinde daha güvenli ve daha etkili ileri araç

Çarpışma uyarı sistemlerinin geliştirilmesine ve uygulanmasına katkıda bulunur (International Organization for Standardization (ISO), 2013).

ISO 17361 : Akıllı ulaşım sistemleri alanında şeritten ayrılma uyarı sistemlerine (LDWS) yönelik performans gerekliliklerini ve test prosedürlerini özetleyen bir standarttır. Bu standart, LDWS'nin performans ve işlevsellik açısından karşılaması gereken kriterleri belirtir. Odak noktası, araçları istemeden şeritten çıktığında sürücülere uyarı veren sistemlerdir. Buna ek olarak bu sistemlerin etkinliğini ve güvenilirliğini değerlendirmek için ayrıntılı test prosedürleri sağlar. Standart, bu gereksinimleri belirleyerek ve protokolleri test ederek LDWS teknolojilerinin tanımlanmış performans standartlarına uymasını sağlamaya, akıllı ulaşım sistemlerinde şeritten ayrılma olaylarını önleyerek yol güvenliğini artırmaya katkıda bulunur (International Organization for Standardization (ISO), 2017a).

ISO 19237 : Akıllı ulaşım sistemleri bağlamında yaya algılama ve çarpışma azaltma sistemleri (PDCMS) için performans gereksinimlerini ve test prosedürlerini tanımlayan bir standarttır. Bu standart, PDCMS'nin performans ve işlevsellik açısından karşılaması gereken kriterleri belirtir. Ayrıca bu sistemlerin yayaları tespit etme ve onlarla çarpışmaları azaltma konusundaki etkinliğini ve güvenilirliğini değerlendirmek için ayrıntılı test prosedürleri de sağlar. Standart, bu gereklilikleri ve test protokollerini oluşturarak PDCMS teknolojilerinin tanımlanmış performans standartlarına uygunluğunu sağlamaya yardımcı olur ve akıllı ulaşım sistemlerinde daha güvenli ve daha etkili yaya algılama ve çarpışma azaltma sistemlerinin geliştirilmesine ve uygulanmasına katkıda bulunur (International Organization for Standardization (ISO), 2017b).

ISO 19638 : Akıllı ulaşım sistemleri bağlamında yol sınırından ayrılmayı  nleme sistemleri (RBDPS) için performans gerekliliklerini ve test prosedürlerini özetleyen bir standarttır. Bu standart, RBDPS sistemlerinin performans ve işlevsellik açısından karşılaması gereken kriterleri belirtir. Ayrıca bu sistemlerin etkinliğini ve güvenilirliğini değerlendirmek için ayrıntılı test prosedürleri de

sağlar. ISO 19638:2018, bu gereklilikleri ve test yöntemlerini belirleyerek RBDPS teknolojilerinin tanımlanmış performans standartlarına uymasını sağlamada önemli bir rol oynar ve akıllı ulaşım sistemlerinde yol sınırlarından ayrılmayı önlemek için tasarlanan sistemlerin güvenli ve etkili bir şekilde uygulanmasına katkıda bulunur (International Organization for Standardization (ISO), 2018l).

ISO 20035 : Akıllı ulaşım sistemleri alanındaki kooperatif adaptif seyir kontrol sistemleri (CACC) için performans gereksinimlerini ve test prosedürlerini tanımlayan bir standarttır. Bu standart, CACC sistemlerinin performans ve işlevsellik açısından karşılaması gereken belirli kriterleri özetlemektedir. Ek olarak CACC sistemlerinin etkinliğini ve güvenilirliğini değerlendirmek için ayrıntılı test prosedürleri sağlar. Bu standart, gereklilikleri ve test protokollerini oluşturarak CACC teknolojilerinin tanımlanmış performans standartlarına uymasını sağlamaya yardımcı olur ve akıllı ulaşım sisteminde kooperatif adaptif seyir kontrol sistemlerinin güvenli ve verimli bir şekilde hayat geçirilmesine katkıda bulunur (International Organization for Standardization (ISO), 2019).

ISO 21202 : Akıllı ulaşım sistemleri alanında kısmi otonom şerit değiştirme sistemleri (PALS) için test prosedürlerinin yanı sıra fonksiyonel ve operasyonel gereksinimleri belirleyen bir standarttır. PALS'ın işlevsellik, performans ve güvenlik açısından karşılaması gereken kriterlerin ana hatlarını çizerek üreticilerin, düzenleyici kurumların ve diğer paydaşların, uyumluluğu değerlendirmesine ve bu sistemlerin yolda etkili ve güvenli çalışmasını sağlamasına olanak tanır (International Organization for Standardization (ISO), 2020e).

ISO 21434 : Bu standart, yol araçlarında elektrik ve elektronik (E/E) sistemlerinin kavram, ürün geliştirme, üretim, işletme, bakım ve hurda ayrıştırma süreçleriyle ilgili siber güvenlik risk yönetimi için mühendislik gereksinimlerini belirler. Bu sistemlerin bileşenleri ve arabirimleri de dahil edilir.

Siber güvenlik süreçleri için gereksinimler ve siber güvenlik risklerinin yönetimi için ortak bir dil içeren bir çerçeve tanımlanır.

Bu standart, yayınlanmasından sonra geliştirilen veya değiştirilen seri üretim yol aracı E/E sistemleri, bileşenleri ve arabirimleri için geçerlidir (International Organization for Standardization (ISO), 2021c).

ISO 21448 : Bu standart, otonom araçların emniyet gereksinimlerini tanımlar ve işlevsel eksikliklerden kaynaklanan tehlikelerin, makul olmayan risklere yol açmadığı durumlarda, hedeflenen işlevselliğin emniyetini (SOTIF) sağlamak için genel bir çerçeve ve rehberlik sunar. Bunlar aşağıdaki gibidir (International Organization for Standardization (ISO), 2022a):

- a) Araç düzeyinde amaçlanan işlevsellik belirlemesindeki yetersizlikler veya
- b) Sistemin elektrik ve/veya elektronik bileşenlerinin uygulanmasındaki belirleme veya performans yetersizlikleri

ISO 21717 : Akıllı ulaşım sistemleri alanındaki kısmen otonom şerit içi sürüş sistemleri (PADS) için performans gerekliliklerini ve test prosedürlerini ortaya koyan bir standarttır. Bu standart, PADS'ın performans yetenekleri açısından karşılaması gereken kriterleri belirler ve etkinliklerinin değerlendirilmesine yönelik ayrıntılı test prosedürlerini sağlar. PADS teknolojilerinin belirlenen performans standartlarına uymasını sağlamada çok önemli bir rol oynar ve akıllı ulaşım sistemlerinde, şerit içi sürüş destek sistemlerinin güvenli ve verimli bir şekilde uygulanmasına katkıda bulunur (International Organization for Standardization (ISO), 2018m).

ISO 21734-1 : Bu standart, otonom sürüslü otobüslerin (ADB) toplu taşıma ağlarında çalıştırılması için genel çerçeve ve ADB sistem bileşenlerini belirler. Bu bileşenler şunları içerir:

- a) ADB'lerle iş birliği içindeki toplu taşıma sistemleri için genel çerçeve ve işletme şeması

b) ADB'leri işletmek için sistem bileşenlerinin tanımları

c) ADB'lerle taşıma hizmetleri sağlamak için her sistem bileşeninin fonksiyonları ve gereksinimlerinin tanımları

Bu standart; ulaşım operatörleri, toplu taşıma yönetim kurumları ve ilgili endüstriler de dahil olmak üzere toplu taşıma sistemlerinde yer alan kuruluşlara uygulanabilir (International Organization for Standardization (ISO), 2022b).

ISO 22078

Akıllı ulaşım sistemleri alanındaki bisikletli algılama ve çarpışma azaltma sistemlerine (BDCMS) yönelik performans gerekliliklerini ve test prosedürlerini özetleyen bir standarttır. Bu standart, özellikle bisikletlileri tespit etme ve onlarla çarpışmaları azaltma yeteneklerine odaklanarak BDCMS'nin performans ve işlevsellik açısından karşılaması gereken kriterleri belirler. Ek olarak bu sistemlerin etkinliğini ve güvenilirliğini değerlendirmek için ayrıntılı test prosedürleri sağlar. Bu standart, BDCMS teknolojilerinin belirli performans standartlarına uymasını sağlamak, akıllı ulaşım sistemlerinde daha emniyetli ve daha etkili bisikletli algılama ve çarpışma azaltma sistemlerinin geliştirilmesine ve uygulanmasına katkıda bulunmak için gereklidir (International Organization for Standardization (ISO), 2020d).

ISO 22733-1

: Bu standart, otonom acil durum frenleme sistemi veya dinamik fren desteği ile donatılmış bir aracın davranışını, birkaç kaza senaryosu sırasında değerlendirmek için bir yöntem belirler. Bu kazalar, test edilen araç doğrusal bir şekilde ilerlerken aynı şeritte başka bir araca yaklaştığında meydana gelir. Her iki araç da birbirlerine boylamasına hizalanmıştır.

Bu kaza senaryoları sırasında aracın davranışının en önemli kısmı, çarpışmayı önleyebilme veya azaltabilme kapasitesidir (International Organization for Standardization (ISO), 2023a).

ISO 22733-2

: Bu standart, karayolu taşıtlarında otonom acil frenleme sistemlerinin performansını değerlendirmek için kullanılan test yöntemlerini tanımlar.

Özellikle araç ile yaya arasındaki senaryolarda sistemin etkinliğini ölçmeye yönelik prosedürleri içerir (International Organization for Standardization (ISO), 2023a)

ISO 22737 : Bu standart; önceden belirlenmiş güzergahlarda işletmek için düşük hızlı otonom sürüş (LSAD) sistemlerinin güvenli işletimi için operasyonel tasarım alanı gereksinimlerini, sistem gereksinimlerini, minimum performans gereksinimlerini ve performans test prosedürlerini belirler. LSAD sistemleri, belirli operasyonel tasarım alanlarında (ODD) (ISO/SAE PAS 22736) çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

Bu standart, otonom sürüş sistemine özel araçlara (ADS-DV'ler) ve ayrıca çift modlu araçlara (ISO/SAE PAS 22736) uygulanabilir. Bu standart, LSAD sistemleri tarafından kullanılan sensör teknolojisini belirtmez (International Organization for Standardization (ISO), 2021a).

ISO 23150 : Bu standart, otonom sürüş işlevleri olan karayolu araçlarına uygulanır. Bu standart, araç içi çevresel algılama sensörleri (örneğin radar, LIDAR, kamera, ultrasonik) ile birleşim birimi arasındaki mantıksal arabirimi belirtir. Birleşim birimi, sensör verilerine dayanarak çevre modeli oluşturur ve aracın etrafındaki sahneyi yorumlar. Arabirim modüler ve anlamsal bir temsil ile tanımlanır ve nesne düzeyinde (örneğin, potansiyel olarak hareket eden nesneler, yol nesneleri, statik nesneler) bilgi sağlar ve sensör teknolojisi özel bilgilere dayanan özellik ve algılama seviyeleri hakkında bilgi sağlar. (International Organization for Standardization (ISO), 2021b).

ISO 26262-1 : Bu standart, araçların elektronik sistemlerinin emniyetini belirler. Bu standart, araçların elektronik sistemlerindeki hataları azaltmak ve arızaların oluşmasını önlemek için bir yöntem sunar. Bu standardın, seri üretim karayolu araçlarına, mopedler hariç, kurulan bir veya daha fazla elektrikselsel veya elektronik sistemi içeren emniyetle ilgili sistemlere uygulanması amaçlanmaktadır (International Organization for Standardization (ISO), 2018a).

- ISO 26262-2** : Bu standart, karayolu taşıtlarının işlevsel emniyetini yönetmek için süreçler ve gereklilikler belirler. Elektriksel ve elektronik sistemlerdeki işlevsel emniyet ile ilgili faaliyetlerin planlanması, uygulanması, izlenmesi ve sürekli iyileştirilmesini kapsar (International Organization for Standardization (ISO), 2018b).
- ISO 26262-3** : Bu standart, karayolu taşıtlarının işlevsel emniyeti ile ilgili konsept aşamasında gerçekleştirilecek gereksinimleri ve süreçleri tanımlar. Elektriksel ve elektronik (E/E) sistemlerde emniyetle ilgili işlevlerin tanımlanması, işlevsel emniyet gereksinimlerinin belirlenmesi ve tehlike analizlerinin gerçekleştirilmesini kapsar. (International Organization for Standardization (ISO), 2018c).
- ISO 26262-4** : Bu standart, karayolu taşıtlarında işlevsel emniyeti sağlamak amacıyla sistem seviyesinde ürün geliştirme süreçlerini kapsamlı bir şekilde ele alır. Elektriksel ve elektronik sistemlerde emniyetle ilgili işlevlerin tanımlanması, tasarım ve entegrasyon süreçlerinin planlanması ile bu süreçlerin doğrulanması ve geçerliliğinin sağlanmasını hedefler (International Organization for Standardization (ISO), 2018d).
- ISO 26262-5** : Bu standart, karayolu taşıtlarının işlevsel emniyetini sağlamak amacıyla donanım seviyesindeki ürün geliştirme süreçlerini ele alır. Elektriksel ve elektronik sistemlerde donanımın emniyetle ilgili işlevlerini tanımlamak, emniyet hedeflerini karşılamak için donanım tasarımı gerçekleştirmek ve bu tasarımı doğrulamak için gerekli yöntem ve süreçleri içerir (International Organization for Standardization (ISO), 2018e).
- ISO 26262-6** : Bu standart, karayolu taşıtlarının işlevsel emniyeti kapsamında yazılım seviyesindeki ürün geliştirme süreçlerini tanımlar. Elektriksel ve elektronik sistemlerde yazılımın güvenlikle ilgili işlevlerini tasarlamak, geliştirmek, doğrulamak ve emniyet gereksinimlerini karşılamak için gerekli yöntem ve süreçleri içerir (International Organization for Standardization (ISO), 2018f).

- ISO 26262-7** : Bu standart, karayolu taşıtlarının işlevsel emniyeti kapsamında üretim, işletim, servis ve hizmetten çekme süreçlerini tanımlar. Araçların kullanım ömürleri boyunca işlevsel emniyetin sağlanması ve sürdürülebilmesi için gerekli yöntemleri ve gereksinimleri içerir (International Organization for Standardization (ISO), 2018g).
- ISO 26262-8** : Bu standart, karayolu taşıtlarının işlevsel emniyeti kapsamında destekleyici süreçleri tanımlar. Elektriksel ve elektronik sistemlerin emniyet hedeflerini gerçekleştirebilmesi için kullanılan dokümantasyon, konfigürasyon yönetimi, değişiklik yönetimi ve doğrulama gibi süreçleri içerir (International Organization for Standardization (ISO), 2018h).
- ISO 26262-9** : Bu standart, karayolu taşıtlarının işlevsel emniyeti kapsamında, Otomotiv Emniyet Bütünlüğü Seviyesine (ASIL) dayalı ve emniyet odaklı analizleri tanımlar. Tehlike analizi, risk değerlendirmesi ve ASIL tahsisi gibi süreçleri içererek emniyet gereksinimlerinin uygun seviyelerde belirlenmesini ve karşılanmasını sağlar (International Organization for Standardization (ISO), 2018i).
- ISO 26262-10** : Bu standart, karayolu taşıtlarının işlevsel emniyetiyle ilgili olarak ISO 26262 serisinin uygulanmasına yönelik rehberlik sağlar. Standardın bölümlerinde yer alan gereksinimlerin anlaşılması ve uygulanması için açıklamalar, örnekler ve destekleyici bilgiler sunar (International Organization for Standardization (ISO), 2018j).
- ISO 26262-11** : Bu standart, karayolu taşıtlarının işlevsel emniyeti kapsamında, ISO 26262 serisinin yarı iletkenlere uygulanmasına yönelik rehberlik sağlar. Yarı iletken cihazların emniyetle ilgili işlevlerinin tasarımı, geliştirilmesi ve doğrulanması için ek açıklamalar ve uygulama örnekleri sunar (International Organization for Standardization (ISO), 2018k).
- ISO 34501** : Bu standart, otonom sürüş sistemleri (ADS) için test senaryoları bağlamında terimleri tanımlar. Bu standart, ISO/SAE PAS 22736’da tanımlanan 3. seviye

ve üzeri ADS'ler için geçerlidir (International Organization for Standardization (ISO), 2022c).

ISO 34502 : Bu standart, otonom sürüş sistemleri (ADS'ler) için senaryo bazlı bir emniyet değerlendirme çerçevesi için rehberlik sağlar. Çerçeve, ürün geliştirme sırasında uygulanan senaryo bazlı bir emniyet değerlendirme sürecini açıklar. Çerçeveye ilişkin kılavuzun, ISO/SAE PAS 22736'da tanımlanan ADS'ye uygulanması amaçlanmaktadır. Bu ADS senaryo bazlı emniyet değerlendirme çerçevesi, sınırlı erişimli otoyollar için uygundur (International Organization for Standardization (ISO), 2022d).

ISO 37168 : Bu standart; elektrikli, bağlantılı ve otonom araç (eCAV) yolcu ve teslimat hizmetlerinin aşamalı olarak uygulanması konusunda rehberlik sağlar ve özellikle paylaşımlı araçlarla talebe dayalı yolcu hizmetleri konusuna odaklanır. Bu standardın amacı, eCAV'lar ile akıllı ulaşımın şehirler arasında ve şehir içinde hızlandırılması ve sağlanmasıdır (International Organization for Standardization (ISO), 2022e).

ISO 37181 : Bu standart, otonom araçların kamuya açık yollarda kullanımıyla akıllı ulaşım kavramını ve hedeflerini açıklar. Hedefi, halka açık yol ulaşımının emniyetini artırmak ve yaşanan nüfus ve farklı seyahat talepleri gibi şehirlere yönelik zorlukları ele almaktır.

Bu standart, otonom araçların başarılı bir şekilde tanıtılması ve organize edilmesi için rehberlik sağlar. Bu amaçla, otonom araçların gerçek kullanım için bir işletim sistemi olarak kullanımı odaklanır. Bu standart; akademi, otonom araç geliştiricileri, politika yapıcılar, araştırma kurumları, yol altyapı işletmecileri, halka açık yol yöneticileri, test, denetim ve sertifikasyon kuruluşları ile araç üreticileri için tasarlanmıştır (International Organization for Standardization (ISO), 2022f).

ISO/IEC 27001 : Bu standart, kuruluş bağlamında bir bilgi güvenliği yönetim sistemi kurma, uygulama, sürdürme ve sürekli olarak iyileştirme gereksinimlerini belirtir. Bu standart ayrıca kuruluşun ihtiyaçlarına uygun olarak uyarlanmış bilgi

güvenliği risklerinin değerlendirilmesi ve ele alınması için gereksinimleri içerir. Bu belirtilen gereksinimler geneldir ve türü, büyüklüğü veya doğasından bağımsız olarak tüm kuruluşlara uygulanabilir olması amaçlanmıştır. (International Organization for Standardization (ISO), 2022g).

ISO/TR 21959-1 : Bu standart, sürücü performansı ve durumuyla ilgili temel kavramları tanıtır ve otonom sürüş bağlamında kullanılır. Bu standarttaki kavramlar, insan/sürücünün katılımı veya yedek hazır olması gereken tüm otonom sürüş işlevlerine (SAE seviyesi 1, 2 ve 3) uygulanabilir. Ayrıca sürücünün aracın kontrolünü manuel olarak yeniden devralmasına izin veren seviyelerde (SAE seviyeleri 1-5 için uyumlu bir özellik) kullanılabilir.

Ortak temel kavramlar, sürüş simülatörlerinde insan faktörleri değerlendirmeleri, kısıtlı yollarda (örneğin test pistleri) veya açık yollarda yapılan testler için geçerlidir. Bu bilgiler tüm araç kategorileri için geçerlidir (International Organization for Standardization (ISO), 2020b).

ISO/TR 21959-2 : Bu standart, otonom sürüşün daha yüksek bir seviyesinden daha düşük bir seviyeye sistem veya insan tarafından başlatılan geçişlere odaklanır. Geçiş kontrol performansını etkileyebilecek insan faktörleri ve sistem faktörleri de dahil edilmiştir. Bazıları hâlâ araştırılmakta olsa da bu faktörlerin etkilerini daha iyi anlamak veya kontrol/etkilerini ortadan kaldırmak için uygun bir şekilde değişken olarak ayarlamak gereklidir. Bu yaklaşım, önemli faktörlerin dikkate alındığından emin olarak araştırma tasarımına yardımcı olacak ve anlamlı karşılaştırmalar yapılabilmesini sağlamak için çalışmalar arasında tutarlılık sağlayacaktır. Bu standart, ayrıca test senaryosu tasarımında dikkate alınması gereken konular, insanların kontrolü ele alma performansı için ortak ölçümler ve bir test ortamı seçerken dikkate alınması gereken konular hakkında bilgiler içerir ve okuyucuların diğer çalışmalarla karşılaştırılabilir deneyler tasarlamalarına yardımcı olur (International Organization for Standardization (ISO), 2020c).

ISO/TR 4804 : ISO/TR 4804 standardı, otonom araçların etkileşimli tasarımını belirler. Bu standart, araçların insanlarla etkileşim kurabilmesi için gerekli tasarım yönergelerini sunar. Bu standart, dünya çapında geçerli yayınlardan türetilen temel emniyet prensiplerine dayalı olarak otonom sürüş sistemlerinin geliştirilmesi ve doğrulanması için adımları açıklar. Otonom sürüş sistemleri için emniyet ve siber güvenlik tasarımı ve doğrulama yöntemleri, SAE J3016:2018'e göre Seviye 3 ve Seviye 4 özelliklerine sahip araçlara odaklanmaktadır. Ayrıca otonom sürüş sistemlerinin emniyetiyle ilgili hedeflerle kesişen siber güvenlik konularını da belirtmektedir (International Organization for Standardization (ISO), 2020a).

ISO/TS 22133 : Bu standart, aktif güvenlik fonksiyonlarının ve otonom araçların test edilmesi için kullanılan test hedeflerinin kontrolü ve izlenmesi için gereksinimleri, prosedürleri ve mesaj formatlarını belirler.

ISO/TS 22133 standardı, kontrol merkezi tarafından test nesnelerinin izlenmesi ve kontrol edilmesi için işlevselliği ve mesajlaşmayı belirtir ve aralarında etkileşimli bir test nesnesi ortamı sağlar. Bu standart, kontrol merkezinin çoklu satıcılardan test nesneleri kullanarak güvenli bir şekilde testleri yürütmesine izin veren bir iletişim protokolü tanımlar (International Organization for Standardization (ISO), 2023c).

ISO/TS 5255-1 : Bu standart, şehir ve kırsal alanlarda mobilitayı desteklemek için altyapı tesisleri de dahil olmak üzere LSADS'lerin temel rol ve işlevsel model gereksinimlerini tanımlar. Bu belge yalnızca LSADS donanımlı araçlar kullanılarak yapılan hizmetleri kapsar; araç içi kontrol sistemleri kapsam dışındadır (International Organization for Standardization (ISO), 2022h).

ISO/TS 5255-2 : Bu standart; düşük hızlı otonom sürüş hizmetleri (LSADS) için emniyet ortamını inceler ve analiz eder, ISO/TS 5255-1'de tanımlanan işlevsel modelin emniyet rolü ekine yer verir, LSADS için ek emniyet noktalarını açıklar, LSADS için hizmet uygulamalarının işlevsel modeli için rolün açıklamasını yapar.

Bu standart, ISO/TS 5255-1’de tanımlanmayan gelecekteki otonom sürüş sistemlerinin hizmet emniyeti gereksinimlerine yönelik kullanım durumlarının geliştirilmesine katkı sağlayabilir (International Organization for Standardization (ISO), 2023b).

IEEE Standartları

- IEEE 1609.2** : Bu standart, araç içi ve araçlar arası kablosuz haberleşme ortamında, uygulama ve yönetim mesajları için güvenlik hizmetlerini tanımlar. Mesaj doğrulama, şifreleme, kimlik doğrulama ve gizlilik gibi kritik güvenlik gereksinimlerini karşılamak için gerekli yöntem ve protokolleri içerir (IEEE Standards Association, 2022a).
- IEEE 1609.12** : WAVE sistemlerinde tanımlayıcıların kullanımına ilişkin yönergeler sağlar. Bu tanımlayıcılar, WAVE tabanlı haberleşmede yer alan araçları, cihazları ve altyapı unsurlarını tanımlar. Bu standart, tanımlayıcıların formatlarını ve türlerini tanımlayarak araç ağları içindeki haberleşmenin verimli ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar (IEEE Standards Association, 2019).
- IEEE 2846** : IEEE 2846 standardı, otonom araçların emniyetini belirler. Bu standart; araçların tasarım, test ve doğrulama süreçlerinde kullanılacak yöntemleri ve gereksinimleri belirler. Bu standart karayolu araçlarına uygulanır ve IEEE 2846-2022’de sunulan çalışmaları genişleterek ek senaryo ve yol kullanıcılarını da kapsar. Ayrıca ek senaryolar ve yol kullanıcıları için bir ADS’nin güvenlik modellerinin geliştirilmesinde dikkate alınması gereken, diğer yol kullanıcılarının makul şekilde öngörülebilir davranışlarına dair minimum varsayımları tanımlar. Bu standartta yer alan senaryolar, yol geometrisi değişiklikleri (örneğin şerit birleşmeleri) ve diğer yol kullanıcılarının belirli davranışları (örneğin şerit değiştirme) ile ilgilidir. Bu standart, tanımlanan ilk küme temel alınarak daha karmaşık senaryoların ve ilişkili varsayımların oluşturulması için yönergeler de sağlar (IEEE Standards Association, 2022c).

ETSI Standartları

- ETSI GR IP6 030** Bu standart, IPv6 tabanlı 5G Mobil İnternet'in uygulanması için motivasyonu, amaçları, teknoloji yönergeleri, adım adım süreci, faydaları, riskleri, zorlukları ve kilometre taşlarını açıklamaktadır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020a).
- ETSI GR IPE 007** : Bu standart, 5G ve IPv6 tarafından sağlanan bağlantılı ve otonom hareketlilik (CAM) için özellikleri ve kullanım durumlarını açıklamaktadır. Ayrıca sınır ötesi durumlarda işletmeciler ve satıcılar arasındaki bağlantı geçişler ele alınmakta ve bu senaryoların AB içindeki teknolojik ve düzenleyici zorlukları tartışılmaktadır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2023).
- ETSI GR MEC 022** : Bu standart, V2X uygulamalarını desteklemek için MEC özelliklerini belirlemeye odaklanmaktadır. İlgili V2X kullanım durumlarını toplar ve analiz eder (dış organizasyonların bulgularını da içerir), tanımlanmış MEC özelliklerindeki boşlukları değerlendirir ve yeni gereksinimleri, yeni özellikleri ve fonksiyonları belirler. Gerekli olduğunda, bu yeni çoklu erişim uç bilişim hizmetlerini veya arabirimleri belirlemeyi, mevcut MEC hizmetleri veya arabirimlerinde değişiklikleri, veri modellerini, uygulama kurallarını ve gereksinimlerini içerebilir. Ayrıca tanımlanmışsa bu boşlukları kapatmak için gerekli normatif çalışmayı önerir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2018a).
- ETSI TR 103 300-1** : Bu standart; kooperatif akıllı ulaşım sistemleri ile mümkün olan, savunmasız yol kullanıcıları (VRU) gibi yaya, bisiklet, e-skuter, motosiklet, hayvan ve yol çalışanları gibi yol kullanıcılarını içeren, trafik güvenliği ile ilgili tipik kullanım durumlarını tanımlar ve kategorize eder. Her kullanım durumu, en az bir VRU ve en az bir diğer AUS istasyonu arasındaki etkileşimi gösteren bir akış şeması içerir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2022a).

