



# K-AUS HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİ RAPORU



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

## K-AUS Haberleşme Teknolojileri 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 TİMURÖĞULLARI	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, Kasım 2024

# İÇİNDEKİLER

Şekiller Listesi .....	vi
Tablolar Listesi .....	viii
Türkçe Kısaltmalar Listesi .....	ix
İngilizce Kısaltmalar Listesi .....	x
Tanımlar .....	xvii
<b>BÖLÜM I</b> .....	<b>1</b>
1. GİRİŞ .....	1
<b>BÖLÜM II</b> .....	<b>3</b>
2. METODOLOJİ .....	3
<b>BÖLÜM III</b> .....	<b>4</b>
3. K-AUS HİZMETLERİNDE KULLANILAN HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİ .....	4
3.1. K-AUS Bileşenleri .....	7
3.1.1. Trafik Yönetim Merkezi .....	8
3.1.2. Yol Kenarı Birimi (RSU) .....	9
3.1.3. Araç İçi Birim (OBU) .....	11
3.1.4. İnsan – Makine Arayüzü (HMI) .....	13
3.1.5. Radar .....	13
3.1.6. LIDAR .....	14
3.1.7. Kamera .....	15
3.1.8. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) .....	15
3.1.9. Kızılötesi Sensör .....	16
3.2. Mesajların Zamanında ve Güvenli Bir Şekilde Aktarımı için Gereklilikler .....	17
3.3. AUS İstasyonu Referans Mimarisi .....	24
3.4. V2X Haberleşmede Kullanılan Mesaj Türleri .....	27
3.4.1. Kooperatif Farkındalık Mesajı (CAM) .....	28
3.4.2. Merkezi Olmayan Çevresel Bildirim Mesajı (DENM) .....	31
3.4.3. Sinyal Fazı ve Zamanlama Mesajı (SPATEM) .....	33
3.4.4. Sinyal Talep Mesajı (SRM) .....	35
3.4.5. Sinyal Durum Mesajı (SSM) .....	36
3.4.6. Harita Verisi Mesajı (MAPEM) .....	36
3.4.7. Altyapıdan Araca Bilgi Mesajı (IVIM) .....	37

3.4.8.	Toplu Algı Mesajı (CPM) .....	39
3.4.9.	Multimedya İçeriği Yayma Mesajı (MCDM) .....	42
3.5.	K-AUS Haberleşme Teknolojileri .....	44
3.5.1.	DSRC .....	45
3.5.1.1.	WAVE .....	46
3.5.1.2.	ITS-G5 .....	50
3.5.2.	C-V2X .....	53
3.5.2.1.	LTE-V2X .....	57
3.5.2.2.	NR-V2X .....	60
3.5.3.	DSRC ve C-V2X Teknolojilerinin Karşılaştırılması .....	64
3.5.4.	Hibrit Yöntem .....	68
<b>BÖLÜM IV .....</b>		<b>71</b>
4.	K-AUS HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİNE İLİŞKİN ÇALIŞMALAR .....	<b>71</b>
4.1.	Dünyada K-AUS Haberleşme Teknolojilerine İlişkin Çalışmalar .....	71
4.1.1.	Avrupa Birliği ve Avrupa Ülkeleri .....	71
4.1.1.1.	Almanya .....	78
4.1.1.2.	Avusturya .....	82
4.1.1.3.	Birleşik Krallık .....	83
4.1.1.4.	Fransa .....	85
4.1.1.5.	İspanya .....	87
4.1.1.6.	İtalya .....	91
4.1.2.	Asya-Pasifik Ülkeleri .....	92
4.1.2.1.	Avustralya .....	92
4.1.2.2.	Çin .....	94
4.1.2.3.	Güney Kore .....	96
4.1.2.4.	Japonya .....	98
4.1.3.	ABD .....	102
4.2.	Türkiye’de K-AUS Haberleşme Teknolojileri Çalışmaları .....	110
<b>BÖLÜM V .....</b>		<b>115</b>
5.	K-AUS HİZMETLERİNDE KULLANILAN VE İLİŞKİLİ HABERLEŞME STANDARTLARI .....	<b>115</b>
<b>BÖLÜM VI .....</b>		<b>155</b>
6.	AUS/K-AUS HİZMETLERİNDE KULLANILAN HABERLEŞME PROTOKOLLERİ .....	<b>155</b>

6.1.	IEEE 802.11 Ailesi .....	155
6.1.1.	IEEE 802.11p .....	155
6.1.2.	IEEE 802.11bd .....	158
6.2.	Akıllı Ulaşım Sistemleri için Ulusal Ulaşım Haberleşme Protokolü (NTCIP).....	159
6.3.	DATEX II .....	162
6.4.	Değerlendirme.....	163
<b>BÖLÜM VII .....</b>		<b>164</b>
7.	TÜRKİYE’DE K-AUS HİZMETLERİ İÇİN ÖNERİLEN HABERLEŞME PROTOKOLLERİ .. .....	164
<b>BÖLÜM VIII.....</b>		<b>166</b>
8.	SONUÇ .....	166
<b>KAYNAKÇA.....</b>		<b>169</b>

## Şekiller Listesi

Şekil 1. V2V Örnek Gösterimi .....	5
Şekil 2. V2I Örnek Gösterimi .....	6
Şekil 3. V2X Örnek Gösterimi .....	6
Şekil 4. K-AUS Haberleşme Mimarisi .....	8
Şekil 5. K-AUS Çerçeve Mimarisi .....	9
Şekil 6. Yol Kenarı Birimi (RSU) .....	10
Şekil 7. Örnek RSU Yerleşimi ve V2X Haberleşmesi .....	11
Şekil 8. K-AUS Haberleşme Şeması .....	12
Şekil 9. Araç İçi Birim (OBU).....	12
Şekil 10. OBU Küresel Tasarım Diyagramı .....	13
Şekil 11. Radar Örnek Gösterimi.....	14
Şekil 12. LIDAR Örnek Gösterimi .....	14
Şekil 13. Kamera Sistemleri Örneği .....	15
Şekil 14. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS).....	16
Şekil 15. Kızılötesi Görüntü Örneği .....	16
Şekil 16. Simetrik Şifreleme Şeması .....	19
Şekil 17. Asimetrik Şifreleme Şeması .....	20
Şekil 18. PKI Prosedür Şeması .....	22
Şekil 19. Yol Tehlikesi Sinyali .....	23
Şekil 20. Yerel Olarak Tespit Edilen Tehlike Uyarısının Dağıtımı .....	24
Şekil 21. AUS İstasyonu Referans Mimarisi .....	25
Şekil 22. AUS İstasyonu Referans Mimarisindeki Muhtemel Unsurlara Örnekler .....	27
Şekil 23. AUS İstasyonu Referans Mimarisinde CA Temel Servisi .....	29
Şekil 24. Kooperatif Farkındalık Mesajı (CAM) Genel Yapısı .....	30
Şekil 25. Kooperatif Farkındalık Mesajı (CAM) Örnek Kullanımı .....	31
Şekil 26. Merkezi Olmayan Çevresel Bildirim Mesajı (DENM) Mesajı Yapısı .....	32
Şekil 27. Merkezi Olmayan Çevresel Bildirim Mesajı (DENM) Örnek Kullanımı .....	33
Şekil 28. Sinyal Fazı ve Zamanlama Mesajı (SPATEM) Yapısı .....	34
Şekil 29. Sinyal Fazı ve Zamanlama (SPaT) Örnek Kullanımı .....	35
Şekil 30. Sinyal Talep Mesajları (SRM) Örnek Kullanımı.....	35
Şekil 31. Sinyal Durum Mesajları (SSM) Örnek Kullanımı .....	36
Şekil 32. Harita Mesajı (MAPEM) Örnek Kullanımı .....	37
Şekil 33. Altyapıdan Araca Bilgi Mesajı (IVIM) Yapısı .....	38

Şekil 34. AUS-İ İçinde CPS Mimarisi.....	40
Şekil 35. Toplu Algı Mesajı (CPM) Genel Yapısı.....	41
Şekil 36. Toplu Algı Mesajı (CPM) Örnek Kullanımı .....	42
Şekil 37. MCD Temel Hizmeti ve Mantıksal Arayüzü.....	43
Şekil 38. Multimedya İçeriği Yayma Mesajı (MCDM) Genel Yapısı.....	43
Şekil 39. K-AUS Hizmetlerinde Kullanılan Haberleşme Teknolojileri .....	45
Şekil 40. WAVE Teknolojisinin Frekans Spektrumu.....	47
Şekil 41. WAVE Mimarisi .....	48
Şekil 42. WAVE Örnek Gösterimi .....	50
Şekil 43. ITS-G5 Frekans Spektrumu.....	51
Şekil 44. ITS-G5 Mimarisi .....	51
Şekil 45. ITS-G5 Haberleşmesi Örnek Gösterimi .....	52
Şekil 46. PC5 ve Uu Arayüzü Üzerinden V2X Haberleşmesi Örnek Gösterimi .....	54
Şekil 47. FDM ve OFDM'nin Karşılaştırılması .....	57
Şekil 48. PC5 ve Uu Örnek Gösterimi.....	58
Şekil 49. C-V2X Mod 3 ve Mod 4 Örnek Gösterimi.....	59
Şekil 50. NR-V2X Mod 1 ve Mod 2 Örnek Gösterimi.....	62
Şekil 51. Ağ Dilimlendirme Örnek Gösterimi.....	63
Şekil 52. Hibrit Haberleşme Örnek Şeması .....	69
Şekil 53. AUS'a Ayrılan 5,9 GHz Bandının 2020 Yılı Öncesi ve Sonrası Frekans ve Kanal Tahsisi .....	69
Şekil 54. Çift Arayüzlü Araçların ve IEEE 802.11p veya C-V2X ile Gömülü Araçların Bir Arada Bulunması .....	70
Şekil 55. Avrupa'da AUS Kapsamında Kullanılan Frekans Bandı Yapısı.....	73
Şekil 56. CVIS Projesi.....	75
Şekil 57. Drive C2X Test Sahaları.....	77
Şekil 58. K-AUS Uygulama Koridoru (Hollanda-Almanya-Avusturya).....	82
Şekil 59. SCOOP Projesi Pilot Bölgeleri.....	86
Şekil 60. C-Roads İspanya Projesi Pilot Bölgeleri .....	89
Şekil 61. 2020 Yılı Öncesi ABD K-AUS Frekans Bandı Protokol Yapısı .....	102
Şekil 62. 2020 Yılı Sonrası ABD K-AUS Frekans Bandı Protokol Yapısı .....	102
Şekil 63. ABD'de DSRC Spektrum Bandı ve Kanalları.....	155
Şekil 64. Gerçek Zamanlı Sistem Yönetimi Bilgi Programı Veri Değişim Formatı Spesifikasyonu (Data Exchange Format Specification / DXFS) Şeması .....	161
Şekil 65. DATEX II Yapısı .....	162

## Tablolar Listesi

---

<b>Tablo 1.</b> Simetrik ve Asimetrik Şifrelemenin Karşılaştırılması .....	20
<b>Tablo 2.</b> V2X Haberleşmesi Mesaj Türleri .....	28
<b>Tablo 3.</b> DSRC ve C-V2X Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması .....	66
<b>Tablo 4.</b> K-AUS Hizmetlerinde Kullanılan Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması .....	67
<b>Tablo 5.</b> ABD’de Yayınlanan ve K-AUS Hizmetlerinde Kullanılan Haberleşme Teknolojilerine Yönelik Standartlar .....	115
<b>Tablo 6.</b> Avrupa’da Yayınlanan ve K-AUS Hizmetlerinde Kullanılan Haberleşme Teknolojilerine Yönelik Standartlar .....	119
<b>Tablo 7.</b> Asya-Pasifik Ülkelerinde Yayınlanan ve K-AUS Hizmetlerinde Kullanılan Haberleşme Teknolojilerine Yönelik Standartlar.....	139
<b>Tablo 8.</b> Türkiye’de Kullanılan K-AUS Haberleşme Teknolojilerine Yönelik Standartlar .....	142
<b>Tablo 9.</b> Türkiye’de V2X Haberleşme için Önerilen Haberleşme Protokolleri .....	165



## Türkçe Kısaltmalar Listesi

Kısaltma	İngilizce	Türkçe
<b>AB</b>	European Union	Avrupa Birliği
<b>ABD</b>	United States of America	Amerika Birleşik Devletleri
<b>ABHS</b>	In-Vehicle Information and Communication System	Araç İçi Bilgi ve Haberleşme Sistemi
<b>AUS</b>	Intelligent Transportation Systems (ITS)	Akıllı Ulaşım Sistemleri
<b>AUS-İ</b>	Intelligent Transportation Systems Station (ITS-S)	Akıllı Ulaşım Sistemleri İstasyonu
<b>BTK</b>	Information Technologies and Communication Authority	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
<b>K-AUS</b>	Cooperative Intelligent Transportation Systems (C-ITS)	Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri

## İngilizce Kısaltmalar Listesi

Kısaltma	İngilizce	Türkçe
<b>3G</b>	3rd Generation	3. Nesil
<b>3GPP</b>	3rd Generation Partnership Project	3. Nesil Ortaklık Projesi
<b>4G</b>	4th Generation	4. Nesil
<b>5G</b>	5th Generation	5. Nesil
<b>5GAA</b>	5G Automotive Association	5G Otomotiv Birliği
<b>6G</b>	6th Generation	6. Nesil
<b>AASHTO</b>	American Association of State Highway Transportation Officials	Amerikan Karayolu ve Ulaştırma Yetkilileri Birliği
<b>BSSID</b>	Basic Service Set Identifier	Temel Hizmet Seti Tanımlayıcısı
<b>BPSK DCM</b>	Binary Phase Shift Keying Dual-Carrier Modulation	İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama Çift Taşıyıcı Modülasyonu
<b>BTP</b>	Basic Transport Protocol	Temel Taşıma Protokolü
<b>CA</b>	Certificate Authority	Sertifika Otoritesi
<b>C2C</b>	Center-to-Center	Merkezden Merkeze
<b>CALM</b>	Communication Access for Land Mobiles	Karasal Mobil Sistemler Haberleşme Erişimi
<b>CAM</b>	Cooperative Awareness Message	Kooperatif Farkındalık Mesajı
<b>CCAM</b>	Connected, Cooperative and Automated Mobility	Bağlantılı, Kooperatif ve Otonom Araç Hareketliliği
<b>CEN</b>	European Committee for Standardization	Avrupa Standardizasyon Komitesi
<b>CEPT</b>	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations	Avrupa Posta ve Telekomünikasyon İdareleri Konferansı
<b>COOPERS</b>	Cooperative Systems for Intelligent Road Safety	Akıllı Yol Güvenliği için Kooperatif Sistemler
<b>CPM</b>	Collective Perception Message	Toplu Algı Mesajı
<b>CPS</b>	Collective Perception Service	Toplu Algı Hizmeti
<b>CTAG</b>	Galician Automotive Technology Center	Galiçya Otomotiv Teknoloji Merkezi

<b>C-V2X</b>	Cellular Vehicle-to-Everything	Hücresel Ağ Üzerinden Araçtan Her Şeye
<b>CVIS</b>	Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems	Kooperatif Araç-Altyapı Sistemleri
<b>D2D</b>	Device-to-Device	Cihazdan Cihaza
<b>DDP</b>	Device Data Provider	Cihaz Veri Sağlayıcısı
<b>DEN</b>	Decentralized Environmental Notification	Merkezi Olmayan Çevresel Bildirim
<b>DENM</b>	Decentralized Environmental Notification Message	Merkezi Olmayan Çevresel Bildirim Mesajı
<b>DGT</b>	Directorate General of Traffic	Trafik Genel Müdürlüğü
<b>DSRC</b>	Dedicated Short Range Communication	Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme
<b>ECC</b>	Electronic Communications Committee	Elektronik Haberleşme Komitesi
<b>eMBB</b>	Enhanced Mobile Broadband	Gelişmiş Mobil Geniş Bant
<b>eMTC</b>	Enhanced Machine Type Communication	Gelişmiş Makine Tipi Haberleşme
<b>eNB/eNodeB</b>	Enhanced Universal Terrestrial Radio Access Network	Gelişmiş Evrensel Karasal Radyo Erişim Ağı
<b>ERTICO</b>	European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization	Avrupa Karayolu Taşımacılığı Telematik Uygulama Koordinasyon Örgütü
<b>ETC</b>	Electronic Toll Collection	Elektronik Ücret Toplama
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute	Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü
<b>EU EIP</b>	European ITS Platform	Avrupa AUS Platformu
<b>FA-SAP</b>	Facilities/Applications-Service Access Point	Servisler/Uygulamalar- Hizmet Erişim Noktası
<b>FAST</b>	Fixing America's Surface Transportation	Amerika'nın Yüzey Taşımacılığını Düzeltme
<b>FCC</b>	Federal Communications Commission	Federal Haberleşme Komisyonu
<b>FDDI</b>	Fiber Distributed Data Interface	Fiber Dağıtık Veri Arayüzü
<b>FDM</b>	Frequency Division Multiplexing	Frekans Bölmeli Çoklama
<b>FHWA</b>	Federal Highway Administration	Federal Karayolları İdaresi
<b>F/O</b>	Fiber Optic	Fiber Optik

<b>FTP</b>	File Transfer Protocol	Dosya Aktarım Protokolü
<b>GN6</b>	IPv6 over GeoNetworking	Konumsal Ağ Katmanı Protokolü üzerinden İnternet Protokolü Sürüm 6
<b>gNB/gNodeB</b>	Next-Generation Node B	Yeni Nesil Düğüm B
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System	Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service	Genel Paket Radyo Hizmeti
<b>GPS</b>	Global Positioning System	Küresel Konumlandırma Sistemi
<b>HMI</b>	Human Machine Interface	İnsan Makine Arayüzü
<b>HSDPA</b>	High Speed Downlink Packet Access	Yüksek Hızlı Aşağı Bağlantı Paket Erişimi
<b>HTTP</b>	Hypertext Transfer Protocol	Hiper Metin Aktarım Protokolü
<b>HTTPS</b>	Hypertext Transfer Protocol Secure	Güvenli Hiper Metin Aktarım Protokolü
<b>I2C</b>	Infrastructure-to-Center	Altyapıdan Merkeze
<b>I2I</b>	Infrastructure-to-Infrastructure	Altyapıdan Altyapıya
<b>I2V</b>	Infrastructure-to-Vehicle	Altyapıdan Araca
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
<b>IETF</b>	Internet Engineering Task Force	İnternet Mühendisliği Görev Gücü
<b>IoT</b>	Internet of Things	Nesnelerin İnterneti
<b>IPv6</b>	Internet Protocol Version 6	İnternet Protokolü Sürüm 6
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
<b>ITA</b>	Italian Trade Agency	İtalyan Ticaret Ajansı
<b>ITE</b>	Institute of Transportation Engineers	Ulaştırma Mühendisleri Enstitüsü
<b>ITS-G5</b>	Frequency Band for Intelligent Transportation Systems	Akıllı Ulaşım Sistemleri için Frekans Bandı
<b>ITS JPO</b>	ITS Joint Program Office	AUS Ortak Program Ofisi
<b>IVI</b>	In-Vehicle Information	Araç İçi Bilgi
<b>IVIM</b>	Infrastructure-to-Vehicle Information Message	Altyapıdan Araca Bilgi Mesajı

<b>KAIA</b>	Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement	Güney Kore Altyapı Teknoloji Geliştirme Birimi
<b>KEC</b>	Korea Expressway Corporation	Güney Kore Otoyol Şirketi
<b>LAN</b>	Local Area Network	Yerel Alan Ağı
<b>LDM</b>	Local Dynamic Map	Yerel Dinamik Harita
<b>LDPC</b>	Low-Density Parity-Check	Düşük Yoğunluklu Parite Kontrolü
<b>LTE</b>	Long Term Evolution	Uzun Süreli Gelişim
<b>MAC</b>	Medium Access Control	Ortam Erişim Kontrolü
<b>MAP</b>	Intersection Geometry	Kavşak Geometrisi
<b>MAPEM</b>	Map Message	Harita Mesajı
<b>MCD</b>	Multimedia Content Dissemination	Multimedya İçeriği Yayma
<b>MCDM</b>	Multimedia Content Dissemination Message	Multimedya İçeriği Yayma Mesajı
<b>MEC</b>	Multi-Access Edge Computing	Çoklu Erişim Uç Bilişim
<b>MF-SAP</b>	Management/Facilities-Service Access Point	Yönetim/Servisler-Hizmet Erişim Noktası
<b>MIB</b>	Management Information Base	Yönetim Bilgi Tabanı
<b>MIMO</b>	Multiple Input Multiple Output	Çoklu Giriş Çoklu Çıkış
<b>mMIMO</b>	Massive Multiple Input Multiple Output	Büyük Çoklu Giriş Çoklu Çıkış
<b>mMTC</b>	Massive Machine Type Communication	Büyük Makine Tipi Haberleşme
<b>MOLIT</b>	Ministry of Land, Infrastructure and Transport-Korea	Kore Kara, Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı
<b>MU</b>	Mobile Unit	Mobil Ünite
<b>NB-IoT</b>	Narrowband Internet of Things	Dar Bant Nesnelerin İnterneti
<b>NEMA</b>	National Electrical Manufacturers Associations	Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği
<b>NF-SAP</b>	Network-Transport/Facilities-Service Access Point	Ağ-Taşıma/Servisler-Hizmet Erişim Noktası
<b>NFV</b>	Network Function Virtualization	Ağ Fonksiyonu Sanallaştırma
<b>NGA</b>	Next Generation Access	Yeni Nesil Erişim