- ETSI TR 103 508** : Bu standart, mevcut veri modellerinden ve sınırlı bir dizi kullanım durumundan yola çıkarak akıllı otomotiv alanında ilk birleşik anlamsal model için gereksinimleri sağlar. Bu standart AIOTI, H2020 Büyük Ölçekli Pilotları, ETSI otomotiv alanındaki faaliyetleri ve oneM2M ile yakın iş birliği içinde geliştirilmiştir. Gelecekte, akıllı otomotiv alanını tamamen kapsamak için daha fazla genişletme öngörülmektedir. İlgili teknik özellik, bu standartta tanımlanan gereksinimler ve kullanım durumlarına dayalı olarak akıllı otomotiv alanı için uzantıyı (yani anlamsal modeli) tanımlayacaktır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2019a).
- ETSI TR 103 562** : Bu standart, yol ve trafik güvenliği alanında uygulamaları desteklemek için toplu algı hizmeti (CPS) özelliklerini belirtir. Toplu algı, diğer AUS-İ'lerle (AUS İstasyonu/ITS Station) mevcut sürüş ortamı hakkında bilgi paylaşmayı amaçlar. Bu amaçla CPS, tespit edilen nesneler hakkında (yani diğer yol katılımcıları, engeller vb.) veri sağlar. Toplu algı, diğer AUS-İ'lerin bağlam bilgisi sağlaması nedeniyle bir AUS-İ'nin mevcut ortamındaki çevre belirsizliğini azaltır. Bu, CPS'in söz dizim ve semantiğinin tanımını ve verilerin, mesajların ve mesaj işleme yöntemlerinin ayrıntılı açıklamasını içerir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2019b).
- ETSI TR 103 579** : Bu standart, yerel olarak barındırılan ödeme uygulamalarını desteklemek için V2I iletişimini kullanarak Elektronik Ücret Toplama (EUT) ve diğer genel ödeme uygulamalarını içeren bir ödeme uygulamaları kümesi için potansiyel gereksinimleri belirler (pozisyonlama ve güvenlik gereksinimleri de dahil olmak üzere) ve mevcut ETSI İş birlikçi AUS standartlarının olası güncelleme ve değişikliklerini araştırır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020b).
- ETSI TR 126 985** : Bu standartta, TR 22.886'da tanımlanan ve TS 22.186'daki gereksinimleri olan V2X ile ilgili medya ile ilgili kullanım durumları ayrıntılı olarak analiz edilip ağ tabanlı görsel bilgi kullanarak ileri sürüşün işleyişi netleştirilmiştir.

Medya yakalama, sıkıştırma ve iletim için gereken prosedürler; MTSI, MBMS ve FLUS gibi medya işleme ve taşıma mekanizmalarına dayalı olarak incelenmiştir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2022b).

ETSI TS 103 300-2 : Bu standart, ETSI TR 103 300-1’de tanımlanan kullanım durumlarının etkisini analiz eder ve diğer yol kullanıcılarıyla çarpışmaları önleyecek VRU sisteminin işlevsel mimarisini ve gereksinimlerini belirler. Ek olarak ilgili K-AUS standartları üzerinde belirtilen gereksinimlerin ve işlevsel mimarinin etkisini sağlar ve ETSI TR 103 300-1’de tanımlanan kullanım durumlarını desteklemek için hangi mesajların gerektiğini belirler (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2021).

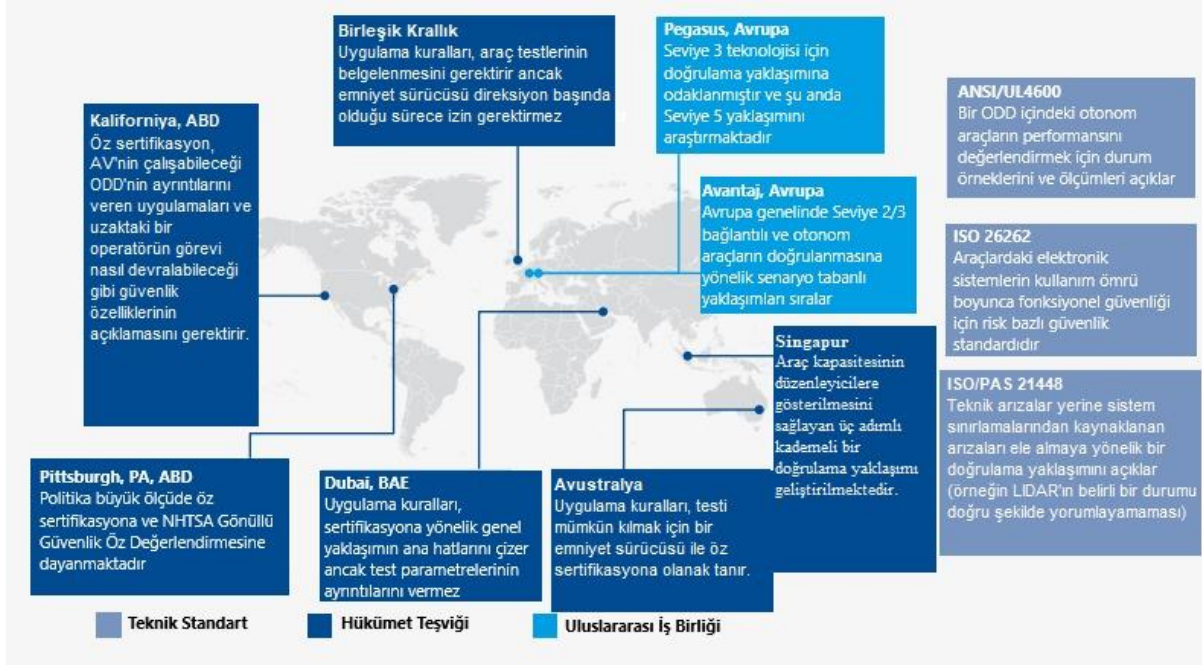
CEN Standartları

CEN/TR 17828 : Bu standart, mevcut yol ekipmanı tedarikçilerinin vizyonlarını ve bunlara bağlı kısa ve orta vadeli öncelikli uygulama senaryolarını sağlar. Yol ekipmanı/altyapısı ile otonom araçların tutarlı ve etkileşimli bir şekilde güvenli bir etkileşimini mümkün kılan potansiyel fonksiyonel/operasyonel standartlaştırma konuları belirlenir. Bu, öncelikli kısa vadeli uygulamalar ve kullanım senaryolarının uygulanması için gerekli olan standartlaştırma eylemlerinin daha derinlemesine analizini içerir (iTeh Standards, 2022).

CEN/TS 17395 : Bu standartta, M1 ve N1 (araba ve hafif van) kategorilerindeki araçlarda bulunması zorunlu tutulan “eÇağrı” sistemi anlatılmıştır. Acil durum araması olarak tanımlanan bu sistem sayesinde, araç içi sensörler veya sürücünün manuel olarak aktifleştirmesi ile aracın konum bilgisinin paylaşılması ve ilgili konuma en yakın kamu güvenliği yanıtlama noktasının (PSAP) yerinin belirlenmesi sağlanmaktadır. Bu sayede PSAP ile araç, uzaktan iletişime geçebilecek ve acil durum sorunu çözülebilecektir (iTeh Standards, 2019).

9. OTONOM ARAÇLARA YÖNELİK YASAL DÜZENLEMELER

Teknolojik ilerlemeler sayesinde, otonom araçların hayatımızdaki yeri giderek artmaktadır. Günümüzde birçok ülkede trafikte görmeye başladığımız otonom araçların, trafikteki sayılarının artması beklenmektedir. Bununla birlikte otonom araçların yaygınlaşması için test koşullarının oluşturulması, standartların belirlenmesi, siber güvenlik ve yasal düzenlemeler gibi konulardaki çalışmalar devam etmektedir. Bu gereksinimler arasında sürücüsüz araçların kullanımıyla ilgili yasal düzenlemelerin yapılması öncelikli önem arz etmektedir, çünkü mevcut yasalar sürücü tarafından kullanılan geleneksel araçları kapsamaktadır. Şekil 137’de şematik olarak gösterildiği üzere yasal düzenlemeler ülkelere göre farklılık gösterdiği için bu alandaki yasal çerçevenin ülkelere göre uyarlanması gerekmektedir (World Economic Forum, 2020). Bu bölümde, otonom araçlara yönelik Birleşmiş Milletler’in, Avrupa’dan altı ülkenin (Almanya, Avusturya, Birleşik Krallık, Fransa, İspanya ve İtalya), ABD’nin, Asya-Pasifik’ten dört ülkenin (Avustralya, Çin, Güney Kore ve Japonya) yasaları ve otonom araçlarla ilgili davalarda alınmış emsal kararlar incelenmiştir. Ardından Türkiye’nin otonom araç vizyonu için yasal düzenleme örnekleri ve düzenleme yapılması gereken mevzuatlar belirtilmiştir.



Şekil 137. Otonom Araç Girişimlerine Genel Bakış

9.1. Birleşmiş Milletler (BM)

WP.29 olarak da bilinen “Araç Düzenlemelerinin Uyumlaştırılması için Dünya Forumu (World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations)”, “Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu”nun (UNECE) bir çalışma grubudur. WP.29’un temel amacı; araç güvenliğini, çevresel performansı ve enerji verimliliğini artırmak amacıyla araç standartlarının küresel uyumlaştırılmasını ve karşılıklı tanınmasını teşvik eden bir araç düzenlemelerinin çerçevesini oluşturmaktır. Bu amaçla 2018 yılında “ECE/TRANS/WP.29/1140-WP.29 kapsamında otonom sürüş tanımlarını ve otonom araçlara ilişkin bir BM yönetmeliğinin geliştirilmesine yönelik genel ilkeleri içeren referans belge” yayınlanmıştır. Bu kapsamda otonom araç seviyelerine göre araç ve sürücü görevleri, Tablo 4’te açıklanmıştır (United Nations Economic Commission for Europe, 2018).

Tablo 4. Otonom Sürüş Seviyelerine Göre Görevler

	Sürücü tarafından Nesne ve Olay Algılama ve Yanıt (OEDR)		Sistem tarafından Nesne ve Olay Algılama ve Yanıt (OEDR)		
	Sürücü ikincil faaliyetleri gerçekleştiremeyebilir		Sürücü ikincil faaliyetleri gerçekleştirebilir		
	Sürücü Kontrolü		Sistem Kontrolü (Sistem Talebi Üzerine Sürücü Kontrolüne Döner)	Belirli senaryolar kapsamında Tam Zamanlı Sistem Kontrolü	Sadece Sistem Kontrolü
SAE J3016 Otonom Seviyesi	1	2	3	4	5
Sınıflandırmanın Ana Hatları	Sistem boylamasına veya yanal kontrolle ilgilenir. Sürücü tarafından kontrol.	Sistem hem boylamasına hem de yanal kontrolle ilgilenir. Sistem, ODD’deki tüm durumları tespit edemediği için sürücü tarafından kontrol gereklidir. Sürücü istediği zaman müdahale edebilmelidir.	Sistem kendi Operasyonel Tasarım Alanı (ODD) dahilindeki tüm dinamik sürüş görevlerinin üstesinden gelebilir ya da aksi takdirde yeterli süre vererek sürücüye geçiş yapar (sürücü yedektir). Sistem, (ODD’ye özgü olarak) ortamı izler ve kontrol eder. Sistem, sistem sınırlarını tespit eder ve bunlara ulaşıldığında bir geçiş talebi yayımlar.	Sistem, ODD’deki herhangi bir durumla başa çıkabilir. Belirli bir kullanım durumu sırasında sürücüye ihtiyaç duyulması gerekmez, örneğin Vale Park / Kampüs Servisi. Ancak ODD sınırlarına ulaşıldığında (örneğin otoyol çıkışı) sistem, devralma talep edebilir.	Sistem tüm yol tiplerinde, hız aralıklarında ve çevre koşullarında her türlü durumla başa çıkabilir. Sürücüye gerek yoktur.

	Sürücü tarafından Nesne ve Olay Algılama ve Yanıt (OEDR)		Sistem tarafından Nesne ve Olay Algılama ve Yanıt (OEDR)		
	Sürücü ikincil faaliyetleri gerçekleştiremeyebilir		Sürücü ikincil faaliyetleri gerçekleştirebilir		
	Sürücü Kontrolü		Sistem Kontrolü (Sistem Talebi Üzerine Sürücü Kontrolüne Döner)	Belirli senaryolar kapsamında Tam Zamanlı Sistem Kontrolü	Sadece Sistem Kontrolü
SAE J3016 Otonom Seviyesi	1	2	3	4	5
Araç Görevleri	1. Sistem, etkinleştirildiğinde e boylamasına (hızlanma/frenleme) veya yanal (direksiyon) dinamik sürüş görevlerini gerçekleştirir. Sistem, ODD'deki tüm durumları algılayamaz.	1. Sistem, etkinleştirildiğinde e boylamasına (hızlanma/frenleme) veya yanal (direksiyon) dinamik sürüş görevlerini gerçekleştirir. Sistem, ODD'deki tüm durumları algılayamaz.	1. Sistem, etkinleştirildiğinde dinamik sürüş görevinin boylamasına (hızlanma/frenleme) ve yanal (yönlendirme) bölümlerini gerçekleştirir. Etkinleştirildiğinde, operasyonel kararlar için sürüş ortamını izleyecektir.	1. Sistem, etkinleştirildiğinde dinamik sürüş görevinin boylamasına (hızlanma/frenleme) ve yanal (yönlendirme) bölümlerini gerçekleştirir. ODD'de meydana gelen tüm kararlar için sürüş ortamını izleyecektir (örneğin Acil durum araçları).	1. Sistem, sürüşü kontrol eder.
	2. Sürücünün isteği üzerine sistem anında devre dışı bırakılır.	2. (İnsan) Sürücünün isteği üzerine sistem anında devre dışı bırakılır.	2. Etkinleştirmeye yalnızca tasarlandığı koşullar altında izin verilir. Sürücünün isteği üzerine sistem anında devre dışı bırakılır. Ancak (insan) sürücünün kontrolü anında devralmasının, güvenliği tehlikeye atabileceği durumlarda sistem, devre dışı bırakmayı bir an için erteleyebilir.	2. Etkinleştirmeye yalnızca tasarlandığı koşullar altında izin verilir. Sürücünün isteği üzerine sistem anında devre dışı bırakılır. Ancak, (insan) sürücünün kontrolü anında devralmasının güvenliği tehlikeye atabileceği durumlarda sistem, devre dışı bırakmayı bir an için erteleyebilir.	2. Sistem, boylamasına (hızlanma/frenleme) ve yanal (yönlendirme) işlemlerini gerçekleştirir.

	Sürücü tarafından Nesne ve Olay Algılama ve Yanıt (OEDR)		Sistem tarafından Nesne ve Olay Algılama ve Yanıt (OEDR)		
	Sürücü ikincil faaliyetleri gerçekleştiremeyebilir		Sürücü ikincil faaliyetleri gerçekleştirebilir		
	Sürücü Kontrolü		Sistem Kontrolü (Sistem Talebi Üzerine Sürücü Kontrolüne Döner)	Belirli senaryolar kapsamında Tam Zamanlı Sistem Kontrolü	Sadece Sistem Kontrolü
SAE J3016 Otonom Seviyesi	1	2	3	4	5
		3. Kontrol değişikliği talebi bulunmaz, yalnızca uyarılar var.	3. Sistem, belirli koşullar altında, yalnızca sürücünün yeterli bir teslim süresi ile görevi devralması talep edildikten sonra, otomatik olarak devre dışı bırakılır. İnsan sürücünün görevi devralmaması durumunda, minimum risk durumuna geçiş yapabilir (en azından başlatabilir). İkincil faaliyetlerde kullanılan araçların aynı zamanda insan devralma sürecini iyileştirmek için de kullanılması faydalı olacaktır.	3. Aracın tasarım veya sınır koşulları artık sağlanıyorsa sistem otomatik olarak devre dışı kalmalı ve aracı minimum risk durumuna geçirmelidir. Ayrıca, devre dışı bırakmadan önce kullanıcıdan bir geçiş talebi istenebilir.	3. Dinamik sürüş görevinin OEDR alt görevlerini yürütür; sıra dışı bir senaryoda insan kontrollerine gerek yoktur.
		4. Bir sürücü katılımı tespit fonksiyonu (örneğin sürücünün baş pozisyonunu ve göz kapağı hareketini vb. tespit etmek için uygulamalı tespit veya izleme kameraları olarak gerçekleştirilebilir), sürücünün izleme görevine katılımını ve anında müdahale etme yeteneğini değerlendirebilir.	4. Sürücü kullanılabilirliği tanıma, sürücünün sistem tarafından talep edildiğinde görevi devralabilecek konumda olmasını sağlamak için kullanılacaktır. Potansiyel teknik çözümler, sürücünün manuel işlemleri tespit etmekten, sürücünün baş pozisyonunu ve göz kapağı hareketini tespit etmek için kameraları izlemeye kadar uzanır.	4. Geçiş talebi ile talep edildiğinde sürücünün görevi devralabilecek konumda olmasını sağlamak için sürücü kullanılabilirliği tanıma kullanılacaktır. Ancak bu, seviye 3'e göre daha hafif çözümler olabilir çünkü sistem, aracı ODD'de minimum risk durumuna aktarabilmektedir.	4. Sistem, aracı minimum risk durumuna geçirecektir.

	Sürücü tarafından Nesne ve Olay Algılama ve Yanıt (OEDR)		Sistem tarafından Nesne ve Olay Algılama ve Yanıt (OEDR)		
	Sürücü ikincil faaliyetleri gerçekleştiremeyebilir		Sürücü ikincil faaliyetleri gerçekleştirebilir		
	Sürücü Kontrolü		Sistem Kontrolü (Sistem Talebi Üzerine Sürücü Kontrolüne Döner)	Belirli senaryolar kapsamında Tam Zamanlı Sistem Kontrolü	Sadece Sistem Kontrolü
SAE J3016 Otonom Seviyesi	1	2	3	4	5
			5. Acil frenleme önlemleri sistem tarafından yapılmalı ve sürücüdün beklenmemelidir (ikincil faaliyetler nedeniyle).	5. Acil frenleme önlemleri sistem tarafından yapılmalı ve sürücüdün beklenmemelidir (ikincil faaliyetler nedeniyle).	
Sürücü Görevleri	1. Sürücü, yardım sisteminin ne zaman etkinleştirilmesinin veya devre dışı bırakılmasının uygun olduğunu belirler.	1. Sürücü, sistemin ne zaman etkinleştirileceğinin veya devre dışı bırakılmasının uygun olduğunu belirler.	1. Sürücü, otonom sürüş sisteminin ne zaman etkinleştirilmesinin veya devre dışı bırakılmasının uygun olduğunu belirler.	1. Sürücü, otonom sürüş sisteminin ne zaman etkinleştirilmesinin veya devre dışı bırakılmasının uygun olduğunu belirler.	1. Sürücü, otonom sürüş sistemini etkinleştirir ve devre dışı bırakır.
	2. Sürücü, sürüşü kontrol eder. Boyuna (hızlanma/frenleme) veya yanal (direksiyon) dinamik sürüş görevini gerçekleştirir.	2. Sürücü, sürüş ortamını izleyerek ve gerekirse müdahale ederek (örneğin acil durum araçlarının gelmesi) OEDR'yi çalıştırır.	2. Sürücünün ODD'de operasyonel kararlar için boylamsal, yanal sürüş görevlerini gerçekleştirmeye ve çevreyi izlemeye gerek yoktur.	2. Sürücünün ODD'de boylamasına, yanal sürüş görevlerini ve çevreyi izleme görevlerini yürütmeye gerek yoktur.	2. Sürücünün tüm yolculuk boyunca boylamasına, yanal sürüş görevlerini ve çevreyi izleme görevlerini yerine getirmesine gerek yoktur.

	Sürücü tarafından Nesne ve Olay Algılama ve Yanıt (OEDR)		Sistem tarafından Nesne ve Olay Algılama ve Yanıt (OEDR)		
	Sürücü ikincil faaliyetleri gerçekleştiremeyebilir		Sürücü ikincil faaliyetleri gerçekleştirebilir		
	Sürücü Kontrolü		Sistem Kontrolü (Sistem Talebi Üzerine Sürücü Kontrolüne Döner)	Belirli senaryolar kapsamında Tam Zamanlı Sistem Kontrolü	Sadece Sistem Kontrolü
SAE J3016 Otonom Seviyesi	1	2	3	4	5
	3. Sürücü, sürücü destek sistemi tarafından gerçekleştirilen dinamik sürüş görevini denetler ve ortam veya sistem gerektirdiğinde anında müdahale eder.	3. Sürücü, sistem tarafından yürütülen dinamik sürüş görevini sürekli denetler. Sürücü, araç kullanmanın fiziksel yönlerinden uzak kalsa da zihinsel olarak tamamen sürüş göreviyle meşgul olmalı ve çevrenin veya sistemin gerektirdiği durumlarda derhal müdahale etmelidir (sistem tarafından herhangi bir geçiş talebi yoktur, sadece gerekli durumlarda uyarı yapılır).	3. Sürücü, geçiş talebini kabul etmek ve araç uyarılarını, mekanik arızayı veya acil durum araçlarını kabul etmek için yeterince dikkatli kalacaktır (seviye 2'ye kıyasla teslim süresini artırır).	3. Sürücü, talep halinde teslim süresi içerisinde devralmak isteyebilir. Ancak sistem, sürücünün ODD kapsamında geri dönüş performansı sağlamasını gerektirmez.	3. Sürücü, yol noktalarını ve varış noktalarını belirler.
	4. Sürücü, gerektiğinde derhal müdahale etmesine engel olacak ikincil faaliyetlerde bulunamaz.	4. Sürücü, gerektiğinde derhal müdahale etmesine engel olacak ikincil faaliyetlerde bulunamaz.	4. Sürücü, dikkatini ODD'deki dinamik sürüş görevinin tamamından uzaklaştırabilir, ancak yalnızca uygun reaksiyon süreleriyle ikincil faaliyetleri gerçekleştirebilir. Araç gösterimlerinin ikincil faaliyetler için kullanılması faydalı olacaktır.	4. Sürücü, ODD'de çok çeşitli ikincil faaliyetler gerçekleştirebilir.	4. Sürücü, tüm yolculuk boyunca çok çeşitli ikincil faaliyetler gerçekleştirebilir.

9.2. Avrupa Ülkeleri

9.2.1. Avusturya

Avusturya’da, SAE Düzeyleri 3-5 seviyelerine sahip otonom araçların test edilmesine, belirli koşullar altında kamuya açık yollarda izin verilir. Otonom minibüslerin (SAE Seviye 2), 20 km/s hıza kadar çalışan, önceden tanımlanmış halka açık test yollarında test edilmesine izin vardır, ancak bir test sürücüsünün bulunması ve kritik durumlarda kontrolü ele almaya hazır olması gerekir. Otonom şerit değiştirme özelliklerine (SAE Seviye 2) sahip araçlar (M1, M2, M3, N1, N2 ve N3 sınıfları) ise otoyollarda test yapılma iznine sahiptir, ancak aracın testten önce kapalı bir test alanında başarılı bir şekilde 10.000 km sürüş yapmış olması gerekmektedir. Bununla birlikte sürücünün otoyoldan çıkmadan önce kontrolü yeniden eline alması gerekir. Bir diğer sınıf olan otonom askeri araçlar da (SAE Seviye 2) Federal Savunma Bakanlığı tarafından halka açık yollarda da test edilebilir, ancak yine test sürücüsünün kritik durumlarda müdahale etmeye hazır olması gerekir. Tüm test senaryoları için genel gereksinimler; yeterli sigorta kapsamının sağlanması, Federal Ulaştırma, Yenilik ve Teknoloji Bakanı’na ayrıntılı bilgi sunulması, yeterli sistem testinin yapıldığını onaylayan bir sertifikanın sunulması ve sokak operatörüne test senaryosu ile zamanlaması hakkında bilgi verilmesini içermektedir. Bireysel kullanımda da halka özgürlük tanınan Avusturya’da, halka açık yollarda belirli özellikler için halkın SAE Düzeyleri 3-5 özelliklerine sahip otonom araçları kullanmalarına izin verilmektedir. İlk olarak sürücüler, herhangi bir kamu yolunda, 10 km/s hız ile sınırlandırılmak üzere otonom park sistemleri ile donatılmış arabaları (M1 ve N1 sınıfı) kullanabilirler. Otonom park etme işlemi sırasında, sürücünün direksiyon simidini tutması veya aracın içinde olması zorunlu değildir, ancak park durumunu izlemek için yakınlarda durması gerekir. Kritik bir durumda, sürücü acil durum sistemini tetikleyebilmelidir. İkinci olarak sürücüler, otoyollarda otonom sürüş için şeritte kalma destek sistemleri ile donatılmış arabaları (M1, M2, M3, N1, N2 ve N3 sınıfları) kullanabilirler. Ancak sürücünün otoyoldan ayrılmadan önce kontrolü yeniden kazanması gerekir. Ek olarak test sürücüsü kritik durumlarda kontrolü yeniden kazanmaya hazır olmalı ve araç, gerektiğinde otonom sistemi derhal devre dışı bırakabilen bir acil durum sistemi ile donatılmalıdır.

Bunların yanı sıra herhangi bir kaza veya hasar durumundaki sorumluluk konusunda, Avusturya’nın hali hazırdaki yasaları oldukça kısıtlayıcıdır. Buna göre aracın otonom seviyesinden bağımsız olmak üzere herhangi bir trafik kuralına uyulmadığı takdirde suç sürücüye aittir çünkü

bir araç tam otonom olsa dahi sürücü var olan yasalara göre sürücü her zaman kontrolü ele alabilmelidir ve kritik durumlarda bu inisiyatifi almalıdır. Bununla birlikte, Avusturya yasalarına göre otonom olsun ya da olmasın her aracın operatörü, söz konusu aracın yaptığı her hamleden sorumludur. Diğer bir bakış açısı olan araç üreticileri bağlamında ise araçlarda meydana gelen herhangi bir teknik arızadan üretici sorumludur. Öte yandan AI destekli sistemler kullanılarak otonom araçlar için geliştirilen algoritmaların, yanlış kararlar verme riski hiçbir zaman göz ardı edilmemesi gerektiği için araç operatörünün sorumluluğu daha yüksektir (CMS, 2020a).

9.2.2. Almanya

Almanya’da, SAE seviyeleri 1 (yardımlı sürüş) ve 2 (yarı otonom sürüş), hız sabitleme ve şerit takip uyarı sistemleri gibi yardımcı sistemlerin kullanımıyla bir süredir Alman Karayolu Trafik Kanunu ile uyumludur. Her iki durumda da sürücü, trafiği ve aracı kendisi izlemeli ve trafikten uzaklaşmamalıdır. Alman Karayolu Trafik Kanunu’ndaki 2017 yılında yapılan değişiklik, SAE Seviye 3’e uygun olarak yüksek oranda otonom sürüş için çerçeveyi oluşturmuştur. Koşullu otonom sürüş olarak sürücünün artık sistemi sürekli izlemesi gerekmemektedir, ancak gerekirse belirli bir tepki süresi içinde tekrar devralması istenmektedir.

2021 Otonom Sürüş Yasası ve 2022 Otonom Araç Onayı ve İşletme Yönetmeliği ile Almanya, SAE Seviye 4’ün yasal ve teknik uygulaması için yasal çerçeveyi oluşturmuştur. Buna göre sistem, aracın kontrolünü kalıcı olarak devralmaktadır. Araç ayrıca sürücü müdahalesi veya izlemesi olmadan, tanımlanmış bir çalışma aralığı içinde, daha uzun mesafelerin (örneğin otoyollarda) kat edilebilmesi mümkündür (Medium, 2023).

Almanya’da 28 Temmuz 2021’den bu yana yürürlükte olan “Otonom Sürüş Yasası”, sürücüsüz araçları düzenlemek için “Alman Karayolu Trafik Kanunu”nda önemli değişiklikler getirmiştir. Kanun, SAE-Seviye 4 otonom araçların fiziksel olarak bir sürücü olmadan, yalnızca belirlenmiş alanlarda “teknik denetim” altında çalışmasına izin vermektedir. Bu denetim, araçları uzaktan izleyen ve kritik durumlarda müdahale eden bir insan bulunmasını zorunlu tutmaktadır.

Bunlara ek olarak Almanya’da teste girecek olan otonom araçlarda kara kutu bulunması zorunlu tutulmuştur. Bir kaza durumunda, bir olay veri kaydedicisi, AB veri koruma hükümlerine uygun olarak anonimleştirilmiş araç sürüş verilerini saklayacaktır. Verilerden elde edilen bulgular,

ayrıntılı kaza araştırmaları yürütmeyi ve otomotiv mühendisliği gereksinimlerini hedefli bir şekilde geliştirmeyi mümkün kılacaktır (Connected Automated Driving, 2024)

9.2.3. Birleşik Krallık

Birleşik Krallık'ta, otonom araçlarla ilgili mevzuat çalışmaları yapılmasına rağmen, kapsamlı bir yasa hali hazırda bulunmamaktadır. Birleşik Krallık'ta geçmişte yaşanmış olaylar üzerine, emsal karar niteliğinde kararlar alınmıştır. 2017 yılında Uber şirketinin otonom test aracının bir bisikletli vatandaşın hayatını kaybetmesine neden olması sonrasında, aracın içindeki güvenlik operatörüne ceza kesilmiştir. Bundan iki yıl sonra ise Tesla aracının sebep olduğu ölümlü kazada, araba; otopilot modunda ilerlemesine rağmen, gerekli önlemi almadığı gerekçesiyle sürücüye ceza kesilmiştir (TechCrunch, 2022).