<b>NGV</b>	Next Generation V2X	Yeni Nesil V2X
<b>NR</b>	New Radio	Yeni Radyo
<b>NTCIP</b>	National Transportation Communications for Intelligent Transportation System Protocol	Akıllı Ulaşım Sistemleri için Ulusal Ulaşım Haberleşme Protokolü
<b>OASIS CAP</b>	OASIS Common Alerting Protocol	OASIS Ortak Uyarı Protokolü
<b>OBU</b>	On-Board Unit	Araç İçi Birim
<b>OEM</b>	Original Equipment Manufacturer	Orijinal Ekipman Üreticisi
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing	Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama
<b>OFDMA</b>	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access	Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
<b>OSI</b>	Open Systems Interconnection	Açık Sistemler Ara Bağlantısı
<b>PCA</b>	Pseudonym Certificate Authority	Rumuz Sertifika Otoritesi
<b>PDR</b>	Packet Delivery Rate	Paket Teslimat Oranı
<b>PHY</b>	Physical Layer	Fiziksel Katman
<b>PIR</b>	Packet Inter-Reception Time	Paket Alım Arası Süresi
<b>PoE</b>	Power over Ethernet	Ethernet Üzerinden Güç
<b>PoTi</b>	Position and Time Management	Konum ve Zaman Yönetimi
<b>PKI</b>	Public Key Infrastructure	Açık Anahtar Altyapısı
<b>PPP</b>	Point-to-Point Protocol	Noktadan Noktaya Protokolü
<b>RA</b>	Registration Authority	Kayıt Otoritesi
<b>RIS</b>	Reconfigurable Intelligent Surfaces	Yeniden Yapılandırılabilir Akıllı Yüzeyler
<b>RSU</b>	Roadside Unit	Yol Kenarı Birimi
<b>SAE</b>	Society of Automotive Engineers	Otomotiv Mühendisleri Topluluğu
<b>SDN</b>	Software-Defined Network	Yazılım Tanımlı Ağ
<b>SLIP</b>	Serial Line Interface Protocol	Seri Hat Arayüz Protokolü
<b>SF-SAP</b>	Security Facilities-Service Access Point	Güvenlik Servisleri-Hizmet Erişim Noktası
<b>SIRI</b>	Standard Interface for Real-Time Information	Gerçek Zamanlı Bilgiler için Standart Arayüz

<b>SOAP</b>	Simple Object Access Protocol	Basit Nesne Erişim Protokolü
<b>SONET</b>	Synchronous Optical Network	Eş Zamanlı Optik Ağ
<b>SPaT</b>	Signal Phase and Timing	Sinyal Fazı ve Zamanlama
<b>SPaTEM</b>	Signal Phase and Timing Message	Sinyal Fazı ve Zamanlama Mesajı
<b>SRM</b>	Signal Request Message	Sinyal Talep Mesajı
<b>SSM</b>	Signal Situation Message	Sinyal Durum Mesajı
<b>SU-MIMO</b>	Single-User Multiple Input Multiple Output	Tek Kullanıcılı Çoklu Giriş Çoklu Çıkış
<b>TCP/IP</b>	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	İletim Kontrol Protokolü/İnternet Protokolü
<b>TEN-T</b>	Trans European Transport Network	Trans-Avrupa Ulaştırma Ağı
<b>TIM</b>	Traveler Information Message	Yolcu Bilgilendirme Mesajı
<b>TMC</b>	Traffic Management Center	Trafik Yönetim Merkezi
<b>TMDD</b>	Traffic Management Data Dictionary	Trafik Yönetimi Veri Sözlüğü
<b>UE</b>	User Equipment	Kullanıcı Ekipmanı
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol	Kullanıcı Datagram Protokolü
<b>UML</b>	Unified Modeling Language	Birleşik Modelleme Dili
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System	Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi
<b>URLLC</b>	Ultra Reliable Low Latency Communication	Ultra Güvenilir Düşük Gecikmeli Haberleşme
<b>UTMC</b>	Urban Traffic Management Control	Kentsel Trafik Yönetim Kontrolü
<b>V2I</b>	Vehicle-to-Infrastructure	Araçtan Altyapıya
<b>V2V</b>	Vehicle-to-Vehicle	Araçtan Araca
<b>V2X</b>	Vehicle-to-Everything	Araçtan Her Şeye
<b>VDP</b>	Vehicle Data Provider	Araç Veri Sağlayıcısı
<b>VMS</b>	Variable Message Sign	Değişken Mesaj İşareti
<b>WAVE</b>	Wireless Access in Vehicular Environments	Araç Ortamları için Kablosuz Erişim
<b>WiMAX</b>	Worldwide Interoperability for Microwave Access	Mikrodalga Erişim için Evrensel Birlikte Çalışabilirlik

<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network	Kablosuz Yerel Alan Ağı
<b>WSMP</b>	WAVE Short Message Protocol	WAVE Kısa Mesaj Protokolü
<b>XML</b>	Extensible Markup Language	Genişletilebilir İşaretleme Dili



## 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.
- 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.
- 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 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 Araca (V2V)*** : 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. V2V, V2I, araçtan yayaya (V2P), araçtan ağa (V2N); V2X’in türleri arasındadır.

- Avrupa Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Galileo)*** : Avrupa Birliği (AB) tarafından ABD ordusunun denetimi altındaki Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ile Rusya tarafından geliştirilmiş GLONASS'a alternatif uydu yönlendirici sistemidir.
- Bağlantılı Araç*** : Birbirleriyle yol kenarı altyapısıyla ve diğer sistem ve hizmetlerle iletişim kurabilmek adına bir dizi farklı iletişim teknolojisini kullanan araçtır.
- BeiDou*** : Kullanıcılara her zaman, her hava koşulunda ve yüksek doğrulukta konumlandırma, navigasyon ve zamanlama hizmetleri sağlamak için Çin tarafından geliştirilen Küresel Navigasyon Uydu Sistemidir (GNSS).
- Bulut Bilişim*** : Bilgisayarlar ve diğer cihazlar için, istendiği zaman kullanılabilen ve kullanıcılar arasında paylaşılan bilgisayar kaynakları sağlayan, internet tabanlı bilişim hizmetlerinin genel adıdır.
- Büyük Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (mMIMO)*** : MIMO teknolojisinin kapsam ve kapasite açısından geliştirilmiş versiyonudur. Bu bağlamda, veri transferinin gerçekleştirildiği anten sayısı artırılmış ve veri transferinin verimliliği, hızı ve gecikmesi iyileştirilmiştir.
- Büyük Makine Tipi Haberleşme (mMTC)*** : Makineler arası iletişim ve nesnelerin interneti (IoT) uygulamalarının desteklenmesi için yüksek miktarda veri bağlantısının eş zamanlı olarak ağ tarafından desteklenebilmesidir. Akıllı şehir gibi sensör benzeri çok sayıda cihazın birbirine bağlı olduğu coğrafi alanlar için veri trafiğinin yönetimini sağlamak amacıyla optimize edilen 5G'nin kullanım türünden biri olup büyük ve kitlesel olarak da ifade edilebilmektedir.
- Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO)*** : Kablosuz haberleşme teknolojilerinde birçok verinin aynı radyo kanalı üzerinde, eş zamanlı olarak transfer edilmesini sağlayan sistemdir.
- Cihazdan Cihaza (D2D)*** : Cihazlar (örneğin: akıllı telefonlar) arasında kısa menzilli doğrudan iletişim sağlayan doğrudan kısa mesafe bağlantısıdır.
- Fiziksel Katman (PHY)*** : Bilgisayar ağının yedi katmanlı OSI modelinde, fiziksel katman veya katman 1, birinci ve en alttaki katmandır. Ağ mimarisinde cihazlar

arasındaki fiziksel bağlantıyla en yakından ilişkili katmandır. Bu katman, bir PHY çipi tarafından uygulanabilir.

- Gelişmiş Evrensel Karasal Radyo Erişim Ağı (eNB/eNodeB)*** : Hücresel ağ için bir baz istasyonu, tipik olarak bir kule ve ekipman kulübesinden oluşmakta ve bazen hücre alanı olarak da anılmaktadır. “eNodeB” terimi, mobil cihazlarla radyo arayüzünü yöneten baz istasyonu ekipmanını ifade etmektedir.
- Hücresel Haberleşme*** : Hücresel haberleşme, mobil telekomünikasyon sistemlerinde hücre adı verilen küçük alanlar içinde kablosuz iletişim sağlama yöntemidir. Bu sistem, 3G, 4G, 5G ve gelecekteki 6G gibi çeşitli nesillerdeki mobil iletişim teknolojilerini kapsamaktadır.
- Hücresel Ağ Üzerinden Araçtan Her Şeye (C-V2X)*** : Araçlara, hücresel sistemler üzerinden düşük gecikmeli olarak V2V, V2I, V2P, kısaca V2X iletişim sunmak için tasarlanmış birleşik bir bağlantı platformudur.
- 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.

- Işık Algılama ve Mesafe Ölçümü (LIDAR)*** : Lazer darbeleri kullanılarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını anlamaya yarayan algılama teknolojisidir.
- Kablosuz Yerel Alan Ağı (WLAN)*** : IEEE 802.11p veya genişletilmiş IEEE 802.11bd'ye dayalı geçici kısa menzilli iletişim için kullanılan terimdir. V2X için standartlaşmış bir ITS-G5 kablosuz yerel alan ağıdır.
- Kooperatif Farkındalık*** : Yol kullanıcılarının ve yol kenarı altyapısının birbirlerinin konumu, dinamik verileri ve nitelikleri hakkında bilgilendirilmesidir.
- Kooperatif Farkındalık Mesajı (CAM)*** : Trafikte kullanıcılar ile kara yolu donanımlarının birbirini konum ve hareket biçimi gibi durumlarına ilişkin karşılıklı olarak uyarılmaları için belli periyotlarda gönderilen iletilerdir.
- 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.
- Ortam Erişim Kontrolü (MAC)*** : Hangi ağ ögesinin hangi zaman aralığında ağ ortamına (örneğin kabloya) veri aktarabileceğini belirleyen bir alt katmandır.
- Radio Dalgası Algılama ve Mesafe Ölçümü (RADAR)*** : Bir hedefe göre göreceli mesafeyi ve göreceli hızı ölçen elektromanyetik sensördür.
- Rus Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GLONASS)*** : Rusya tarafından geliştirilmiş ikinci kuşak bir küresel uydu konumlandırma sistemidir.
- 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.

**Sinyal Fazı ve Zamanlama (SPaT) Mesajı** : SPaT mesajları, sinyal fazı ve her fazın ilişkili zamanlaması hakkında bilgi içerir, mevcut kavşak sinyal ışığı aşamalarını tanımlar. Kavşaktaki tüm şeritlerin mevcut durumu ile herhangi bir aktif ön muafiyet (pre-emption) veya öncelik sağlanır. Bu verilerin kullanılması, kavşaklardaki trafik ışıklarının uygun şekilde zamanlanmasını sağlamaya yardımcı olabilir ve ulaşım kurumlarının koridorlar boyunca trafik verimini doğrudan yönetmesine olanak tanır.

**Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC)** : Karayolundaki araçlar için tasarlanmış, araçların birbiriyle, diğer yol kullanıcılarıyla ve yol kenarındaki donanımlarla çift yönlü haberleşmesini sağlayan kısa veya orta menzilli kablosuz haberleşme teknolojisidir.

**Uzun Süreli Gelişim (LTE)** : 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.

**Yan Bağlantı (SideLink)** : Bir baz istasyonunu yardımıyla ya da yardımı olmadan, kullanıcıdan kullanıcıya doğrudan iletişim sağlayan, 3. Nesil Ortaklık Projesi (3GPP) tarafından standartlaştırılmış bir teknolojidir.

**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.

**Yeni Nesil Erişim (NGA)** : Tamamen veya kısmen optik elemanlardan oluşan ve halihazırda mevcut bakır şebekeler üzerinden sağlananlara kıyasla daha yüksek verim gibi

gelişmiş özelliklere sahip, geniş bant erişim hizmetleri sunabilen kablolu erişim ağlarıdır.

***Yol Kenarı Birimi (RSU)*** : Yol boyunca yerleştirilmiş araçlarla merkezlerle ve birbiriyle haberleşebilen donanımdır.

# BÖLÜM I

---

## 1. GİRİŞ

Kooperatif akıllı ulaşım sistemleri (K-AUS); trafik emniyetinin, güvenliğinin ve verimliliğinin artırılması başta olmak üzere yol ağı kullanıcılarına birçok faydalar sunmaktadır. Bu sistemler; araçlar, altyapı ve yolcular arasında bilgi paylaşımını sağlayarak trafik kazalarını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Araçlar arasındaki haberleşme sayesinde, çevresel algılama sistemleri ve diğer sensörlerden elde edilen veriler paylaşmakta, böylece tehlikeli durumlar önceden tespit edilmekte ve sürücülere uyarılar gönderilmektedir. Ayrıca trafik sinyal optimizasyonu, akıllı rota planlaması ve otonom araçların koordinasyonu gibi uygulamalarla trafik akışı daha düzenli hale getirilebilmekte, trafik sıkışıklığı ve seyahat süreleri azaltılabilmektedir. K-AUS; trafik sıkışıklığının azaltılması, toplu taşıma sistemlerinin daha etkin bir şekilde kullanılması, otopark sorunlarının çözümü ve halka açık alanların optimizasyonu gibi faydalı sonuçlar elde etmek için etkili bir yöntem olabilmektedir. Bunun yanı sıra, yol kullanıcılarına gerçek zamanlı trafik bilgileri ve park yeri yönlendirmeleri gibi hizmetler sunarak seyahat deneyimini geliştirmekte ve yolculukların daha rahat ve konforlu olmasını sağlayabilmektedir. Bu sistemlerin yaygınlaşmasıyla yol ağının daha akıllı ve sürdürülebilir olması sağlanırken toplumun daha emniyetli, güvenli ve verimli bir şekilde seyahati mümkün hale gelmektedir.

K-AUS mevcut hizmetlerinin ve senaryolarının ortak noktası, K-AUS bileşenleri arasında bilgi alışverişinin sağlanması ile bu bilgilerin güvenilirliğini ve etkinliğini sağlayan haberleşme teknolojilerinin kullanılmasıdır. Gelişmekte olan ve gecikme, bağlantı sürekliliği, güvenlik, gizlilik ve hız gibi hususlarda ilerleme kaydedilen haberleşme teknolojileri, K-AUS hizmetleri ile trafik sistemlerinde optimizasyonu kolaylaştırırken kesintisiz entegrasyonu sağlanmaktadır.

K-AUS hizmetlerinin ve senaryolarının uygulanmasında çeşitli haberleşme teknolojilerinden faydalanılmakta olup en uygun haberleşme altyapısının ve teknolojisinin seçilmesi, önem arz etmektedir. Bu doğrultuda; K-AUS hizmetlerinde kullanılan haberleşme teknolojileri, bu teknolojilerin avantajları, dezavantajları ve dünyadaki örnek uygulamaları hakkında detaylı bilgiye ihtiyaç bulunmaktadır.

K-AUS haberleşme teknolojilerini detaylı inceleyen bu raporda; Türkiye’de geliştirilecek K-AUS hizmetlerinde kullanılacak haberleşme teknolojileri, protokoller araştırılmış, avantajları ve

dezavantajları sunulmuştur. Ayrıca dünyada K-AUS hizmetleri sunan ülke uygulamalarında kullanılan haberleşme teknolojileri ve bu alanda yayınlanmış strateji belgeleri ile raporlar incelenmiştir. Sonuç olarak Türkiye’de hayata geçirilecek K-AUS hizmetlerinde kullanılacak haberleşme teknolojilerine ilişkin önerilerde bulunulmuştur.



## BÖLÜM II

---

### 2. METODOLOJİ

Bu raporda, K-AUS hizmetlerinde kullanılan kablosuz haberleşme protokolleri, detaylı olarak araştırılmıştır. Farklı ülkelerde ve bölgelerde; bu alanda yayınlanmış strateji belgeleri, raporlar ve dünya uygulamaları araştırılmış ve elde edilen bilgilere yer verilmiştir. Bu iletişim protokollerine yönelik güvenlik ve hızlı mesaj iletimi hususları incelenmiştir. Sonuç olarak rapor kapsamında elde edilen bilgiler doğrultusunda, Türkiye için K-AUS uygulamalarında kullanılacak kablosuz haberleşme teknolojileri konusunda önerilerde bulunulmuştur. Bu öneriler doğrultusunda hayata geçirilecek K-AUS uygulamalarında, birlikte çalışabilirlik ve kesintisiz hizmet sağlanabilecektir.

**K-AUS Haberleşme Teknolojileri Raporu**, yedi bölümden oluşmaktadır. **Birinci bölümde;** K-AUS hizmetlerinde kullanılan haberleşme teknolojilerine dair genel bir giriş yapılmıştır ve raporun kapsamı hakkında bilgi verilmiştir. **İkinci bölümde;** raporun içeriği üzerine bir metodoloji bölümü yer almaktadır. **Üçüncü bölümde;** uluslararası kabul görmüş ve K-AUS uygulamalarında kullanılan haberleşme teknolojileri, bu teknolojilerin avantajları ve dezavantajları hakkında bilgilere yer verilmiştir. **Dördüncü bölümde;** Almanya, Avusturya, Birleşik Krallık, Fransa, İspanya ve İtalya'nın yer aldığı Avrupa ülkelerinde; Avustralya, Çin, Güney Kore ve Japonya'nın yer aldığı Asya Pasifik ülkelerinde ve ABD'de K-AUS çalışmalarında kullanılan haberleşme teknolojileri araştırılmıştır. Bu araştırma kapsamında; ülkeler tarafından yayınlanan strateji belgeleri, raporlar ve gerçek dünya uygulamalarını içeren çalışmalar derlenmiştir. **Beşinci bölümde;** Avrupa ve Asya-Pasifik ülkeleri ile ABD'de ve Türkiye'de yayınlanmış, kullanımda olan haberleşme teknolojilerine ve standartlarına yer verilmiştir. **Altıncı bölümde;** K-AUS hizmetlerinin temelini oluşturan V2X haberleşme kapsamında; V2V, V2I, V2P ve V2N haberleşmelerde kullanılacak protokollere ve bilginin hızlı ve güvenilir bir şekilde iletilebilmesi için sağlanması gereken şartlar hakkında bilgilere yer verilmiştir. **Yedinci bölümde;** Türkiye'de K-AUS hizmetlerinde kullanılacak haberleşme protokollerine dair önerilere yer verilmiştir. **Sekizinci bölümde;** rapor kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda ulaşılan bilgilere ve yapılan önerilere yönelik genel bir değerlendirmeye yer verilmiştir.

## BÖLÜM III

---

### 3. K-AUS HİZMETLERİNDE KULLANILAN HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİ

K-AUS; kentsel, kırsal ve şehirlerarası yollarda trafik güvenliğini ve verimliliğini arttırmak için oluşturulmuş sistemlerdir. Bu sistemlerde hem araçlara hem de yollara yerleştirilmiş sensörler yardımıyla araçların yoldaki konumundan, araçtaki lastiklerin basıncına kadar birçok alanda veri toplanabilmektedir. Bu sistemlerden toplanan verilerin sürücülere gerçek zamanlı olarak aktarılmasında çeşitli kablosuz haberleşme sistemleri kullanılmakta olup K-AUS'un en önemli yapı taşları arasındadır.

Geleceğin akıllı şehirlerinin ve sürücüsüz araçlarının önemli ve ayrılmaz bileşenlerinden biri olacağı değerlendirilen, K-AUS hizmetlerinde V2X bağlantı kurulmasını sağlayan haberleşme sistemleri, araçların diğer araçlar veya yol kenarındaki altyapı ekipmanları gibi birimlerle iletişim kurmasını sağlamaktadır.

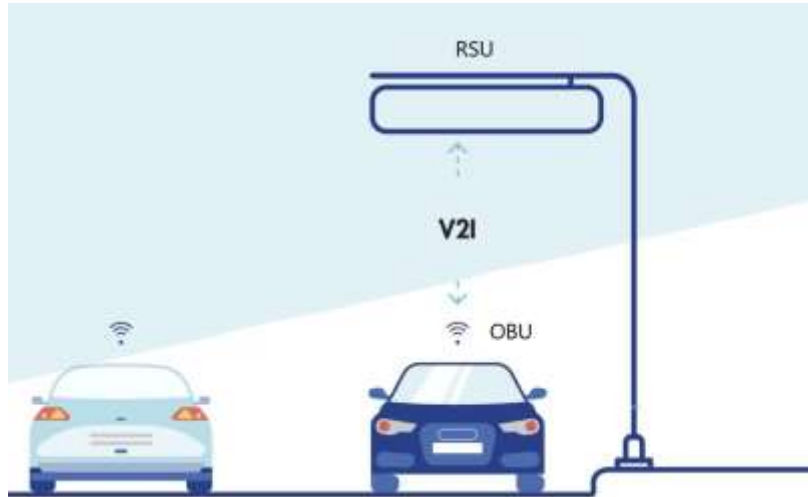
V2X; bir aracın çevresindeki olası herhangi bir iletişim ortağıyla kablosuz, gerçek zamanlı veri iletişimi olup V2V, V2I, V2P ve V2N haberleşme; V2X haberleşmenin türleri arasındadır.

V2V, trafik kazalarını ve seyahat sürelerini azaltmak ve otonom sürüşü mümkün kılmak amacıyla araçlar arasındaki gerçek zamanlı kablosuz veri alışverişi teknolojisidir. Araçlar birbiri arasında hız, konum, frenleme, seyahat yönü gibi bilgiler paylaşır. Bu haberleşme türünde araçlar, sinyal almak ve göndermek için kablosuz ağ üzerinden veri iletimi yapar. V2V haberleşme teknolojisi, araçların kablosuz olarak bilgi alışverişinde bulunmasını sağlayarak yollarda güvenliği ve verimliliği artırmaktadır. Herhangi bir aracı kullanılmadığı için haberleşme altyapısındaki kaynak kullanımını azaltılmış olur. V2V haberleşme sayesinde araçlar etrafındaki araçlardan bulunduğu çevre ile ilgili trafik koşullarını toplar ve bu olay sürücünün davranışını değiştirerek daha güvenli ve verimli bir sürüş sağlar. Bu haberleşme türünün uygulanmasıyla beraber yol güvenliğinin yüksek seviyede artması amaçlanmaktadır (RGBSI, 2022d). Şekil 1'de V2V örnek gösterimi mevcuttur (Girişim Haber, 2019).



**Şekil 1.** V2V Örnek Gösterimi

“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. V2I haberleşme, araçların trafik lambaları veya yol kenarı birimleri gibi altyapılarla yaptığı iletişimidir. Bu, birden fazla aracın belirli bir otoyol sistemini destekleyen çeşitli cihazlarla bilgi paylaşmasına olanak tanıyan bir iletişim çerçevesidir. Donanım ve yazılım ağı tarafından etkinleştirilen V2I teknolojisi, kablosuz ve çift yönlüdür. Altyapı cihazlarından alınan bilgiler, geçici bir ağ aracılığıyla araca iletilir ve bunun tersi de geçerlidir. V2I haberleşme sayesinde, yol güvenliğinin artırılması ve trafik sıkışıklığının azaltılması hedeflenmektedir (RGBSI, 2022c). Şekil 2’de V2I örnek gösterimi mevcuttur (Thales Group, 2023).

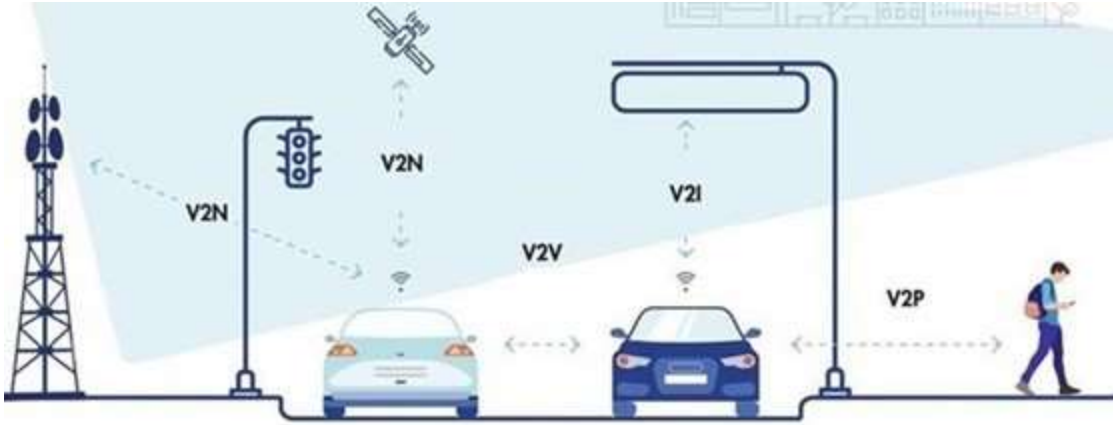


## Şekil 2. V2I Örnek Gösterimi

“V2P”, bir araç ile bir yaya veya yakın mesafedeki birden fazla yaya arasında doğrudan iletişimi içermektedir. V2P; araçlar ve yayalar arasında doğrudan haberleşme sağlayarak yol güvenliğini artırmayı, yayaların tespit edilmesini ve kazaları önlemeyi amaçlamaktadır. V2P haberleşmede, yaya ve bisikletlinin de içinde bulunduğu savunmasız yol kullanıcıları, K-AUS haberleşmesine katılır. Bu haberleşme türü sayesinde yayalar, araçların yakınında bulunursa araca sinyaller iletilir. Uyarılar, sürücüleri; yaklaşan yayalara karşı uyarır veya yayalara araç hakkında bilgi verir. Özellikle savunmasız yol kullanıcılarını korumak amacıyla kullanılan bu teknoloji ile kazaların önüne geçilmesi hedeflenmektedir (RGBSI, 2022a). Akıllı telefonların kablosuz teknolojileri, V2P haberleşmede önemli rol oynamaktadır.

“V2N”; araçların hücresel ağları kullanarak internet bağlantısı kurmasını sağlayan bir C-V2X bağlantı şeklidir. V2N; araçlar, altyapı, bulut, veri merkezi ve merkez arasında hücresel ağ üzerinden kurulan haberleşmedir. V2N kullanarak araçlar birbirleriyle ve sokak lambaları, trafik sinyalleri, yayalar vb. gibi diğer nesnelere internet üzerinden iletişim kurarak daha iyi trafik verimliliği elde edebilmekte ve araç güvenliğini artırabilmektedir. V2N, ayrıca haritalara dayalı gelişmiş navigasyon gibi işlevleri de mümkün kılabilir (RGBSI, 2022b).

V2V, V2I, V2P, V2N haberleşme türlerini içeren V2X haberleşme görseli, Şekil 3’te yer almaktadır (Thales Group, 2023).



Şekil 3. V2X Örnek Gösterimi

V2X haberleşmenin yanı sıra altyapılar ve merkezler arasındaki iletişim türleri aşağıda yer almaktadır: Bunlar; “merkezden merkeze (C2C)”, “altyapıdan merkeze (I2C)” ve “altyapıdan altyapıya (I2I)” haberleşmedir.

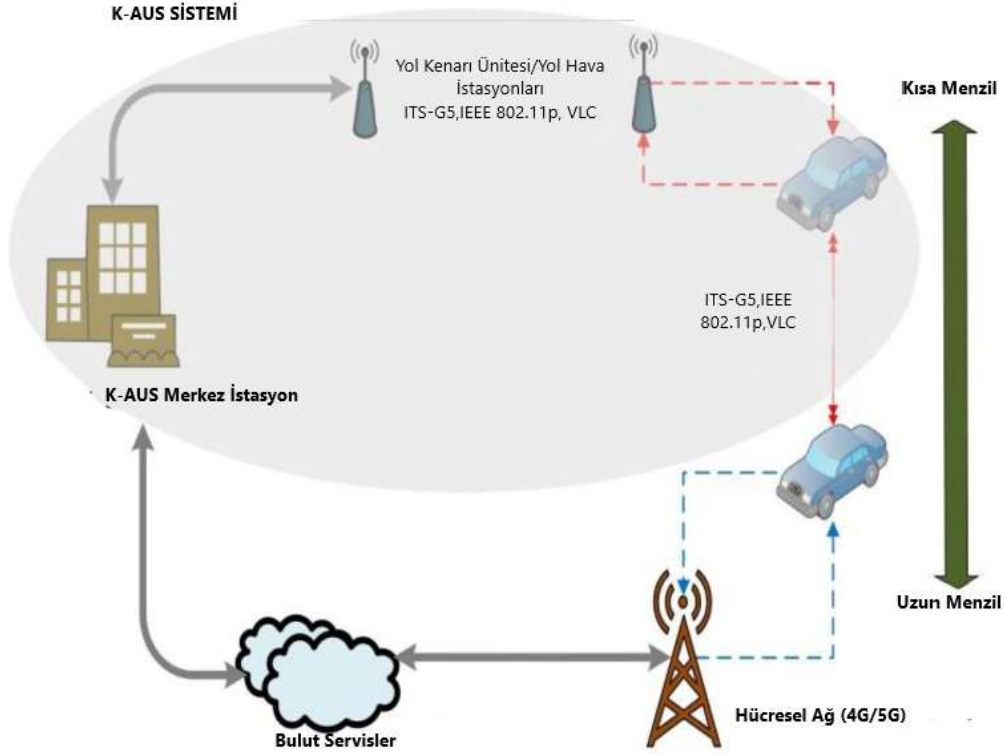
C2C; kontrol merkezleri arasında veri alışverişini kolaylaştırarak trafiğin yönetilmesi için bilgi paylaşımına ve koordinasyona olanak sağlayan haberleşmedir. C2C haberleşme, fiziksel olarak farklı ulaşım yönetim merkezi tesislerinde bulunan bilgisayarlar arasındaki veri alışverişini kapsayan AUS alanının tamamını kapsar. Bu tür tesisler şunları içerir: trafik yönetim merkezleri, toplu taşıma yönetim merkezleri, kamu güvenliği, olay yönetim merkezleri, otopark yönetim merkezleri vb.) (ITS Standards & United States Department of Transportation, 2013).

I2C; altyapı unsurları arasında doğrudan veri alışverişini mümkün kılarak trafik akışının optimize edilmesini ve trafik güvenliğinin artırılmasını sağlayan haberleşmedir. I2C haberleşme, bir altyapı sistemi içindeki çeşitli öğeler veya bileşenler ile merkezi bir kontrol veya izleme merkezi arasında veri ve bilgi alışverişini içerir. I2C iletişimde sensörler, cihazlar, denetleyiciler ve düğümler gibi altyapı bileşenleri; verileri karar vermek, performansı izlemek ve altyapıyı etkin bir şekilde yönetmek için bu bilgileri işleyen ve analiz eden merkeze iletir. Benzer şekilde, merkez; işlemleri kontrol etmek, değişiklikleri uygulamak veya ortaya çıkan durumlara yanıt vermek için altyapı bileşenlerine komutlar, talimatlar veya güncellemeler gönderebilir.

I2I; altyapı unsurları arasında doğrudan veri alışverişini mümkün kılarak trafik akışının optimize edilmesini ve trafik güvenliğinin artırılmasını sağlayan haberleşmedir. I2I haberleşme, daha büyük bir altyapı sistemi içindeki farklı öğeler veya bileşenler arasında veri ve bilgi alışverişini ifade eder. Bu tür haberleşme; ulaşım ağları, kamu hizmet ağları, telekomünikasyon sistemleri ve daha fazlası gibi karmaşık altyapıların kusursuz çalışmasını, koordinasyonunu ve yönetimini sağlamak için hayati öneme sahiptir.

### **3.1. K-AUS Bileşenleri**

K-AUS, birlikte çalışan birçok temel bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler haberleşme sistemleri, gelişmiş sensörler ve akıllı veri işleme sistemleri dahil olmak üzere çok çeşitli ileri teknolojileri kapsamaktadır. Her bir öğe, kesintisiz ve hızlı tepki veren bir ulaşım ağı oluşturmada; güvenliğin, verimliliğin ve genel etkinliğin artırılmasında önemlidir. K-AUS haberleşme mimarisi Şekil 4’te gösterilmiştir (Tahir vd., 2021).



Şekil 4. K-AUS Haberleşme Mimarisi

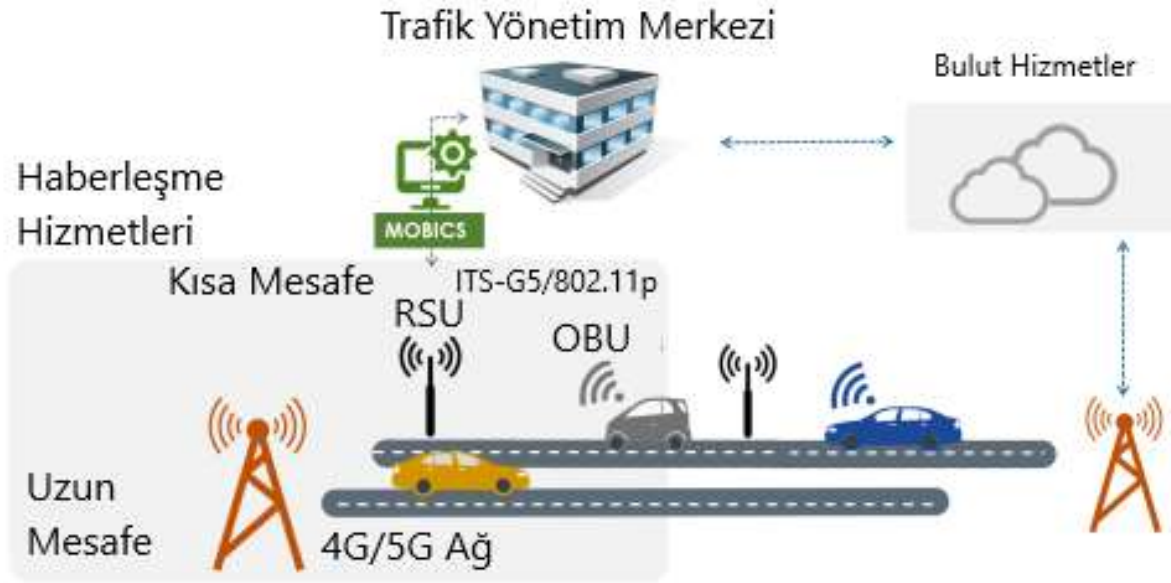
Karayolu taşımacılığının verimliliğini, güvenliğini ve çevresel performansını artırmayı amaçlayan K-AUS; yönetim merkezi, yol kenarı birimi (RSU), araç içi birim (OBU), insan-makine arayüzü (HMI), radar, ışık algılama ve mesafe ölçümü (LIDAR), kameralar, küresel navigasyon uydu sistemi (GNSS), kızılötesi sensörler gibi sistem bileşenlerinden oluşmaktadır.

### 3.1.1. Trafik Yönetim Merkezi

Trafik yönetim merkezi, tüm haberleşme teknolojilerini bir araya getirerek K-AUS ile ilgili görevleri de organize eden bir birimdir. Bu birim, ulaşım sistemlerini iyileştirmek amacıyla araçlar, altyapı ve haberleşme sistemleri arasında koordinasyonu sağlamaktadır. Trafik yönetim merkezi; trafik akışlarını izleme ve kontrol etme, sürücülere gerçek zamanlı bilgiler sunma ve bağlantılı/otonom araçların etkin çalışmasını destekleme görevlerini üstlenmektedir. Bu görevlerin yerine getirilmesi, ulaşım ağındaki unsurlar arasında kesintisiz veri alışverişi ve iletişim sağlanmasına olanak tanımakta, böylece daha güvenli ve verimli bir ulaşım sistemi oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır. Trafik sıkışıklığını azaltarak sürücülerin daha bilinçli kararlar almasını sağlamaktadır. Trafik yönetim merkezi, ulaşım güvenliğinde ve hareketlilikte

yenilikçi uygulamaların önemli bir parçası olarak gelişen AUS ve K-AUS teknolojilerinin trafik yönetimi süreçlerine entegrasyonunda kritik bir rol oynamaktadır.

K-AUS bileşenleri arasında yer alan OBU'lar, araçların içerisinde; RSU'lar ise yol kenarında bulunmaktadır. V2I teknolojisi kullanılarak RSU'lar veya V2V teknolojisi kullanılarak diğer araçlarla iletişim kurulabilmektedir. RSU'lar, bilgileri trafik yönetim merkezine ileten yol operatörü altyapısına bağlıdır. Şekil 5'te örnek bir K-AUS çerçeve mimarisi sunulmuştur (Pais Ribeiro vd., 2019).



Şekil 5. K-AUS Çerçeve Mimarisi

### 3.1.2. Yol Kenarı Birimi (RSU)

Yol kenarı birimi (RSU), araçlar ile ulaşım ağı arasındaki iletişimi sağlamak için yol boyunca konumlandırılan K-AUS'un temel bileşenlerinden biridir. RSU'lar; DSRC veya C-V2X gibi kablosuz iletişim teknolojileri ile donatılmıştır ve yola yerleştirilmiş sensörler, trafik kameraları ve diğer altyapı bileşenleri gibi çeşitli kaynaklardan toplanan güncel verileri, sürücülere ileterek yoldaki potansiyel tehlikeler veya güvensiz koşullar konusunda bilgi sağlar.

RSU'lar, OBU'lardan mesajlar alabilir ve bu mesajları gerçek zamanlı trafik koşulları hakkında bilgi sağlamak için trafik yönetim sistemleri, trafik sinyal kontrolörleri gibi ulaşım altyapısı unsurlarına iletebilir. Benzer şekilde, RSU'lar; sinyal fazı ve zamanlaması (SPaT), kavşak geometrisi (MAP) ve yolcu bilgilendirme (TIM) gibi gerçek zamanlı kritik altyapı bilgilerini,

OBU'lara yayınlarak yolcuları, mevcut ve yaklaşan trafik yönetimi stratejileri, koşulları ve olayları hakkında bilgilendirir (Institute of Transportation Engineers, 2021). Yol kullanıcıları, gerçek zamanlı altyapı bilgilerini (örneğin trafik sinyali fazları ve zamanlaması, kavşak geometrisiyle ilgili ayrıntılar) alarak daha az gecikme, daha iyi yakıt verimliliği ve daha az emisyonla karayollarında daha verimli bir şekilde seyahat edebilirler. Ayrıca, OBU'lardan/MU'lardan gerçek zamanlı durum bilgileri elde edildikten sonra, trafik sıklığını azaltmak ve hareketliliği iyileştirmek için trafik yönetim merkezlerindeki (TMC'ler) operatörler tarafından aktif veya proaktif trafik yönetimi stratejileri uygulanabilir.

Böylece RSU'lar; trafik akışının yönetilmesi, sürücülere gerçek zamanlı veriler sağlanarak farkındalığın artırılması, genel trafik verimliliğinin ve emniyetinin artırılması konularında önemli rol oynar (Institute of Transportation Engineers, 2021). Şekil 6'da bir yol kenarı birimi görseli yer almaktadır (Yunex Traffic USA, 2022).