Çiftlik ve depo gibi kontrollü çevrelerde, otonom araçların kullanılmasına izin verilen Birleşik Krallık'ta, sınırları belirleyen geçerli bir yasa bulunmadığı için kamu alanları içerisinde kullanılmasına dair şüpheler devam etmektedir ve sorumluluğun kime ait olacağına dair sorular henüz cevaplanamamıştır (The Guardian, 2023).

Birleşik Krallık hükümeti, bağlantılı ve otonom araç teknolojisinin emniyetli bir şekilde ortaya çıkmasını sağlamak için 2015 yılında Bağlantılı ve Otonom Araçlar Merkezi'ni (CCAV) kurdu. İngiliz Standartları Enstitüsü (British Standards Institution, (BSI), deneme ve geliştirme testlerinden başlayarak bağlantılı ve otonom araçların güvenli ve emniyetli bir şekilde kullanımını hızlandırmak için bağlı ve otonom araç teknolojilerinin denenmesinde yer alan kuruluşlar olan CCAV ve Birleşik Krallık Bağlantılı ve Otonom Araç Ekosistemi ile ortaklaşa çalışmaktadır.

Bağlantılı ve otonom araç teknolojisinin ilerlemesinin en önemli alanlarından biri kullanıcı ve tüketicici güvenliğidir. Bağlantılı ve otonom araçlar, çok az insan girişiyle veya hiç insan girişi olmadan çalışacağından, kademeli olarak güven ve konfor ortamı sağlanmalıdır. Bu nedenle bugüne kadar yayınlanan kılavuzların çoğu, güvenli sistemlerin geliştirilmesiyle ilgilidir. Örneğin, PAS 1880, otonom araçlar için güvenli kontrol sistemleri geliştirmeye odaklanan bir dizi başlangıç kılavuzu sağlamaktadır.

Benzer şekilde PAS 1881, CCAV'nin kendi uygulama kurallarının yanı sıra ilgili deneme ve geliştirme testi faaliyetlerinin güvenliğini sağlamak için tasarlanmıştır. Bu spesifikasyon, Birleşik Krallık'taki otonom araç denemeleri ve geliştirme testleri için bu tür faaliyetlerin güvenli bir

şekilde gerçekleştirilebileceğini göstermek amacıyla minimum güvenlik durumu gereksinimlerini belirlemektedir.

Başka bir düzenleme olan PAS 1883, otonom sürüş sisteminin operasyonel tasarım alanını (ODD) veya amaçlanan çalışma koşullarını belirlemek için evrensel bir sınıflandırma sağlamaktadır. PAS, bağlantılı ve otonom araç teknolojilerini uygulayan kuruluşların; aracın çalışma ortamını net bir dille belirtmesine, karışıklığı önlemesine ve aracın yetenekleri (ve sınırlamaları) hakkında ortak bir görüş bildirmesine yardımcı olabilmektedir.

Siber güvenlik konusunda da çalışmalarını sürdüren BSI, bu konuda PAS 1885'i yayınlamıştır. PAS 1885, temel siber güvenlik ilkelerinin ana hatlarını çizerek kullanıcıların giderek daha fazla bağlantılı ve kooperatif akıllı ulaşım ekosistemleri (araçlar, altyapı ve insan yönleri) içindeki ürünlere, hizmetlere ve sistemlere yönelik tehditleri ve zararları azaltmalarına yardımcı olmaktadır.

Sürücüsüz araçların test edilme sayılarının artması, bu alandaki düzenlemelerin yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Aşağıdaki standartlar, bu tür sistemlerin üretim araçlarında kurulumunun güvenli olmasını sağlamaya yardımcı olmak amacıyla performans gerekliliklerini ve test prosedürlerini sağlamaktadır (British Standards Institution, 2023):

- BS ISO 11270: Şerit Takibi Destek Sistemleri
- BS ISO 11067: Viraj Hızı Uyarı Sistemleri
- BS ISO 15622: Adaptif Seyir Kontrol Sistemleri
- ISO 15623: Önden Çarpışma Uyarı Sistemleri
- BS ISO 19638: Yol Sınırından Ayrılmayı Önleme Sistemleri

9.2.4. Fransa

1 Eylül 2022 tarihinde yayınlanmış olan “Otonom araçların kullanım koşullarına ve otonom karayolu taşımacılığı sistemlerinin devreye alınmasına ilişkin Fransa yasal çerçevesi” adlı düzenlemede, otonom araçların seviyeleri ve buna uygun olarak oluşturulan hukuki yaptırımların genel taslağı ortaya çıkarılmıştır. Buna göre hukuki zeminde üç seviye bulunmaktadır:

- a) *Kısmi otonom araç*: Bir manevra sırasında bazı trafik tehlikelerine veya arızalarına yanıt vermek için devralma talebinde bulunmalıdır.

- b) *Yüksek otonom araç*: Manevra sırasında devralma talebi yapmadan, herhangi bir trafik tehlikesine veya arızasına (operasyonel tasarım alanı içinde) yanıt verebilir.
- c) *Tam otonom araç*: Manevra sırasında devralma talebi yapmadan, herhangi bir trafik tehlikesine veya arızasına cevap verebilir. Bu araçlar sadece uzaktan müdahale özelliğine sahip otonom karayolu ulaşım sistemlerinde kullanılabilir.

ARTS olarak kısaltılan “Otonom Yol Ulaştırma Sistemleri” bu noktada bir güvenlik koşulu belirtmektedir: “Herhangi bir otonom karayolu ulaşım sistemi veya mevcut ulaşım sisteminin bir parçası; en son teknolojiler, bu teknolojilerden elde edilen geri bildirimler ve ilgili trafik alanındaki öngörülebilir koşullar dikkate alınarak tasarlanmalı ve uygulanmalıdır. Bu sistemler; kullanıcılar, işletme personeli ve üçüncü tarafların güvenliğini sağlamalı ve mevcut güvenlik düzeyine veya benzer hizmetler sunan sistemlerin emniyet standartlarına eşdeğer bir emniyet seviyesi sunmalıdır. Ayrıca gerektiğinde bu emniyet seviyesini koruyacak şekilde güncellenmelidir.”

Bu koşul baz alınarak yapılan düzenlemeye göre bir araçta otonom bir sistem aktifleştirildiğinde, sürücüler manevra kabiliyetini araca bıraktığını kabul etmektedir. Ancak sürücü eğer kısmi veya yüksek bir otonom aracın içinde ise her zaman aracın kontrolünü ele alabilecek şekilde hazır bulunmalı ve gözünü yoldan ayırmamalıdır. Bunun yanı sıra ARTS kontrolünde bulunan yollarda, yüksek ve tam otonom araç sahipleri, uzaktan kontrole izin verdiklerini kabul etmiş sayılırlar. Bu durumda ani manevra gerektiren durumlara karşılık uzaktan kontrolü elinde bulunduran kişi, aracı takip ediyor olmalıdır (Ministère Chargé des Transports, 2022).

9.2.5. İspanya

İspanya'nın araç değerlendirmesine ilişkin mevcut mevzuatı, geleneksel araçlar için tasarlanmış olan 2007/46/AK sayılı Direktife dayanmaktadır. Bununla birlikte, modern araçlardaki yazılım ve otonom yeteneklerin hızla gelişmesiyle birlikte, aracı kontrol eden insan sürücülerin geleneksel konsepti de gelişmektedir. Mevcut düzenlemeler, otonom araçların dinamik doğasını ve sık yazılım güncellemelerini ele alacak şekilde tasarlanmadığı için bu durum zorluklar içermektedir. Bu değişen durumlara uyum sağlamak için İspanya, Taşıtlar Yasası'nda özellikle otonom araçların benzersiz özelliklerini ve yol güvenliği üzerindeki etkisini ele alan yeni hükümler getirmeyi planlamakta ve karmaşık yollarda gezinirken otonom araçların yüksek güvenlik ve çevre standartlarını karşılamasını sağlamayı amaçlamaktadır. İspanya, otonom araç yeteneklerini

tekdüze bir şekilde sınıflandırmak için SAE tarafından tanımlanan otomasyon seviyelerini ve ilgili terimleri benimseyecektir.

Yeni düzenlemeler sırasında karşılaşılan zorluklardan biri, sık yazılım güncellemeleri nedeniyle otonom araçların “sürekli değişen” doğasıdır. Yapılacak düzenlemelerin, sabit mekanik kurulumlara sahip geleneksel araçlardan ayrılarak bu güncellemeleri hesaba katması gerekmektedir.

Güvenlik gerekliliklerine ve teknik standartlara uygunluğu sağlamak için otonom araç üreticilerinin gerekli sertifikaları sağlaması gerekecektir. Sertifikalar, otonom araçların ODD’yi detaylandırarak güvenli bir şekilde çalıştığı koşulları belirtmektedir. Ek olarak OEDR ile ilgili özellikleri, karayolu trafik güvenliği kurallarına ve yönetmeliklerine uygun olmalıdır.

Sertifikasyonlar ayrıca gerçek dünya yol testleri veya simülasyonları yoluyla tüm olası ODD ve OEDR kombinasyonlarını kapsayan önceki testleri de tanımlayacaktır. Siber güvenlik önlemleri ve HMI özellikleri de ele alınması gereken diğer önemli unsurlar arasındadır (Ministerio del Interior, 2016).

9.2.6. İtalya

İtalya’da, belirli koşullar altında, otonom araçların (SAE Düzeyleri 3-5) halka açık yollarda test edilmesine izin verilmektedir. İnsan müdahalesi olmayan, tamamen otonom araçları içeren Seviye 5 otonom araç testine, herhangi bir zamanda aracın kontrolünü ele alabilecek bir kişinin gerekliliği sağlanamadığı gerekçesiyle izin verilmemektedir. Seviye 3 ve 4 otonom araç testi için ise Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı’ndan önceden özel izin alınması gerekmektedir.

Otonom araçların neden olduğu zararların sorumluluğu, kendilerine özel kurallar olmaması nedeniyle İtalya’daki tüm araçlar için geçerli olan mevcut genel sorumluluk yasasına uygun olarak değerlendirilmektedir. Araç sahibi, aracın iradesi dışında kullanıldığını ispat etmedikçe, araç sahibi ve sürücü, olaydan ve ortaya çıkan hasardan sorumludur. Ayrıca İtalyan yasalarına göre üretici firma da genel sorumluluk kurallarına göre araçtaki kusurlardan kaynaklanan hasarlardan sorumlu tutulabilmektedir.

Diğer bir konu olan sigorta konusunda ise İtalya somut adımlar atmıştır. Buna göre otonom araçlarla test yapabilmek için yetki almak isteyenlerin, öncelikle bu araçların hukuki sorumluluklarını kapsayan bir sigorta sözleşmesi yapması gerekmektedir. Bu düzenleme, test

süreçlerinde doğabilecek olası sorumlulukların hukuki bir zemine oturmasını sağlamak amacıyla hayata geçirilmiştir. Sigorta kapsamı, otonom sürüş kabiliyetine sahip olmayan benzer bir araç için yasanın gerektirdiği azami miktarın dört katı olmalıdır. Sigorta sözleşmesi, aracın otonom yapısını ve kamuya açık yollarda kullanımını açıkça belirtmelidir (CMS, 2020c).

9.3. ABD

ABD’de otonom araçların test edilmesini ve kullanımını düzenlemek için çeşitli yaklaşımlar benimsenmektedir. Bu düzenlemeler eyaletten eyalete değişkenlik göstermektedir ve eyaletler arasında tutarlılık söz konusu değildir. Örneğin Michigan’da otonom araçların kullanılmasına izin veren yasalar çıkarılmıştır. Herhangi bir sürücünün direksiyon başında olmasını gerektirmemekle birlikte, sürücü olduğu takdirde ehliyetli olmasını şart koşturmaktadır. Bir başka eyalet olan Pensilvanya ise otonom araçların test edilmesine izin vermekte ve “çalışma bölgesi araçları” tanımını ortaya koymaktadır. Normal koşullarda ehliyetli bir sürücünün bulunması bir zorunluluk olmasına rağmen, çalışma bölgesi araçlarında tam otonom sürüş kullanılabilmektedir. Florida, Georgia, Nevada, Kuzey Karolina, Kuzey Dakota, Utah ve Batı Virginia eyaletleri ise SAE Seviye 4 ve 5 otonomluğa sahip araçların kullanımı için sürücü belgesi istememektedir. New Hampshire, Texas ve Tennessee eyaletlerinde, otonom araçlarda ehliyetli bir sürücünün bulunması zorunlu değildir. Bu kural, sürücünün fiziksel olarak araçta olup olmamasından bağımsız olarak geçerlidir. ABD’nin hukuki yapısı buna izin vermekle birlikte, federal bir üst kuruluş gözetiminde daha kesin çerçevelerle ülke genelinde birlik sağlanması da hukukçular tarafından önerilmektedir (MotorTrend, 2023). Amerikan Barolar Birliği’nin otonom araçlar hakkındaki bir yazısında, ABD Senato’sunun yasama yetkisini bu konu hakkında kullanacağı belirtilmiştir (American Bar Association, 2018).

9.4. Asya-Pasifik Ülkeleri

9.4.1. Avustralya

Avustralya’da, şeritte kalma yardımı ve otonom acil frenleme gibi otonom özelliklerle donatılmış araçlar halihazırda ticari olarak mevcuttur. Bu özellikler sürücülere görevlerinde yardımcı olmaktadır, ancak aracı kontrol etme sorumluluğu her zaman lisanslı bir insan sürücüye aittir. Daha karmaşık otonom araçlar için denemeler hem yurt içinde hem de uluslararası çalışmalar olarak devam etmesine rağmen, otonom sürüş sisteminin; tüm sürüş özelliklerinin tam kontrolünü ele

aldığı araçlar, Avustralya’da henüz ticari olarak mevcut değildir. Tam otonom araçların bulunmaması, ehliyetli bir insan sürücünün, aracın kontrolünde olmasını zorunlu kılan mevcut sürüş yasalarıyla uyumludur.

Otonom araçların geleceğine hazırlanmak için Avustralya Federal Hükümeti ve tüm eyalet ve bölge hükümetleri, Avustralya Hükümetleri Konseyi (COAG) Ulaştırma Altyapısı Konseyi’ne aktif olarak katılmaktadır. Bu konsey, iş birliği içinde öncelikleri belirlemekte ve otonom araçlar için ulusal düzeyde tutarlı hazırlıklar konusunda kararlar almaktadır. Ulusal Ulaştırma Komisyonu ve Austroads, konseyin karar verme sürecini bilgilendirmek için girdi sağlamaktadır.

Ülkedeki ulaşımın gelişiminden sorumlu olan Geleceğin Ulaşım Teknolojisi Ofisi, otonom araçların güvenliğini ve başarısını etkileyen çeşitli politika yönlerini koordine etme görevini üstlenmekte olup buna siber güvenlik, iletişim teknolojisi ve yenilikle ilgili girişimler de dahildir.

Avustralya’da, ulusal düzeyde tutarlı bir düzenleyici çerçeve oluşturarak kamu yollarında otonom araçların emniyetli bir şekilde çalışmasını sağlamak için Otonom Araç Emniyeti Yasası (AVSL) geliştirilmektedir. Otonom sürüş sistemi (ADS) güvenliği sorumluluğunu, operasyonel ömrü boyunca sistemin emniyetini sağlamak için gerekli becerilere ve yeteneklere sahip olması gereken Otonom Sürüş Sistemi Kuruluşu (ADSE) olarak bilinen bir kuruluşa vermektedir. AVSL; mevcut eyalet, bölge ve Commonwealth yasalarında yapılan güncellemelerle tamamlanan 2018 Karayolu Taşıt Standartları Yasası (Road Vehicle Standards Act 2018) da dahil olmak üzere otonom araçların pazara girmeden önce güvenlik standartlarını karşılama, yollarda emniyeti sürdürme ve kullanıcı sorumlulukları konularını açıklığa kavuşturacaktır. Bu çerçeve, otonom araçların güvenli entegrasyonunu kolaylaştırırken potansiyel toplumsal faydalarını en üst düzeye çıkarmak için tasarlanmıştır (Australian Government | Department of Infrastructure Transport Regional Development Communications and the Arts, 2024).

2030 yılına kadar Avustralya, yaygın olarak bulunan Seviye 3 otonom özel araçlara ve Seviye 5’e kadar otonom toplu taşıma araçlarına sahip olmayı hedeflemektedir. Bu araçların, ABD’deki ortak mevzuatla desteklenecek olan Federal Otomotiv Güvenliği Yasası 2026’ya tabi olması planlanmaktadır. Yasa, geleneksel araçlara yönelik düzenlemelere benzer şekilde, sürücüsüz araçları tüm yönleriyle kapsayacak ve kolluk kuvvetleriyle etkileşimde bulunulması sırasında; veri gizliliği, bileşen arızasından kaynaklanan kazalarda sorumluluk ve sürücüsüz araç kullanımına özgü yeni yol kuralları gibi konuları ele alacaktır. Ayrıca toplanan veriler; sigorta konusunda da

ürünleri segmentlere ayırma ve fiyatlandırmada, iyi sürüş performansını ödüllendirmede ve gerçek zamanlı kaza verilerine dayalı hasar taleplerini yönetmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Yürütülen çalışmalarla otonom araçların Avustralya'nın ulaşım sistemine güvenli ve verimli bir şekilde entegrasyonunu sağlayan kapsamlı bir yasal çerçeve oluşturulması amaçlanmaktadır (Barry Nilsson, 2023).

9.4.2. Çin

Çin Ulaştırma Bakanlığı, kendi kendine giden taksilerin, otobüslerin ve kamyonların ülke çapında geliştirilmesini ve kullanımını kolaylaştırmayı amaçlayan, toplu taşımada tamamen otonom araçların ticari kullanımını düzenlemek için yeni taslak yönergeler yayınlamıştır. Taslak yönergeye göre sürücüsüz otobüslerin kapalı güzergahlarda çalışmasına izin verilirken sürücüsüz taksilerin, hafif ve kontrollü trafik koşullarına sahip yollarla sınırlandırılması öngörülmektedir. Patlayıcılar gibi tehlikeli maddelerin taşınmasına ilişkin kısıtlamalar dahilinde, belirli alanlarda sürücüsüz mal taşımacılığına da izin verilmesi planlanmaktadır.

Güvenliği ve hesap verebilirliği sağlamak için otonom toplu taşıma hizmeti operatörlerinin, iş güvenliği ve zorunlu otomobil sorumluluklarını kapsayan sigortanın yanı sıra 5 milyon yuandan (yaklaşık 740.000 ABD Doları) fazla üçüncü şahıs sorumluluk sigortası taşımaları istenecektir.

Otonom araçların yönetimi, koşullu ve yüksek düzeyde otonom olarak sınıflandırılan araçlarda bir insan sürücünün varlığını zorunlu kılarak güvenliği ön planda tutmaktadır. Tamamen otonom araçlarda, uzak bir sürücü veya güvenlik operatörü gerekli olacaktır.

Kaza veya sistem arızası durumunda; otonom araçlar, kontrol ve uzaktan talimatlardaki değişikliklerle ilgili ayrıntılar da dahil olmak üzere, bir olaydan en az 90 saniye öncesini ve 30 saniye sonrasını kapsayan verileri kaydedecek şekilde donatılmalıdır. Otonom toplu taşıma hizmetlerinin operatörleri, bu verileri yerel makamlara sağlayacaktır.

Bu taslak yönergelerin yayınlanmasından önce, Shenzhen'in güney teknoloji merkezi, akıllı bağlantılı araçların çalıştırılmasının yasal yönlerini ele alan ve sorumluluğu açıklığa kavuşturan otonom, sürücüsüz araçlar için özel yerel düzenlemelerini tanıtmıştır. Ayrıca 2022 yılının mart ayında Çin, otonom sürüşü derecelendirmek için ilk ulusal standartlarını uygulamaya koymuş ve sürücüsüz arabaları resmi olarak insan sürücülere dayanan sıfır seviyesinden, tamamen otonom sürüşü kapsayan Seviye 5'e kadar tanımlamıştır (South China Morning Post, 2022).

9.4.3. Güney Kore

Güney Kore, sıkı hükümet düzenlemeleri nedeniyle otonom araç geliştirmede nispeten yavaş ilerlemektedir. Araştırma amacıyla kamuya açık yollarda otonom araçlar için geçici çalışma izni almanın oldukça zahmetli olması nedeniyle 2016'dan bu yana verilen izinler, sınırlı sayıdadır.

Güney Kore, otonom sürüş için düzenlemeleri ve altyapıyı iyileştirmek amacıyla “Geleceğin Araç Endüstrisi Geliştirme Stratejisi”ni duyurmuştur. Strateji, 2024 yılına kadar otonom sürüş için gerekli altyapıyı tamamlamayı ve 2027 yılına kadar Seviye 4 otonom araçları ticarileştirmeyi hedeflemektedir. Seviye 3 ve Seviye 4 araçlar için güvenlik standartlarının yanı sıra tam otonom araçlar için bir sigorta sistemi ve performans doğrulama sisteminin uygulanması planlanmaktadır.

Otonom araç sektörünü desteklemek için “Otonom Araçların Ticarileştirilmesinin Teşviki ve Desteklenmesi Hakkında Kanun (AVA)” çıkarılmıştır. AVA, otonom araçları test etmek için belirli düzenlemelerden muaf tutulan belirli ‘test bölgeleri’ sunmaktadır. Ayrıca AVA, kişisel verileri korurken otonom araç geliştirme için büyük verilerin toplanmasına ve kullanılmasına izin vermektedir.

Değiştirilen “Otomobil Kaza Tazminat Garantisi Kanunu”, özellikle sürücüsüz araç kazalarının mağdurlarını korumak ve onlar için derhal tazminat sağlamak amacıyla yeniden düzenlenmiştir. Kanun, otonom bir aracın işletimi sırasında meydana gelen herhangi bir zararın öncelikle araç sahibi tarafından tutulan sigorta poliçesi ile karşılanacağını, sigorta şirketinin ise hasarın araçtaki bir kusurdan kaynaklanması durumunda, üreticiden tazminat talep edebileceğini hükme bağlamaktadır. Kanundaki değişiklik, aynı zamanda otonom araç üreticilerinin her aracı; bir otomobil kazasının nedenlerinin daha doğru ve teknik bir şekilde araştırılmasını sağlayan bir otonom sürüş bilgi kayıt cihazıyla donatmasını gerektirmektedir. Değiştirilen Tazminat Garantisi Kanunu, sürücüsüz araç kazalarındaki sorumluluğu net bir şekilde tanımlamamaktadır ve çözüm için daha fazla değişiklik ve ilgili mahkeme içtihatları gerektirmektedir (International Bar Association, 2023).

9.4.4. Japonya

“32 numaralı Karayolu Trafik Kanununda Kısmen Değişiklik Yapan Kanun”, Nisan 2022’de yürürlüğe girmiş ve belirli otonom operasyonları için bir izin sistemi (SAE Sürüş Otomasyonu

Seviyelerinde Seviye 4) tesis edilmiştir. Otonom sürüşe ilişkin hükümler, Nisan 2023'te yürürlüğe girmiştir.

“20 numaralı Karayolu Trafik Yasasında Kısmen Değişiklik Yapan Kanun”, Mayıs 2019'da kabul edilmiş ve Seviye 3 otonom araç kullanan sürücüler için yükümlülükler belirlenmiştir. Otonom sürüşe ilişkin hükümler, Nisan 2020'de yürürlüğe girmiştir.

Japonya Ulusal Polis Teşkilatı, otonom ADAS ve Seviye 3 otonom sürüşle ilgili düzenlemelerde yetkilidir. Bu kapsamda, sürücülerin sistemlerin performansını doğru bir şekilde anlamalarının önemine dikkat çekilmekte, ADAS'a aşırı güvenilmesi veya yanlış kullanımı sonucu meydana gelebilecek kazalara vurgu yapılmaktadır. ADAS kullanan sürücülerin, her zaman çevrelerini dikkatle izlemeleri ve güvenli sürüş için tüm sorumluluğu üstlenmeleri gerektiği kabul edilmektedir.

Seviye 3 otonom sürüşte, belirli koşullar karşılanmazsa, sürücülerin sürüşü otonom operasyonel cihazlardan, derhal ve uygun şekilde devralması gerekmektedir. Sürücülerin, devralacak cihazlardan gelen isteklere uygun şekilde yanıt verebilmeleri için kullanım koşullarını, sistem yeteneklerini ve sürüş noktalarını doğru bir şekilde anlamaları gerekmektedir (National Police Agency, 2023).

9.5. Türkiye

Dünyadaki otonom araç geliştirme ve test süreçleri göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye'de otonom araç teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik mevzuat çalışmalarının yapılması, kritik öneme sahiptir. Geliştirmelerde referans alınacak hukuki zeminin bulunması, otonom araçlar alanındaki gelişmelerin de belirli bir çizgide ilerlemesini sağlayacak, bunun yanı sıra gelecekte yaşanabilecek olan sorunları önlemeye yardımcı olacaktır. Bu bağlamda; otonom araçların geliştirilmesi ve test süreçlerine ilişkin izin alınması, trafikte kullanımı, ehliyet düzenlemeleri, veri toplama ve işleme konuları, yol bileşenlerinin denetlenmesi ve nihai olarak sorumluluk belirleme süreçlerinin dikkatle incelenmesi gerekmektedir.

2024 yılının aralık ayında Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından hazırlanan “Tam Otonom Araçların Otonom Sürüş Sistemine İlişkin Motorlu Araçların Tip Onayı Hakkında Yönetmelik”, Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. AB'nin 2022/1426 sayılı düzenlemelerine uyum çerçevesinde hazırlanan bu yönetmelik, M (motorlu yolcu taşıma araçları) ve N (motorlu

yük taşıma araçları) kategorisindeki araçların otonom sürüş sistemleriyle donatılmasına yönelik idari hükümleri, teknik gereklilikleri ve özel test prosedürlerini kapsamaktadır. Aynı zamanda, otonom sürüş sistemlerinin geliştirilmesi ve tip onayı süreçlerine dair yasal bir çerçeve sunmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2024). Yönetmelik, üç ana senaryo çerçevesinde otonom sürüş sistemlerini değerlendirmektedir:

- İlk senaryoda, belirli alanlarda insan ve yük taşımacılığı amacıyla tasarlanmış tam otonom araçlar yer almaktadır.
- İkinci senaryo, sabit güzergâhlarda çalışan ve belirli bir başlangıç ile varış noktasına sahip araçları kapsamaktadır.
- Üçüncü senaryoda ise belirli otopark tesislerinde, otonom park sistemini kullanan araçlar değerlendirilmektedir. Bu park sistemleri, gerekli durumlarda otopark altyapısını (sensörler, konum belirleme işaretleri gibi) kullanabilmekte ya da bağımsız çalışabilmektedir.

Otonom araçların tip onayı başvuru süreci, araçların teknik özelliklerinin ve otonom sürüş sistemine dair bilgilerin üreticiler tarafından sunulmasını gerektirmektedir. Bu bilgiler, tip onay kuruluşları veya teknik servisler tarafından detaylı bir şekilde değerlendirilecektir. Araçların, belirlenen teknik gerekliliklere uygunluklarını kanıtlamak için özel testlerden geçirilmesi sağlanacaktır. Başarılı bir değerlendirme süreci sonunda, araçlara, AB standartlarına uygun tip onay belgeleri verilecektir.

Bu yönetmelik, otonom sürüş sistemlerinin işlevsel güvenlik, operasyonel güvenlik ve olası arıza senaryolarına yönelik düzenlemeler içermektedir. Ayrıca, otonom araçların tasarım, geliştirme, imalat ve kullanım süreçlerini içeren yaşam döngüsü boyunca uyulması gereken kriterleri belirlemektedir. Yönetmelik, Türkiye’de otonom araç teknolojilerinin yaygınlaşması ve güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlamayı amaçlayan önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

10. OTONOM ARAÇLAR İÇİN TEST PROSEDÜRLERİ

Otonom araçların test prosedürlerinin hazırlanması; otonom araçların güvenliğini, uyumluluğunu ve gerçek dünya operasyonlarına hazır olmasını sağlamak için test etmek üzere sistematik adımların ana hatlarını çizmeyi kapsamaktadır. Bununla birlikte, Türkiye için özel hususlar dikkate alınarak işlevsel, güvenlik, çevresel ve performans testleri için ayrıntılı bir plan oluşturulabilir. Ayrıntılı dokümantasyon, yerel testler ve sürekli iyileştirme, Türkiye’de kamu yollarında hizmet veren güvenli ve yasal uyumlu bir otonom araç sistemi oluşturmak için gereklidir. Aşağıdaki bölümlerde, otonom araçların test edilmesi için göz önünde bulundurulması gereken prosedürler için bir çerçeve ortaya koyulmaktadır:

10.1.Genel Test Gereksinimleri

10.1.1. Yasal ve Düzenleyici Uyumluluk

- *Lisans ve İzin Gereksinimleri:* Otonom araç testinin; sigorta, trafik yasalarına uyum ve olayların bildirilmesi dahil olmak üzere ülkedeki yasal ve lisanslama gereksinimlerinin karşılandığı doğrulanmış olmalıdır.
- *Veri Gizliliği ve Siber Güvenlik Uyumluluğu:* Araç tarafından toplanan verilerin depolanması ve işlenmesi, ülkenin yasalarına uygun olmalıdır.