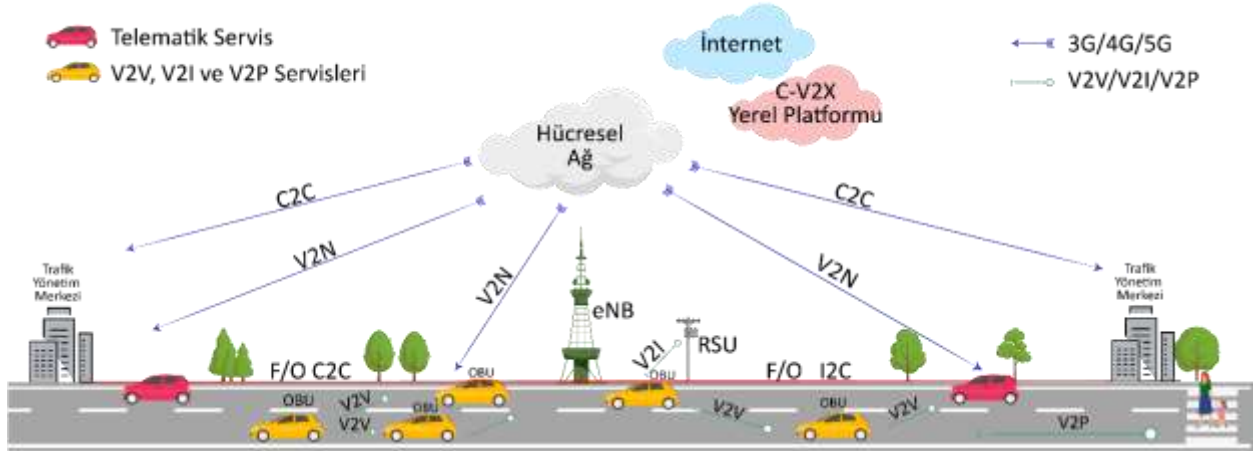
**Şekil 6.** Yol Kenarı Birimi (RSU)

Hizmetlerin kesintisiz ve verimli bir şekilde çalışabilmesi için RSU'ları yerleştirirken göz önünde bulundurulması gereken faktörlerden bazıları şunlardır:

- Antenlerin optimum performans sağlayabilmesi için kesintisiz radyo frekansı görüş hattının sağlanması
- Yaygın olarak kullanılan ethernet üzerinden güç (PoE) bağlantıları nedeniyle RSU ile yol kenarı kabin elektroniği arasındaki mesafe sınırlamaları
- Çevresel faktörler
- RSU ve OBU üreticilerinin önerileri
- GNSS görünürlüğü
- Hizmet kolaylığı



Farklı üreticilerin trafik kontrol cihazları ve OBU'ları ile RSU uyumluluğunu ve birlikte çalışabilirliğini kolaylaştırmak ve ihtiyaçları karşılamak amacıyla Ulaştırma Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Transportation Engineers, ITE), RSU standardı geliştirmektedir (Institute of Transportation Engineers, 2023) ve USDOT ITS Ortak Program Ofisi (JPO) tarafından desteklenmektedir. Amerikan Karayolu ve Ulaştırma Yetkilileri Birliği (American Association of State Highway Transportation Officials, AASHTO), ITE, Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği (National Electrical Manufacturers Associations, NEMA) ve Otomotiv Mühendisleri Topluluğu (Society of Automotive Engineers, SAE) gibi çeşitli kuruluşların yer aldığı standardizasyon çalışma grubu tarafından *Yol Kenarı Birimi (RSU) Standardı*'nın ilk versiyonu 2021 Eylül ayında yayınlanmış olup standart 2022 yılında güncellenmiştir. Şekil 7'de örnek RSU yerleşimi ve V2X haberleşmesi yer almaktadır.

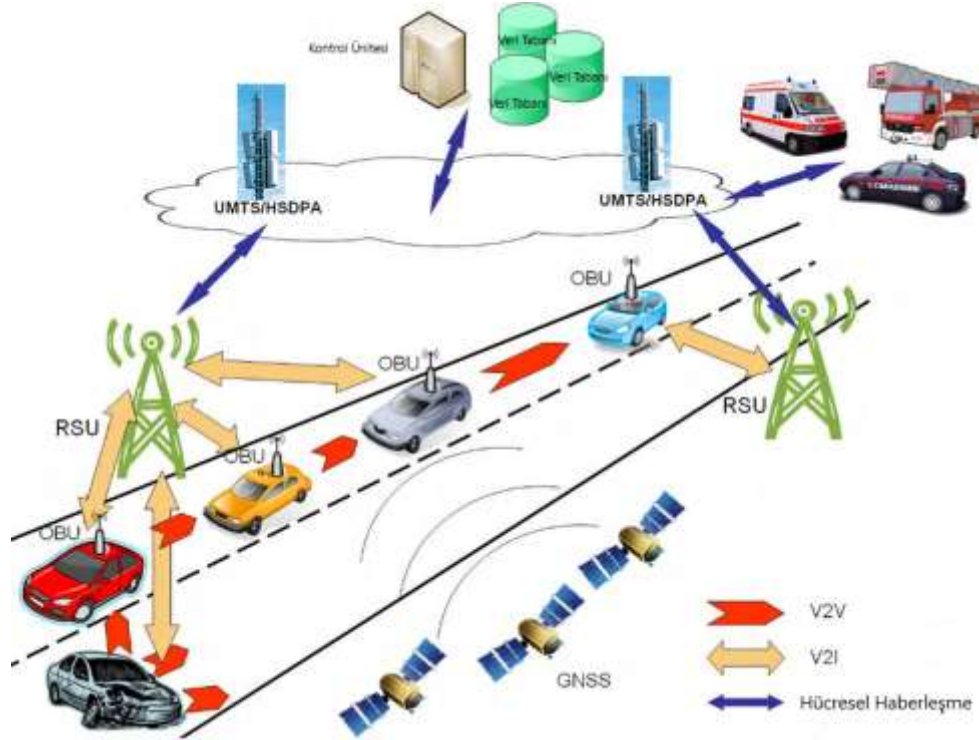


Şekil 7. Örnek RSU Yerleşimi ve V2X Haberleşmesi

### 3.1.3. Araç İçi Birim (OBU)

Araç içi birim (OBU), iletişimi ve bilgi alışverişini kolaylaştırmak için araçlara entegre edilen K-AUS'un önemli bir bileşenidir. OBU'lar; diğer araçlarla, altyapı unsurlarıyla ve merkezi sistemlerle iletişimi mümkün kılmaktadır. OBU'lar, DSRC veya C-V2X gibi haberleşme teknolojileri aracılığıyla araçların birbirleriyle ve RSU'lar ile gerçek zamanlı verileri paylaşmasına olanak tanır. Bu birimler; sürücülere potansiyel tehlikeler, trafik koşulları ve diğer ilgili bilgiler hakkında uyarılar sağlayarak güvenliğin artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca OBU'lar, çevredeki ortam hakkında veri toplamak için aracın kamera, radar ve LIDAR gibi

sensörlerle entegre olur. RSU ve OBU'ların yer aldığı, K-AUS hizmetlerine yönelik örnek bir haberleşme şeması, Şekil 8'de gösterilmektedir (Fogue vd., 2011).



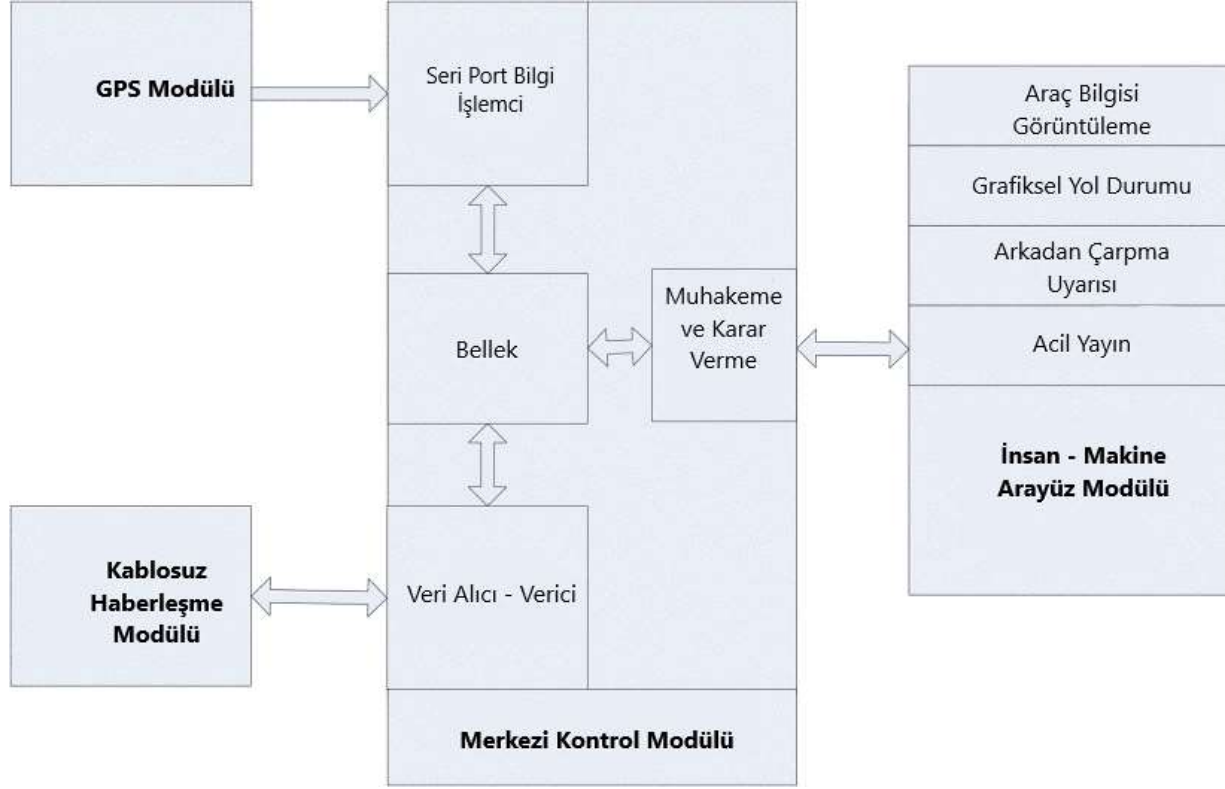
Şekil 8. K-AUS Haberleşme Şeması

OBU; merkezi kontrol modülü, kablosuz haberleşme modülü, küresel konumlandırma sistemi (GPS) modülü ve HMI modülünden oluşur. Şekil 9'da bir araç üstü birim görseli yer almaktadır (ITWissen, 2023).



Şekil 9. Araç İçi Birim (OBU)

OBU'nun merkezi kontrol modülü; seri port bilgi işlemci, veri alıcı-verici, bellek ve muhakeme ve karar verme alt bileşenlerinden oluşur (Yang vd., 2014). Şekil 10'da OBU küresel tasarım diyagramı yer almaktadır (Yang vd., 2014).



Şekil 10. OBU Küresel Tasarım Diyagramı

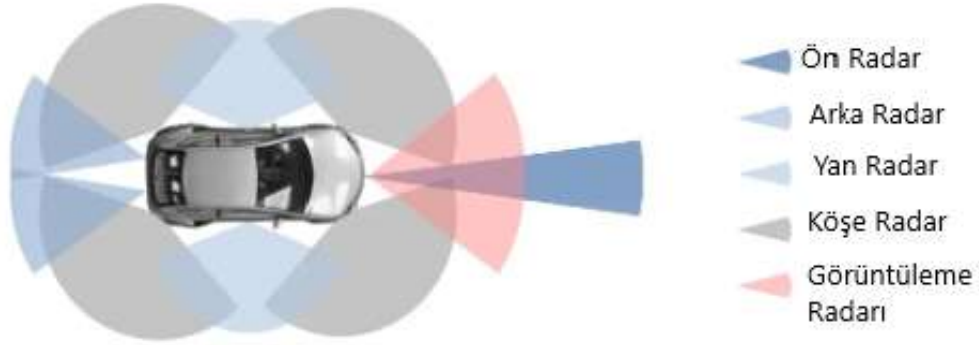
### 3.1.4. İnsan – Makine Arayüzü (HMI)

İnsan-makine arayüzü (HMI); sürücülerin, yayaların ve trafikte yer alan diğer yol kullanıcılarının araçlarla ve altyapıyla etkileşimde bulunduğu bir arayüz görevi görür. Bu arayüz; mevcut trafik koşulları, potansiyel tehlikeler ve rota önerisi gibi gerçek zamanlı bilgiler sağlayarak yol kullanıcılarını bilgilendirir (Bamboo Apps, 2022). K-AUS hizmetleri için oluşturulacak pratik ve doğru bir HMI tasarımı ile yol kullanıcılarının bilgileri anlaması ve buna uygun karar vermesi kolaylaştırılır; bu sayede trafik güvenliği ve akışı iyileştirilebilir.

### 3.1.5. Radar

Radar; nesnelere tespit etmek, hızlarını değerlendirmek ve hareketlerini gerçek zamanlı olarak izlemek için radyo dalgalarını kullanan bir teknolojidir. Bu teknolojinin kullanımı sayesinde,

araçlar trafikte seyredirken meydana gelebilecek olan kazaları önlemede büyük rol oynayan çarpışma uyarısı, aktive edilir. Ayrıca, radar; görüş mesafesinin azaldığı olumsuz hava koşullarında dahi doğru bilgi sağlayabildiği için (Britannica, 2024) sürücülerin güvenliğini arttırmada büyük rol oynar. Şekil 11’de radar örnek gösterimi yer almaktadır (SemiconductorEngineering, 2022).



Şekil 11. Radar Örnek Gösterimi

### 3.1.6. LIDAR

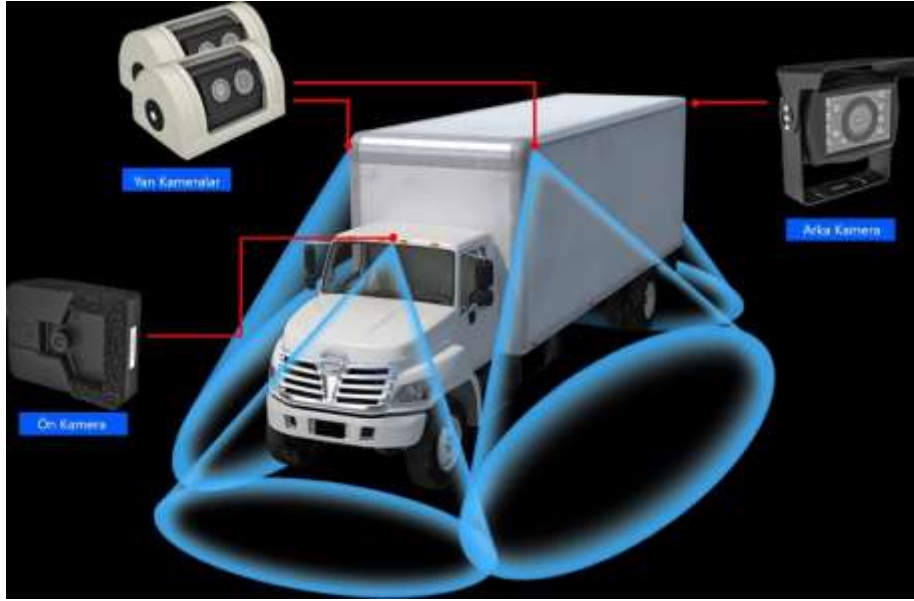
LIDAR, bulunduğu ortamın üç boyutlu (3D) haritasını oluşturmak için lazer ışığından yararlanan bir teknolojidir. Bu teknoloji, nesne tanıma konusundaki yeteneği sayesinde, yüksek çözünürlüklü model oluşturulmasına imkân sağlar. Bunun yanı sıra, mekânsal bilgi algılama yeteneği ile çevredeki objelerin algılanmasını kolaylaştırır ve farklı ışık koşullarında yüksek verimli çalışabilir. Bu özellikleri ile LIDAR, K-AUS hizmetleri için önemli bir bileşendir (Evrin Ağacı, 2021). Şekil 12’de LIDAR örnek gösterimi yer almaktadır (Velodyne Lidar, 2021).



Şekil 12. LIDAR Örnek Gösterimi

### 3.1.7. Kamera

Kamera sistemleri, K-AUS için görsel perspektif oluşturma görevini üstlenir. Bu sistemler, trafikte bulunan şerit, trafik ışığı ve trafik işareti gibi görsel anlama sahip nesnelere algılayarak doğru bilginin oluşturulmasına yardımcı olur. Ayrıca, yaya ve bisikletli gibi savunmasız yol kullanıcılarının algılanmasını da sağlayan bu teknoloji, sürücünün farkındalık seviyesini artırır (Shenzhen RECODA Technologies Limited, 2023). Şekil 13'te kamera sistemleri örneği yer almaktadır (skEYEwatch, 2023).



Şekil 13. Kamera Sistemleri Örneği

### 3.1.8. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS)

K-AUS hizmetlerinde, konum bilgisi için en önemli olan bileşen küresel navigasyon uydu sistemidir (GNSS). Bu teknolojinin entegrasyonu, konum bilgisinin doğruluğunda kritiktir. 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, araçların verimli bir şekilde gezinmesini, rotaları optimize etmesini ve dinamik trafik yönetimine katkıda bulunmasını sağlar (X. Liu vd., 2019). Ek olarak GNSS, araçlar ve altyapı arasında etkili koordinasyonu kolaylaştırarak çeşitli uygulamalarda güvenliği ve verimliliği artırmada önemli bir rol oynar. Acil durum müdahalelerini desteklemek ve genel ulaşım planlamasına yardımcı olmak, örnek olarak

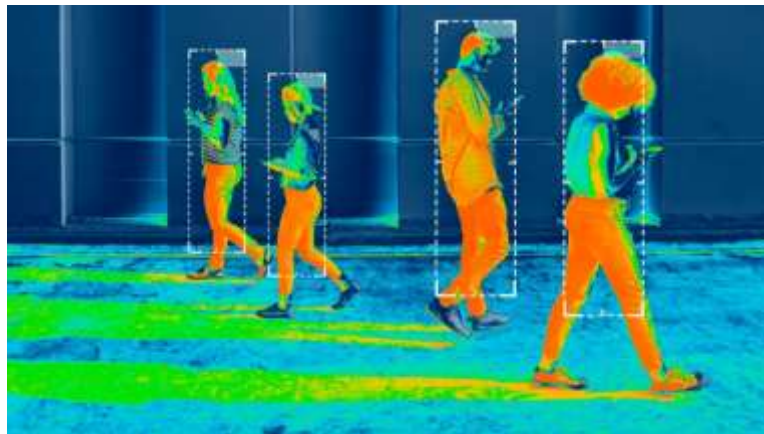
verilebilir (COORDINATES, 2010). Şekil 14’te GNSS gösterimi bulunmaktadır (Bodet Time, 2022).



Şekil 14. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS)

### 3.1.9. Kızılötesi Sensör

Kızılötesi sensörler, özellikle görüş mesafesinin düştüğü zorlu hava koşullarında ve geceleri, görünürlüğün artırılması görevini üstlenir. Bu sensörler, görünür ışık spektrumunun ötesindeki verileri tespit etmek ve yakalamak için kızılötesi ışıktan yararlanarak araçların yol ortamını daha kapsamlı algılamasına olanak tanır. Doğal ışığın olmadığı durumlarda, kızılötesi sensörler, gece görüş desteğine önemli ölçüde katkıda bulunarak sürücülerin yayaları, hayvanları ve gizlenebilecek diğer potansiyel engelleri tespit etmelerine olanak tanır. Bu artan görünürlük, özellikle geleneksel farların yetersiz kalabileceği senaryolarda yol güvenliğini artırır. Şekil 15’te kızılötesi sensördeki bir görüntüye örnek verilmiştir. (Visionify, 2021).



Şekil 15. Kızılötesi Görüntü Örneği

### 3.2. Mesajların Zamanında ve Güvenli Bir Şekilde Aktarımı için Gereklilikler

K-AUS; daha güvenli, daha verimli ve bağlantılı bir ulaşım ekosistemi oluşturmak için güncel haberleşme teknolojilerinden yararlanan; ulaşım yönetimine getirilen vizyoner bir yaklaşımı temsil etmektedir. K-AUS hizmetleri hedeflerine ulaşmak için bir dizi temel gereksinimin karşılanması gerekir. K-AUS hizmetlerinin yapı taşı sayılabilecek olan bu gereksinimler; araçların, altyapının ve trafik yönetim sistemlerinin birbiriyle iletişim kurduğu ve iş birliği yaptığı bir dünyada, birlikte çalışabilirlik, güvenilirlik ve güvenlik sağlar. Toplu olarak K-AUS haberleşme teknolojilerinin temelini şekillendirerek ulaşımda daha akıllı, daha güvenli ve daha bağlantılı bir geleceğin yolunu açan bu gereksinimler, aşağıda özetlenmiştir.

- *Düşük Gecikme:* Yüksek boyutlu veri mesajlarını, minimum gecikmeyle işleyecek şekilde optimize edilmiş bir bilgisayar ağını tanımlar. Bu ağlar, hızla değişen verilere neredeyse gerçek zamanlı erişim gerektiren işlemleri desteklemek üzere tasarlanmıştır (Informatica, 2023). K-AUS uygulamaları, gerçek zamanlı karar almayı mümkün kılmak için düşük gecikme gerektirir. Mesaj teslimindeki gecikmeler, güvenlik açısından kritik bilgilerin gözden kaçırılmasına neden olabilir. Bu, özellikle çarpışmadan kaçınma ve acil frenleme gibi güvenlik açısından kritik uygulamalar için önemlidir.
- *Birlikte Çalışabilirlik:* K-AUS, farklı üreticiler ve hizmet sağlayıcıları arasında birlikte çalışabilirliği sağlamalıdır. Bu; araçların, altyapının ve iletişim cihazlarının, tutarlı hizmetler sağlamak için etkili bir şekilde iletişim kurabilmeleri ve iş birliği yapabilmeleri gerektiği anlamına gelir. Bu kapsamda, Almanya tarafından yürütülen ve 2012-2015 yılları arasında geliştirilmiş CONVERGE Projesi örnek gösterilebilir. Bu projede, birlikte çalışabilirlik ve ekonomik uygulanabilirlik için bir AUS mimarisi geliştirilmesi amaçlanmıştır (Kotsi vd., 2020). CONVERGE Projesi kapsamında CAR2X Sistemler Ağı (CAR2X Systems Network) adlı, dinamik, genişletilebilir bir ortaklık oluşturulmuştur ve bu sayede farklı ülkeler projeye kolayca dahil olabilmektedir (Wieker vd., 2013).
- *Standardizasyon:* Farklı K-AUS bileşenleri arasında uyumluluk ve tutarlılık sağlamak için oluşturulan, standardize bir çerçeveyi ve iletişim protokollerini ifade eder.
- *Güvenilirlik:* Mesajların doğru ve gecikmeden iletilmesini sağlamak için iletişim ağının son derece güvenilir olması gerekir. Sürücüyeye iletilen bilgilerin doğru olması, trafikte kaza

meydana gelme ihtimalini düşürdüğü için güvenlik fonksiyonunu da destekler (Rezazadehbaee vd., 2021).

- *Güvenlik:* K-AUS haberleşme sisteminin güvenli bir şekilde tesis edilmesi için güvenlik protokollerinin entegrasyonu kritiktir. K-AUS hizmetlerinde kullanılan haberleşme teknolojileri, siber saldırılar için açık hedeftir (Frotscher vd., 2019). Bu nedenle, bilginin gizliliği, bütünlüğü ve erişilebilirliği sağlanmalıdır. Dış saldırılara karşı, araçların konum ve sürüş davranışları gibi hassas verilerin yetkisiz erişimden korunması için şifreleme ve kimlik doğrulama gibi güçlü güvenlik önlemleri alınmalıdır. Bilgilerin güvenilirliği için ise bütünlük ve ulaşılabilirlik sağlanmalıdır.
- *Gizlilik:* K-AUS bağlamında gizlilik; bir istasyonun kimliğinin (davranış, seyahat düzenleri vb. dahil olmak üzere), diğer istasyonlara veya kuruluşlara yetkisiz ifşa edilmesinden korunmasıdır (Kountche vd., 2017). K-AUS, kişisel verileri anonimleştirecek ve güvence altına alacak şekilde tasarlanmalı ve bu verilerin, yalnızca amaçlanan doğrultuda kullanılmasını sağlayarak kötüye kullanılması engellenmelidir.
- *Ölçeklenebilirlik:* K-AUS ağı, sistemde bulunan bağlı araç ve altyapı bileşenine düzgün hizmet vermek amacıyla ihtiyaca bağlı olarak kapasitesini arttırıp azaltabilmelidir. K-AUS altyapısını kurmanın en önemli koşullarından biri, yollardaki milyonlarca aracı aynı anda destekleyecek ölçeklenebilirliği sağlamaktır (Nguyen vd., 2020).
- *Hizmet Kalitesi:* Farklı K-AUS uygulamaları, veri aktarım hızları ve güvenilirlik açısından farklı gereksinimlere sahip olabilir. Hizmet kalitesi mekanizmaları, farklı gereksinimlere sahip K-AUS hizmetlerinin düzgün işleyişini sağlamak amacıyla haberleşme teknolojilerinin sunduğu sınırlı kaynakların dikkate alınarak işletilmesini sağlar. (Maaloul vd., 2021).
- *Spektrum Tahsisi:* K-AUS iletişimini desteklemek için yeterli radyo spektrum tahsisi gereklidir. Hükümetler ve düzenleyici kurumlar, parazit ve tıkanıklığı önlemek için spektrum kaynaklarını etkili bir şekilde tahsis etmeli ve yönetmelidir.
- *Altyapı Kurulumu:* K-AUS hizmetlerinin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi ve etkinliğinin artırılması için RSU, kamera ve sensör gibi altyapı unsurlarının işlevsel bir şekilde konumlandırılması gerekir (Degrande vd., 2021).
- *Güncelleme ve Bakım:* K-AUS; güvenlik açıklarını gidermek, performansı artırmak ve gelişen teknolojilere uyum sağlamak için düzenli güncellemeler ve bakım gerektirir. Düzenli bakım faaliyetlerine örnek olarak antenlerin yeniden hizalanması, donanımın yeniden başlatılması,

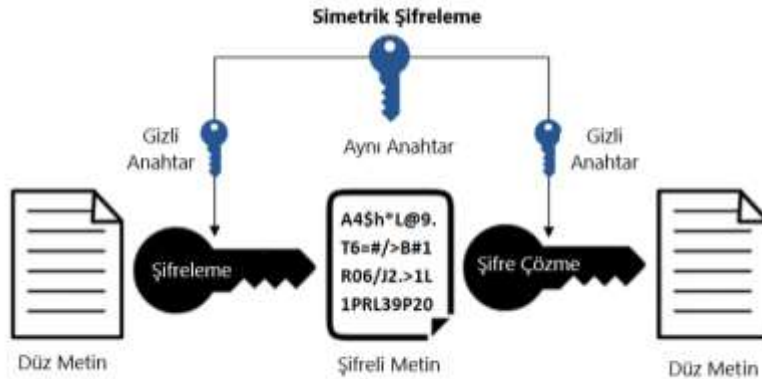


çalışma durumunu doğrulamak için sistemin kontrol edilmesi ve diğer tipik kontroller verilebilir (Mitsakis & Kotsi, 2017).

- *Uluslararası İş Birliği*: İktisat teorisi, ortak hedeflere ulaşmak için aktörlerin gruplar halinde nasıl birlikte çalıştığını ve hangi sorunların iş birliğini engelleyebileceğini analiz etmek için “kolektif eylem” terimini kullanır (Olson, 1971). K-AUS bağlamında ise uluslararası iş birliği ile K-AUS standartlarının ve düzenlemelerinin uyumlaştırılması, farklı bölgeler arasında kesintisiz iletişim ve operasyon sağlar. Bu sayede K-AUS’un dünyadaki gelişimi için kolektif eylem başarılı olur.

Sistemlerin güvenliğini sağlamaya yönelik literatürde birçok araştırma bulunmaktadır. Simetrik ve asimetrik anahtarlama algoritmaları ve kimlik doğrulama algoritmaları, sıklıkla kullanılan yöntemler arasındadır. “Simetrik şifreleme” olarak da bilinen “simetrik anahtar şifrelemesi” hem şifreleme hem de şifre çözme işlevleri için gizli bir anahtarın kullanılmasıdır. Bu yöntem, bir anahtarın şifrelemek için, diğerinin de şifreyi çözmek için kullanıldığı “asimetrik şifreleme”nin tam tersidir. Bu işlem sırasında veriler, onu şifrelemek için kullanılan gizli anahtara sahip olmayan hiç kimsenin okuyamayacağı veya inceleyemeyeceği bir formata dönüştürülür (HYPR, 2023). Simetrik şifrelemede, gizli anahtarı elde eden herkes, şifrelenen mesajı çözebilir.

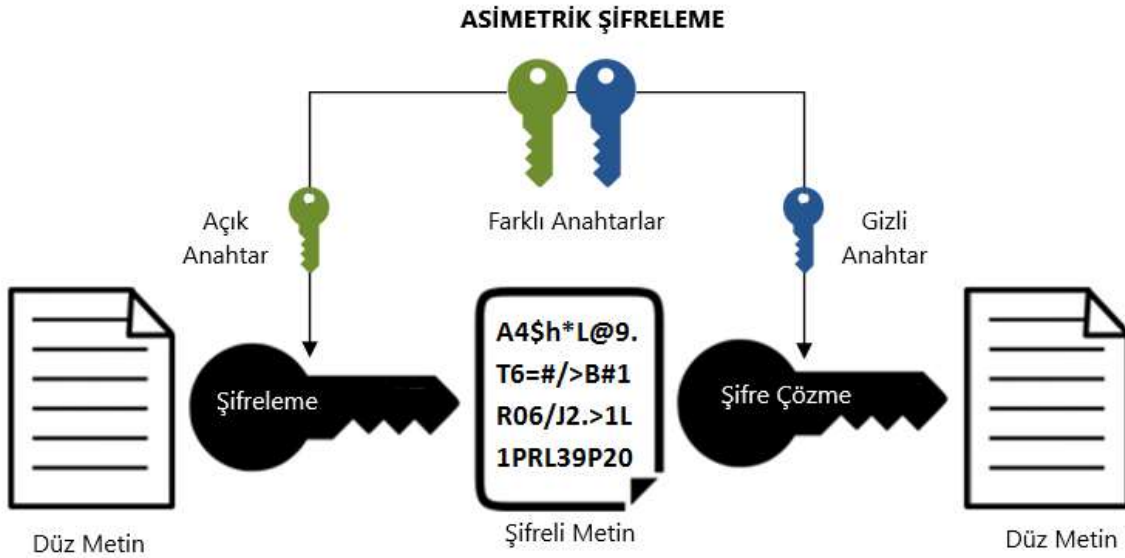
Şifreleme yöntemlerinin sisteme entegre edilmesi değil, aynı zamanda bunların hızlı çalışması da önemlidir. Örneğin acil bir durumda, bir bilginin 0,2 saniye yerine güvenlik sistemlerinden geçtikten sonra 3 saniye sonra gönderilmesi, trafik güvenliği açısından uygun olmayacaktır. Bu nedenle bu alanda yapılan çalışmaların birçoğu, güvenliği yeterince sağlamak ve bunu yaparken de gecikmeyi kabul edilebilir değerler içinde tutmaya odaklanmaktadır. Simetrik şifreleme şeması, Şekil 16’da gösterilmiştir (SSL2BUY, 2024).



**Şekil 16.** Simetrik Şifreleme Şeması

Simetrik şifrelemeye göre yeni bir yöntem olan “asimetrik şifreleme” ise düz metni şifrelemek için iki anahtar kullanır. Asimetrik şifrelemede, güvenliği artırmak için birbiriyle ilişkili iki anahtar kullanılır. “Açık anahtar”, size mesaj göndermek isteyebilecek herkesin kullanımına ücretsiz olarak sunulur. İkinci “özel anahtar” ise yalnızca sizin bileceğiniz şekilde gizli tutulur.

Açık anahtar kullanılarak şifrelenen bir mesajın şifresi yalnızca özel anahtar kullanılarak çözülebilirken, özel anahtar kullanılarak şifrelenen bir mesajın şifresi de açık anahtar kullanılarak çözülebilir. Açık anahtar halka açık olduğundan ve internet üzerinden aktarılabildiğinden güvenliğine gerek yoktur. Asimetrik şifreleme, iletişim sırasında iletilen bilgilerin güvenliğinin sağlanmasında daha gelişmiş özelliklere sahiptir. Asimetrik şifreleme şeması Şekil 17’de gösterilmiştir (SSL2BUY, 2024).



**Şekil 17.** Asimetrik Şifreleme Şeması

Simetrik şifreleme ve asimetrik şifrelemenin karşılaştırılması, Tablo 1’de yer almaktadır (SSL2BUY, 2024).

**Tablo 1.** Simetrik ve Asimetrik Şifrelemenin Karşılaştırılması

Farklı Noktalar	Simetrik Şifreleme	Asimetrik Şifreleme
Şifreli Metin Boyutu	Orijinal düz metin dosyasıyla karşılaştırıldığında daha küçük şifreli metin.	Orijinal düz metin dosyasına kıyasla daha büyük şifreli metin.

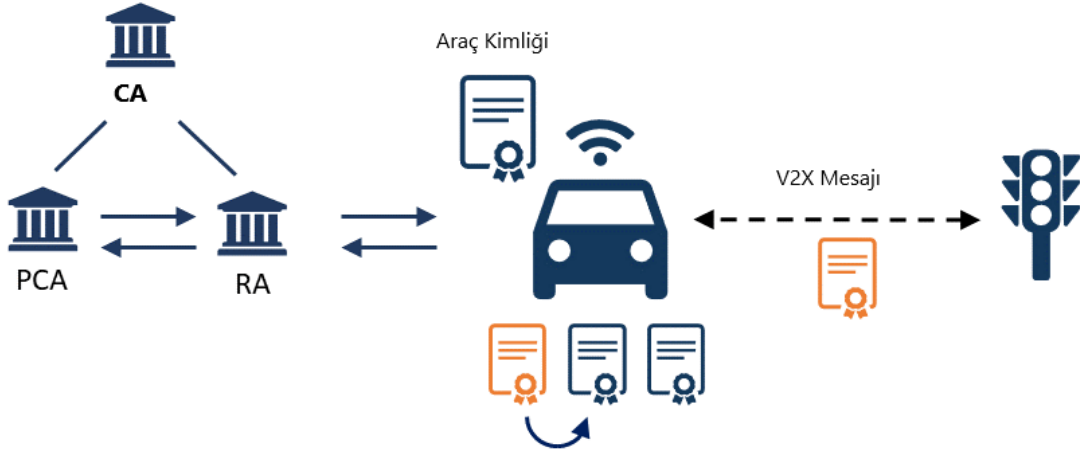
<b>Veri Boyutu</b>	Büyük veriyi iletmek için kullanılır.	Küçük veriyi iletmek için kullanılır.
<b>Kaynak Kullanımı</b>	Düşük kaynak kullanımıyla çalışır.	Yüksek kaynak kullanımıyla çalışır.
<b>Anahtar Uzunluğu</b>	128 veya 256 bit anahtar boyutu.	RSA 2048 bit veya daha yüksek anahtar boyutu.
<b>Güvenlik</b>	Şifreleme için tek bir anahtar kullanılması nedeniyle daha az güvenlidir.	Şifreleme ve şifre çözmede iki anahtar yer aldığından daha güvenlidir.
<b>Anahtar Sayısı</b>	Şifreleme ve şifre çözme için tek bir anahtar kullanır.	Şifreleme ve şifre çözme için iki anahtar kullanır.
<b>Yöntemler</b>	Eski bir yöntemdir.	Modern bir yöntemdir.
<b>Gizlilik</b>	Şifreleme ve şifre çözme için tek bir anahtarın kullanılması, anahtarın tehlikeye girme ihtimalini taşır.	Anahtar paylaşma ihtiyacını ortadan kaldıran şifreleme ve şifre çözme için ayrı ayrı yapılmış iki anahtar bulundurur.
<b>Hız</b>	Hızlı bir yöntemdir.	Hız açısından daha yavaştır.
<b>Algoritmalar</b>	RC4, AES, DES, 3DES ve QUAD.	RSA, Diffie-Hellman, ECC algoritmaları

K-AUS uygulamalarının sorunsuz çalışabilmesi için OBU ve RSU gibi V2X iletişim bileşenlerinde verilerin güvenilir kaynaklardan geldiklerini desteklemek için açık anahtar altyapısı (Public Key Infrastructure, PKI) kullanılır. Gönderenin yetkisi, dijital imzalar ve güvenilir kimlikler aracılığıyla belirlenir ve bu sayede mesajın gizliliği korunarak bir bütün halinde gönderilebilir. PKI; IEEE, 5GAA ve ETSI gibi V2X standartları tarafından belirlenir ve C-V2X veya DSRC gibi iletişim teknolojilerinden bağımsızdır. Her mesajın özgünlüğü, PKI ile dijital olarak imzalanmasıyla sağlanır. Gizlilik, iki farklı sertifika otoritesinin (CA), özel V2X kurulumu ve sık sık değiştirilen rumuz sertifikaları (pseudonym certificate) adı verilen kısa ömürlü sertifikalarla sağlanır. Böylece, ağ üzerinden araç veya sürücü hakkında hiçbir kişisel bilgi gönderilmemiş olur. PKI ile orijinalliği ve gizliliği sağlamak için aşağıdaki beş adımlı prosedür kullanılır (Nexus Ingroup, 2024):

1. V2X haberleşme yapan her araca veya cihaza, benzersiz bir uzun süreli kimlik sağlanır. Araçlar için bu, araç kimliği olarak bilinir.

2. Araç; kayıt otoritesinden<sup>1</sup> (Registration Authority, RA), kısa süreli iletişim sertifikaları talep eder ve araç kimliğiyle kimlik doğrulaması yapar. Buna karşılık RA, Rumuz Sertifika Otoritesinden (Pseudonym Certificate Authority, PCA) sertifikalar talep eder.
3. Araca bir dizi kısa ömürlü sertifika verilir. Bu sertifikalar, rumuz sertifikalardır, yani herhangi bir kişisel veri veya araç kimliği içermezler. Bunlar, yalnızca aracın V2X mesaj gönderme yetkisini kanıtlar ve bu nedenle “yetki biletleri” olarak da adlandırılır. Araç, rumuz sertifikalarından birini aktif hale getirir ve aktif sertifikayı, rotasyon yoluyla sık sık değiştirir.
4. Bir V2X mesajı; bir araca veya araçtan gönderildiğinde, yetkilendirme için aktif sertifika veya “yetki bileti” kullanılır. V2X mesajları, kooperatif farkındalık mesajını (CAM) veya merkezi olmayan çevresel bildirim mesajını (DENM) içerir.
5. Araç, periyodik olarak RA’dan yeni kısa vadeli sertifikalar talep eder.

Bu prosedürün şeması Şekil 18’de gösterilmiştir (Nexus Ingroup, 2024).



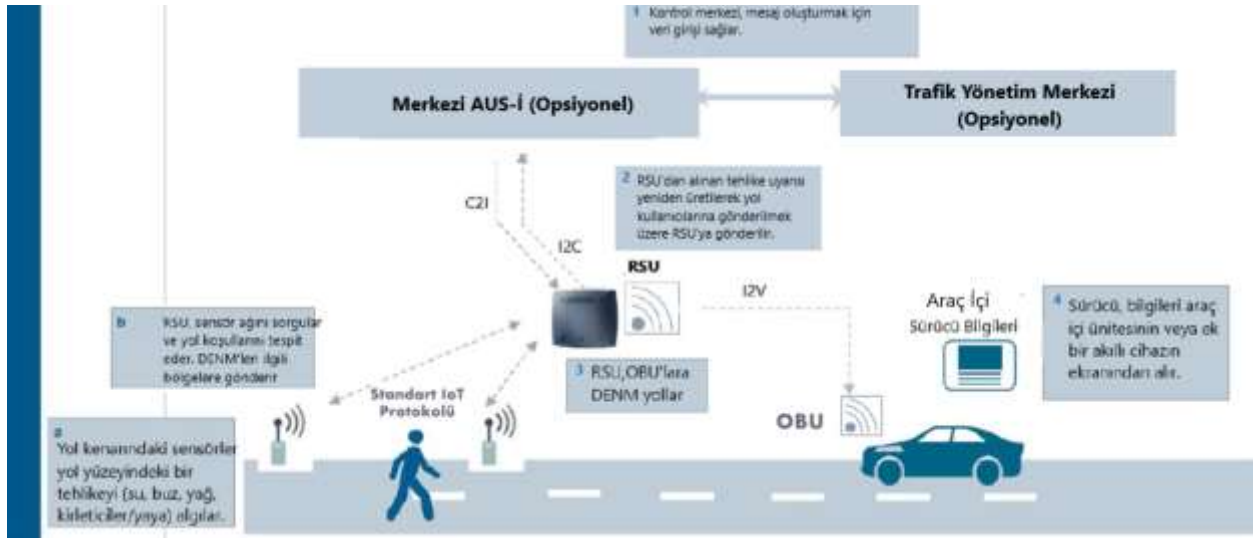
Şekil 18. PKI Prosedür Şeması

### ***İletişimin Zamanında ve Güvenli Şekilde Yapılması***

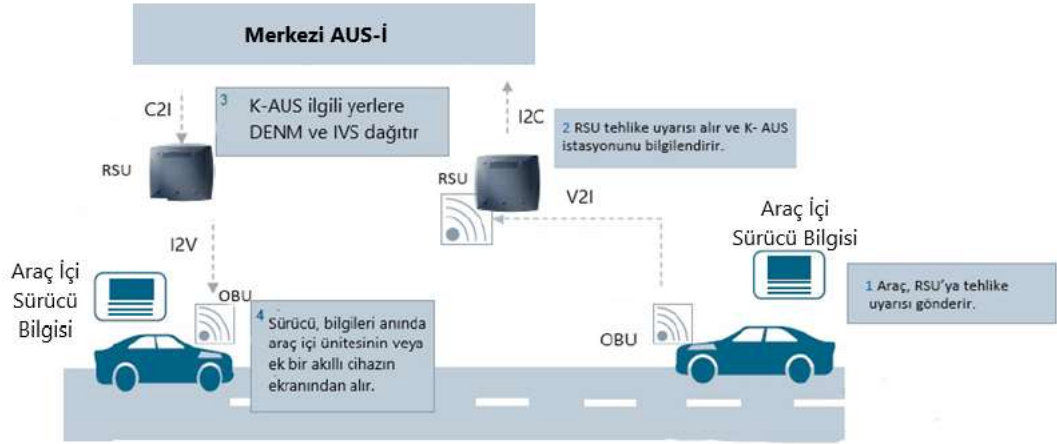
Yol altyapısında ve araç içinde yer alan sensörler aracılığıyla tespit edilen yolda engel, yolda kaza, yolda buzlanma, trafik yoğunluğu, yol çalışması, tehlikeli konum gibi yol durumuna ait bilgiler, RSU tarafından DENM, kapsama alanı içerisindeki araçlara I2V iletişimi ile iletilir. Bu şekilde tehlikeli konuma gelmeden önce, araçlar hızlarını düşürür ve güvenli bir şekilde yollarına devam eder. I2I iletişimi ile de bu bilgiler, yakındaki RSU'lara iletilir. RSU tarafından I2C iletişimi ile

<sup>1</sup> Kayıt Otoritesi (Registration Authority/ RA): Kayıt Otoritesi, bir ağdaki kullanıcının dijital sertifika isteklerini doğrulayan ve sertifika yetkilisine (CA) bunu vermesini söyleyen bir yetkilidir.

tehlikeli durum bilgisi, trafik yönetim merkezine bildirilir. Trafik yönetim merkezi, C2I iletişimi ile güzergahtaki diğer RSU'lara, bu durumu DENM ile bildirir. RSU da I2V iletişimi ile kapsama alanındaki araçlara, bu durumu DENM aracılığıyla bildirir. Yoldaki araçlar, bildirilen konuma gelmeden hızlarını düşürür ve güvenli bir şekilde yolculuklarına devam eder. Tehlikeli konum bilgisini alan araçlar, V2V iletişimi ile CAM olarak diğer araçlara bu durumu bildirir ve diğer araçlar da gerekli önlemleri alır. Böylelikle trafikte seyahat eden araçların, güvenli bir şekilde yolculuklarına devam etmeleri sağlanmış olur. Tüm bu mesajların iletimi, gerçek zamanlı olarak ve PKI altyapısı ile güvenli bir şekilde zamanında sağlanmaktadır. Şekil 19'da yol tehlikesi sinyalinin (uyarısının) ve Şekil 20'de yerel olarak tespit edilen tehlike uyarısının dağıtım senaryoları sırasındaki haberleşme şeması yer almaktadır (Müller & ETSI CTI, 2016).