10.1.2. Güvenlik ve Güvenilirlik

- *İşlevsel Emniyet Testi:* Otonom aracın belirlenen koşullarda emniyet işlevlerini doğru şekilde yerine getirip riskleri azaltmasının doğrulanması yapılmalıdır.
- *Arıza Önleyici Mekanizmalar:* Acil durumlarda güvenli kapatmalar ve geri çekilme işlemleri gibi arıza önleyici protokoller bulunmalıdır.
- *Çarpışma Önleme Testi:* Aracın engelleri algılama ve kentsel ve kırsal alanlar dahil olmak üzere çeşitli ortamlarda çarpışmaları önleme kapasitesinin ölçüm testleri yapılmış olmalıdır.
- *VRU Algılama:* Otonom araçların, VRU’lara olan hassasiyetinden emin olmalıdır.
- *Çevresel Uyum Testi:* Otonom aracın farklı hava ve ışık koşullarındaki becerileri test edilmelidir.

10.1.3. Performans ve Kullanıcı Deneyimi

- *Sürüş Konforu*: Aracın hızlanması, yavaşlaması ve virajları alması, akıcılık açısından test edilmelidir.
- *Trafik Akışı Entegrasyonu*: Aracın insan tarafından sürülen araçlarla sorunsuz bir şekilde birleşme, yol verme ve etkileşim kurma yeteneği değerlendirilmelidir.
- *Navigasyon Doğruluğu*: Rotadan sapma durumunda, navigasyon sistemlerinin doğruluğu için rota planlama ve yeniden kalibrasyon süreçlerinin test edilmesi gerekmektedir.

10.2. Türkiye'ye Özgü Test Koşulları

Otonom araç teknolojilerine yönelik test standartları, küresel temel gereklilikleri içermesine rağmen, Türkiye'ye özgü uyarlamalar gerektiren test koşulları bulunmaktadır:

10.2.1. Altyapı Uyumluluğu

- *Kentsel Yol Tasarımı*: Türkiye'nin şehir içi yolları, özellikle tarihi bölgelerde dar ve karmaşık olabilmektedir. Otonom araç hem geniş modern yollarda hem de dar, dolambaçlı sokaklarda test edilmelidir.
- *Otoyol ve Şehirler Arası Karayolu Testi*: Türkiye'deki otoyollar ve Kuzey Marmara Otoyolu gibi yüksek hızlı yollar, sık sık ücretli geçiş alanlarına sahiptir. Otonom araçların, bu yollardaki ücret sistemlerini, yüksek hızları ve şerit disiplinini yönetme kabiliyeti test edilmelidir.
- *Dönel Kavşaklar ve Kontrolsüz Kavşaklar*: Türkiye'de hem şehirlerde hem de kırsal bölgelerde sıkça rastlanan bu tür kavşaklar, aracın şerit işaretleri veya trafik sinyalleri olmadan karmaşık trafik akışlarını yönetmesini gerektirmektedir.

10.2.2. Bölgesel Trafik Düzeni ve Davranışlar

- *Agresif Sürüş Simülasyonu*: Sürücülerin hızlı şerit değişimleri ve agresif şerit değiştirme gibi davranışlar sergileyebileceğini dikkate alarak otonom araç, benzer sürüş durumlarını öngörebilmelidir.
- *Kentsel Merkezlerde Yaya Davranışları*: Yayalar genellikle belirli alanlar dışındaki noktalardan da yol geçişi yapabilmektedir. Bu nedenle otonom araç, beklenmedik yaya geçişlerine karşı duyarlılık göstermelidir.

10.2.3. Çevresel ve İklimsel Koşullar

- *Değişken Hava Koşulları:* Türkiye’de, Karadeniz Bölgesi’nde yoğun yağmur yağışından Doğu Anadolu’da kar yağışına kadar farklı iklim koşulları yaşanabilmektedir. Otonom aracın performansı, bu değişken koşullar altında test edilmelidir.
- *Sıcaklık Aşırılıkları:* İç Anadolu gibi bölgelerde sıcak yazlar ve soğuk kışlar yaşanmaktadır; otonom araç donanımının ve yazılımının sıcaklık değişimlerine dayanıklı olması gereklidir.
- *Kıyı ve Dağlık Arazi:* Türkiye’nin çeşitli coğrafi yapısı, kıyı şeridi uçurumları ve dağlık bölgeleri içermektedir. Otonom araçlar; dik eğimler, keskin dönüşler ve sinyal engellemeler içeren arazilerde test edilmelidir.

10.3. Detaylı Test Planı

10.3.1. İşlevsel Testler

- *Amaç:* Engel tespiti, şeritte kalma, otomatik frenleme ve ACC gibi temel işlevlerin doğrulanmasıdır.
- *Test Ortamları:* İlk testler için kapalı pistler, ardından karmaşık trafik sinyalleri ve yoğun yaya trafiği olan şehir içi alanlar (örneğin İstanbul’un Taksim Meydanı) seçilebilir.
- *Başarı Kriteri:* Temel manevraların tamamlanması, trafik kurallarına uyum ve karmaşık kentsel ortamlarda minimum hata olabilir.

10.3.2. Güvenlik ve Acil Durum Yanıt Testleri

- *Amaç:* Otonom aracın acil durumlarda güvenlik protokollerinin sağlam olduğunu doğrulamaktır.
- *Test Yöntemleri:* Kapalı test pistlerinde ve hazır olduğunda kontrollü kamu ortamlarında, kazalar, ani frenleme senaryoları veya sistem arızaları simüle edilerek test yapılır.
- *Başarı Kriteri:* Otonom araç; acil durumlarda güvenli bir şekilde durmalı, gerekirse manuel kontrol moduna geçmeli ve Türkiye’nin ulusal yol güvenliği standartlarına uygun acil durum protokollerine uymalıdır.

10.3.3. Mevzuata Uyum Testleri

- *Amaç:* Otonom aracın, Türkiye’de yürürlükte olan 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu, araç teknik standartları, KVKK, sigorta ve hukuki sorumluluk hususları, çevre düzenlemeleri, şehir içi trafik kuralları, güvenlik protokolleri vb. tüm ulaştırma düzenlemelerine uygun hareket etmesini sağlamaktır.
- *Test Aşamaları:* Düzenleyici mevzuata uyum incelemeleri yapılır.
- *Başarı Kriteri:* Otonom araç; tüm yasal, sigorta ve güvenlik standartlarını karşılamalı, gerekli izinleri almış olmalı ve kamu yollarında kullanım onayı için incelemeleri başarıyla tamamlamalıdır.

10.3.4. Türkiye’de Bulunan K-AUS Uygulamaları ile Entegrasyon Testleri

- *Amaç:* Otonom aracın, Türkiye’de bulunan kooperatif akıllı ulaşım sistemleri (K-AUS) uygulamalarıyla uyumlu çalışabilirliğini ve bu sistemlerle etkin entegrasyonunu test etmektir.
- *Test Yöntemleri:* K-AUS senaryoları simüle edilmelidir.
- *Başarı Kriteri:* Otonom araç; K-AUS haberleşmelerine doğru bir şekilde yanıt vermeli ve uyumlu halde çalışmalıdır.

10.4. Değerlendirme Metrikleri

- *Güvenlik Puanı:* Kilometre başına olay veya devre dışı kalma sayısını tanımlar.
- *Navigasyon Doğruluğu:* Belirlenen varış noktalarına başarılı, zamanında varış yüzdesini tanımlar.
- *Uyum Oranı:* Türk trafik düzenlemelerine uyum yüzdesini tanımlar.
- *Kullanıcı Konforu:* İvmelenme, frenleme yumuşaklığı ve genel araç stabilitesi ile ölçülür.
- *Acil Durum Yönetimi:* Acil frenleme veya manuel müdahale taleplerine yanıt süresini ve doğruluğunu ölçer.

10.5. Test Raporlama ve Dokümantasyon

- *Test Günlükleri:* Her gün yapılan test faaliyetleri, elde edilen sonuçlar ve karşılaşılan sorunlar belgelenir.

- *Olay Raporları*: Tüm devre dışı kalmalar, çarpışmalar veya arızalar detaylı bir şekilde kaydedilir ve iyileştirme önerileri sunulur.
- *Performans Özeti*: Haftalık olarak güvenlik, doğruluk ve konfor puanlarını içeren performans ölçütlerinin özetini içerir.

10.6.Son Onay ve Kamuya Açık Yol Testi

Kamuya açık yol testleri, otonom araçların gerçek dünya koşullarına uyum yeteneğini değerlendirmek ve güvenliğini sağlamak için kritik bir aşamadır. Bu kapsamda, otonom araç test çalışmaları için yol gösterici bir nitelik taşıyacak adım adım bir plan ve kural seti oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Aşağıda, kamuya açık yol testlerinin düzenlenmesi ve uygulanması için bir yol haritası önerilmiştir:

10.6.1. Yasal Çerçevenin Belirlenmesi ve Onay Süreci

- *Mevzuat Analizi*: 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu ve ilgili yasal düzenlemelerin kapsamlı bir incelemesi yapılarak otonom araç testlerinin yasal zeminine uygunluğu sağlanır.
- *Test İzinleri*: Kamuya açık yollarda test yapmak isteyen kuruluşlar için standart başvuru formları, sigorta gereklilikleri ve risk yönetimi protokollerini içeren bir izin süreci oluşturulur.
- *Sorumluluklar*: Veri gizliliği, sigorta kapsamı ve kazalar durumunda sorumluluk gibi hususları açıkça tanımlayan bir çerçeve hazırlanır.

10.6.2. Test Bölgelerinin Seçilmesi

- *Pilot Alanların Belirlenmesi*: Testlerin ilk aşamalarında düşük yoğunluklu trafik bölgeleri veya belirli zaman dilimlerinde trafiğe kapalı alanlar seçilir.
- *Çeşitlilik Sağlanması*: Trafik yoğunluğu, altyapı (örneğin dönel kavşaklar), yaya geçitleri ve iklimsel faktörlerin çeşitliliğini yansıtan test bölgeleri belirlenir (örneğin İstanbul şehir içi, Karadeniz Bölgesi'ndeki kırsal yollar vb.).
- *Yerel Yönetimlerle İş Birliği*: Yerel yönetimlerle koordinasyon sağlanarak test bölgelerindeki düzenlemeler belirlenir.

10.6.3. Test Kriterlerinin Standartlaştırılması

- *Güvenlik Kriterleri:* Test araçlarının belirli emniyet standartlarını karşılaması gereklidir. Örneğin çarpışma önleme sistemlerinin ve acil durum protokollerinin belirli bir başarı oranına sahip olması gerekir.
- *Performans Kriterleri:* Navigasyon doğruluğu, trafik akışı entegrasyonu ve kullanıcı konforu gibi ölçütler için metrikler belirlenir.
- *Dokümantasyon Gereklilikleri:* Testlerin kapsamlı bir şekilde raporlanması için şablonlar ve raporlama prosedürleri hazırlanır.

10.6.4. Test Sürecinin Aşamalandırılması

- *Kapalı Alan Testleri:* İlk aşamada tüm sistemler, simülasyon ortamlarında veya kapalı test alanlarında değerlendirilir.
- *Kısıtlı Kamuya Açık Testler:* Belirlenen pilot bölgelerde, sınırlı zaman dilimlerinde ve kontrollü trafik koşullarında testler gerçekleştirilir.
- *Geniş Ölçekli Testler:* İlk aşamaların başarıyla tamamlanmasının ardından, yoğun trafik koşulları dahil olmak üzere daha geniş alanlarda testler yapılır.

10.6.5. Gerçek Zamanlı İzleme ve Veri Toplama

- *İzleme Sistemleri:* Test sürecinde otonom araçların performansını gerçek zamanlı olarak izlemek için trafik kontrol merkezleriyle bağlantılı izleme sistemleri kurulur.
- *Veri Analizi:* Tüm testlerden elde edilen veriler, düzenli olarak analiz edilir ve performans iyileştirme önerileri geliştirilir.
- *Geri Bildirim Döngüsü:* Elde edilen veriler ve raporlar, mevzuat ve test prosedürlerinin iyileştirilmesi için kullanılır.

10.6.6. Toplum Farkındalığı ve Katılımı

- *Bilgilendirme Kampanyaları:* Test alanlarında yaşayan vatandaşlara, otonom araç testleri hakkında bilgiler verilerek toplumsal farkındalık artırılır.
- *Geri Bildirim Mekanizmaları:* Yerel toplulukların endişelerini ve önerilerini iletebilecekleri iletişim kanalları sağlanır.

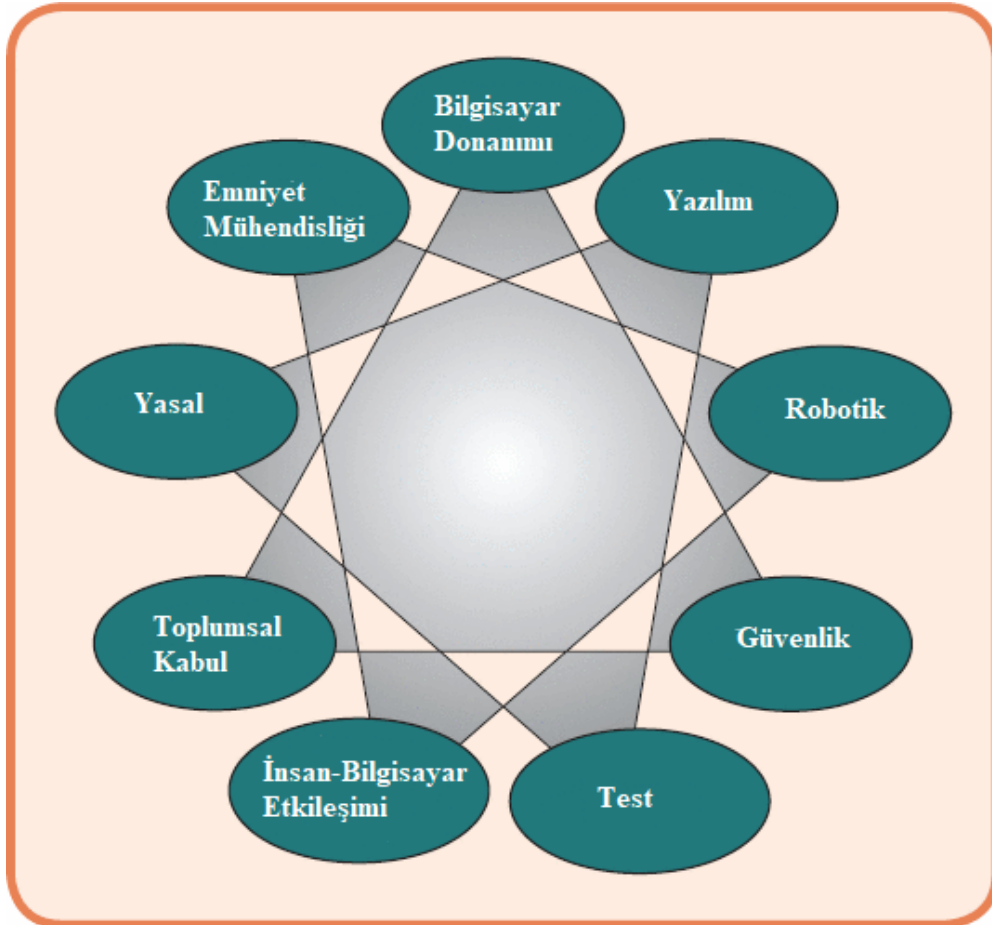
- *Güvenlik Eğitimleri:* Otonom araçların çevresinde güvenli davranışları teşvik etmek için eğitim çalışmaları düzenlenir.

10.6.7. Sonuçların Değerlendirilmesi ve Sürekli İyileştirme

- *Pilot Test Raporu:* Her bir test aşamasının sonunda kapsamlı bir rapor hazırlanır.
- *Ulusal Standartların Geliştirilmesi:* Test sonuçlarına dayalı olarak Türkiye'ye özgü otonom araç standartları oluşturulur.
- *Sürekli İyileştirme:* Test prosedürleri, teknolojik gelişmelere ve topluluk geri bildirimlerine göre düzenli olarak güncellenir.

11. OTONOM ARAÇLARDA EMNİYET

Otonom araçlarda emniyet konusu, birçok disiplini içerisinde barındırır ve bu disiplinler birbiri ile etkileşim içerisinde. Donanımdan yazılıma, güvenlikten toplumsal kabul ve hukuki düzenlemelere kadar birçok disiplinde, birbirine bağlı alanların ele alınmasını gerektirir. Otonom araçların emniyetli bir şekilde yaygınlaşması için bu disiplinler arasında koordineli bir strateji oluşturulmasına ihtiyaç vardır. Bu disiplinler; bilgisayar donanımı, yazılım, robotik, güvenlik, test, insan-bilgisayar etkileşimi, toplumsal kabul, hukuki çerçeve ve emniyet mühendisliği başlıkları altında ele alınabilir (Koopman & Wagner, 2017). Şekil 138’de otonom araçların emniyetinin sağlanmasında rol oynayan disiplinler ve aralarındaki etkileşimler gösterilmektedir (Koopman & Wagner, 2017) Aşağıdaki bölümlerde, otonom araçlarda emniyetin sağlanmasında rol alan disiplinler özetlenmiştir:



Şekil 138. Otonom Araçların Emniyetinin Sağlanmasında Rol Oynayan Disiplinler

11.1.Otonom Araçlarda Emniyet Mühendisliği

Otonom araçlar, geleneksel araçlardan farklı bir emniyet mühendisliği yaklaşımı gerektirir çünkü araç üzerindeki insan denetimi sınırlandırılır ve kontrol, otonom seviyesiyle birlikte artacak şekilde araca devredilir. ISO 26262 gibi mevcut standartlar, insan gözetimini varsayar. “Kontrol edilebilirlik” faktörü olarak tanımlanan bu durum, tam otonom sistemlerde sıfır olacak şekilde dizayn edilmelidir, ancak buna bağlı olarak emniyet gereklilikleri de önemli ölçüde artar. Ayrıca gerçek zamanlı ML gibi kendi kendine uyarlanabilir davranışları kullanan otonom araçlar, çalışma sırasındaki davranışları test edilen ve sertifikalandırılanlardan farklı olabileceği için doğrulama zorlukları oluşturur. Bu zorlukların üstesinden gelmek amacıyla “arızaya rağmen işleyen sistemler”⁷ ve “emniyetli hale getirme görevi”⁸ kritik çözümler olarak öne çıkar. Bu yaklaşımlar, otonom araçlarda emniyetli sürüşün sürdürülmesini sağlar (Koopman & Wagner, 2017).

11.2.Otonom Araçlarda Bilgisayar Donanımı

Otonom araçlar, birden fazla algılama girdisi ve karmaşık işlem bileşenlerini bünyesinde barındıran elektronik platformlardan oluşur (Mariani, 2018). Otonom araçlardaki otonomi, donanımsal ve yazılımsal bileşenlerin mükemmel senkronizasyonda çalışmasını gerektirir. Bu bileşenler arasında bağlanabilirlik ve karşılıklı bağımlılık bulunur (F. Khalid & Hasan, 2024) Bu bağlamda otonom araçlarda bulunan donanımlar, hataya dayanıklı ve uygun maliyetli olmalıdır, bunun yanında güvenilir performans sunmalıdır. Otonom araçlar, arızaları yönetebilmek için yedekli mimarilere ve yüksek gizli hata tespit yeteneklerine ihtiyaç duyar. Küçük bir oranda bile tespit edilemeyen arızalar, sistemin güvenilirliğini ciddi şekilde zayıflatabilir. Yüksek kapsama oranına sahip öz-diagnostik mekanizmalar, bir aracın ömrü boyunca biriken arızaların önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Havacılık gibi güvenlik kritik sistemlerden ilham alan donanım yedekleme çözümleri, otomotiv sektörü için ölçeklenebilir hale getirilmelidir (Koopman & Wagner, 2017).

⁷ **Arızaya rağmen işleyen sistem:** Bir arıza tespit edildiğinde, çalışmaya devam edebilen ve sınırlı bir süre boyunca nominal işlevselliği sağlayan sistemdir (Infineon, 2024).

⁸ **Emniyetli hale getirme görevi:** Bir arıza tespit edildiğinde, daha ciddi sorunlara yol açabilecek durumları engellemek için yerine getirilen görevdir (Koopman & Wagner, 2017).

11.3.Otonom Araçlarda Yazılım

Yazılım doğrulama, özellikle adaptif ve ML'ye dayalı sistemler için karmaşıktır. Geleneksel yazılım güvenlik yöntemleri, iyi tanımlanmış gereksinimleri varsayar, ancak ML, eğitim ve doğrulama veri kümelerine dayanır. Bu veri kümelerinin tüm olası uç senaryoları kapsayacak şekilde kapsamlı olduğundan emin olmak ise oldukça zordur. Davranışsal izleme ve bağımsız güvenlik gereksinimleri, otonom araçların test aşamasında ve gerçek dünya kullanımında, güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için potansiyel çözümler sunar (Koopman & Wagner, 2017).

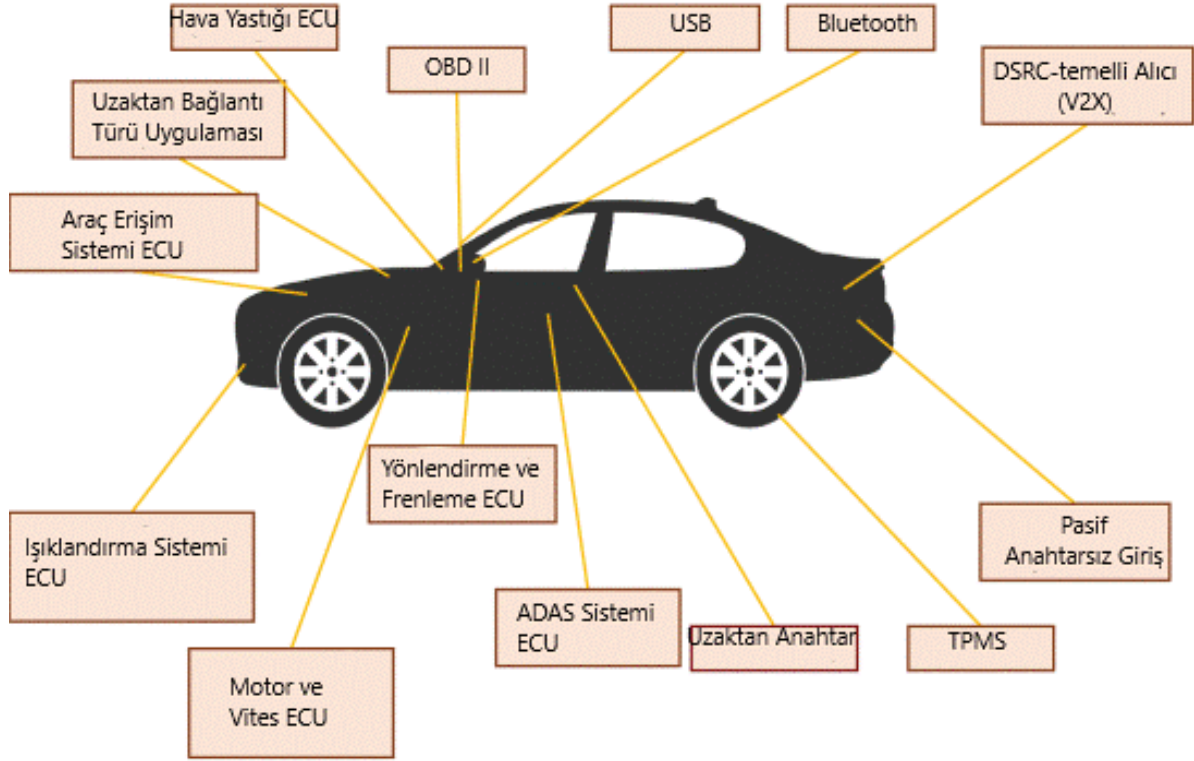
11.4.Otonom Araçlarda Robotik

Robotik sistemlerin, havacılıkta görülen güvenlik seviyelerini (milyar saatte bir felaket olay) yakalaması ve hatta aşması gerekmektedir. Bu hedef, öngörülemeyen gerçek dünya koşullarında oldukça zordur. Sistemlerin, performans bozulmalarını algılaması, tasarım parametrelerinin dışına çıkan durumları tespit etmesi ve uygun şekilde tepki vermesi gerekir. ML, yeni veya eğitilmemiş durumlarda tutarlı davranış sağlamakta zorlanması nedeniyle güvenilirlik açısından ek bir karmaşıklık oluşturmaktadır (Koopman & Wagner, 2017).

11.5.Otonom Araçlarda Güvenlik

Güvenlik; bireysel araçlara, araçtan araca (V2V) haberleşmeye ve altyapı sistemlerine yönelik saldırılara karşı koruma gerektirir. Araçlar, dış kaynaklardan gelen yanlış veya kötücül girdileri tespit edip olası saldırıları algılamalı ve güvenli operasyon moduna geçmelidir. Subjektif altyapı veya haberleşme güvenliğine körü körüne güvenmek, sistemde zafiyetler oluşturabileceği için araçların dış müdahalelerden izole edilebilecek sağlam güvenlik önlemlerine ihtiyacı vardır (Koopman & Wagner, 2017).

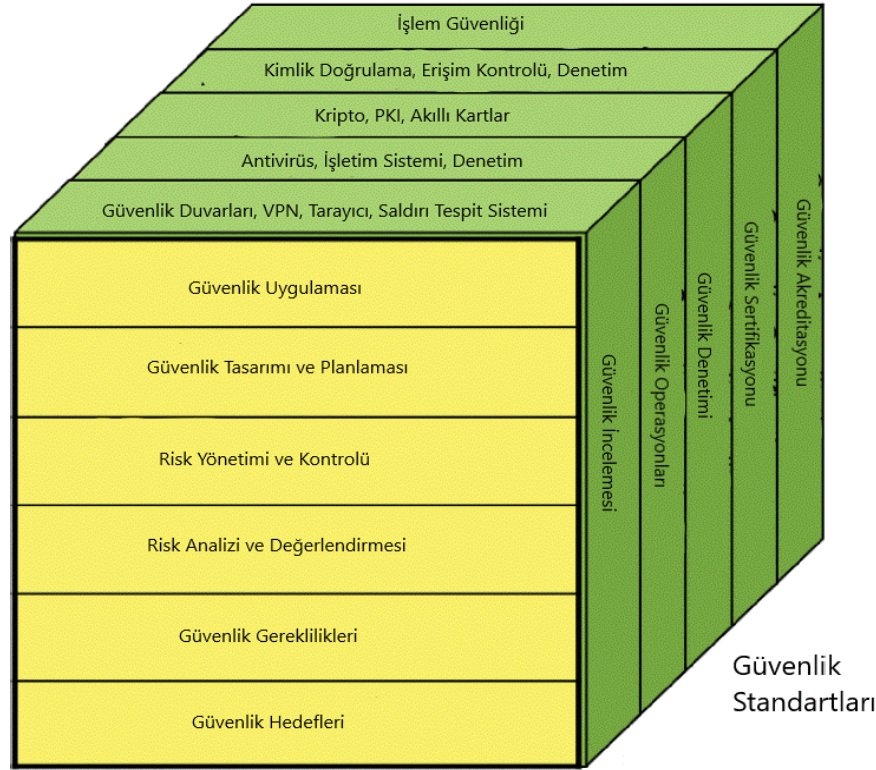
Otonom araçlar, çevresiyle haberleşen birçok bileşenden oluşması nedeniyle birçok siber saldırı yüzeyi içermektedir. Otonom araç özelliği için gerekli olan bileşenlerin varlığı, bu araçlar için potansiyel bir saldırı zemini oluşturmaktadır. Otonom araçlara yönelik potansiyel siber saldırı yüzeyleri, Şekil 139'da gösterilmiştir (Chattopadhyay vd., 2020).



Şekil 139. Otonom Araçlara Yönelik Potansiyel Siber Saldırı Yüzeyleri

Otonom araçlarda siber saldırı savunması için güvenlik mimarisi temelde iki bileşenin bir araya gelmesiyle sağlanır. Güvenlik teknolojisi ve güvenlik standartlarının bir araya gelmesi sayesinde, güvenlik yönetiminin katmanları belirlenir. Bu katmanlar, Şekil 140’da gösterilmiştir. (Chattopadhyay vd., 2020).

Güvenlik Teknolojileri



Şekil 140. Güvenlik Yönetimi Katmanları

Güvenlik yönetimi katmanları arasında, güvenlik gereklilikleri ve güvenlik hedefleri öne çıkmaktadır. Otonom araçların güvenlik hedefleri aşağıda listelenmiştir (Chattopadhyay vd., 2020):

- *Uzaktan Kontrol İşlevlerinin Bütünlüğü:* Saldırganın uzaktan kontrol sistemini ele geçirmesini engeller.
- *Sensör Sistemlerinin Bütünlüğü:* Sensörlerden alınan navigasyon ve güvenlikle ilgili verilerin aslının değiştirilmesini engeller.
- *Frenleme ve Hız Kontrolü gibi Güvenlikle İlgili Kontrol Operasyonlarının Bütünlüğü:* Algılanan yol koşulları veya uzaktan kontrol ile operasyonların gerçekleşmesi, saldırıların bu alanlardan doğacak potansiyel tehdit noktalarına saldırmasını engeller.
- *Yönlendirme, Frenleme ve Hız Kontrolü gibi Navigasyonla İlgili Kontrol Operasyonlarının Bütünlüğü:* Algılanan yol koşulları veya önceden programlanan rota yolu ile operasyonların gerçekleşmesi, saldırıların bu alanlardan doğacak potansiyel tehdit noktalarına saldırmasını engeller.

- *Otonom Araç ile Trafik Yönetim Sistemi Arasındaki Haberleşmenin Gizliliği*: Otonom araçlara yönelik güvenlik kontrol parametreleri, yetkisiz kişilerin, bu bilgileri kötüye kullanarak sistemde açık oluşturma potansiyelini önlemek için gizli tutulur.
- *Otonom Araç ile Üreticisi Arasındaki Haberleşmenin Gizliliği ve Bütünlüğü*: Otonom aracın yaşam döngüsü yönetimi sağlanır.
- *Otonom Araç ile Bakım Atölyesi Arasındaki Haberleşmenin Bütünlüğü ve Özgünlüğü*: Otonom araçlara yönelik yazılım güncellemeleri gerçekleştirilir.
- *Otonom Araç İçerisinde Depolanan Kriptografik Anahtarlama Materyalinin Gizliliği*: Kriptografik anahtarlar korunur, böylece üst düzey güvenlik mekanizmalarının atlanması engellenir.

Bu maddelere ek olarak pasif güvenlik, aracın kasıtlı olmayan saldırılara karşı aracın güvenliğini sağlar. Doğrudan tahrikle ilgili olmasa da pasif araç güvenliği ve yolcuların korunmasına ilişkin bileşenler, istenmeyen tahrikten kaynaklanan senaryolarla yakından ilişkili olduğundan ve karar ve kontrol bileşenleri tarafından tetiklenebilir (Behere & Törngren, 2015).

11.6.Otonom Araçlarda Test

Test, otonom sistemler için büyük zorluklar doğurur çünkü bu sistemlerin davranışı olasılıklıdır ve sürekli öğrenir. Geleneksel yöntemler, sistemin önceden tanımlanmış tasarım dokümanlarına uygunluğunu doğrular, ancak ML sistemleri için böyle açık tasarım belgeleri bulunmaz. Test süreçleri, tüm gerçek dünya senaryolarını kapsayan devasa veri kümelerine ihtiyaç duyar ve bu da pratikte neredeyse imkânsızdır. Güvenilirlik hedeflerine ulaşmak için milyarlarca test vakası gereklidir. Ayrıca donanım arızaları, çevresel değişimler ve yazılım hatalarına karşı sistemin tepkisini değerlendirmek için hata enjeksiyon testleri kritik önemdedir (Koopman & Wagner, 2017).

Otonom araçların organizasyonu yapılandırılmamıştır. Araçtan araca sensörler farklılık göstermektedir. Bazı araçlarda yalnızca kameralar bulunurken bazılarında milidalga radarlar, lazer tarayıcılar, GPS alıcıları ve kameralar bulunabilir. Ticari araçlar; araç içi sistem arayüzlerini tüketicilerden koruduğu için üçüncü taraf satıcılar, yeni otonom araç bileşenlerini test etmekte zorluk çekmektedir (Kato vd., 2015).

11.7.Otonom Araçlarda İnsan-Bilgisayar Etkileşimi

İnsan-bilgisayar etkileşimi, otonom araçların benimsenmesi ve güvenliği açısından büyük bir rol oynar. Araçlar, yolcuların yanı sıra yayalar ve geleneksel araç sürücüleriyle sorunsuz bir şekilde etkileşim kurmalıdır. Otonom sistemler, insan kullanıcılar için tahmin edilebilir ve anlaşılır davranışlar sergilemelidir. Örneğin yayaların bir otonom aracın duracağına güvenebilmesi, insan sürücülerle göz teması kurmaya benzer bir güven oluşturur. Tam otonom teknolojinin yaygınlaşmasına kadar insanlı ve insansız araçların karışık trafikte bir arada çalışması önemli bir zorluk olacaktır (Koopman & Wagner, 2017).

11.8.Otonom Araçlarda Toplumsal Kabul

Otonom araçların kamuoyunda kabul görmesi; bir dizi teknolojik, psikolojik ve toplumsal zorluğun ele alınmasına bağlıdır. Çalışmalar; tüketicilerin, otonom araçlar konusunda genel olarak iyimser olduğunu, trafik güvenliğini iyileştirme, çevresel etkiyi azaltma ve hareketliliği geliştirme potansiyellerini takdir ettiğini göstermektedir. Ancak güvenlik, kontrol, gizlilik ve siber güvenlik konusundaki endişeler önemli engeller olmaya devam etmektedir (Johannes & Solbraa Bay, 2016)

Toplumsal kabul, otonom araçların insan sürücülere kıyasla daha emniyetli olacağı beklentisine dayanmaktadır. Ancak erken aşamalarda yaşanacak kazalar, kamu güvenini zayıflatabilir. Toplumun, otonom sistemlerin, mükemmel insan sürücülerden mi yoksa ortalama bir sürücüden mi daha iyi olması gerektiğine karar vermesi gerekecektir. Ayrıca sigorta primlerinin güvenilir bir istatistiksel temele dayandırılması, toplumsal kabul ve geniş ölçekli yaygınlaşma için kritik öneme sahiptir (Koopman & Wagner, 2017).

11.9.Otonom Araçlarda Yasal Zorluklar

Yasal zorluklar arasında, otonom araç kazalarında sorumluluğun belirlenmesi yer alır. Arızalı sistemler, hasar görmüş sensörler veya güncellenmemiş haritalar gibi sorunlar, yasal ve teknik açıdan dikkatle ele alınmalıdır. Veri kayıt sistemleri, olay incelemeleri için güvenilir ve müdahaleye kapalı olmalıdır. Arızalı sistemlerden gelen verilerin güvenilir olabileceği göz önünde bulundurulduğunda, kaza sonrası analiz için özel olarak tasarlanmış kayıt sistemlerine ihtiyaç duyulacaktır. Sorumluluğun üretici, yazılım geliştirici veya hizmet sağlayıcı arasında nasıl paylaştırılacağına dair net bir yasal çerçeve gereklidir (Koopman & Wagner, 2017).

12. OTONOM ARAÇLARIN POTANSİYEL ETKİLERİ

12.1. Trafik Sıkışıklığına Etkileri

Otonom araçların yaygınlaşmasının, trafik sıkışıklığının azaltılmasında önemli bir rolünün olacağı öngörülmektedir. İnsan sürücülerin aksine, otonom araçların birbirleriyle gerçek zamanlı olarak haberleşebilmesi ve bu doğrultuda koordineli hareket etmesi sayesinde, trafik akımı artırılabilir.

Bir otonom araç, üretimi itibarıyla geleneksel bir araçla aynı hacimdedir ve yolda aynı miktarda alan kaplamaktadır. Ancak otonom araçlar daha düşük takip mesafelerinde gidebilmesi sayesinde, yolun daha etkin bir biçimde kullanılmasını sağlamaktadır (Metz, 2018).

Otonom araçların, bireysel araç sahipliği oranını düşürme potansiyeli bulunmaktadır. Bir otonom araç, bir kişiyi evinden gitmesi gereken noktaya götürdükten sonra eve geri gelebilir ve evdeki diğer kişiyi de başka bir yere götürebilir. ABD Ulusal Hanehalkı Seyahat Anketi'nden elde edilen sonuçlara göre otonom araçların yaygınlaşması ile hane başına düşen araç sahipliği 2,1'den 1,2'ye düşebilecektir (Metz, 2018). ABD'de yayınlanan bir istatistik, 2015 yılı itibarıyla 1960'dan bu yana süregelen araba sahipliği artışının son bulduğunu göstermiştir (GetJerry.com, 2022). Araç sayısının azalması, doğrudan trafik sıkışıklığını azaltacak yönde etki yapacaktır. Trafik sıkışıklığının azalması sayesinde hareketlilik ve erişilebilirlik artacak, aynı zamanda ekonomik bir kazanç elde edilebilecektir.

Otonom araçlar, insan davranışlarından bağımsız olarak çevresiyle kablosuz iletişim kurabildiği için şehirlerdeki trafik karmaşasını azaltma ihtimali bulunmaktadır. Çalışmalara göre otonom araçlar arasındaki koordinasyon, insanlar arasındaki koordinasyona göre 2-3 kat daha iyidir. Buradan hareketle otonom araçların sayısının artması ile trafikteki gecikmelerde önemli düşüşler görülebilecektir (Chen vd., 2020).

Otonom araçların artması ile trafik güvenliği düşürülmeksizin şeritler daraltılabilir ve bu sayede arazi kullanımı, araçlardan insana geçebilir. Otonom araçlara geçişle birlikte, şehirlerdeki yoğun ve sıkışık kentleşme engellenebilir (Chen vd., 2020).

12.2. Yakıt Tüketimi ve Sera Gazı Emisyonuna Etkileri

Ulaştırımadan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının küresel payının, tüm emisyonların yaklaşık %24'ü olduğu tahmin edilmektedir (IEA, 2018). Otonom araçların ortaya çıkışı; homojen trafik akışları, daha düşük otoyol tıkanıklığı, hava direncini en aza indirecek şekilde tasarlanmış daha hafif ve akıllı araçlar, minimum araç rölantisi, daha az güçlü motorlara duyulan ihtiyaç vb. hususlar dolayısıyla önemli ölçüde enerji ve emisyon avantajı sağlayabilecektir. Bu hususlar, sera gazı emisyonlarını azaltacak ve yakıt verimliliğini daha da artıracaktır.

Yakınlarda park yeri bulmak için harcanan zamanın azalması, park alanlarının geliştirilmesi, kullanılması ve bakımı için daha az mali kaynağa ihtiyaç duyulması, çevre üzerinde olumlu etkiler oluşturabilecektir. Diğer yandan yolcuların çeşitli işlevlere yönelik taleplerini karşılayan otonom araçların, geleneksel araçlardan daha büyük olma olasılığı da vardır. Bu gibi durumlarda, yakıt verimliliğindeki artışlar, daha büyük araç boyutları nedeniyle sınırlanabilmektedir. Emisyonları azaltmak için paylaşımlı otonom araçlar, bir sonraki sürüş talebi alınana kadar şehrin merkezinde park edecek bir yer aramak yerine, durmadan sürüş yapacak şekilde yapılandırılabilir. Otonom araçları, otoparkın ücretsiz veya önemli ölçüde daha uygun fiyatlı olduğu metropol bölgesinin (veya şehir merkezinin) dışına, kendilerini sürecektir şekilde ayarlamak, maliyetlerin azaltılmasına yardımcı olabilecektir (Massar vd., 2021).

Elektrikli otonom araçlar, geleneksel araçların aksine, zararlı sera gazı salınımı yapmadığı için hava kalitesinde iyileşme sağlamaktadır. Trafikteki elektrikli otonom araç yüzdesinin %30 olduğu bir senaryoda hem NO_x hem de CO₂ emisyonlarında %30 oranında önemli bir iyileşme sağlanmıştır ve NO_x konsantrasyonlarında yaygın azalmalar sağlayarak ortalama %4'lük bir iyileşme sağlamıştır. Trafik yönetim sistemlerinin ve otonom araç teknolojilerinin gelişmesi ile bu değerlerin çok daha üst seviyelere çıkacağı öngörülmektedir (Rafael vd., 2020).

12.3. Yolcu Konforuna Etkileri

İnsan konforu, bireye ve çeşitli dış etkenlere bağlı olan öznel bir konudur. Aracın dinamik davranışını gösteren metrikler, bir yol aracının içinde oturan bir insanın konforunu etkileyen dış unsurlar arasındadır (Mohajer vd., 2021). İnsanların otonom araçları tercih etmesinin öne çıkan nedeni konfordur. Otonom araçlar; insan sürücülere kıyasla daha yumuşak bir sürüşle sonuçlanan ivmelenmeyi, frenlemeyi ve direksiyonu optimize etmek için tasarlanmıştır. Gelişmiş kontrol

algoritmaları, ani hareketleri en aza indirmek için tasarlanmıştır ve böylece genel konforu artırmaktadır (Wang vd., 2020).

Otonom araçların ortaya çıkışı ve bunun sonucunda ortaya çıkan insan kontrolüne ihtiyaç duyulmaması durumu; insanların araç içi ergonominin yanı sıra güvenli mesafe koruması, hareket hastalığı ve araç kontrolü gibi konulara odaklanmalarına neden olacaktır. Şekil 141’de otonom araçlarda, yolcu konforuyla ilgili faktörler yer almaktadır (Elbanhawi vd., 2015).

- *Hava Kalitesi*: Hava kalitesi, aracın içindeki havanın temizliğini ve tazeliğini ifade eder. Kirleticilerin, kokuların ve yolcuların konforuna ve sağlığına katkıda bulunan uygun havalandırmanın varlığı gibi faktörleri içerir.
- *Ses ve Gürültü*: Aracın içinde yaşanan ses seviyesini ve türünü ifade eder. Motor titreşimleri, rüzgar veya dış trafik gibi aşırı gürültü, yolcu konforunu olumsuz etkileyebilirken sessiz bir kabin, yolcu deneyimini artırır.



Şekil 141. Otonom Araçlarda Yolcu Konforu

- *Sıcaklık*: Isıtma, havalandırma ve klima sistemlerinin etkinliği de dahil olmak üzere araç kabinindeki sıcaklık, yolcuların ne çok sıcak ne de çok soğuk hissetmelerini sağlayarak genel konforlarına katkıda bulunur.
- *Titreşimler*: Aracın hareketi nedeniyle yolcuların yaşadığı fiziksel salınımlar veya sarsıntılarla ilgilidir. Yoldaki bozulmalar çoğunlukla dikey titreşimlere yol açar.

Titreşimleri en aza indirmek, özellikle uzun yolculuklar sırasında dengeyi ve konforu artırır (Elbanhawi vd., 2015).

- *Doğallık*: Hızlanma, yavaşlama ve direksiyon gibi aracın hareketlerinin sezgisel ve öngörülebilir doğasını ifade eder. Bu bağlamda insanlar, otonom araçların insanların tercih edeceği yollara benzeyen yollar olarak tanımlanan doğal yolları kullanmasını bekler. Yolcular, beklentileriyle uyumlu olmayan bir yolculukta kendilerini rahatsız hissederler (Elbanhawi vd., 2015).
- *Rahatsızlıklar*: Yolcuların konforunu bozabilecek ani frenleme, keskin dönüşler veya çukur darbeleri gibi beklenmedik veya ani olayları içerir. Otonom araçlar ile geleneksel araçların bir arada bulunduğu trafikte yaşanması muhtemel durumlardır (Elbanhawi vd., 2015).
- *Görünür Emniyet*: Bu faktör, yolcuların yolculuk sırasındaki emniyet algısını ifade eder. Otonom araçlarda bulunan adaptif seyir kontrolü sayesinde ivmelenme ve yavaşlama optimize hale gelebilmektedir. Böylece sürüş sırasında yaşanabilecek ani frenleme ve hızlanma gibi durumlar en aza indirildiği için sürüş, daha konforlu bir hale gelmektedir (He vd., 2020). Ancak araç; pürüzsüz çalışarak trafik kurallarına uygun hareket ettiğinde ve riskli manevralardan kaçındığında, emniyetli bir yolculuk yapıyor olmasına rağmen yolcular araç kontrolüne sahip olmadığı için emniyetsiz hissedebilir (Elbanhawi vd., 2015).
- *Hareket Hastalığı*: Bir yolcunun iç kulak, gözler ve vücut arasındaki tutarsız veya çelişkili sinyaller nedeniyle mide bulantısı, baş dönmesi veya rahatsızlık yaşamasıyla ortaya çıkar (U.S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2024). Dur-kalk trafiği, keskin dönüşler veya düzensiz hareketler gibi faktörler genellikle buna sebep olur.

12.4. Trafik Emniyetine Katkısı

Otonom araçlar, trafik güvenliğini artırma potansiyeline sahip yenilikçi teknolojiler sunmaktadır. Gelişmiş sensör sistemleri, AI destekli karar alma mekanizmaları ve sürekli iletişim yetenekleri sayesinde otonom araçlar, insan hatasından kaynaklanan kazaların büyük bir kısmını önleyebilir. Alman Derinlemesine Kaza Çalışması (German In-Depth Accident Study/ GIDAS) ve NHTSA çarpışma veri kümelerine göre trafik kazalarının yaklaşık %93'ü insan hatasından kaynaklanmaktadır. Tüm araçların tamamen otonom olması durumunda, bu kazaların tamamen ortadan kalkabileceği varsayılmıştır (Faisal vd., 2019).

Ayrıca trafik kazalarında hayatını kaybeden savunmasız yol kullanıcılarının sayısı azımsanmayacak kadar yüksektir (The Verge, 2024). Avrupa Komisyonu tarafından “yayalar ve bisikletliler ile motosikletliler ve engelli veya hareket kabiliyeti ve yönelimi kısıtlı kişiler gibi motorsuz yol kullanıcıları” olarak tanımlanan savunmasız yol kullanıcıları, trafikte en yüksek risk taşıyan gruptur (European Commission, 2024). 2021 yılında 7.388 yaya, 966 bisikletli ve 5.932 motosikletli hayatını kaybetmiştir (National Center for Statistics and Analysis, 2023a, 2023b, 2023c, 2023d).

Trafikte bulunan CAV oranı arttığında, trafik emniyeti koşulları önemli ölçüde artar çünkü CAV tarafından daha dikkatli bir araç takip yaklaşımı, trafik emniyetini artıracaktır. Aynı zamanda araç hızı farklılıkları azalır ve trafik akımı önemli ölçüde iyileşir (Ye & Yamamoto, 2019)

Diğer yandan otonom araçlar, yolcu ve kargo taşımacılığı için kullanıldığında, yol güvenliği ölçümlerini iyileştirebilir ve sonuç olarak trafikle ilişkili sosyal, ekonomik ve çevresel maliyetleri düşürebilir. Trafikte yaşanan ölümlü kazaların sayısını azaltmada önemli bir adım, yol trafiğine katılımın standardı ve biçimiyle ilgili karar alma sürecinde, insan faktörlerinin etkisini azaltmak veya ortadan kaldırmak olabilir (Michałowska & Ogłodziński, 2017).

12.5. Şehir Planlamasına Etkisi

Otonom araçlar, şehir planlamasını tamamen dönüştürme potansiyeline sahiptir. Çalışmalar, otonom araçların şehir planlamadan ulaşım düzenlemelerine kadar her şeyi etkileyerek kentsel ortamları nasıl değiştirebileceğine ışık tutmaktadır (Henry Orieno vd., 2024). Çağdaş prototipler ve kavram kanıtları, uzun süreli kentsel planlamada önemli değişiklikler oluştururken otonom araçların gelişimi, kavramlardan somut gerçekliğe doğru bir kaymayı göstermektedir (Szabó, 2020). Otonom araçlar; yolcuları indirip daha az sıkışık alanlara park edebilir, böylece şehir merkezlerindeki geniş park tesislerine olan ihtiyaç azalır. Bu değişim; parklar, yerleşim alanları veya ticari alanlar gibi alternatif kullanımlar için önemli miktarda kentsel araziye serbest bırakabilir (Chapman Taylor, 2022).

Otonom araçlar yerel faktörlere, ulaşım ve şehir planlama politikalarına ve çeşitli sürücüsüz hareketlilik teknolojilerinin yayılmasına bağlı olarak farklı bölgelerde banliyöleşmeyi ya da kentleşmeyi teşvik edecektir (Smolnicki & Sołtys, 2016). Özellikle akıllı şehir kavramının giderek daha fazla benimsenmesi, otonom araçların kentlere entegrasyonunu, şehir planlamasının önemli

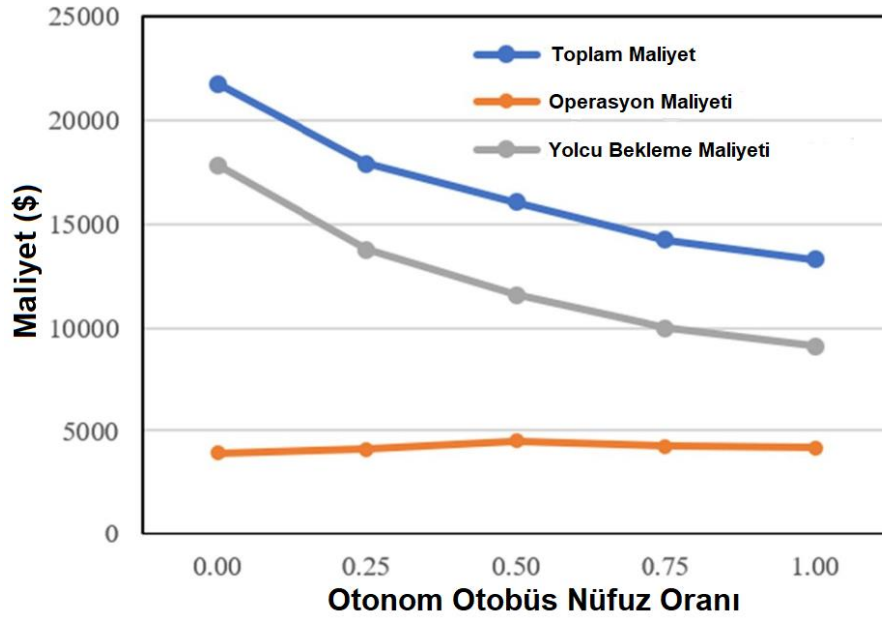
bir parçası haline getirmektedir (Matowicki & Pribyl, 2020). Bununla birlikte, otonom araçların trafik düzenleri ve hareketlilik davranışları hakkında ürettikleri veriler sayesinde, şehir planlamacıları, sakinlerin ihtiyaçlarını daha iyi karşılamak için şehir düzenlerini ve ulaşım ağlarını optimize ederek bilinçli kararlar alabilirler (Gavanas, 2019).

12.6. Toplu Taşımaya Etkisi

Toplu taşıma sistemleri, birçok insanın aynı anda seyahat etmesini sağlayan bir ulaşım biçimidir. Günümüzde artan nüfus ve şehirleşme, toplu taşımaya olan ihtiyacı da artırmıştır. Aynı zamanda insanların çevreye duyarlılık düzeylerinin artması ve daha sürdürülebilir ulaşım seçeneklerine yönelmeleri sonucu, toplu taşıma sistemlerine olan talep giderek artmaktadır. Örneğin ABD’de, pandemi öncesi dönemle kıyaslandığında toplu taşıma kullanımında %70 oranında bir artış gözlemlenmiştir (American Public Transportation Association, 2022).

Toplu taşıma sistemleri ile birlikte, otonom araç teknolojileri de günümüzde ulaşım sektöründe önemli bir dönüşüm yaşamaktadır. Toplu taşıma sistemleri ve otonom araç teknolojilerinin entegrasyonu; verimli, güvenli, erişilebilir ve sürdürülebilir bir ulaşım deneyimi sunarken şehirlerdeki trafik sıkışıklığını azaltmak ve çevreye daha az zarar vermek gibi pozitif etkilere sahiptir. Bu entegrasyon, gelecekte daha akıllı ve daha etkin bir toplu taşıma sisteminin oluşmasını sağlayacaktır.

2020 yılında yayınlanan “Otonom ve Manuel Otobüslerle Karma Trafik İçin Planlama ve Kapasitenin Ortak Optimizasyonu: Dinamik Bir Programlama Yaklaşımı” adlı makalede, talebe dayalı veri yolu planlamasında, veri yolu kapasitesini sabitleme uygulamalarının dışına çıkılarak otonom ve manuel otobüslerin birlikte yer aldığı bir ortamda araştırma yapılmıştır. Bu heterojen ortamı formüle etmek için ise tam sayı doğrusal olmayan programlama modeli kullanılmıştır. Bu çalışma özelinde dinamik programlamanın getirdiği avantaj; otonom otobüslerin kapasitesinin, otonom sürüş fonksiyonlarının ve yolcuların iniş biniş davranışlarının değişken olarak araştırılmasıdır. Oluşturulan bu model sayesinde, farklı otobüs türlerinin kullanılması ile yolcuların bekleme süresi maliyeti arasındaki ilişki ortaya çıkarılabilir. Sonuçlar otonom otobüslerin kullanım oranının arttıkça, maliyetlerin önemli ölçüde düştüğünü ortaya çıkarmıştır. Otonom otobüs nüfuz oranı ile maliyet kıyaslaması arasındaki ilişki, Şekil 142’de gösterilmiştir (Dai vd., 2020).



Şekil 142. Otonom Otobüs Nüfuz Oranı Etkisi

12.7. İstihdam ve İşgücüne Etkisi

Birleşik Krallık'ta doğan Sanayi Devrimi, üretim süreçlerinin mekanizasyon ve buharlı makinelerle dönüşümünü sağlayarak büyük ölçekli üretimin ve şehirleşmenin temelini atmıştır. Bu süreç, istihdam yapısında köklü değişimlere yol açarak tarım ağırlıklı bir ekonomiden sanayi odaklı bir iş gücüne geçişi hızlandırmıştır. Bununla birlikte iş gücü talebi, nitelikli teknik becerilere olan ihtiyacın artmasıyla şekillenmiş ve toplumda yeni mesleklerin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır (Ashton, 1997).

Benzer bir dönüşüm, günümüzde otonom araç teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla yaşanmaktadır. Otonom araçlar; lojistik, ulaşım ve şehir planlamasında verimliliği artırırken mevcut istihdam modellerini de etkileme potansiyeline sahiptir. Geleneksel sürücü istihdamında azalma öngörülürken veri analizi, yazılım geliştirme ve AI gibi alanlarda uzmanlaşmış iş gücüne olan talebin artması beklenmektedir. Bu durum, Sanayi Devrimi'nde yaşanan meslek dönüşümüne benzer bir şekilde, toplumun yeni teknolojilere uyum sağlama kabiliyetine bağlı olarak fırsatlar ve zorluklar oluşturacaktır.

Otonom araçların yaygınlaşması hem avantajları hem de dezavantajlarıyla istihdamda bir devrim niteliğinde olacaktır. Bazı işin ortadan kalkması, düşük vasıflı çalışanların pozisyonlarının veya rollerinin değişmesi, daha iyi üretkenlik, verimlilik, esnek çalışma, daha yüksek tazminat ve

maliyet azaltma için çok sayıda fırsat sunma olasılığı bulunmaktadır. Otonom araçların bazı işleri ortadan kaldırması kaçınılmazdır. Yeni iş fırsatlarının doğası ve kapsamı, muhtemelen daha yüksek eğitilmiş pozisyonlarla ilgili olacaktır. Sürüş temelli ve sürüşü destekleyen işler, potansiyel olarak uzun bir geçiş döneminden sonra modası geçmiş hale gelecektir (Nikitas vd., 2021).

Şirketler; ulaşım verimliliğinde sürekli iyileştirmeler için çabalarırken yolculuk paylaşımı, kamyonlar ve taksileri içeren ticari araç endüstrisinin, otonom sürüş teknolojisini kullanan ilk sektörler arasında olması beklenmektedir (Wadud, 2017). Bunun nedeni, ticari taşımacılık şirketlerinin daha düşük maliyetlerle ve daha uzun süreler boyunca daha fazla insan ve mal taşıyabilecek olması ve bunun da olumlu ekonomik geri dönüşler sağlayacak olmasıdır (Tomita, 2017). Bu bağlamda otonom araçların yaygınlaşması ile birlikte, 2015 yılında farklı sektörlerden olmak üzere 15,5 milyon ABD çalışanı etkilenmiştir. Bu çalışanların 3,8 milyonu ise sürücü konumunda bulunan insanlardan oluşmaktadır. Otonom araçlar yaygınlaştığında, etkilenecek ilk meslek grubu da bu alan olacaktır (U.S. Department of Commerce, 2017).