Şekil 19. Yol Tehlikesi Sinyali

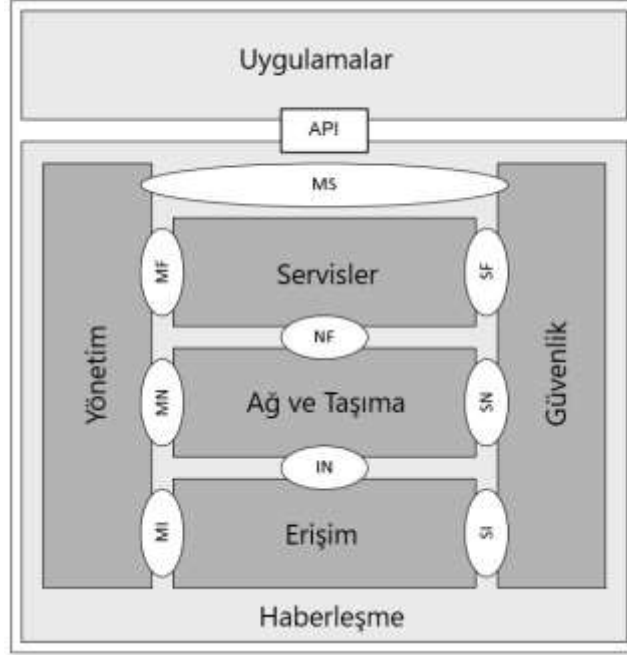


Şekil 20. Yerel Olarak Tespit Edilen Tehlike Uyarısının Dağıtımı

### 3.3. AUS İstasyonu Referans Mimarisi

*AUS istasyonu (AUS-İ)*, akıllı ulaşım sistemlerinin temel bileşenlerinden biridir ve kara yollarında veri toplama, işleme, depolama ve iletişim fonksiyonlarını yerine getirir. AUS-İ; araçlar, RSU'lar ve merkezi AUS-İ'ler ile haberleşerek trafik yönetimini ve denetimini daha kolay ve verimli hale getirirken güvenliği de artırmayı amaçlar. *AUS-İ referans mimarisi* ise bu istasyonlar arasındaki veri akışını ve fonksiyonel ilişkileri tanımlar. Bu mimari, K-AUS'ta merkezler ve bağlantılı araçlarla entegrasyonu kolaylaştırarak gerçek zamanlı veri akışı ve koordine edilmiş ulaşım yönetimi için gerekli teknik altyapıyı oluşturur. AUS-İ referans mimarisi, Şekil 21'de gösterilen AUS alt sistemlerinin bir parçası olan AUS-İ'lerde bulunan işlevselliği açıklar (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2010). AUS-İ referans mimarisi, AUS uygulamalarının dahil edilmesi için genişletilen katmanlı iletişim protokolleri ile ilgili OSI referans modelinin ilkelerini takip eder. AUS-İ referans mimarisinde OSI modelinin karşılık geldiği katmanlar, aşağıda listelenmiştir:

- OSI katmanları 1 ve 2'yi temsil eden Erişim Katmanı
- OSI katmanları 3 ve 4'ü temsil eden Ağ ve Taşıma Katmanı
- OSI katmanları 5, 6 ve 7'yi temsil eden Servisler Katmanıdır.



API: Uygulama Programlama Arayüzü  
 MS: Yönetim Birimi ile Güvenlik Birimi Arasındaki Arayüz  
 MF: Yönetim Birimi ile Servisler Katmanı Arasındaki Arayüz  
 MN: Yönetim Birimi ile Ağ ve Taşıma Katmanı Arasındaki Arayüz  
 MI: Yönetim Birimi ile Erişim Katmanı Arasındaki Arayüz  
 NF: Servisler Katmanı ile Ağ ve Taşıma Katmanı Arasındaki Arayüz  
 IN: Ağ ve Taşıma Katmanı ile Erişim Katmanı Arasındaki Arayüz  
 SF: Güvenlik Birimi ile Servisler Katmanı Arasındaki Arayüz  
 SN: Güvenlik Birimi ile Ağ ve Taşıma Katmanı Arasındaki Arayüz  
 SI: Güvenlik Birimi ile Erişim Katmanı Arasındaki Arayüz

**Şekil 21.** AUS İstasyonu Referans Mimarisi

EN 302 665<sup>2</sup> standardında belirtilen bir AUS-İ'nin protokol yığını, temel olarak ISO/IEC 7498-1<sup>3</sup> standardında tanımlanan ISO/OSI referans modelini takip eder ve üç yatay protokol katmanı, iki dikey protokol varlığı ve en üstte AUS uygulamalarını tanımlar.

Protokol katmanlarının üstündeki *AUS Uygulamaları*, kullanım senaryolarını gerçekleştirmeyi amaçlayan AUS hizmetlerini kapsamaktadır. Bu katman; yol güvenliği, trafik verimliliği, bilgi-eğlence ve iş için kullanım durumlarını gerçekleştirir, AUS-İ protokol yığını kullanır.

Yatay protokol katmanları şunlardır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2014a):

<sup>2</sup> EN 302 665: Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); İletişim Mimarisi (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2010)

<sup>3</sup> ISO/IEC 7498-1: Bilgi Teknolojisi; Açık Sistem Ara Bağlantısı; Temel Referans Modeli: Temel Model (International Organization for Standardization (ISO), 2000)

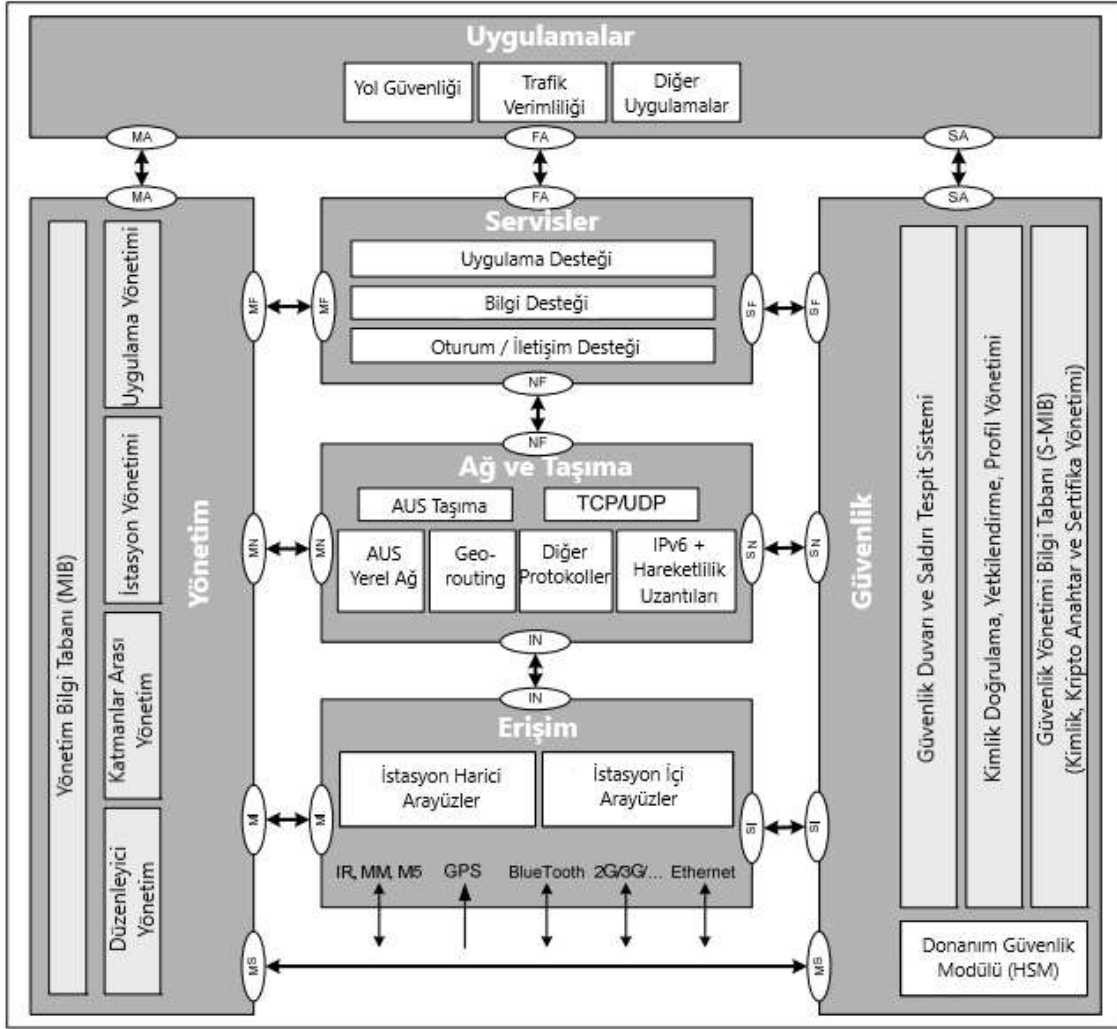
- *Servisler Katmanı:* AUS uygulamalarını desteklemek için bir dizi işlev sağlar. Servisler, farklı tür ve kaynaktan (araç sensörlerinden ve iletişim yoluyla alınan veriler gibi) verileri depolamak, toplamak ve muhafaza etmek için veri yapıları sağlar. İletişim konusunda AUS servisleri, uygulamalara çeşitli adresleme türleri ve AUS'a özgü mesaj işleme sağlar, iletişim oturumlarının kurulmasını ve sürdürülmesini destekler.
- *Ağ ve Taşıma Katmanı:* AUS-İ'ler arasında ve AUS-İ'lerden çekirdek ağdaki ağ düğümleri (örneğin internet) gibi diğer ağ düğümlerine, veri iletimi için protokoller içerir. AUS ağ protokolleri, özellikle verilerin kaynaktan hedefe ara düğümler aracılığıyla yönlendirilmesini ve verilerin coğrafi alanlarda verimli bir şekilde yayılmasını içerir. AUS taşıma protokolleri, verilerin uçtan uca teslimini ve AUS servislerinin ve uygulamalarının gereksinimlerine bağlı olarak güvenilir veri aktarımı, akış kontrolü ve tıkanıklık önleme gibi ek hizmetler sağlar.
- *Erişim Katmanı:* Fiziksel ve veri bağı katmanları için çeşitli iletişim ortamlarını ve ilgili protokolleri kapsar. Erişim teknolojilerinin çoğu kablosuz iletişime dayalı olsa da erişim teknolojileri belirli bir ortam türüyle sınırlı değildir. Erişim teknolojileri, bir AUS-İ'nin içinde (dahili bileşenleri arasında) ve harici iletişim için (örneğin diğer AUS-İ'ler ile) kullanılır. Harici iletişim için bazı AUS erişim teknolojileri, AUS verilerinin şeffaf bir şekilde taşındığı "mantıksal bağlantılar" olarak kabul edilen eksiksiz, AUS'a özgü olmayan iletişim sistemlerini (GPRS, UMTS, WiMAX gibi) temsil eder.

İki dikey protokol varlığı şunlardır:

- *Yönetim Katmanı:* Bir AUS-İ'nin yapılandırılmasından, farklı katmanlar arasında katmanlar arası bilgi alışverişinden ve diğer görevlerden sorumludur.
- *Güvenlik Katmanı:* İletişim yığınının farklı katmanlarında güvenli mesajlar, kimliklerin ve güvenlik kimlik bilgilerinin yönetimi ve güvenli platformlar için hususlar (güvenlik duvarları, güvenlik ağ geçidi, kurcalamaya dayanıklı donanım) dahil olmak üzere güvenlik ve gizlilik hizmetleri sağlar (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2014a).



Şekil 22’de AUS-İ referans mimarisindeki olası unsurlara ilişkin örnekler yer almaktadır.



Şekil 22. AUS İstasyonu Referans Mimarisindeki Muhtemel Unsurlara Örnekler

### 3.4. V2X Haberleşmede Kullanılan Mesaj Türleri

Kazaların önlenmesi, trafik sinyal kontrolünün sağlanması ve trafik sıkışıklıklarının azaltılması gibi K-AUS hedefleri, V2X haberleşmesi ile araçlara iletilen mesajlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda, çeşitli mesaj türleri belirlenmiş ve amaçlarına göre kategorize edilmiştir (European Commission, 2019b; SWARCO, 2020). Tablo 2’de, V2X haberleşmesinde yer alan mesaj türleri yer almaktadır.

**Tablo 2.** V2X Haberleşmesi Mesaj Türleri

Mesaj Setleri	Açılımı
CAM	Kooperatif Farkındalık Mesajı (Cooperative Awareness Message)
DENM	Merkezi Olmayan Çevresel Bildirim Mesajı (Decentralized Environmental Notification Message)
SPATEM	Sinyal Faz ve Zamanlama Mesajı (Signal Phase and Timing Message)
SRM	Sinyal Talep Mesajı (Signal Request Message)
SSM	Sinyal Durum Mesajı (Signal Situation Message)
MAPEM	Harita Mesajı (Map Message)
IVIM	Altyapıdan Araca Bilgi Mesajı (Infrastructure to Vehicle Information Message)
CPM	Toplu Algı Mesajı (Collective Perception Message)
MCDM	Multimedya İçeriği Yayma Mesajı (Multimedia Content Dissemination Message)

### 3.4.1. Kooperatif Farkındalık Mesajı (CAM)

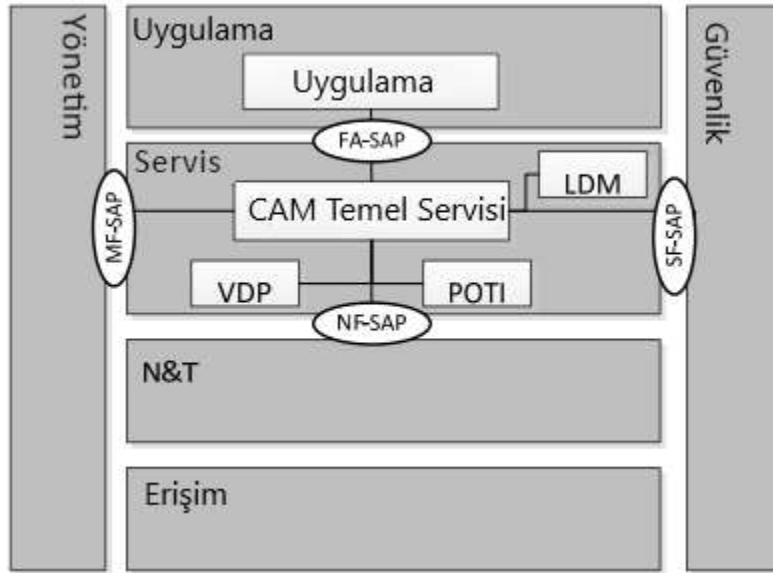
*Kooperatif Farkındalık Mesajı (CAM)*; araçların türü, konumu ve hızı gibi bilgileri kapsayan mesajlardır. CAM'lar, AUS-İ'ler arasında verileri periyodik olarak yayınlanarak yakındaki araçların ve altyapının, durumsal farkındalığını sağlar, güvenliği artırır ve çarpışma önleme gibi proaktif önlemleri mümkün kılar. CAM'ın kullandığı veri yapısı, ETSI EN 302 637-2 standardında tanımlanmıştır. CAM; konum, hız, yön, hızlanma, araç uzunluğu, genişliği gibi temel araç bilgilerini ve diğer ilgili verileri içerir. Ek olarak CAM; fren durumu, ışık durumu ve araç tipi gibi araç durumu hakkında bilgiler içerebilir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2014b).

CAM'ın üretimi, iletimi ve yönetimi; kooperatif farkındalık (Cooperative Awareness, CA) temel servisi tarafından yönetilir. CA temel servisi, ETSI EN 302 665<sup>4</sup> standardında tanımlandığı gibi CAM protokolünü çalıştıran AUS-İ mimarisinin bir servis katmanı varlığıdır. CA temel servisi,

<sup>4</sup> ETSI EN 302 665: Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); Haberleşme Mimarisi (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2010)

CAM'i yaymak için AUS ağ ve taşıma katmanının protokol varlıkları tarafından sağlanan hizmetleri kullanır.

CAM gönderimi sırasında kaynak AUS-İ, CAM'ı oluşturur ve bu daha sonra dağıtım için AUS ağ ve taşıma katmanına iletilir. CAM'ların dağıtımı, uygulanan iletişim sistemine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bir CAM alındığında; CA temel servisi, CAM'ın içeriğini AUS uygulamalarına ve/veya alıcı AUS-İ içindeki diğer servislere gönderir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2014b). AUS-İ mimarisi içindeki bir CA temel servisi, Şekil 23'te gösterilmektedir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2014b).



**Şekil 23.** AUS İstasyonu Referans Mimarisinde CA Temel Servisi

Bir araçta verilerin toplanması için AUS-İ varlıkları; araç veri sağlayıcısı (VDP), konum ve zaman yönetimi (PoTi) ve alınan veriler için alıcı terminal olarak yerel dinamik harita (LDM) olabilir. VDP, araç ağı ile bağlantılıdır ve araç durum bilgisini sağlar. PoTi, ETSI EN 302 890-2<sup>5</sup> standardında belirtildiği gibi AUS-İ'nin konumunu ve zaman bilgisini sağlar. ETSI TR 102 863<sup>6</sup> standardında belirtildiği gibi LDM, alınan CAM verileriyle güncellenebilen AUS-İ'deki bir veri tabanıdır. AUS uygulamaları, daha ileri işlemler için LDM'den bilgi alabilir.

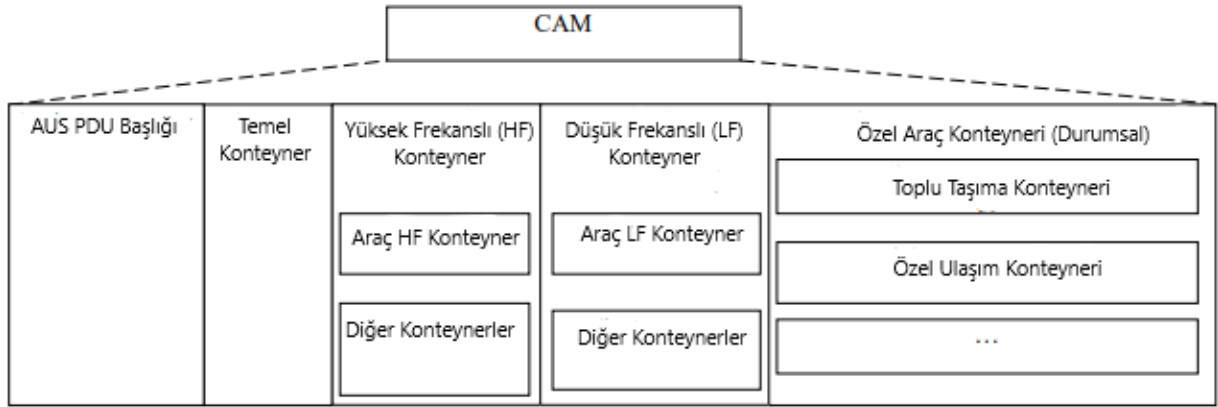
<sup>5</sup> ETSI EN 302 890-2: Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); Tesis Katmanı Fonksiyonu; Bölüm 2: Pozisyon ve Zaman Yönetimi (PoTi) (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020a)

<sup>6</sup> ETSI TR 102 863: Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); Araç İletişimi; Temel Uygulama Seti; Yerel Dinamik Harita (LDM); Standardizasyonun Gerekçesi ve Kılavuzu (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2011)

CA temel hizmeti;

- CAM'ların diğer AUS-İ'lerle paylaşılması için Ağ-Taşıma/Servisler-Hizmet Erişim Noktası (NF-SAP) üzerinden ağ ve aktarım katmanıyla (N&T)
- CAM iletimi ve CAM alımında güvenlik hizmetlerine erişmek için Güvenlik Servisleri-Hizmet Erişim Noktası (SF-SAP) üzerinden güvenlik birimiyle ve Yönetim/Servisler-Hizmet Erişim Noktası (MF-SAP) üzerinden yönetim birimiyle
- Alınan CAM verilerinin doğrudan uygulamalara sunulması durumunda Servisler/Uygulamalar-Hizmet Erişim Noktası (FA-SAP) üzerinden uygulama katmanıyla arayüz oluşturur (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2014b).

ETSI EN 302 637-2<sup>7</sup> standardında açıklanan CAM'ın yapısı, Şekil 24'te gösterilmektedir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2014b).



**Şekil 24.** Kooperatif Farkındalık Mesajı (CAM) Genel Yapısı

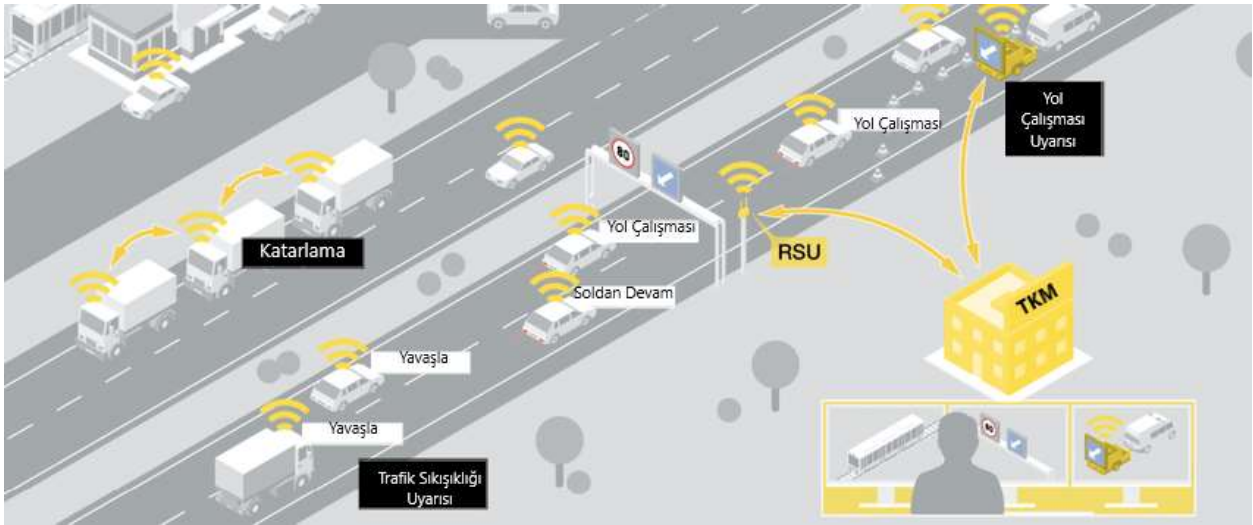
Bir CAM, ortak bir AUS PDU başlığından ve birlikte bir CAM oluşturan birden fazla konteynerden oluşur. AUS PDU başlığı; protokol sürümü, mesaj türü ve kaynak AUS-İ'nin AUS-İ kimlik bilgilerini içeren ortak bir başlıktır. Araç AUS-İ'leri için CAM, bir temel konteyner ve bir yüksek frekanslı konteynerden oluşur ve ayrıca bir düşük frekanslı konteyner ve bir veya daha fazla başka özel konteyneri de içerebilir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2014b).

- *Temel Konteyner (Basic Container)*, kaynak AUS-İ ile ilgili temel bilgileri içerir.

<sup>7</sup> ETSI EN 302 637-2: Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); Araç İletişimi; Temel Uygulama Seti; Bölüm 2: Kooperatif Farkındalık Temel Hizmetinin Belirlenmesi (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2014b)

- *Yüksek Frekanslı Konteyner (Basic Vehicle Container High Frequency/HF)*, kaynak AUS-İ'ye ilişkin oldukça dinamik bilgiler içerir.
- *Düşük Frekanslı (Basic Vehicle Container Low Frequency/LF) Konteyner*, kaynak AUS-İ'nin statik ve çok dinamik olmayan bilgilerini içerir.
- *Özel Araç Konteyneri (Special Vehicle Container)*, kaynak AUS-İ aracının, araç rolüne özel bilgiler içerir. RSU AUS-İ tarafından oluşturulan tüm CAM'lar, bir temel konteyner ve isteğe bağlı olarak daha fazla konteyner içerecektir.

K-AUS uygulamaları kapsamında araçların bilgilerini iletmek için kullanılan CAM'lar; araç AUS-İ tarafından IEEE 802.11p kablosuz arayüzü aracılığıyla oluşturulur ve yayınlanır. Kapsama alanı içindeki RSU AUS-İ'ler, CAM'ları alır ve bunları merkezi AUS-İ'ye iletir. Son olarak merkezi AUS-İ, CAM'ların kodunu çözer ve CAM'da yer alan araca ait durum bilgisi, AUS uygulamalarının kullanımına sunulur (Santa vd., 2014). Şekil 25'te, örnek bir CAM kullanımı yer almaktadır (Veitas & Delaere, 2018).



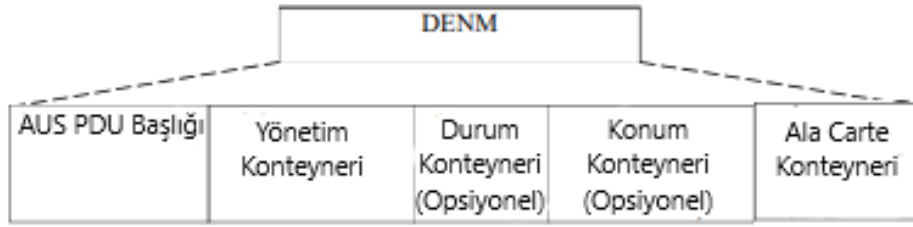
**Şekil 25.** Kooperatif Farkındalık Mesajı (CAM) Örnek Kullanımı

### 3.4.2. Merkezi Olmayan Çevresel Bildirim Mesajı (DENM)

*Merkezi Olmayan Çevresel Bildirim Mesajı (DENM)*; bir engel, tehlike, kaza veya anormal trafik durumu ile ilgili bilgileri içeren mesajlardır. DENM'ler, ilgili bilgilerin zamanında yayılmasını kolaylaştırır, yeniden yönlendirme ve tehlikelerden kaçınma gibi proaktif önlemlere olanak tanır. Ayrıca potansiyel tehlikelere ilişkin ayrıntılı bilgiler sağlayarak sürücülerin ve otonom sistemlerin bilinçli kararlar vermesini sağlar. DENM'in kullandığı veri yapısı, ETSI EN 302 637-3

standardında tanımlanmıştır. AUS-İ'ler arasında çevresel bilgi alışverişi için gerekli veri yapılarını belirtir. DENM'ler; yol tehlikeleri, yol çalışmaları, kazalar, hava koşulları gibi çeşitli çevresel koşullar ve olaylarla ilgili bilgileri içerir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2019a).

ETSI EN 102 637-3<sup>8</sup> standardında da açıklanan bu mesaj tipinin yapısı, Şekil 26'da gösterilmektedir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2019a).



**Şekil 26.** Merkezi Olmayan Çevresel Bildirim Mesajı (DENM) Mesajı Yapısı

Bir DENM, ortak bir AUS PDU başlığından ve DENM yükünü oluşturan birden fazla konteynerden oluşur. AUS PDU başlığı; kaynak AUS-İ'nin protokol versiyonu, mesaj tipi ve AUS-İ kimlik bilgisini içeren ortak başlıktır. DENM verisi dört temel veri ögesinden oluşur: (i) yönetim konteyneri, (ii) durum konteyneri, (iii) konum konteyneri ve (iv) ala carte konteyneri (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2019a).

- *Yönetim Konteyneri (Management Container)*, DENM yönetimi ve DENM protokolüyle ilgili bilgileri içerir.
- *Durum Konteyneri (Situation Container)*, tespit edilen olayın türüne ilişkin bilgileri içerir.
- *Konum Konteyneri (Location Container)*, olayın gerçekleştiği konum ve konum referansına ilişkin bilgileri içerir.
- *Ala Carte Konteyneri (Ala Carte Container)*, diğer üç konteynerde bulunmayan ek bilgilerin iletilmesini gerektiren kullanım durumuna özel bilgiler içerir.

DENM'ler, bir yol olayının (örneğin bir araç çarpışması) bildirilmesini gerektiren AUS uygulamalarından birinin talebi nedeniyle merkezi AUS-İ tarafından oluşturulur. DENM'ler,

<sup>8</sup> ETSI EN 102 637-3: Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS): Araç Haberleşmesi; Temel Uygulama Seti; Bölüm 3: Merkezi Olmayan Çevre Bildirimi Temel Hizmetinin Özellikleri (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2019c)

olayın varış alanı içinde bulunan RSU AUS-İ'lere dağıtılır (Santa vd., 2014). Şekil 27'de DENM için bir örnek kullanım yer almaktadır (Wevolver, 2023).

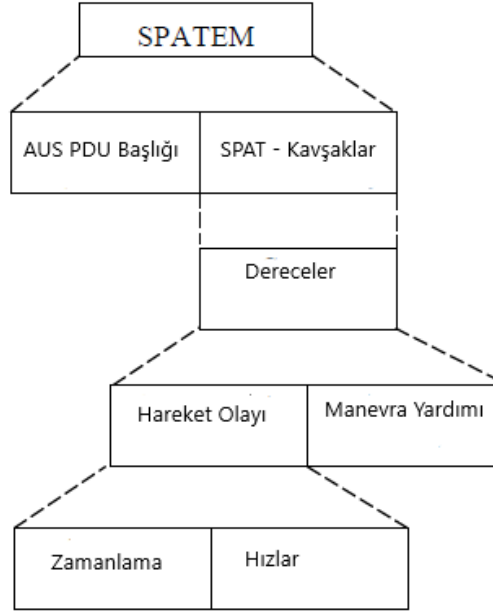


Şekil 27. Merkezi Olmayan Çevresel Bildirim Mesajı (DENM) Örnek Kullanımı

### 3.4.3. Sinyal Fazı ve Zamanlama Mesajı (SPATEM)

*Sinyal Faz ve Zamanlama (SPAT)* ve *Sinyal Faz ve Zamanlama Uzantısı (SPATEM)* mesajlarının kullandığı veri yapısı, ETSI TS 103 301 standardında tanımlanmıştır. AUS-İ'ler ve trafik sinyal denetleyicileri arasında, sinyal fazı ve zamanlama bilgilerinin değişimi için gerekli veri yapılarını belirtir. SPATEM; kontrollü bir kavşaktaki her bir yaklaşma için mevcut sinyal durumu, zamanlama parametreleri ve faz durumu dahil olmak üzere sinyal fazı ve zamanlaması hakkında ayrıntılı bilgi sağlar. Bu bilgi, araçların trafik sinyali değişikliklerini tahmin etmesi, hızlarını optimize etmesi ve trafik akışı verimliliğinin artırılması için çok önemlidir (European Commission, 2019b).

ETSI TS 103 301'de tanımlanan SPATEM yapısı, Şekil 28'de yer almaktadır (European Commission, 2019b).



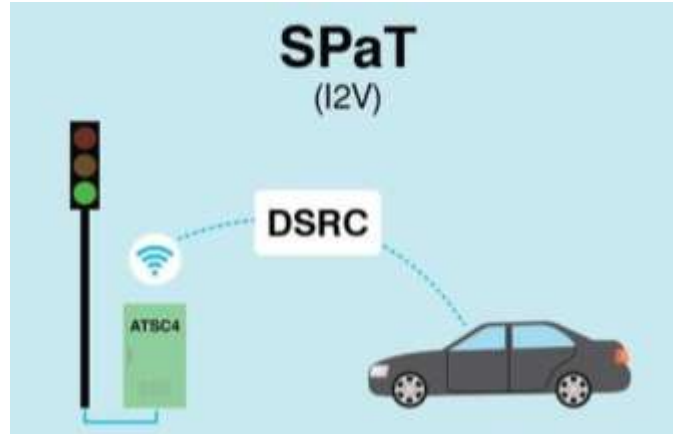
**Şekil 28.** Sinyal Fazı ve Zamanlama Mesajı (SPATEM) Yapısı.

Kurumların SPAT verilerini kaydetmesinin genellikle iki yolu vardır: (i) merkezi olarak kontrol edilen sistemler veya (ii) DSRC (ITS Deployment Evaluation Program, 2021).

- Kurumlar, merkezi olarak kontrol edilen sinyal sistemlerine bağlı trafik sinyal denetleyicileri aracılığıyla, sinyal fazlarındaki değişiklikleri uzaktan güncelleyebilmekte ve durumu merkezi denetleyiciye gönderebilmektedir. Genellikle veri paylaşım anlaşmaları üzerinde yetkisi olan üçüncü taraf sağlayıcılar, bunları yüklemektedir.
- DSRC; V2V ve V2I haberleşme sağlamak için ABD Federal Haberleşme Komisyonu (FCC) tarafından düzenlenen 5,9 GHz bandını kullanır. DSRC, verilerde ileri düzeyde ayrıntıya izin verir ve kırmızı ve yeşil ışıklar için sinyal zamanlamasını sürücülere ileten V2I güvenlik uygulamalarına olanak tanır.

Şekil 29’da SPaT için bir örnek kullanım yer almaktadır (Aldridge Traffic Controllers, 2019b). I2V haberleşmesi, bu olay kapsamında ATSC4 Trafik Denetleyicisi aracılığıyla yapılmaktadır. (ATSC4, 32’ye kadar sinyal (faz) grup ekranını ve araçlardan, yayalardan, bisikletlerden veya acil servislerden gelen 64’e kadar girişi yönetme kapasitesine sahip olan ve herhangi bir modern uyarlanabilir Kentsel Trafik Yönetim Kontrolü (UTMC) sisteminin parçası olabilecek Avustralya Yollar ve Denizcilik Hizmetleri tarafından üretilen bir cihazdır (Aldridge Traffic Controllers, 2019a)). Şekil 26’da Sinyal Fazı ve Zamanlama (SPAT) Örnek Kullanımı mevcuttur.

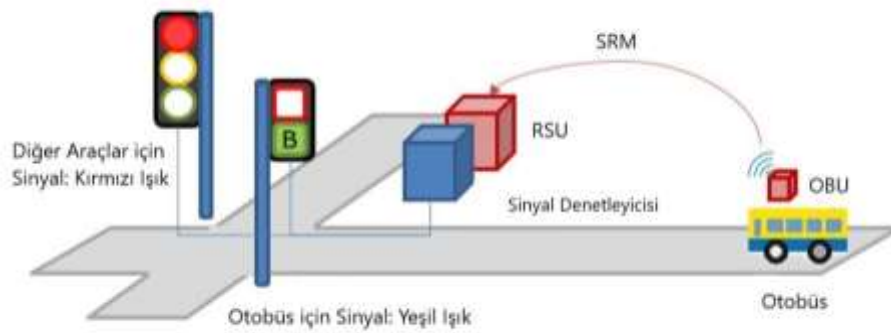




Şekil 29. Sinyal Fazı ve Zamanlama (SPaT) Örnek Kullanımı.

#### 3.4.4. Sinyal Talep Mesajı (SRM)

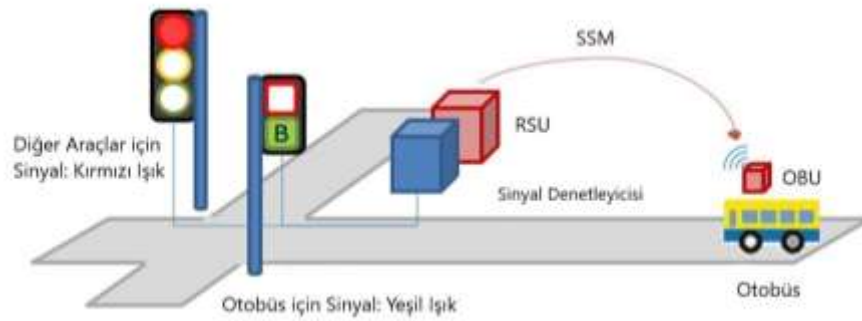
*Sinyal Talep Mesajı (SRM)*; sinyalize kavşaklarda, araçlar tarafından trafik sinyal sistemine gönderilen ve öncelik talep edilen mesajlardır. Bu mesajlar, araçların, varlıklarını ve aciliyetlerini trafik sinyali denetleyicisine iletmelerine olanak tanır, potansiyel olarak aracın geçişine uyum sağlamak için sinyal zamanlamasında ayarlama yapılmasını sağlar. Böylece sıkışıklığını azaltır ve kavşaklardaki genel trafik yönetimini iyileştirir. GLOSA başta olmak üzere trafik ışığı sinyalizasyonu ile ilgili uygulamalarda kullanılır. Şekil 30'da SRM için bir örnek kullanım yer almaktadır (PR Newswire, 2022).



Şekil 30. Sinyal Talep Mesajları (SRM) Örnek Kullanımı

### 3.4.5. Sinyal Durum Mesajı (SSM)

*Sinyal Durum Mesajı (SSM)*; sinyalize kavşaklarda, trafik sinyal sistemleri tarafından araçlara gönderilen ve önceden araçlar tarafından yapılmış trafik sinyal önceliği taleplerinin durumunu ve etkinliğini içeren mesajlardır. SSM'ler, bu bilgiyi ileterek sürücüleri, yaklaşan sinyal değişikliklerine ilişkin öngörülerle güçlendirir, kavşakların daha sorunsuz olmasını sağlar ve böylece genel trafik verimliliğini ve güvenliğini artırır. GLOSA başta olmak üzere trafik sinyalizasyonu ile ilgili uygulamalarda kullanılır. Şekil 31'de, SSM için bir örnek kullanım yer almaktadır (PR Newswire, 2022).



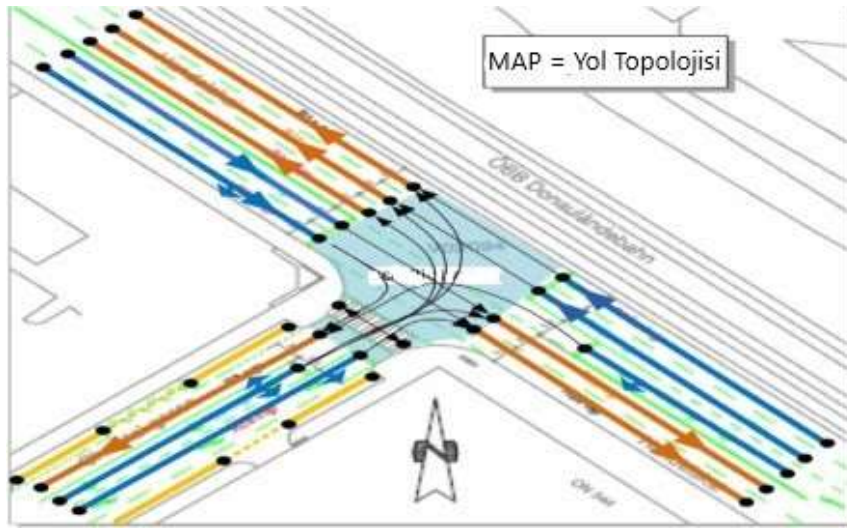
Şekil 31. Sinyal Durum Mesajları (SSM) Örnek Kullanımı

### 3.4.6. Harita Verisi Mesajı (MAPEM)

*Harita Mesajı (MAPEM)*; şerit ve dur çizgilerinin konumu gibi yol ağı bileşenlerinin topolojik özelliklerinin, hatasız bir şekilde tespit edilerek aktarıldığı mesajlardır. Bu mesajlar, araçların durumsal farkındalıklarını artırmalarına ve bilinçli kararlar almalarına olanak tanıyarak karayollarında daha güvenli ve daha verimli navigasyona katkıda bulunur. MAPEM, ETSI TS 103 301 standardında tanımlanmış olup AUS-İ'ler arasında, harita ve topoloji bilgilerinin değişimi için gerekli veri yapılarını belirtir. MAPEM'ler; şerit geometrisi, yol bölümü özellikleri, hız sınırları, şerit kısıtlamaları ve diğer ilgili bilgiler dahil olmak üzere yol ağı topolojisi hakkında ayrıntılı bilgiler sağlar. Bu bilgiler; doğru konumlandırma, rota planlama ve navigasyon yardımının sağlanması ve karayolu ağında güvenli ve verimli seyahatin sağlanması için gereklidir (European Commission, 2019b).