12.8. Tedarik Zincirlerine ve Lojistiğe Etkisi

Otonom araçların kişisel hareketlilik üzerindeki etkileri çok fazla ilgi görmesine rağmen, birçok şirketin mal ve hizmet sunma biçimini de değiştirebilir. Sürüş için gereken iş gücünün yerini alma potansiyeliyle otonom araçlar, işletmeler için iş gücünden tasarruf sağlayan bir teknolojiye sermaye yatırımı sağlayabilir. Ancak emniyeti artırarak veya seyahat süresini kısaltarak otonom araçlar, bu şirketlerdeki çalışanların hizmetlerini tamamlayan hizmetler sunabilir ve uzun vadede bunlara olan talebi artırabilir (Autor, 2015).

Otonom araçlar, dinlenmeye ihtiyaç duymadan 7/24 çalışabilir, bu da yakıt verimliliğini önemli ölçüde artırır ve teslimat sürelerini kısaltır. Ayrıca otonom araçlar sayesinde, daha tutarlı planlama yapılabilir. Bu sayede sevkiyatların zaman açısından güvenilirliği artar. Bununla birlikte, depo operasyonlarının optimizasyonunu artırır (IIENSTITU, 2024).

Tüm bunların yanı sıra yakıt tüketiminin düşmesi ve sürücü maaşlarının bir gider olmaktan çıkması ile şirketler, otonom yük taşıma araçlarıyla filolarını büyütebilir. Öte yandan daha küçük filolar, otonom kamyonlar ve ilgili altyapı için gerekli sermaye harcamalarını karşılamayı zor bulabilir ve bu da bazı pazar konsolidasyonlarına yol açabilir. Aynı zamanda, faaliyet merkezi operasyonlarına

ve otonom araç bakımı için faaliyet merkezi servislerine odaklanan işletmeler gibi yeni alanlar ortaya çıkabilir (Mckinsey & Company, 2024).

12.9. Acil Durum Hizmetlerine Etkisi

Mevcut ulaşım altyapısı, özellikle yoğun saatlerde, trafik yükünü verimli bir şekilde yönetememektedir ve yüksek trafik yoğunluklarına karşı aşırı hassastır. Polis, itfaiye ve ambulans gibi acil durum hizmetlerinin hızlı yanıt süreleri de yol altyapısının eksikliğinden ve araç sayısındaki keskin artıştan etkilenmektedir (M. Khalid vd., 2021).

Acil durumlar veya doğal afetler sonrasında, zaman; kritik öneme sahiptir ve hızlı hareket etmek, yaşam ile ölüm arasındaki farkı oluşturabilir. Otonom araçlar; gelişmiş algılama becerileri, gerçek zamanlı karar alma ve insan müdahalesi olmadan işlev görme kapasiteleri sayesinde, acil durum müdahalesi ve afet yardım operasyonları için uygulanabilir bir seçenek haline gelmiştir. İnsan operatörler için çok az tehlike oluşturan bu otonom araçlar, hayati önem taşıyan malzemeleri ve ekipmanları taşıyabilir, tehlikeli arazilerde ilerleyebilir ve hatta etkilenen bölgelerden insanları tahliye edebilir. Gelişmiş robotik, AI ve makine öğrenmesi yöntemleri; otonom araçların değişen ve öngörülemeyen koşullara uyum sağlamasını mümkün kılan, tepki sürelerini en üst düzeye çıkaran ve hayat kurtaran ani kararlar almasını sağlayan son teknolojilerden sadece birkaçıdır (IEEE Public Safety Technology, 2024).

13. SONUÇ

Bilgi ve haberleşme teknolojileri, veri işleme ve iletim kabiliyetleri gibi konulardaki gelişmeler sayesinde, dünya çapında geliştirmeleri devam eden otonom araçlar, hayatımıza girmiştir. Otonom Araçlar Mevcut Durum Analizi Raporu'nda, mevcut durumda Türkiye'de ve dünyada yürütülen otonom araç çalışmaları, AUS alanında öncülük eden ülkelerin otonom araçlar konusunda yayınladıkları politika belgeleri ve raporlar, çalışmalarda takip edilen standartlar, kullanılan haberleşme teknolojileri, otonom araçların farklı alanlardaki potansiyel etkileri gibi birçok konu, detaylı bir literatür taraması yapılarak derlenmiş ve açıklanmıştır.

Çalışma kapsamında, Türkiye'de otonom araç ve K-AUS alanlarında çalışmalar yürüten 28 kurum ve kuruluş ile AUS yol kullanıcıları ile anket çalışmaları yapılmıştır. Anket çalışmaları ve literatür taraması sonucunda erişilen projelere raporda yer verilmiştir. Bu çalışmalar dahilinde; yürütülen otonom araç projeleri, ihtiyaçlar ve talepler hakkında bilgiler edinilmiş, elde edilen bilgilerin otonom araç mimarisinin oluşturulmasında önemli bir rol oynayacağı değerlendirilerek rapora yansıtılmıştır.

Çalışma kapsamında Avrupa'dan yedi ülkede (Almanya, Avusturya, Birleşik Krallık, Estonya, Fransa, İspanya ve İtalya), ABD'de, Asya-Pasifik ve Orta Doğu'dan altı ülkede (Avustralya, BAE, Çin, Güney Kore, Japonya ve Yeni Zelanda) olmak üzere toplam 14 ülkedeki otonom araç girişimleri ve otomotiv sektörünün otonom araçlar konusunda yaptığı çalışmalar taranmıştır.

Türkiye'deki mevcut durum ve dünyada devam eden çalışmalar ışığında, ülkemizde otonom araçların ulaşım sistemlerinde yer alma sürecini hızlandıracak çeşitli konu başlıklarına yer verilmiştir: Bunlar aşağıda özetlenmiştir:

- Otonom araç uygulamalarında en önemli husus; haberleşme teknolojilerinin kesintisiz, gecikmesiz ve hızlı bir şekilde hizmet vermesidir. Bu kapsamda haberleşme altyapısının güçlendirilmesi ve otonom araçların kullanımda olacağı bölgelerin tamamını kapsaması gerekmektedir.
- Otonom araç çalışmaları yürüten kurum ve kuruluşların, ürettikleri prototipleri ve geliştirdikleri teknolojileri test edebilecekleri kapalı/açık test merkezlerinin kurulması ve

test senaryolarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, test sahalarının kurulması ve test senaryolarının belirleneceği mevzuatın yayınlanması gerekmektedir.

- Türkiye’de kullanılacak otonom araç standart setinin belirlenmesi, otonom araç çalışmalarında birlikte çalışabilirliğin artırılması ve ortak bir çerçevenin oluşturulması için önem taşımaktadır. Uluslararası literatürde kullanımda olan standartlar incelenerek bölgemize ve ülkemize uygun standartların seçilerek bir standart setinin belirlenmesi gerekmektedir.

Yukarıda belirtilen stratejik önlemlerin ve yönergelerin özenle uygulanması, Türkiye’deki otonom araç Ar-Ge çabalarının ilerlemesini önemli ölçüde hızlandıracak ve geliştirecek, ileri otonom hareketlilik çözümlerinin verimli bir şekilde geliştirilmesine ve entegrasyonuna yardımcı olacak bir ulusal ulaşım ortamını teşvik edecektir.

Katkı Beyanı

Bu raporun içerik ve tasarım açısından düzenlenmesi, güncellenmesi, gerekli ilavelerin yapılması gibi editörlük ve yayın süreci çalışmalarında; Dr. Ömer Fatih SAYAN, Aysel KANDEMİR, Esmâ DİLEK, Murat Mustafa HARMAN, Özgür TALİH, Tuğçe KAYAKÖK ve Ertuğrul HASGÜL katkı sunmuştur.

Sorumluluk Reddi Beyanı

“Otonom Araçlar Mevcut Durum Analizi Raporu” (bundan böyle kısaca “Rapor” olarak anılacaktır), Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Haberleşme Genel Müdürlüğü (bundan böyle kısaca “UAB HGM” olarak anılacaktır) tarafından sadece bilgilendirme amaçlı olarak hazırlanmıştır. Bu Rapor’da yer alan içerik ve bilgiler, Rapor’un hazırlandığı zaman diliminde doğru ve güvenilir olduğuna inanılan bilgiler ve kaynaklar kullanılarak hazırlanmış olup bu Rapor’da yer alan bilgi ve içerikler, herhangi bir beyan, garanti ve/veya taahhüt olarak yorumlanamayacağı gibi Rapor’da yer alan bilgi ve içeriğin eksiksiz ve değişmez olduğu garanti edilmemektedir. Bu Rapor’da yer alan tüm fikir ve görüşler, sadece Rapor’un yazarlarına ait olup UAB HGM’nin resmi görüşünü yansıtmamaktadır. UAB HGM, Rapor’daki bilgilerin kullanılması nedeniyle herhangi bir kişiye veya kuruma karşı sorumlu tutulamaz. UAB HGM’nin yöneticileri, çalışanları ve Rapor’un hazırlanmasında katkıda bulunan diğer tüm şahıslar ve kurumlar, bu Rapor kapsamında iletilen herhangi bir bilgi veya iletişimden veya bu Rapor’da yer alan bilgilere dayanan veya Rapor’da yer almayan bir bilgi neticesinde bir kişinin veya kurumun doğrudan veya dolaylı olarak uğrayacağı kayıp ve zararlardan sorumlu değildir. Bu Rapor’un her hakkı, UAB HGM’ye aittir.

- 3GPP. (2015). *Specification # 33.401*.
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2296>
- 3GPP. (2017a). *Release 14*. <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-14>
- 3GPP. (2017b). *Specification # 23.501*.
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3144>
- 3GPP. (2019a). *Release 15*. <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-15>
- 3GPP. (2019b). *Specification # 23.287*.
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3578>
- 3GPP. (2020). *Release 16*. <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-16>
- 3GPP. (2022). *Release 17*. <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-17>
- 5GAA. (2018). *Coexistence of C-V2X and ITS-G5 at 5.9GHz*.
<https://5gaa.org/content/uploads/2018/10/Position-Paper-ITG5.pdf>
- A2RL. (2024). *Abu Dhabi Autonomous Racing League in UAE*. <https://a2rl.io/a2z>. (2023). *Technology*.
<http://autoa2z.co.kr/enTechnology>
- Abou-Zeid, H., Pervez, F., Adinoyi, A., Aljlayl, M., & Yanikomeroğlu, H. (2019). Cellular V2X Transmission for Connected and Autonomous Vehicles Standardization, Applications, and Enabling Technologies. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 8(6), 91-98.
<https://doi.org/10.1109/MCE.2019.2941467>
- Abu Dhabi Autonomous Racing League. (2024). *A2RL S02 promo* [Video recording]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=uNHeMSp02uw&t=8s>
- Acacus. (2024). *Autonomous Vehicles*. <https://www.acacusgroup.com/autonomous-vehicle-technology-acacus>
- Advanced Navigation. (2023). *Inertial Navigation Systems for Sea, Land & Air*.
<https://www.advancednavigation.com/>
- Ahmed, A., Al-Dweik, A., Iraqi, Y., Mukhtar, H., Naeem, M., & Hossain, E. (2021). Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) in Wireless Communications Systems and Standards: A Contemporary Survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 23(4), 2711-2752.
<https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3094401>
- Akıllı Şehir. (2006). *Tahsis Edilmiş Kısa Mesafe İletişim (DSRC-Dedicated Short Range Communications)*. <https://www.akillisehir.com/idet/6/514/tahsis-edilmis-kisa-mesafe-iletisim-dsrcdedicated-short-range-commu?utm>
- American Bar Association. (2018). *Legal implications of driverless cars*.
<https://www.americanbar.org/news/abanews/publications/youraba/2018/december-2018/legal-implications-of-driverless-cars/>

- American Public Transportation Association. (2022, Eylül 28). *Public Transportation Ridership Rises to More than 70 Percent of Pre-Pandemic Levels*. <https://www.apta.com/news-publications/press-releases/releases/public-transportation-ridership-rises-to-more-than-70-percent-of-pre-pandemic-levels/>
- Anadolu Ajansı. (2019a, Mayıs 3). *BMC'den askeri sürücüsüz araç*. <https://www.aa.com.tr/tr/pg/foto-galeri/bmcden-askeri-surucusuz-arac/0>
- Anadolu Ajansı. (2019b, Eylül 16). *ODTÜ'nün "insansız araba teknolojisi" TEKNOFEST'te*. <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/odtunun-insansiz-araba-teknolojisi-teknofestte/1584794>
- ANELLO. (2023). *Autonomous Vehicles*. <https://www.anellophotonics.com/applications/autonomous-vehicles>
- Ansari, K. (2021). Joint use of DSRC and C-V2X for V2X communications in the 5.9 GHz ITS band. *IET Intelligent Transport Systems*, 15(2), 213-224. <https://doi.org/10.1049/ITR2.12015>
- Apollo. (2018). *Apollo minibüs*. <https://developer.apollo.auto/minibus/index.html>
- Applied EV. (2022a). *Blanc Robot*. <https://www.appliedev.com/blanc-robot>
- Applied EV. (2022b). *Driving the World Forward*. <https://www.appliedev.com/>
- Arena, F., Pau, G., & Severino, A. (2020). A Review on IEEE 802.11p for Intelligent Transportation Systems. *Journal of Sensor and Actuator Networks* 2020, Vol. 9, Page 22, 9(2), 22. <https://doi.org/10.3390/JSAN9020022>
- Ashton, T. S. (1997). The Industrial Revolution 1760-1830. *The Industrial Revolution 1760-1830*. <https://doi.org/10.1093/OSO/9780192892898.001.0001>
- Audi. (2023a). *Audi grandsphere concept*. https://www.progress.audi/progress/en/concept-cars/audi-grandsphere-concept.html?pid=bc:concept-cars:audi.com:teaser:n:grandsphere:o:ai~conceptx23_en
- Audi. (2023b). *Audi skysphere concept*. https://www.progress.audi/progress/en/concept-cars/audi-skysphere-concept.html?pid=bc:concept-cars:audi.com:teaser:n:skysphere:o:ai~conceptx23_en
- AUS Türkiye. (2022, Temmuz 30). *Otonom Araçlar Vadi'den Geçti*. <https://austurkiye.org.tr/blog/otonom-araclar-vadi%E2%80%99den-gecti>
- Australian Government | Department of Infrastructure Transport Regional Development Communications and the Arts. (2024). *Automated vehicles | Department of Infrastructure, Transport, Regional Development, Communications and the Arts*. <https://www.infrastructure.gov.au/infrastructure-transport-vehicles/transport-strategy-policy/office-future-transport-technology/automated-vehicles>
- Australian Government Bureau of Meteorology. (2023). *How Radar Works*. http://www.bom.gov.au/australia/radar/about/what_is_radar.shtml
- AustriaTech. (2019). *Automated Mobility in Austria Monitoring Report 2018*. <https://www.austriatech.at/assets/Uploads/Publikationen/PDF-Dateien/67dbe6efec/Monitoring-Report-2018.pdf>
- AutoL. (2021). *Small Size, Long Range Detection*. <http://autol.co.kr/>
- Autor, D. H. (2015). *Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation*. <https://doi.org/10.1257/jep.29.3.3>

- Auve Tech. (2024). *Innovative Solutions in Autonomous Shuttles*. <https://auve.tech/>
- AZO Materials. (2018). *The Lasers Used in Self-Driving Cars*. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=16424>
- Barry Nilsson. (2023, Mart 20). *Automated Safety Law 2026?* <https://bnlaw.com.au/knowledge-hub/insights/automated-safety-law-2026/>
- Behere, S., & Törngren, M. (2015). A functional architecture for autonomous driving. *WASA 2015 - Proceedings of the 2015 ACM Workshop on Automotive Software Architecture, Part of CompArch 2015*, 3-10. <https://doi.org/10.1145/2752489.2752491>
- Bentley. (2023). *Bentley EXP 100 GT - the future of Grand Touring |Beyond 100*. <https://www.bentleymotors.com/en/world-of-bentley/beyond-100/exp-100-gt-concept.html>
- bitsensing. (2022). *Radar Reimagined*. <https://bitsensing.com/solution/mobility>
- Blickfeld. (2023). *LiDAR for a smart and efficient digital world*. <https://www.blickfeld.com/>
- Bloomberg. (2023, Mart 2). *Ford Creates New Latitude AI to Work on Automated Driving Features*. https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-03-02/ford-creates-new-unit-to-develop-semi-autonomous-driving-tech?utm_medium=cpc_search&utm_campaign=NB_ENG_DSAXX_DSAXXXXXXXXXXXXX_EVG_XX_XX_XXX_Y0469_EN_EN_X_BLOM_GO_SE_XXX_XXXXXXXXXXXX&gclid=Cj0KCQjwusunBhCYARIsAFBsUP_AH9MjX6eJUDXXAmxKEYi0gV7w719nlGO46JhbRbOoEFVwzgzgfwApheEALw_wcB&gclsrc=aw.ds&in_source=embedded-checkout-banner
- BMC. (2023). *Amazon*. <https://www.bmc.com.tr/savunma-sanayi/amazon>
- BMW Group. (2024). *BMW combines levels 2 and 3 in automated driving*. <https://www.bmwgroup.com/en/news/general/2024/automated-driving.html>
- BMW Türkiye. (2023). *Yeni BMW 7 Serisi Sedan: Bir Bakışta*. <https://www.bmw.com.tr/tr/all-models/the7/sedan/2022/bmw-7-serisi-sedan-bir-bakista.html>
- Bodet Time. (2022, Mayıs 30). *Comprendre les différents systèmes de satellites*. <https://www.bodet-time.com/fr/ressources/blog/1792-comprendre-les-differents-systemes-de-satellites.html>
- Boğaziçi Üniversitesi Otonom Sistemleri Ekibi | BURST. (2021). *BİZ KİMİZ*. <http://burst.boun.edu.tr/>
- Bosch. (2023). *Localization for automated driving*. <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/automated-driving/localization-for-automated-driving/>
- BrainIV. (2021). *Brain for Intelligence*. <https://www.brain4.jp/>
- British Standards Institution. (2023). *Connected and autonomous vehicle development and safety*. <https://www.bsigroup.com/en-GB/blog/automotive-blog/connected-and-autonomous-vehicle-development-and-safety/>
- Brookings. (2024). *The evolving safety and policy challenges of self-driving cars*. <https://www.brookings.edu/articles/the-evolving-safety-and-policy-challenges-of-self-driving-cars/>

- BSI Knowledge. (2020, Nisan 39). *PAS 1880:2020 Guidelines for developing and assessing control systems for automated vehicles*. <https://knowledge.bsigroup.com/products/guidelines-for-developing-and-assessing-control-systems-for-automated-vehicles?version=standard>
- Buechel, M., Frtunikj, J., Becker, K., Sommer, S., Buckl, C., Armbruster, M., Marek, A., Zirkler, A., Klein, C., & Knoll, A. (2015). An Automated Electric Vehicle Prototype Showing New Trends in Automotive Architectures. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 2015-October*, 1274-1279. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2015.209>
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2017). *Ethics Committee | Automated and Connected Driving*. <https://www.connectedautomateddriving.eu/wp-content/uploads/2017/07/084-dobrindt-bericht-der-ethik-kommission.pdf>
- Cadence. (2023). *The Use of RADAR Technology in Autonomous Vehicles*. <https://resources.system-analysis.cadence.com/blog/msa2022-the-use-of-radar-technology-in-autonomous-vehicles>
- Cadillac. (2022). *Cadillac Introduces InnerSpace Autonomous Concept at CES 2022*. <https://media.cadillac.com/media/us/en/cadillac/home.detail.html/content/Pages/news/us/en/2022/jan/ces/0105-cadillac-halo.html>
- Cadillac. (2023a). *InnerSpace Concept Vehicle*. <https://www.cadillac.com/concept-vehicles/innerspace-concept>
- Cadillac. (2023b). *SocialSpace Concept Vehicle*. <https://www.cadillac.com/concept-vehicles/socialspace-concept>
- Castañeda Garcia, M. H., Molina-Galan, A., Boban, M., Gozálvez, J., Coll-Perales, B., Şahin, T., & Kousaridas, A. (2021). *A Tutorial on 5G NR V2X Communications*. <https://arxiv.org/pdf/2102.04538>
- CDMMobil. (2021). *Otonom Araç Teknolojileri*. <https://www.cdmmobil.com.tr/otonom-teknolojiler-son#firstSection>
- Chapman Taylor. (2022). *The impact of autonomous vehicles on urban planning*. <https://www.chapmantaylor.com/insights/the-impact-of-autonomous-vehicles-on-urban-planning>
- Chattopadhyay, A., Lam, K. Y., & Tavva, Y. (2020). Autonomous Vehicle: Security by Design. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(11), 7015-7029. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3000797>
- Chen, B., Sun, D., Zhou, J., Wong, W., & Ding, Z. (2020). A future intelligent traffic system with mixed autonomous vehicles and human-driven vehicles. *Information Sciences*, 529, 59-72. <https://doi.org/10.1016/J.INS.2020.02.009>
- Chevrolet. (2023a). *2023 Bolt EUV: Electric Utility Vehicle*. <https://www.chevrolet.com/electric/bolt-euv>
- Chevrolet. (2023b). *Super Cruise for Select Vehicles*. <https://www.chevrolet.com/super-cruise>
- Citroën. (2023). *Citroën Autonomous Mobility Vision | Future urban mobility*. <https://www.citroen.co.uk/about-citroen/concept-cars/citroen-autonomous-mobility-vision.html>
- CMS. (2020a). *Autonomous vehicles law and regulation in Austria*. <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-autonomous-vehicles-avs/austria>

CMS. (2020b). *Autonomous vehicles law and regulation in China*. <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-autonomous-vehicles-avs/china>

CMS. (2020c). *Autonomous vehicles law and regulation in Italy*. <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-autonomous-vehicles-avs/italy>

Connected Automated Driving. (2024). *Germany*. <https://www.connectedautomateddriving.eu/regulation-and-policies/national-level/eu/germany/>

Cruise. (2023). *Autonomous Vehicle Technology | Driverless Cars*. <https://getcruise.com/technology/>

Dai, Z., Liu, X. C., Chen, X., & Ma, X. (2020). Joint optimization of scheduling and capacity for mixed traffic with autonomous and human-driven buses: A dynamic programming approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 114, 598-619. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2020.03.001>

Deloitte. (2019). *Urban Mobility and Autonomous Driving in 2035 | How robotaxis will affect cities and automakers*. https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/Innovation/Datenland%20Deutschland%20_Autonomes%20Fahren_EN_Safe.pdf

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. (2018). *Defining the Future of Mobility: Intelligent and Connected Vehicles (ICVs) in China and Germany Opportunities, Challenges and the Road Ahead*. <https://transition-china.org/wp-content/uploads/2021/06/Defining-the-Future-of-Mobility.pdf>

Die Bundesregierung. (2022). *Strategy for Automated and Connected Driving*.

Digi International. (2024). *What is C-V2X? (Cellular Vehicle to Everything) | Definition |*. <https://www.digi.com/resources/definitions/c-v2x>

Director General for Science Technology and Innovation Cabinet Office. (2018). *Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP) Automated Driving for Universal Services R&D Plan*. https://en.sip-adus.go.jp/sip/file/sip_2018_plan_en.pdf

Discoperi. (2023). *Leading automotive revolution*. <http://discoperi.com/>

dSPACE. (2023). *Fahrerassistenzsysteme und autonomes Fahren*. https://www.dspace.com/de/gmb/home/applicationfields/ind-appl/automotive-industry/autonomous-driving.cfm?etcc_med=SEA&etcc_par=Google&etcc_cmp=GSN_DE_DE_GEN_App&etcc_grp=154805284009&etcc_ctv=ADAS_an_Autonomous_Driving&etcc_bky=autonomes%20autofahren&etcc_mty=b&etcc_plc=&etcc_bde=c&etcc_var=EAIAIQobChMI7_OD787jgAMV2oZoCR2yLArtEAAYAiAAEgJf8vD_BwE&gclid=EAIAIQobChMI7_OD787jgAMV2oZoCR2yLArtEAAYAiAAEgJf8vD_BwE

DusunIoT. (2023). *Sürüş Deneyiminde Devrim Yaratan Otomotiv IoT*. <https://www.dusuniot.com/tr/blog/automotive-iot-revolutionizing-the-driving-experience/>

Dynamic Map Platform. (2023). *Modeling the Earth*. <https://www.dynamic-maps.co.jp/>

EasyMile. (2023). *Autonomous vehicle technology and solutions*. <https://easymile.com/>

E-Avis ISDC. (2022). *Legal Opinion on the Regulation of Certain Aspects of Automated Driving*. <https://www.isdc.ch/media/2219/e-avis-21-193-e.pdf>

egirişim. (2023, Haziran 12). *Anadolu Isuzu'nun otonom elektrikli otobüsü, sürüş testlerini tamamladı.* <https://egirisim.com/2023/06/12/anadolu-isuzunun-otonom-elektrikli-otobusu-surus-testlerini-tamamladi/>

Elbanhawi, M., Simic, M., & Jazar, R. (2015). In the Passenger Seat: Investigating Ride Comfort Measures in Autonomous Cars. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 7(3), 4-17. <https://doi.org/10.1109/MITS.2015.2405571>

Erdinç Altuğ. (2016). *Autonomous Transportation with a Golf Cart developed in the ITU Autonomous Systems Research Lab* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=Hm-jgb1hveM>

España Ministerio del Interior. (2017). *Spanish Approach on Autonomous Driving.* <https://www.connectedautomateddriving.eu/wp-content/uploads/2017/02/ES-Presentation-Workshop-16-12-16.pdf>

European Commission. (2016). *EN 16803-1:2016 - Space - Use of GNSS-based positioning for road Intelligent Transport Systems (ITS) - Part 1: Definitions and system engineering procedures for the establishment and assessment of performances.* <https://joinup.ec.europa.eu/collection/ict-standards-procurement/solution/en-16803-12016-space-use-gnss-based-positioning-road-intelligent-transport-systems-its-part-1/about>

European Commission. (2022). *Estonia 2035 Action Plan of the Government of the Republic.* https://commission.europa.eu/system/files/2022-04/nrp_2022_estonia_en.pdf

European Commission. (2024). *ITS & Vulnerable Road Users.* https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/smart-mobility/road/its-directive-and-action-plan/implementation-its-action-plan/its-vulnerable-road-users_en

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2013). *Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band.* https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302663/01.02.01_30/en_302663v010201v.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2017). *TS 103 246-1 - V1.2.1 - Satellite Earth Stations and Systems (SES); GNSS based location systems; Part 1: Functional requirements.* https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103200_103299/10324601/01.02.01_60/ts_10324601v010201p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2018a). *GR MEC 022 - V2.1.1 - Multi-access Edge Computing (MEC); Study on MEC Support for V2X Use Cases.* https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/MEC/001_099/022/02.01.01_60/gr_MEC022v020101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2018b). *TR 121 914 - V14.0.0 - Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; 5G; Release description; Release 14 (3GPP TR 21.914 version 14.0.0 Release 14).* https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/121900_121999/121914/14.00.00_60/tr_121914v140000p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2019a). *TR 103 508 - V1.1.1 - SmartM2M; SAREF extension investigation; Requirements for Automotive.* https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103500_103599/103508/01.01.01_60/tr_103508v010101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2019b). *TR 103 562 - V2.1.1 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Analysis of the Collective Perception Service (CPS); Release 2.* https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103500_103599/103562/02.01.01_60/tr_103562v020101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2020a). *GR IP6 030 - V1.1.1 - IPv6-based Vehicular Networking (V2X)*.
https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/IP6/001_099/030/01.01.01_60/gr_IP6030v010101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2020b). *TR 103 579 - V1.1.1 - Intelligent Transport Systems (ITS); Pre-Standardization Study on payment applications in Cooperative ITS using V2I communication*.
https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103500_103599/103579/01.01.01_60/tr_103579v010101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2021). *TS 103 300-2 - V2.2.1 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vulnerable Road Users (VRU) awareness; Part 2: Functional Architecture and Requirements definition; Release 2*.
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/10330002/02.02.01_60/ts_10330002v020201p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2022a). *TR 103 300-1 - V2.3.1 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vulnerable Road Users (VRU) awareness; Part 1: Use Cases definition; Release 2*.
https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103300_103399/10330001/02.03.01_60/tr_10330001v020301p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2022b). *TR 126 985 - V17.0.0 - 5G; Vehicle-to-everything (V2X); Media handling and interaction (3GPP TR 26.985 version 17.0.0 Release 17)*.
https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/126900_126999/126985/17.00.00_60/tr_126985v170000p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2022c). *TS 123 285 - V17.1.0 - Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Architecture enhancements for V2X services (3GPP TS 23.285 version 17.1.0 Release 17)*.
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123200_123299/123285/17.01.00_60/ts_123285v170100p.pdf

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2023). *GR IPE 007 - V1.1.1 - IPv6 Enhanced innovation (IPE); IPv6-based 5G for Connected and Automated Mobility*.
https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/IPE/001_099/007/01.01.01_60/gr_IPE007v010101p.pdf

everything RF. (2022). *What is 64-QAM Modulation?* <https://www.everythingrf.com/community/what-is-64-qam-modulation>

eVS-Embedded Vision Systems. (2023). *Embedded Vision Systems*.
<https://www.embeddedvisionsystems.it/>

Faisal, A., Kamruzzaman, M., Yigitcanlar, T., & Currie, G. (2019). *Understanding autonomous vehicles*.
https://www.jstor.org/stable/pdf/26911258.pdf?casa_token=H_yytt02bdMAAAAAA:cCq2Z1_Uyz15EUaNagnTcwBoGisY9vmr3kaevUhi0TQW8sxJ5bk92PAa0XZajhGj9h-M4yrgixGUmJqsKC72mDXHewE4gWJeMJVkJGSYHm4jv8Mz6wxY

Federal Ministry Republic of Austria | Climate Action Environment Energy Mobility Innovation and Technology. (2020). *Code of Practice : Testing of Automated Driving on Public Roads*.
https://www.austriatech.at/assets/Uploads/Fokusseiten/Kontaktstelle-Automatisierte-Mobilitaet/Dokumente/acc272c043/EN_Codeofpractice.pdf

Federal Ministry Republic of Austria | Transport Innovation and Technology. (2019). *Austrian Action Programme on Automated Mobility 2019-2022*. https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:56570b3f-9b2a-42b7-838c-4a201a501ef3/action_automated_mobility_2019-2022_ua.pdf

- Federal Ministry Republic of Austria | Transport Innovation and Technology, ECSEL Austria, AustriaTech, ITS Austria, & A3PS. (2016). *Austrian Research, Development & Innovation Roadmap for Automated Vehicles Klaus*.
https://www.ffg.at/sites/default/files/downloads/call/austrian_roadmap_automated_vehicles.pdf
- Fernride. (2023). *Driving logistics automation*. <https://www.fernride.com/>
- Fluke. (2023). *What does infrared mean?* <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/thermal-imaging/how-thermal-cameras-use-infrared-thermography>
- Ford. (2023, Mart 2). *Ford Establishes Latitude AI to Develop Future Automated Driving Technology*.
<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2023/03/02/ford-establishes-latitude-ai-to-develop-future-automated-driving.html>
- Ford Otosan. (2020). *Ford Otosan ve AVL'den Otonom Taşımacılığa Giden Yolda Önemli Adım*. Geliş tarihi 04 Mayıs 2023, gönderen <https://www.fordotosan.com.tr/tr/medya/basin-kitleri/ford-otosan-ve-avlden-otonom-tasimaciliga-giden-yolda-onemli-adim>
- Ford Otosan. (2023). *Eskişehir Ar-Ge Merkezi*. <https://www.fordotosan.com.tr/tr/faaliyetlerimiz/ar-ge/ar-ge-merkezlerimiz/eskisehir-ar-ge-merkezi>
- Ford Otosan Blog. (2020, Kasım 27). *Otonom Taşımacılıkta “Seviye 4 Otoyol Pilotu” ile Tanışın!*
<https://blog.ford.com.tr/otonom-tasimacilikta-seviye-4-otoyol-pilotu-ile-tanisin>
- Foukas, X., Patounas, G., Elmokashfi, A., & Marina, M. K. (2017). Network Slicing in 5G: Survey and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 55(5), 94-100.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600951>
- FunctionalSafetyEngineer.com. (2023). *A Functional Overview of Autonomous Vehicles*.
<https://functionalsafetyengineer.com/a-functional-overview-of-autonomous-vehicles/>
- Gavanas, N. (2019). Autonomous Road Vehicles: Challenges for Urban Planning in European Cities. *Urban Science 2019, Vol. 3, Page 61*, 3(2), 61. <https://doi.org/10.3390/URBANSKI3020061>
- Gears Ltd. (2021). *Autonomous Vehicle Technologies*. <https://gears.com.tr/>
- GetJerry.com. (2022). *Is Car Ownership Declining? |*. <https://getjerry.com/insights/is-car-ownership-declining#was-car-ownership-declining-before-the-pandemic>
- Gezer, K. (2022). *Uygulanabilirliği kanıtlamak: POC - Proof of Concept*.
<https://www.linkedin.com/pulse/uygulanabilirli%C4%9Fi-kan%C4%B1tlamak-poc-proof-concept-kuntay-gezer/?originalSubdomain=tr>
- Global Infrastructure Hub. (2020, Aralık 9). *GPS and Sensors to Enable Autonomous Vehicles*.
<https://www.gihub.org/infrastructure-technology-use-cases/case-studies/gps-and-sensors-to-enable-autonomous-vehicles/>
- Goggo Network. (2023). *Autonomous Mobility as A Service*. <https://goggo.network/>
- Gouvernement Français. (2020). *The French strategy for the development of automated road mobility 2020-2022* (ss. 7-11). <https://unece.org/sites/default/files/2021-01/GRVA-09-03e.pdf>

- Green Car Congress. (2021, Kasım 9). *Michigan State University introduces electric autonomous bus through collaboration with state, Karsan and ADASTEC - Green Car Congress*. <https://www.greencarcongress.com/2021/11/20211109-msu.html>
- Grupo Irizar. (2020). *The first Irizar Group autonomous bus is presented in Malaga*. <https://irizar-emobility.com/en/events-and-latest-news/news/the-first-irizar-group-autonomous-bus-is-presented-in-malaga-lang-en>
- Grupo Irizar. (2023). *Autonomous driving*. <https://www.grupoirizar.com/en/technology-and-innovation-irizar/autonomous-driving>
- HAVELSAN. (2023a). *BARKAN*. <https://www.havelsan.com.tr/sektorler/egitim-ve-simulasyon/robotik-ve-otonom-sistemler/havelsan-barkan#486>
- HAVELSAN. (2023b). *BARKAN 2*. <https://www.havelsan.com.tr/sektorler/egitim-ve-simulasyon/robotik-ve-otonom-sistemler/barkan-2>
- HAVELSAN. (2023c). *KAPGAN*. <https://www.havelsan.com.tr/sektorler/egitim-ve-simulasyon/robotik-ve-otonom-sistemler/kapgan>
- He, D., He, W., & Song, X. (2020). Efficient predictive cruise control of autonomous vehicles with improving ride comfort and safety. *Measurement and Control (United Kingdom)*, 53(1-2), 18-28. https://doi.org/10.1177/0020294019877518/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_0020294019877518-FIG9.JPEG
- Heex Technologies. (2023). *Smart Data for Autonomy*. <https://www.heex.io/>
- Henry Orieno, O., Leonard Ndubuisi, N., Ikenna Ilojiana, V., Winston Bui, P., Odonkor, B., & Author, C. (2024). The Future of Autonomous Vehicles In The U.S. Urban Landscape: A Review: Analyzing Implications for Traffic, Urban Planning, And The Environment. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(1), 43-64. <https://doi.org/10.51594/ESTJ.V5I1.721>
- Her Majesty Government. (2022). *Connected & Automated Mobility 2025: Realising the benefits of self-driving vehicles in the UK*. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1099173/cam-2025-realising-benefits-self-driving-vehicles.pdf
- Humanising Autonomy. (2023). *We make automation people-friendly*. <https://humanisingautonomy.com/>
- Hyundai Australia. (2023). *Car Safety Features | Design & Innovation*. <https://www.hyundai.com/au/en/why-hyundai/autonomous-driving/safety>
- IEA. (2018). *Global energy and CO2 status report-2017 Key findings*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/94aa834c-2f1e-4e71-9e2f-ec61467bd475/Global_Energy_and_CO2_Status_Report_2017.pdf
- IEEE Public Safety Technology. (2024). *Autonomous Vehicles for Emergency Response and Disaster Relief - IEEE Public Safety Technology Initiative*. <https://publicsafety.ieee.org/topics/autonomous-vehicles-for-emergency-response-and-disaster-relief>
- IEEE Standards Association. (2010). *IEEE 802.11p-2010*. <https://standards.ieee.org/ieee/802.11p/3953/>

IEEE Standards Association. (2019, Ekim 22). *1609.12-2019 - IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)--Identifiers* | IEEE Standard | IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8877516>

IEEE Standards Association. (2022a). *IEEE 1609.2-2022 IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments--Security Services for Application and Management Messages*. <https://standards.ieee.org/ieee/1609.2/10258/>

IEEE Standards Association. (2022b). *IEEE 1780-2022 IEEE Standard for Specifying Inertial Measurement Units (IMUs)*. <https://standards.ieee.org/ieee/1780/5700/>

IEEE Standards Association. (2022c). *IEEE 2846-2022*. <https://standards.ieee.org/ieee/2846/10831/>

IENSTITU. (2024). *Delving into the Impact of Autonomous Vehicles on Supply Chain Efficiencies*. <https://www.iienstitu.com/en/blog/autonomous-vehicles-on-supply-chain-efficiencies>

Independent Türkçe. (2021, Nisan 30). “Türkiye’de ilk sürücüsüz otomobil test sürüşlerine başlandı” . <https://www.indytrk.com/node/352396/bi%CC%87li%CC%87m/t%C3%BCrkiye%E2%80%99de-ilk-s%C3%BCr%C3%BCc%C3%BCs%C3%BCz-otomobil-test-s%C3%BCr%C3%BC%C5%9Flerine-ba%C5%9Fland%C4%B1>

Infineon. (2024). *Difference Between Fail-safe and Fail-operational Modes: AURIX™ MCU*. <https://community.infineon.com/t5/Knowledge-Base-Articles/Difference-between-fail-safe-and-fail-operational-modes-AURIX-MCU/ta-p/436862#>.

Innovation Origins. (2023). *Bringing Autonomous Driving Forward: Politecnico di Milano’s Self-driving Maserati & China’s Driverless Cityscape* - . <https://innovationorigins.com/en/bringing-autonomous-driving-forward-politecnico-di-milanos-self-driving-maserati-chinas-driverless-cityscape/>

International Bar Association. (2023). *Recent trends in regulations on autonomous vehicles in Korea*. Geliş tarihi 02 Eylül 2023, gönderen <https://www.ibanet.org/article/19FCDD11-A0B1-41F1-97AB-F32E144311F8>

International Organization for Standardization (ISO). (2013, Temmuz). *ISO 15623:2013 - Intelligent transport systems — Forward vehicle collision warning systems — Performance requirements and test procedures*. <https://www.iso.org/standard/56655.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2017a, Haziran). *ISO 17361:2017 - Intelligent transport systems — Lane departure warning systems — Performance requirements and test procedures*. <https://www.iso.org/standard/72349.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2017b, Aralık). *ISO 19237:2017 - Intelligent transport systems — Pedestrian detection and collision mitigation systems (PDCMS) — Performance requirements and test procedures*. <https://www.iso.org/standard/64111.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2018a). *ISO 26262-1:2018 - Road vehicles — Functional safety — Part 1: Vocabulary*. <https://www.iso.org/standard/68383.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2018b). *ISO 26262-2:2018 - Road vehicles — Functional safety — Part 2: Management of functional safety*. <https://www.iso.org/standard/68384.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2018c). *ISO 26262-3:2018 - Road vehicles — Functional safety — Part 3: Concept phase*. <https://www.iso.org/standard/68385.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2018d). *ISO 26262-4:2018 - Road vehicles — Functional safety — Part 4: Product development at the system level*.
<https://www.iso.org/standard/68386.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2018e). *ISO 26262-5:2018 - Road vehicles — Functional safety — Part 5: Product development at the hardware level*.
<https://www.iso.org/standard/68387.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2018f). *ISO 26262-6:2018 - Road vehicles — Functional safety — Part 6: Product development at the software level*.
<https://www.iso.org/standard/68388.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2018g). *ISO 26262-7:2018 - Road vehicles — Functional safety — Part 7: Production, operation, service and decommissioning*.
<https://www.iso.org/standard/68389.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2018h). *ISO 26262-8:2018 - Road vehicles — Functional safety — Part 8: Supporting processes*. <https://www.iso.org/standard/68390.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2018i). *ISO 26262-9:2018 - Road vehicles — Functional safety — Part 9: Automotive safety integrity level (ASIL)-oriented and safety-oriented analyses*. <https://www.iso.org/standard/68391.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2018j). *ISO 26262-10:2018 - Road vehicles — Functional safety — Part 10: Guidelines on ISO 26262*. <https://www.iso.org/standard/68392.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2018k). *ISO 26262-11:2018 - Road vehicles — Functional safety — Part 11: Guidelines on application of ISO 26262 to semiconductors*.
<https://www.iso.org/standard/69604.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2018l, Eylül). *ISO 15622:2018 - Intelligent transport systems — Adaptive cruise control systems — Performance requirements and test procedures*.
<https://www.iso.org/standard/71515.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2018m, Eylül). *ISO 19638:2018 - Intelligent transport systems — Road boundary departure prevention systems (RBDPS) — Performance requirements and test procedures*. <https://www.iso.org/standard/65599.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2018n, Eylül). *ISO 21717:2018 - Intelligent transport systems — Partially Automated In-Lane Driving Systems (PADS) — Performance requirements and test procedures*. <https://www.iso.org/standard/71471.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2019, Ocak). *ISO 20035:2019 - Intelligent transport systems — Cooperative adaptive cruise control systems (CACC) — Performance requirements and test procedures*. <https://www.iso.org/standard/66879.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2020a). *ISO/TR 4804:2020 - Road vehicles — Safety and cybersecurity for automated driving systems — Design, verification and validation*.
<https://www.iso.org/standard/80363.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2020b). *ISO/TR 21959-1:2020 - Road vehicles — Human performance and state in the context of automated driving — Part 1: Common underlying concepts*. <https://www.iso.org/standard/78088.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2020c). *ISO/TR 21959-2:2020 - Road vehicles — Human performance and state in the context of automated driving — Part 2: Considerations in designing experiments to investigate transition processes*. <https://www.iso.org/standard/73928.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2020d, Şubat). *ISO 22078:2020 - Intelligent transport systems — Bicyclist detection and collision mitigation systems (BDCMS) — Performance requirements and test procedures*. <https://www.iso.org/standard/72508.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2020e, Nisan). *ISO 21202:2020 - Intelligent transport systems — Partially automated lane change systems (PALS) — Functional / operational requirements and test procedures*. <https://www.iso.org/standard/70072.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2021a). *ISO 22737:2021 - Intelligent transport systems — Low-speed automated driving (LSAD) systems for predefined routes — Performance requirements, system requirements and performance test procedures*. <https://www.iso.org/standard/73767.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2021b). *ISO 23150:2021 - Road vehicles — Data communication between sensors and data fusion unit for automated driving functions — Logical interface*. <https://www.iso.org/standard/74741.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2021c). *ISO/SAE 21434:2021 - Road vehicles — Cybersecurity engineering*. <https://www.iso.org/standard/70918.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2022a). *ISO 21448:2022 - Road vehicles — Safety of the intended functionality*. <https://www.iso.org/standard/77490.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2022b). *ISO 21734-1:2022 - Intelligent transport systems — Performance testing for connectivity and safety functions of automated driving buses in public transport — Part 1: General framework*. <https://www.iso.org/standard/71520.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2022c). *ISO 22733-1:2022 - Road vehicles — Test method to evaluate the performance of autonomous emergency braking systems — Part 1: Car-to-car*. <https://www.iso.org/standard/84241.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2022d). *ISO 34501:2022 - Road vehicles — Test scenarios for automated driving systems — Vocabulary*. <https://www.iso.org/standard/78950.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2022e). *ISO 34502:2022 - Road vehicles — Test scenarios for automated driving systems — Scenario based safety evaluation framework*. <https://www.iso.org/standard/78951.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2022f). *ISO 37168:2022 - Smart community infrastructures — Guidance on smart transportation by Electric, Connected and Autonomous Vehicles (eCAVs) and its application to on-demand responsive passenger services with shared vehicles*. <https://www.iso.org/standard/69254.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2022g). *ISO 37181:2022 - Smart community infrastructures — Smart transportation by autonomous vehicles on public roads*. <https://www.iso.org/standard/69267.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2022h). *ISO/IEC 27001:2022 - Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems — Requirements*. <https://www.iso.org/standard/82875.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2022i). *ISO/TS 5255-1:2022 - Intelligent transport systems — Low-speed automated driving system (LSADS) service — Part 1: Role and functional model*. <https://www.iso.org/standard/81069.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2023a). *ISO 22733-2:2023 - Road vehicles — Test method to evaluate the performance of autonomous emergency braking systems — Part 2: Car to pedestrian*. <https://www.iso.org/standard/81527.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2023b). *ISO/TR 5255-2:2023 - Intelligent transport systems — Low-speed automated driving system (LSADS) service — Part 2: Gap analysis*. <https://www.iso.org/standard/81070.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2023c). *ISO/TS 22133:2023 - Road vehicles — Test object monitoring and control for active safety and automated/autonomous vehicle testing — Functional requirements, specifications and communication protocol*. <https://www.iso.org/standard/78970.html>

Invest Korea. (2021). *Gearing Up for Technological Cooperation*. https://www.investkorea.org/upload/kotraexpress/2021/04/images/2104_full.pdf

IoT World Today. (2022). *Driverless Robosweeper Brings AV Tech to Street Cleaning*. <https://www.iotworldtoday.com/transportation-logistics/driverless-robosweeper-brings-av-tech-to-street-cleaning>

İstanbul Okan Üniversitesi. (2024). *Türkiye'nin İlk Otonom Araç Geliştirme ve Test Platformu'nu hizmete açtık*. <https://www.okan.edu.tr/haber/3566/turkiyenin-ilk-otonom-arac-gelistirme-ve-test-platformunu-hizmete-actik/>

İstanbul Teknik Üniversitesi. (2022). *Autonomous Systems Research Laboratory*. https://otonom.itu.edu.tr/index_e.htm

Isuzu. (2023). *Advance Safety*. https://www.isuzu.co.jp/world/product/p_car/mu-x/advance_safety.html

Italia Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2020). *Directive (EU) 2010/40 Progress Report 2020*. https://transport.ec.europa.eu/system/files/2021-06/2021_it_its_progress_report_2020.pdf

ITD Lab. (2023). *SRIM Technology*. <https://itdlab.com/wordpress/en/>

iTeh Standards. (2019, Kasım 27). *CEN/TS 17395:2019 - Intelligent transport systems - eSafety - eCall for automated and autonomous*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/c8470fee-b5fe-4565-ba1a-7db36a429467/cen-ts-17395-2019>

iTeh Standards. (2022). *CEN/TR 17828:2022 - Road infrastructure - Automated vehicle interactions - Reference Framework*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/1811978c-cbaf-4d6d-a980-f7eac395e6ce/cen-tr-17828-2022>

- IVECO. (2023a). *Automated Truck by IVECO and Plus Now on Public Roads in Germany*. <https://www.iveco.com/en-us/press-room/release/Pages/Automated-Truck-by-IVECO-and-Plus-Now-on-Public-Roads-in-Germany.aspx>
- IVECO. (2023b). *We are on our way to make automated-truck driving a reality - IVECO S-WAY Plus Drive* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=L2g4uV0pxTk>
- Japan Automobile Manufacturers Association. (2022). *The Motor Industry of Japan 2022*. http://www.jama.or.jp/english/reports/docs/MIoJ2022_e.pdf
- Jo, K., Kim, J., Kim, D., Jang, C., & Sunwoo, M. (2014). Development of autonomous car-part i: Distributed system architecture and development process. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(12), 7131-7140. <https://doi.org/10.1109/TIE.2014.2321342>
- Jo, K., Kim, J., Kim, D., Jang, C., & Sunwoo, M. (2015). Development of Autonomous Car - Part II: A Case Study on the Implementation of an Autonomous Driving System Based on Distributed Architecture. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(8), 5119-5132. <https://doi.org/10.1109/TIE.2015.2410258>
- Johannes, A., & Solbraa Bay, T. (2016). *Innovation Adoption in Robotics: Consumer Intentions to Use Autonomous Vehicles*. <https://openaccess.nhh.no/nhh-xmlui/bitstream/handle/11250/2403766/masterthesis.PDF?sequence=1>
- KARSAN. (2023). *Otonom e-ATAK*. <https://www.karsan.com/tr/otonom>
- Katalon. (2023). *What is Integration Testing? Definition, Examples, How-to*. <https://katalon.com/resources-center/blog/integration-testing>
- Kato, S., Takeuchi, E., Ishiguro, Y., Ninomiya, Y., Takeda, K., & Hamada, T. (2015). An open approach to autonomous vehicles. *IEEE Micro*, 35(6), 60-68. <https://doi.org/10.1109/MM.2015.133>
- Kato, S., Tokunaga, S., Maruyama, Y., Maeda, S., Hirabayashi, M., Kitsukawa, Y., Monrroy, A., Ando, T., Fujii, Y., & Azumi, T. (2018). Autoware on Board: Enabling Autonomous Vehicles with Embedded Systems. *Proceedings - 9th ACM/IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems, ICCPS 2018*, 287-296. <https://doi.org/10.1109/ICCPS.2018.00035>
- Kenney, J. B. (2011). Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States. *Proceedings of the IEEE*, 99(7), 1162-1182. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2011.2132790>
- Keolis Downer. (2023). *Autonomous Vehicles*. <https://www.keolisdowner.com.au/autonomous-vehicles/>
- Keysight Blogs. (2024). *How Automotive Radars Are Advancing Safety Features*. <https://www.keysight.com/blogs/en/tech/educ/2023/automotive-radar>
- KG MOBILITY. (2020). *SsangYong to test its autonomous vehicles on the road*. https://www.kg-mobility.com/en/med_cen/news/1300970_13941.html
- Khalid, F., & Hasan, S. R. (2024). Hardware security of autonomous vehicles. *Handbook of Power Electronics in Autonomous and Electric Vehicles*, 125-138. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99545-0.00012-9>

- Khalid, M., Awais, M., Singh, N., Khan, S., Raza, M., Malik, Q. B., & Imran, M. (2021). Autonomous Transportation in Emergency Healthcare Services: Framework, Challenges, and Future Work. *IEEE Internet of Things Magazine*, 4(1), 28-33. <https://doi.org/10.1109/IOTM.0011.2000076>
- Khan, B. S., Jangsher, S., Ahmed, A., & Al-Dweik, A. (2022). URLLC and eMBB in 5G Industrial IoT: A Survey. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 3, 1134-1163. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2022.3189013>
- Koopman, P., & Wagner, M. (2017). Autonomous Vehicle Safety: An Interdisciplinary Challenge. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 9(1), 90-96. <https://doi.org/10.1109/MITS.2016.2583491>
- KPMG. (2022). *Levelling Up: China's race to an autonomous future*. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/cn/pdf/en/2022/06/special-report-on-autonomous-driving.pdf>
- Küllüye Karabük. (2018, Ağustos 10). *Karabük Üniversitesinin ilk sürücüsüz aracı yeterlilik aldı*. <https://kulluye.karabuk.edu.tr/karabuk-universitesinin-ilk-surucusuz-araci-yeterlilik-aldi/>
- Land Transport Guru. (2023). *WeRide Robobus*. <https://landtransportguru.net/weride-robobus/>
- Law Commission of England and Wales, & Scottish Law Commission. (2022). *Automated Vehicles: joint report*. <https://s3-eu-west-2.amazonaws.com/lawcom-prod-storage-11jsxou24uy7q/uploads/2022/01/Automated-vehicles-joint-report-cvr-03-02-22.pdf>
- LeoDrive. (2022). *Anasayfa*. <https://leodrive.ai/>
- Liu, S., Tang, J., Zhang, Z., & Gaudiot, J. L. (2017). Computer Architectures for Autonomous Driving. *Computer*, 50(8), 18-25. <https://doi.org/10.1109/MC.2017.3001256>
- Liu, X., Ballal, T., & Al-Naffouri, T. Y. (2019). *GNSS-based Localization for Autonomous Vehicles: Prospects and Challenges*. https://www.researchgate.net/publication/337656003_GNSS-based_Localization_for_Autonomous_Vehicles_Prospects_and_Challenges
- LOG. (2023, Mart 14). *Togg T10X ile sunulacak "yoğun trafik pilotu" nedir?* <https://www.log.com.tr/togg-t10x-ile-turkiyede-ilk-sunulacak-yogun-trafik-pilotu-nedir/>
- Lucero, S. (2016). *C-V2X offers a cellular alternative to IEEE 802.11p/DSRC*. https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/ihs_technology_whitepaper_-_c-v2x_connectivity_-_june_2016.pdf
- Main Roads Western Australia. (2015). *Automated vehicles: are we ready? Internal report on potential implications for Main Roads WA*.
- Mannoni, V., Berg, V., Sesia, S., & Perraud, E. (2019). A comparison of the V2X communication systems: ITS-G5 and C-V2X. *IEEE Vehicular Technology Conference, 2019-April*. <https://doi.org/10.1109/VTCSRING.2019.8746562>
- Mariani, R. (2018). An overview of autonomous vehicles safety. *IEEE International Reliability Physics Symposium Proceedings, 2018-March*, 6A.11-6A.16. <https://doi.org/10.1109/IRPS.2018.8353618>
- Maserati USA. (2023). *Advanced Driver Assistance Systems - Safety Ownership*. <https://www.maserati.com/us/en/ownership/maserati-manuals/safety>
- Massar, M., Reza, I., Rahman, S. M., Abdullah, S. M. H., Jamal, A., & Al-Ismail, F. S. (2021). Impacts of Autonomous Vehicles on Greenhouse Gas Emissions—Positive or Negative? *International Journal of*

Environmental Research and Public Health 2021, Vol. 18, Page 5567, 18(11), 5567.
<https://doi.org/10.3390/IJERPH18115567>

Matowicki, M., & Pribyl, O. (2020). The need for balanced policies integrating autonomous vehicles in cities. *2020 Smart Cities Symposium Prague, SCSP 2020*.
<https://doi.org/10.1109/SCSP49987.2020.9134030>

May Mobility. (2023a). *How Does Multi-Policy Decision Making (MPDM) Work?* [Video recording].
<https://www.youtube.com/watch?v=xDzkJLYSP08&t=1s>

May Mobility. (2023b). *May Mobility's Technology*. <https://maymobility.com/technology/>

McKinsey & Company. (2019). *How China Will Help Fuel the Revolution in Autonomous Vehicles*.
<https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20Assembly/Our%20Insights/How%20China%20will%20help%20fuel%20the%20revolution%20in%20autonomous%20vehicles/How-China-will-help-fuel-the-revolution-in-autonomous-vehicles-vF.pdf>

McKinsey & Company. (2024). *The business case for autonomous truck fleets* | McKinsey.
<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/will-autonomy-usher-in-the-future-of-truck-freight-transportation>

Medium. (2019). *Ultrasonic Sensors in Self-Driving Cars*. <https://medium.com/@BabakShah/ultrasonic-sensors-in-self-driving-cars-d28b63be676f>

Medium. (2023). *The regulatory evolution of autonomous driving in Germany and overseas* | by Dr. Michael Malterer | Medium. <https://medium.com/@MMalterer/the-regulatory-evolution-of-autonomous-driving-in-germany-and-overseas-9ecf0f5d85e7>

Mercedes-Benz Group. (2023). *Mercedes-Benz backs redundancy for safe conditionally automated driving*. <https://group.mercedes-benz.com/innovation/product-innovation/autonomous-driving/redundancy-drive-pilot.html>

Metz, D. (2018). Developing Policy for Urban Autonomous Vehicles: Impact on Congestion. *Urban Science* 2018, Vol. 2, Page 33, 2(2), 33. <https://doi.org/10.3390/URBANSKI2020033>

Michałowska, M., & Ogłodziński, M. (2017). Autonomous vehicles and road safety. *Communications in Computer and Information Science*, 715, 191-202. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66251-0_16/TABLES/4

Ministère Chargé des Transports. (2022). *French regulatory framework on automated vehicles' conditions of use and automated road transport systems' commissioning*.
https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/DGITM-communication-decret-arretes_septembre_2022-EN.pdf

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. (2018). *Development of Autonomous Vehicles Strategic Orientations for Public Action Summary Document*.
https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/18029_D%C3%A9veloppement-VA_8p_EN_Pour%20BAT-3.pdf

Ministère de l'Économie des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique. (2019). *Producing tomorrow's automobiles in France*. <https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/2019/dp-csf-auto140219-uk.pdf>

- Ministerio del Interior. (2016). *SUMMARY OF SPANISH POSITION ON AUTONOMOUS VEHICLES ROAD SAFETY VEHICLE ASSESSMENT*. Geliş tarihi 02 Eylül 2023, gönderen http://standards.sae.org/j3016_201401/
- Ministry of Land Infrastructure and Transport. (2016). *Autonomous Vehicle Policy of Korea*. <http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/ad-session-seoul.pdf>
- Ministry of Land Infrastructure and Transport. (2020). *Korean Government Announces Safety Standards for Level 3 Automated Vehicles*. <https://m.molit.go.kr/viewer/skin/doc.html?fn=3cbebfd58415442be3ce68998ac9ab2&rs=/viewer/result/20200109>
- Mir, Z. H., Toutouh, J., Filali, F., & Ko, Y. B. (2020). Enabling DSRC and c-V2X integrated hybrid vehicular networks: Architecture and protocol. *IEEE Access*, 8, 180909-180927. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3027074>
- Mitsubishi Motors. (2023). *MI-PILOT | Innovation* | . <https://www.mitsubishi-motors.com/en/innovation/technology/SYSTEMNewValue/mipilot/index.html>
- Mohajer, N., Nahavandi, S., Abdi, H., & Najdovski, Z. (2021). Enhancing Passenger Comfort in Autonomous Vehicles through Vehicle Handling Analysis and Optimization. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 13(3), 156-173. <https://doi.org/10.1109/MITS.2019.2953533>
- Momenta. (2021). *Building Autonomous Driving Brains*. <https://www.momenta.cn/>
- MORAI. (2023). *Simulation Platform for Everything*. <https://www.morai.ai/>
- Morgan, Y. L. (2010). Managing DSRC and WAVE Standards Operations in a V2V Scenario. *International Journal of Vehicular Technology*, 2010, 1-18. <https://doi.org/10.1155/2010/797405>
- MotorTrend. (2023). *Are Self-Driving Vehicles Legal in My State?* <https://www.motortrend.com/features/state-laws-autonomous-self-driving-driverless-cars-vehicles-legal/>
- Mühendis Beyinler. (2020). *Otonom Araçlar*. <https://www.muhendisbeyinler.net/otonom-araclar/>
- Nalbantoğlu, V., & Seymen, B. (2007). *Ataletsel Seyrüsefer Sistemleri*. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/a5b1e4daae265b7_ek.pdf
- Nam, P. T., Son, L. A., & Nang, H. X. (2023). High-definition 3D map for autonomous vehicles in Vietnam: A comparison between graph simultaneous localization and mapping and the normal distributions transform algorithm. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 20(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/17298806231157551>
- Nardini, G., Virdis, A., Campolo, C., Molinaro, A., & Stea, G. (2018). Cellular-V2X Communications for Platooning: Design and Evaluation. *Sensors 2018, Vol. 18, Page 1527, 18(5)*, 1527. <https://doi.org/10.3390/S18051527>
- NASA Science. (2024). *Infrared Waves*. https://science.nasa.gov/ems/07_infraredwaves/
- National Center for Statistics and Analysis. (2023a). *2021 Data - Bicyclists and Other Cyclists*. <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/Publication/813484>
- National Center for Statistics and Analysis. (2023b). *2021 Data - Pedestrians*. <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/Publication/813458>

National Center for Statistics and Analysis. (2023c). *2021 Data: Motorcycles*.
<https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/Publication/813466>

National Center for Statistics and Analysis. (2023d). *2021 State Traffic Data*.
<https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/813509.pdf>

National Oceanic and Atmospheric Administration. (2023). *How radar works*.
<https://www.noaa.gov/jetstream/doppler/how-radar-works>

National Police Agency. (2023). *Automated Driving*. Geliş tarihi 02 Eylül 2023, gönderen
<https://www.npa.go.jp/english/bureau/traffic/selfdriving.html>

National Science & Technology Council, & United States Department of Transportation. (2020).
Ensuring American Leadership in Automated Vehicle Technologies Automated Vehicles 4.0.
<https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2020-02/EnsuringAmericanLeadershipAVTech4.pdf>

Nikitas, A., Vitel, A. E., & Cotet, C. (2021). Autonomous vehicles and employment: An urban futures revolution or catastrophe? *Cities*, 114, 103203. <https://doi.org/10.1016/J.CITIES.2021.103203>

Nissan. (2023). *Toward fully autonomous drive | Innovation |*. https://www.nissan-global.com/EN/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/AUTONOMOUS_DRIVE/

NTC Australia. (2016). *Regulatory reforms for automated road vehicles*.
<https://www.ntc.gov.au/sites/default/files/assets/files/NTC%20Policy%20Paper%20-%20Regulatory%20reforms%20for%20automated%20road%20vehicles.pdf>

NTC Australia. (2017). *National enforcement guidelines for automated vehicles*.
https://www.ntc.gov.au/sites/default/files/assets/files/AV_enforcement_guidelines.pdf

numesys. (2023). *Otomotiv*. <https://www.numesys.com.tr/otomotiv/>

NVIDIA. (2022). *Ride with NVIDIA DRIVE Self-Driving Car at GTC 2021* [Video recording].
https://www.youtube.com/watch?v=qVyN_chiLeo&t=79s

NVIDIA Automotive. (2023). *Self-Driving Cars Technology & Solutions* . Geliş tarihi 01 Eylül 2023, gönderen <https://www.nvidia.com/en-us/self-driving-cars/>

ODTÜ-METU. (2022). *Bilim Her Yerde | Otonom Araç* [Video recording]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=YdMT31sJcQM>

Ohmio. (2024). *Ohmio*. <https://ohmio.com/>

Okan Üniversitesi. (2023a). *OKANOM - Okan Otonom Araç Projesi - Projeler - Ulaştırma Teknolojileri ve Akıllı Otomotiv Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi - Araştırma Merkezleri -*.
<https://www.okan.edu.tr/index.php/arastirma/sayfa/914/okanom-okan-otonom-arac-projesi/>

Okan Üniversitesi. (2023b). *OKANOM-Okan Otonom Araç Projesi - Ulaştırma Teknolojileri ve Akıllı Otomotiv Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi - Araştırma Merkezleri -*.
<https://www.okan.edu.tr/index.php/arastirma/sayfa/915/okanom-otonom-arac-projesi-tanitimi/>

OPINA. (2023). *OPINA Projesi*. <https://www.opinaproject.com/tr/opina-hakkinda/opina-projesi/>

Opteran. (2023). *Home*. <https://opteran.com/>

- Ordonez-Lucena, J., Ameigeiras, P., Lopez, Di., Ramos-Munoz, J. J., Lorca, J., & Folgueira, J. (2017). Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures, and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 55(5), 80-87. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600935>
- Otokar. (2021, Ocak 19). *Otokar Otonom Otobüs*. <https://www.otokar.com.tr/haberler/guncel-haberler/otokar-otonom-otobus>
- Outsight. (2023). *The Easiest Way to Use LiDAR*. <https://www.outsight.ai/>
- Oxa. (2023). *Autonomous Technology*. <https://oxa.tech/products/#oxaDriver>
- Paik, A. D. (2021). *Doppler effect and its application*. https://www.researchgate.net/publication/356616821_Doppler_effect_and_its_application
- Peugeot. (2023). *PEUGEOT e-LEGEND Concept | Autonomous electric vehicle*. <https://www.peugeot.co.uk/about-us/innovation/concept-cars/peugeot-e-legend.html>
- Porsche. (2023a). *Automated driving*. <https://media.porsche.com/mediakit/innovation-sustainability-performance/en/innovation-sustainability-performance/methods>
- Porsche. (2023b, Şubat 25). *Porsche demonstrates autonomous driving in the workshop*. <https://newsroom.porsche.com/en/2020/technology/porsche-autonomous-driving-workshop-kopernikus-automotive-ai-20040.html>
- PROPHESSEE. (2023). *What is Event-based Vision?* <https://www.prophesee.ai/2019/07/28/event-based-vision-2/>
- Rafael, S., Correia, L. P., Lopes, D., Bandeira, J., Coelho, M. C., Andrade, M., Borrego, C., & Miranda, A. I. (2020). Autonomous vehicles opportunities for cities air quality. *Science of The Total Environment*, 712, 136546. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.136546>
- Rekabetçi Sektörler Programı. (2024). *Açık İnovasyon Otonom Araç Geliştirme ve Test Platformu*. <https://rekabetsektorler.sanayi.gov.tr/tr/cati/?projectCode=TR14C2.1.02>
- Renault Group. (2023). *Autonomous vehicle and autonomous driving*. <https://www.renaultgroup.com/en/innovation-2/autonomous-vehicle/>
- Rimedo Labs. (2022). *C-V2X Phy Layer, Resource Allocation, Synchronization, and QoS*. <https://rimedolabs.com/blog/v2x-phy-layer-resource-allocation-sync-qos-management/>
- RIS. (2022). *Federal Ordinance of 13 May 2022 on Automated Driving*. https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:5536ca05-7ed9-40cf-b22a-4b99f723e4d3/AutomatedDrivingRegulation2022_UA.pdf
- Robotistan. (2021). *Ultrasonik (Ultrasonic) Sensör Nedir? Nasıl Çalışır? Ne İşe Yarar?* <https://maker.robotistan.com/ultrasonic-sensor/>
- Rohm Semiconductor. (2020). *ISO 26262: Functional Safety Standard for Modern Road Vehicles ISO 26262 Automotive Functional Safety Standard White Paper*. https://fscdn.rohm.com/en/products/databook/white_paper/iso26262_wp-e.pdf
- Rokubun. (2023). *Accurate & Scalable Navigation Solutions*. <https://www.rokubun.cat/>

Rolls-Royce. (2023). *The future in the making: Rolls-Royce 103EX: Vision Next 100*. https://www.rolls-roycemotorcars.com/en_US/inspiring-greatness/vision/103ex.html

SAE International. (2019a). *J3018_201909: Safety-Relevant Guidance for On-Road Testing of SAE Level 3, 4, and 5 Prototype Automated Driving System (ADS)-Operated Vehicles* . https://www.sae.org/standards/content/j3018_201909/

SAE International. (2019b). *J3134_201905: Automated Driving System (ADS) Marker Lamp*. https://www.sae.org/standards/content/j3134_201905/

SAE International. (2019c). *J3171_201911: Identifying Automated Driving Systems-Dedicated Vehicles (ADS-DVs) Passenger Issues for Persons with Disabilities*. https://www.sae.org/standards/content/j3171_201911/

SAE International. (2021). *J3016_202104: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles* . https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/

Scantinel. (2023). *FMCW LIDAR | Sensors automotive autonomous driving*. <https://scantinel.com/>

SEAT. (2021). *DIANA prototype: greater autonomy, enhanced safety* . <https://www.seat.com/company/news/company/diana-prototype>

Seoul Robotics. (2023). *Powering Smart Infrastructure With 3D Perception*. <https://seoulrobotics.org/>

ShiftDelete.Net. (2022). *TXAI otonom taksi projesinin ilk aşaması tamamlandı*. https://shiftdelete.net/txai-otonom-taksi-projesinin-ilk-asamasi-tamamlandi#google_vignette

Shladover, S. E., & Gettman, D. (2014). *NCHRP 20-24(98) Connected/Automated Vehicle Research Roadmap for AASHTO Deliverable 2 Research Roadmap*. [https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP20-24\(98\)_RoadmapTopics_Final.pdf](https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP20-24(98)_RoadmapTopics_Final.pdf)

Siddiqi, M. A., Yu, H., & Joung, J. (2019). 5G Ultra-Reliable Low-Latency Communication Implementation Challenges and Operational Issues with IoT Devices. *Electronics* 2019, Vol. 8, Page 981, 8(9), 981. <https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS8090981>

SkyRadar. (2019). *Animated Explanation of the Radar Principle*. <https://www.skyradar.com/blog/radar-principle>

Smolnicki, P. M., & Sołtys, J. (2016). Driverless Mobility: The Impact on Metropolitan Spatial Structures. *Procedia Engineering*, 161, 2184-2190. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.08.813>

Society of Automobile Engineers. (2016, Aralık 8). *J3114_201612: Human Factors Definitions for Automated Driving and Related Research Topics - SAE International*. https://www.sae.org/standards/content/j3114_201612/

Society of Automobile Engineers. (2018, Ekim 30). *J2945/2_201810: Dedicated Short Range Communications (DSRC) Performance Requirements for V2V Safety Awareness - SAE International*. https://www.sae.org/standards/content/j2945/2_201810/

Society of Automobile Engineers. (2021, Temmuz 23). *J3197_202107: Automated Driving System Data Logger - SAE International*. https://www.sae.org/standards/content/j3197_202107/

Sonsuz Us. (2017). *Işık Dalga mı Parçacık mı?* . <https://www.sonsuz.us/isik-madde-mi-parcacik-mi/>

South China Morning Post. (2022, Ağustos 9). *China steps up autonomous driving development with new guidelines on operating driverless vehicles for public transport* .

https://www.scmp.com/tech/policy/article/3188314/china-steps-autonomous-driving-development-new-guidelines-operating?campaign=3188314&module=perpetual_scroll_0&pgtype=article

Spinny Car Magazine. (2013). *What is 360-degree camera?* .

<https://www.spinny.com/blog/index.php/what-is-360-degree-camera/>

Standards & Engagement. (2023). *Presenting the Standard for Safety for the Evaluation of Autonomous Vehicles and Other Products | UL Standards & Engagement*. <https://ulse.org/ul-standards-engagement/presenting-standard-safety-evaluation-autonomous-vehicles-and-other-1>

Stellantis. (2023). *The Jeep® Brand Provides a Glimpse of its Advanced AI & Autonomous Off-Road Driving Technology | Jeep* | . https://www.media.stellantis.com/uk-en/jeep/press/the-jeep-brand-provides-a-glimpse-of-its-advanced-ai-autonomous-off-road-driving-technology?adobe_mc_ref=

Stine, J. A., & Portigal, D. L. (2004). *Spectrum 101: An Introduction to Spectrum Management*.

https://www.researchgate.net/publication/235019753_Spectrum_101_An_Introduction_to_Spectrum_Management

Subaru. (2022, Aralık 20). *EyeSight Driver Assist Technology*. <https://www.subaru.com/eyesight.html>

Sustainable Bus. (2020). *Keolis Downer launches a driverless shuttle pilot in Newcastle (Australia)* -.

<https://www.sustainable-bus.com/news/keolis-downer-driverless-shuttle-pilot-newcastle-australia-navya/>

Szabó, D. (2020). Driverless, or Carless Future? Socio-technical Scenarios of Autonomous Urban Mobility in the Czech Republic. <http://tots.upol.cz/doi/10.5507/tots.2020.003.html>, 11(1), 5-17.

<https://doi.org/10.5507/TOTS.2020.003>

Te Manatū Waka. (2022). *Longterm Insights Briefing*.

<https://www.transport.govt.nz/assets/Uploads/MOT-LTIB-2022.pdf>

TechCrunch. (2021a). *China's WeRide unveils Robovan, its first electric, autonomous cargo van*.

<https://techcrunch.com/2021/09/08/weride-jiangling-motors-and-zto-express-unveil-robovan-an-autonomous-cargo-van/>

TechCrunch. (2021b, Haziran 23). *Chinese robotaxi unicorn WeRide bags over \$600M in 5 months*.

<https://techcrunch.com/2021/06/22/weride-310-million-series-c/?guccounter=1>

TechCrunch. (2022). *Human drivers in UK won't be liable for accidents when vehicle is self-driving* .

<https://techcrunch.com/2022/08/21/human-drivers-in-uk-wont-be-liable-for-accidents-when-vehicle-is-self-driving/>

Tech-invoke. (2022). *TS 22.185 (1Q22/16 p.) – Service Requirements for V2X Services*. <https://www.tech-invoke.com/3m22/tinv-3gpp-22-185.html>

TEHAD | Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçlar Derneği. (2021, Temmuz 13). *FEV Türkiye ve TRIGGER arasında “otonom” işbirliği*. <https://www.tehad.org/2021/07/13/fev-turkiye-ve-tragger-arasinda-otonom-isbirligi/>

TEKNOFEST. (2024). *Geleceğin Otonom Araçları TEKNOFEST Robotaksi Binek Otonom Araç Yarışmasında Karşımıza Çıkacak*. <https://teknofest.org/tr/content/announcement/gelecegin-otonom-aracolari-teknofest-robotaksi-binek-otonom-arac-yarismasinda-karsimiza-cikacak/>

- Tesla. (2023). *Autopilot*. <https://www.tesla.com/autopilot>
- Thakur, R. (2017). Infrared Sensors for Autonomous Vehicles. *Recent Development in Optoelectronic Devices*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.70577>
- The Guardian. (2023, Şubat 20). *Remote driving from overseas faces ban in England and Wales*. <https://www.theguardian.com/technology/2023/feb/20/self-driving-vehicles-from-overseas-face-ban-in-england-and-wales>
- The Verge. (2024). *Waymo compiles 'largest ever' dataset of pedestrian and cyclist injuries - The Verge*. <https://www.theverge.com/2024/11/11/24290338/waymo-vru-pedestrian-cyclist-injury-dataset>
- TheDrive. (2023). *Jeep Is Developing Autonomous Off-Road Driving Tech to Help Out on the Trail*. <https://www.thedrive.com/news/jeep-is-developing-autonomous-off-road-driving-tech-to-help-out-on-the-trail>
- TIER IV Inc. (2023a). *Open Source*. <https://tier4.jp/opensource/>
- TIER IV Inc. (2023b). *Our Products*. <https://tier4.jp/products/>
- Togg. (2024). *Togg T10X SUV Özellikleri ve Performans Bilgileri* | . <https://www.togg.com.tr/t10x>
- Tomita, H. (2017). *Awaiting the realization of fully automated vehicles: Potential economic effects and the need for a new economic and social design* | CEPR. <https://cepr.org/voxeu/columns/awaiting-realization-fully-automated-vehicles-potential-economic-effects-and-need-new>
- Torgunakov, V. A., Loginov, V. A., Khorov, E. M., & Lyakhov, A. I. (2022). Algorithm for Adaptive Selection of a Contention Window in IEEE 802.11bd Networks. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 67(2), S241-S247. <https://doi.org/10.1134/S106422692214008X/FIGURES/4>
- TOSB | Otomotiv Tedarik Sanayi İhtisas Organize Sanayi Bölgesi. (2023). *Sürücüsüz Araç Test Parkuru TOSB'da Kullanıma Açıldı*. <https://www.tosb.com.tr/surucusuz-arac-test-parkuru-tosbda-kullanima-acildi.html>
- Toyota Europe. (2023). *Automated Driving* . <https://www.toyota-europe.com/innovation/zero-accidents/automated-driving>
- TRAGGER. (2021). *TRAGGER Araçlarında Otonom Devri Başlıyor!* <https://tragger.com.tr/blog/detail/tragger-araclarinda-otonom-devri-basliyor/>
- Transport and Infrastructure Council. (2019). *National Land Transport Technology Action Plan 2020-2023*. https://www.infrastructure.gov.au/sites/default/files/documents/national_land_transport_technology_action_plan_2020-2023.pdf
- Transport Scotland. (2019). *A CAV Roadmap for Scotland*. <https://www.transport.gov.scot/media/46708/a-cav-roadmap-for-scotland-final.pdf>
- Turing. (2022). *Turing, a fully self-driving EV manufacturer*. <https://www.turing-motors.com/en>
- TÜBİTAK. (2018). *TÜBİTAK Alternatif Enerjili Araç Yarışlarının Kazananları Belli Oldu* | . <https://tubitak.gov.tr/tr/haber/tubitak-alternatif-enerjili-arac-yarislarinin-kazananlari-belli-oldu>

Türk İnternet. (2018, Ekim 11). *TEMSA'nın Sürücüsüz Otobüsü 2022'de Yola Çıkmaya Hazırlanıyor - Türk İnternet*. <https://turk-internet.com/temsanın-surucusuz-otobusu-2022de-yola-cikmaya-hazirlaniyor/>

Türkçe Ne Demek? (2020). *Stereo Ne Demek?* <https://turkcenedemek.com/kelime/stereo/>

Türkiye Cumhuriyeti Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2019). *2020-2023 ULUSAL AKILLI ŞEHİRLER STRATEJİSİ VE EYLEM PLANI*. <https://cevresehiriklimkutuphanesi.csb.gov.tr/SourcePDF/dc6191d5-aa39-4bd2-b679-9ca2d44752a5>

Türkiye Cumhuriyeti Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023). *2030 Ulusal Akıllı Şehir Stratejisi ve Eylem Planı*. https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/Taslak-Eylem_Planı.pdf

Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2022). *Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritası*. <https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/plan-program/MobiliteAracveTeknolojileriYolHaritasi.pdf>

Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2024). *Tam Otonom Araçların Otonom Sürüş Sistemine İlişkin Motorlu Araçların Tip Onayı Hakkında Yönetmelik (Ab/2022/1426)*. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2024/12/20241201.pdf>

Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2020). *Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı*. <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/bakanlik-yayinlari/ulusal-akilli-ulas-im-sistemleri-strateji-belgesi-ve-2020-2023-eylem-planı.pdf>

TXAI. (2024). *Robotaxis and more*. <https://www.txai.taxi/>

UK Centre for Connected & Autonomous Vehicles. (2018). *UK Connected & Autonomous Vehicle Research & Development Projects 2018*. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/737778/ccav-research-and-development-projects.pdf

UK Department for Transport. (2015). *The Pathway to Driverless Cars Summary report and action plan*. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/401562/pathway-driverless-cars-summary.pdf

UK Legislation. (2018). *Automated and Electric Vehicles Act 2018*. <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2018/18/contents/enacted>

United Nations Economic Commission for Europe. (2018). *Economic Commission for Europe Inland Transport Committee World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations Reference document with definitions of Automated Driving under WP.29 and the General Principles for developing a UN Regulation on automated vehicles **. <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29resolutions/ECE-TRANS-WP29-1140e.pdf>

United States Department of Transportation. (2018). *Automated Vehicles 3.0 Preparing for the Future of Transportation*. <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/policy-initiatives/automated-vehicles/320711/preparing-future-transportation-automated-vehicle-30.pdf>

United States Department of Transportation. (2020). *Intelligent Transportation Systems Joint Program Office Strategic Plan 2020–2025*. https://www.its.dot.gov/stratplan2020/ITSJPO_StrategicPlan_2020-2025.pdf

- United States Department of Transportation, & NHTSA | National Highway Traffic Safety Administration. (2016). *Federal Automated Vehicles Policy Accelerating the Next Revolution In Roadway Safety*. https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/federal_automated_vehicles_policy.pdf
- Unmanned Systems Technology. (2022, May 18). *Vision-Enhanced RTK-GNSS Positioning System for Autonomous Vehicles*. <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2022/05/vision-enhanced-rtk-gnss-positioning-system-for-autonomous-vehicles/>
- U.S - U.A.E. Business Council. (2020). *U.A.E Smart Mobility*. <https://usuaebusiness.org/wp-content/uploads/2020/10/Smart-Mobility-Web.pdf>
- U.S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2024). *Motion Sickness | Travelers' Health*. <https://wwwnc.cdc.gov/travel/page/motion-sickness>
- U.S. Department of Commerce. (2017). *Executive Summary The Employment Impact of Autonomous Vehicles*.
- Vay. (2023). *A new approach to driverless mobility*. <https://vay.io/>
- Velasco-Hernandez, G., Yeong, D. J., Barry, J., & Walsh, J. (2020). Autonomous Driving Architectures, Perception and Data Fusion: A Review. *Proceedings - 2020 IEEE 16th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, ICCP 2020*, 315-321. <https://doi.org/10.1109/ICCP51029.2020.9266268>
- Venturi. (2023). *Eclectic*. <https://www.venturi.com/en/concept-car/eclectic/>
- Visionary Machines. (2023). *Home*. <https://visionarymachines.com/>
- Volkswagen. (2023a). *ID. VIZZION concept car*. Geliş tarihi 01 Eylül 2023, gönderen <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/id-vizzion-concept-car-3548>
- Volkswagen. (2023b). *Sedric concept car*. Geliş tarihi 01 Eylül 2023, gönderen <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/sedric-concept-car-3552>
- Volkswagen UK. (2023). *Autonomous Driving | Electric Car Tech*. <https://www.volkswagen.co.uk/en/electric-and-hybrid/software-and-technology/driving-technology/autonomous-driving.html>
- Wadud, Z. (2017). Fully automated vehicles: A cost of ownership analysis to inform early adoption. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 101, 163-176. <https://doi.org/10.1016/J.TRA.2017.05.005>
- Wang, C., Zhao, X., Fu, R., & Li, Z. (2020). Research on the Comfort of Vehicle Passengers Considering the Vehicle Motion State and Passenger Physiological Characteristics: Improving the Passenger Comfort of Autonomous Vehicles. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 6821, 17(18), 6821. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17186821>
- Waymo. (2022). *Sense, Solve, and Go: The Magic of the Waymo Driver* [Video recording]. https://www.youtube.com/watch?v=hA_-MkU0Nfw&t=58s
- Waymo. (2023). *Self-Driving Car Technology for a Reliable Ride*. <https://waymo.com/waymo-driver/>
- Wayve. (2023). *AV2.0 – Autonomy 2.0 – Wayve's data-driven approach*. <https://wayve.ai/technology/av2-0/>

- Webtekno. (2021, Nisan 30). *Türkiye’de İlk Sürücüsüz Otomobil Test Sürüşüne Başlandı*. <https://www.webtekno.com/turkiye-ilk-surucusuz-otomobil-test-surusune-baslandi-h109312.html>
- WeRide. (2023). *To Transform Urban Living with Autonomous Driving*. <https://www.weride.ai/>
- Wevers, K., & Lu, M. (2017). *V2X Communication for ITS*. <https://futurenetworks.ieee.org/tech-focus/march-2017/v2x-communication-for-its>
- World Economic Forum. (2020). *Safe Drive Initiative: Creating safe autonomous vehicle policy*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_SafeDI_creating_safe_AV_policy_2020.pdf
- Xesol Innovation. (2023). *Person detection using neural networks technology*. <https://www.xesolinnovation.com/>
- Ye, L., & Yamamoto, T. (2019). Evaluating the impact of connected and autonomous vehicles on traffic safety. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 526, 121009. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSA.2019.04.245>
- YellowScan. (2023). *LiDAR: What Is It and How Does It Work?* <https://www.yellowscan.com/knowledge/how-does-lidar-work/>
- Yıldız Teknik Üniversitesi. (2017). *Akıllı (Otonom) Toplu Taşıma Araç ve Sistemleri Çalıştayı*. <https://yildiz.edu.tr/universite/haberler/akilli-otonom-toplu-tasima-arac-ve-sistemleri-calistayi>
- Yicai Global. (2020). *China’s Dongfeng Motor Starts Rolling Out Fully Autonomous Buses*. <https://www.yicaiglobal.com/news/china-dongfeng-motor-starts-rolling-out-fully-autonomous-buses>
- YTÜ Astrid Otonom Takımı. (2023). *Hakkımızda*. <https://astridotonom.com/hakk%C4%B1m%C4%B1zda>
- YTÜ Makine Fakültesi. (2024). *Öğrenci Kulüpleri*. <https://mak.yildiz.edu.tr/ogrenci-kulupleri>
- Yunex Traffic USA. (2022). *First Connected Vehicle Roadside Unit Proven to Talk to Automakers’ 2023 Models*. <https://us.yunextraffic.com/newsroom/first-connected-vehicle-roadside-unit-proven-to-talk-to-automakers-2023-models/>
- Zenzic. (2023). *The UK Connected and Automated Mobility Roadmap to 2035*. https://zenzic.io/content/uploads/2023/03/Roadmap-to-2035-%E2%80%93Executive-Summary_v6.pdf
- Zheng, B., Liang, H., Zhu, Q., Yu, H., & Lin, C. W. (2016). Next generation automotive architecture modeling and exploration for autonomous driving. *Proceedings of IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI, ISVLSI, 2016-September*, 53-58. <https://doi.org/10.1109/ISVLSI.2016.126>
- ZMP. (2023a). *CarTomo*. <https://www.zmp.co.jp/en/products/izac/car-tomo>
- ZMP. (2023b). *RoboCar*. <https://www.zmp.co.jp/en/products/robocar-innovation>
- ZMP. (2023c). *RoboCar Mini EV Bus*. <https://www.zmp.co.jp/products/robocar/robocar-mini-ev-bus>
- ZMP. (2023d). *RoboCar SUV*. <https://www.zmp.co.jp/products/robocar/robocar-suv>
- Zong, W., Zhang, C., Wang, Z., Zhu, J., & Chen, Q. (2018). Architecture design and implementation of an autonomous vehicle. *IEEE Access*, 6, 21956-21970. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2828260>
- Zongmu Technology. (2021). *Home*. <https://www.zongmutech.com/?v=91e9a0d13ba4e5bd0401>



OTONOM ARAÇLAR MEVCUT DURUM ANALİZİ RAPORU