MAPEM yapısı, üst düzeyde bir AUS PDU başlığı ve MapData konteynerinden oluşur. MapData; kavşakları, yol bölümlerinin topolojik açıklamalarını ve kullanıcı kısıtlamalarını içerebilir. Çoklu

tanımlayıcılar, revizyon numarası, referans noktası, şerit genişliği ve hız sınırı bilgilerinin yanında hem kavşaklar hem de yol bölümleri bir şerit listesi içerir. Her şerit, bir düğüm noktaları listesiyle tanımlanır ve kullanım yönü ve şerit kullanıcıları gibi genel özelliklere sahiptir. Ayrıca, tek bir düğümde kalıcı olan veya başka bir düğümde devre dışı bırakılana kadar geçerli kalan daha ayrıntılı özellikler, düğüm düzeyinde ayarlanabilir. Her şerit, diğer şeritlere olan bağlantıların bir listesini içerebilir; bu, özellikle giriş şeritlerini çıkış şeritlerine bağlayan kavşaklarla ilgilidir. Sağladığı bilginin topoloji ile ilgili olması dolayısıyla MAPEM diğer mesaj türlerine göre sıklıkla değişen bir mesaj türü değildir. Şekil 32’de MAPEM için bir örnek kullanım yer almaktadır (European Commission, 2019b).

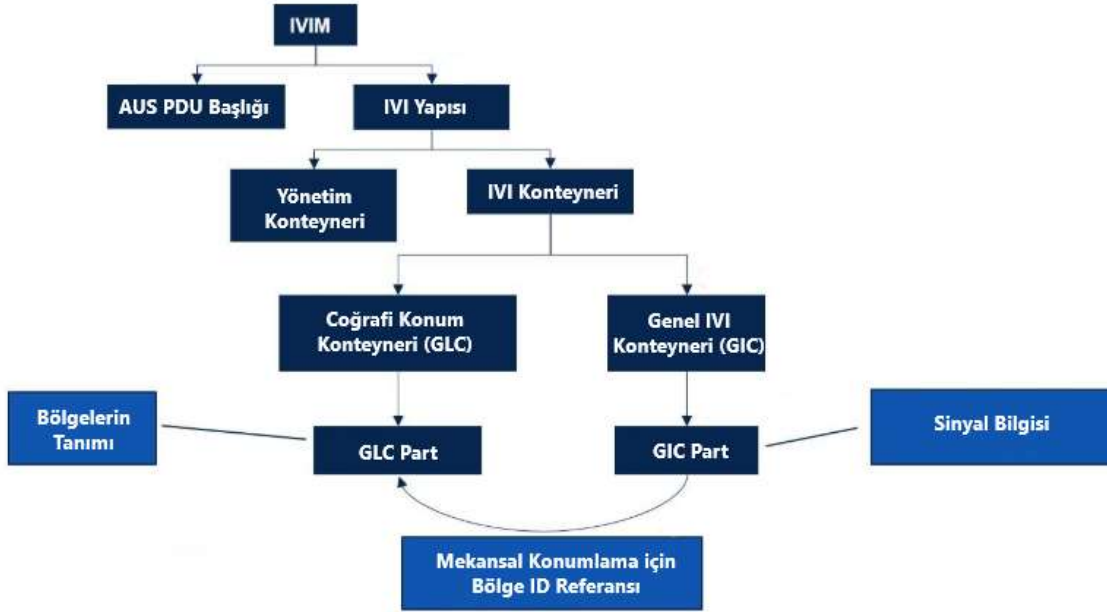


Şekil 32. Harita Mesajı (MAPEM) Örnek Kullanımı

### 3.4.7. Altyapıdan Araca Bilgi Mesajı (IVIM)

*Altyapıdan Araca Bilgi Mesajı (IVIM)*; araç içinde yer alan HMI'ya yansıtılan trafik levhaları, dinamik hız limitleri vb. bilgileri içeren mesajlardır. Alıcılar, aracın zaman ve konum bilgilerinin yanı sıra aracın özelliklerine ve türüne bağlı olarak ilgili tüm trafik tabela bilgilerini dilediği zamanda ve koşulda öğrenebilir. IVIM, RSU AUS-İ veya merkezi AUS-İ ile araçlar arasında iletişim görevi görür. Karayolu güvenliğini ve trafik akışı verimliliğini artırmak için gerekli olan altyapı tabanlı trafik hizmetlerine ilişkin temel verileri sağlar. Bu mesajın kullandığı veri yapısı CEN ISO/TS 19321 standardında tanımlanmıştır ve AUS-İ'ler arasında bilgi alışverişi için farklı AUS hizmetlerinin gerektirdiği araç içi bilgileri (IVI) belirtir. İletilen bilgiler; bağlamsal hız, yol çalışması uyarıları, araç kısıtlamaları, şerit kısıtlamaları, yol tehlikesi uyarıları, konum bazlı

hizmetler, yeniden yönlendirme gibi IVI'yı içerir. C-Roads, bu mesajı hem statik hem de dinamik yol işareti bilgilerini iletmek için kullanır. Statik trafik tabela ayrıntıları; hız sınırları ve okul bölgesi sınırları gibi bilgileri kapsarken, dinamik bilgiler; değişken mesaj işaretleri (VMS'ler) aracılığıyla iletilir. Şekil 33'te IVIM yapısının sadeleştirilmiş görseli yer almaktadır (CAR 2 CAR Communication Consortium, 2020).



**Şekil 33.** Altyapıdan Araca Bilgi Mesajı (IVIM) Yapısı

IVIM yapısı, ISO TS 19321'e göre konteyner bazlı olarak üç alanda incelenir: (i) IVI Yönetim Konteyneri, (ii) Konum Konteyneri, (iii) Uygulama Konteyneri (Genel IVI Konteyneri) (CAR 2 CAR Communication Consortium, 2020; European Commission, 2019b);

- *IVI Yönetim Konteyneri (Management Container):* Zorunludur ve alıcı araca, IVI mesajının tamamını ele alması ve daha sonraki işlemlere karar vermesi için yeterli bilgiyi sağlar.
- *Coğrafi Konum Konteyneri (Geographic Location Container, GLC):* Alıcı araçların, IVI Uygulama Konteynerinde (IVI Application Container) sağlanan bilgilerin nerede ve nasıl geçerli olduğunu anlaması için gerekli bilgileri açıklar. Uygulama Konteynerinin tüm parçaları için ortak olan bir parça ile uygulama kabının farklı parçalarına özgü olabilen bir GLCParts dizisinden oluşur. İlk GLCPart, C-Roads tarafından bilginin tespit bölgesini tanımlamak için kullanılır (IVI tespit bölgesi kavramı, bir DENM izine (trace) eşdeğerdir). Diğer GLCPart'lar, uygulama konteynerinin farklı bölümlerine uygulanan uygunluk bölgelerini tanımlamak için

kullanılır (bir IVI uygunluk bölgesi kavramı, yol çalışmaları DENM'leri için kullanılan bir eventHistory'nin eşdeğeri).

- *Uygulama Konteyneri/Genel IVI Konteyneri (General IVI Container, GIC)*: Genel IVI Konteyneri (GIC), trafik tabela bilgilerinin araçlar tarafından işlenmesini sağlar. Bu, her biri belirli bir tabela bilgisini tanımlayan bir GICPart dizisidir. Bu bilgi, mekânsal ilgi düzeyi açısından GLC bilgisine atıfta bulunur.

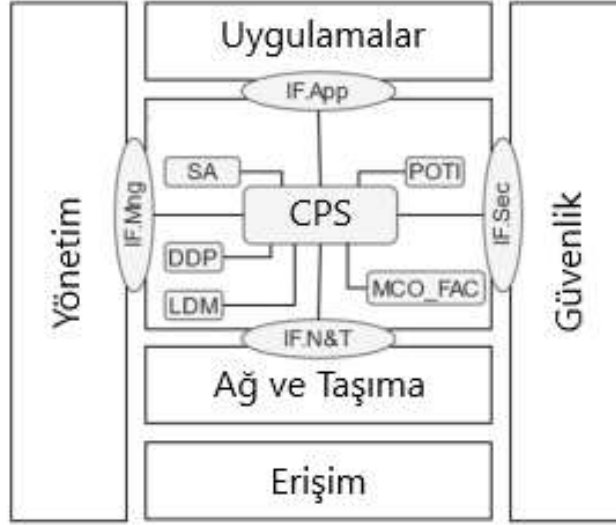
### **3.4.8. Toplu Algı Mesajı (CPM)**

*Toplu Algı Mesajı (CPM)*; diğer araçlar, yayalar ve engeller gibi çevredeki nesnelere hakkındaki bilgiler de dahil olmak üzere araçlar tarafından toplanan algı verilerini paylaşmak için V2X iletişim sistemlerinde kullanılan bir mesajdır. CPM; araçların çevrelerine ilişkin kolektif bir anlayış oluşturmaya olanak tanır, durumsal farkındalığı artırır ve gelişmiş güvenlik ve otomasyon uygulamalarını destekler.

Toplu algı hizmeti (Collective Perception Service, CPS) kapsamında iletilen CPM'ler, CPS hizmeti ile donatılmış AUS-İ'lerin çevresel algısını geliştirir ve ayrıca V2X donanımlı yol kullanıcıları için bilgi kaynaklarının sayısını artırır. Bir nesneyle veya boş bir bölgeyle ilişkili birden fazla bilgi kaynağının varlığı, AUS-İ'lerin veri füzyonu gerçekleştirmesine olanak tanır. Bu durum, genellikle hem nesnelere sınıflandırılmasında hem de boyutları, kinematik ve tutum durumları gibi özelliklerinde daha az belirsizliğe yol açar. CPS tarafından sağlanan veriler, çok sayıda güvenlik ve verimlilikle ilgili uygulama için oldukça faydalıdır; bu da CPS'yi özellikle herhangi bir tür otonom faaliyetin beklendiği durumlarda sistemin önemli bir bileşeni haline getirir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2023a). Şekil 34'te, ETSI TS 103 324<sup>9</sup> kapsamında açıklanan AUS-İ içindeki CPS mimarisi gösterilmektedir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2023a).

---

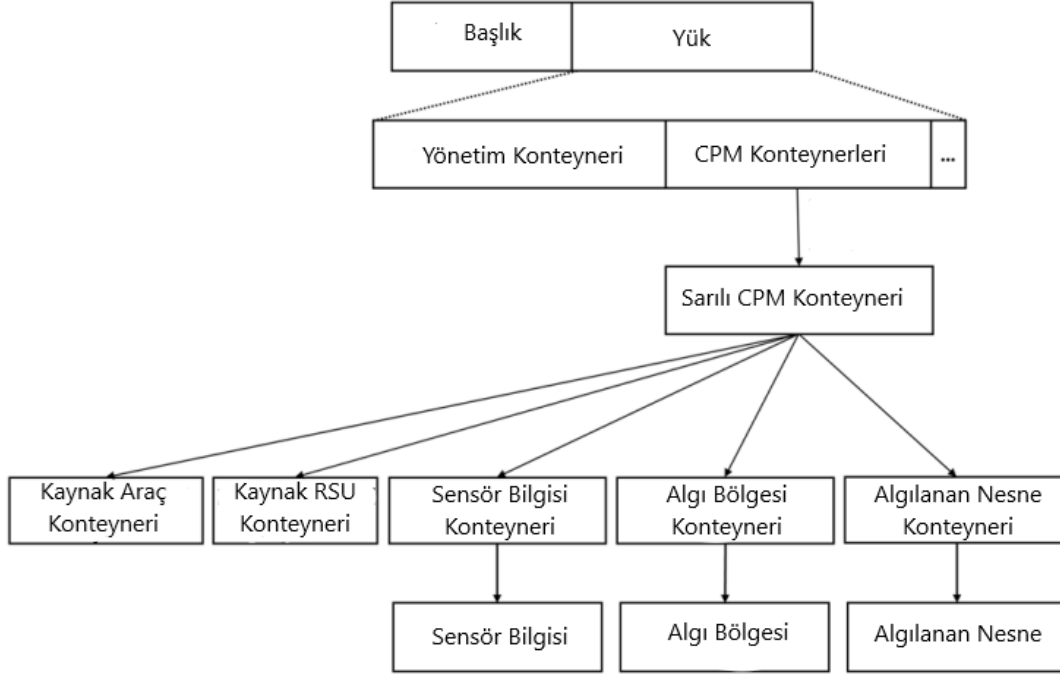
<sup>9</sup> ETSI TS 103 324: Akıllı Ulaşım Sistemi (AUS); Araç Haberleşmesi; Temel Uygulama Seti; Toplu Algılama Hizmeti (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2023a)



**Şekil 34.** AUS-İ İçinde CPS Mimarisi

CPS temel servisi, CPM üretimi için ilgili bilgileri toplamak ve alınan CPM içeriğini daha ileri işlemler için iletmek amacıyla Servisler Katmanının diğer varlıkları ve AUS uygulamalarıyla arayüz oluşturabilir. Bir CPM oluşturmak için veri toplamaya yönelik varlıklar; cihaz veri sağlayıcısı (Device Data Provider, DDP), konum ve zaman yönetimi (PoTi) ve yerel dinamik harita (LDM) olabilir.

Araç AUS-İ'leri için DDP, araç durumu bilgisini sağlamak üzere araç içi ağa bağlanır. Yol kenarındaki AUS-İ'ler ve merkezi AUS-İ için DDP, direkler veya köprüler gibi yol kenarı altyapısına monte edilen sensörlere bağlanır. PoTi varlığı, AUS-İ'nin kinematik durumuna ve zaman bilgilerine ilişkin tahminler sağlar. LDM, AUS-İ'deki bir veri tabanıdır ve yerleşik sensör verilerine ek olarak alınan CAM ve CPM verileriyle güncellenir. AUS uygulamaları daha ileri işlemler için LDM'den bilgi alabilir. CPS aynı zamanda bir AUS-İ'nin CPM üretme yeteneğini belirtmek ve kullanılan iletişim teknolojisi hakkında ayrıntılar sağlamak için hizmet duyurusu (Service Announcement, SA) hizmeti ile arayüz oluşturabilir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2023a). Şekil 35'te, ETSI TS 103 324 içinde açıklanan CPM genel yapısı yer almaktadır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2023a).



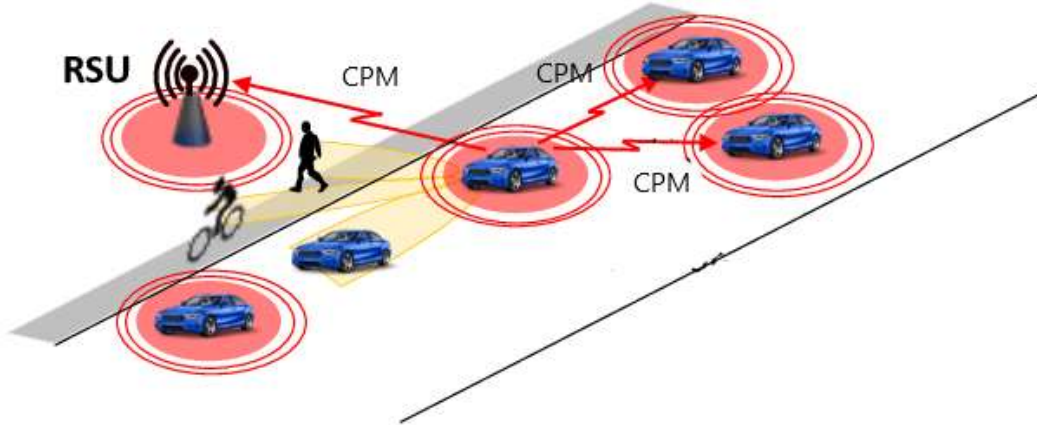
**Şekil 35.** Toplu Algı Mesajı (CPM) Genel Yapısı

Bileşen verisi, CPM yükünü temsil eder ve iki bileşenden oluşur: (i) Yönetim konteyner bileşeni ve (ii) konteynerin tür kimliğini ve konteyner verilerini içeren sarılı CPM konteyner bileşeni (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2023a).

- *Yönetim Konteyneri*, CPM'deki diğer bilgilerin işlenmesi için gerekli olan temel bilgileri sağlar.
- CPM'nin gelecekte sadeleştirilmiş genişletilebilirliğine olanak sağlamak için Kaynak Araç Konteyneri, Kaynak RSU Konteyneri, Sensör Bilgisi Konteyneri, Algı Bölgesi Konteyneri veya Algılanan Nesne Konteyneri; CPM Konteyneri'ne dahil edilebilir.
- Bir CPM eğer bir araç AUS-İ'si tarafından oluşturulacaksa, içinde *Kaynak Araç Konteyneri* barındıracaktır. Bu konteyner de araç ve eğer varsa bağlı römorkların yönüne ilişkin bilgileri içerecektir.
- Yol kenarındaki bir AUS-İ tarafından oluşturulan bir CPM durumunda, *Kaynak RSU Konteyneri* mevcut olacaktır.
- Bir CPM, yayılan AUS-İ'yi tanımlayan yalnızca bir konteyner içerecektir: Mevcut durumda bunlar *Kaynak Araç Konteyneri* ya da *Kaynak RSU Konteyneri*dir. Gelecekte AUS-İ'yi tanımlayan başka kaynak konteynerler de eklenebilir.

- Bir AUS-İ'nin kullanabileceği duyuşal yetenekler hakkında bilgi sağlamak için *Sensör Bilgisi Konteyneri* kullanılabilir.
- *Algı Bölgesi Konteyneri* açıklanan algılama yeteneklerinden sapmaları tanımlamak için kullanılabilir.
- Duyusal yetenekler yoluyla algılanan nesnelere hakkında bilgi sağlamak için *Algılanan Nesne Konteyneri* kullanılabilir.

Şekil 36'da CPM'nin örnek kullanımı yer almaktadır (M. R. Ansari vd., 2021).



Şekil 36. Toplu Algı Mesajı (CPM) Örnek Kullanımı

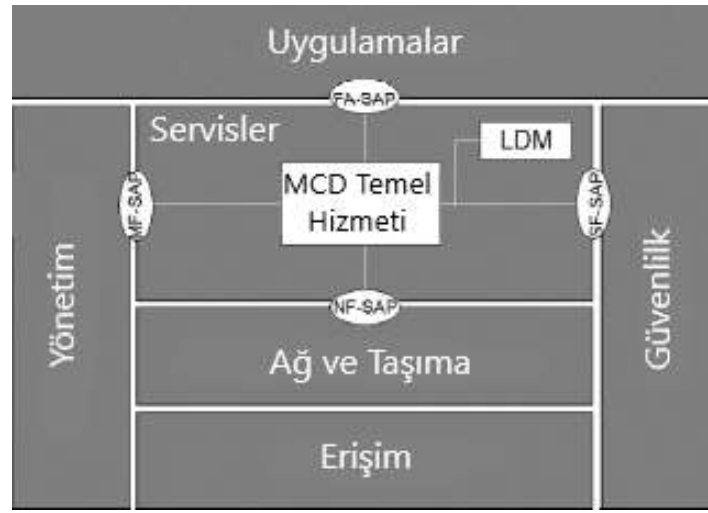
### 3.4.9. Multimedya İçeriği Yayma Mesajı (MCDM)

*Multimedya İçeriği Yayma Mesajı (MCDM)*; görüntü, video veya ses kayıtları gibi multimedya içeriğini, yakındaki araçlara veya altyapıya yaymak için V2X iletişim sistemlerinde kullanılan bir mesaj formatıdır. MCDM; araçlar ve altyapı bileşenleri arasında resim, video ve ses dosyaları gibi multimedya içeriklerinin aktarımını sağlar. Bu; durumsal farkındalığı artırmak, gerçek zamanlı güncellemeler sağlamak ve yol kullanıcıları için genel seyahat deneyimini iyileştirmek amacıyla ilgili bilgilerin dağıtımına olanak tanır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2019b).

MCDM dağıtımını talebini almak ve multimedya içeriğini AUS-İ uygulamalarına sunmak için MCD temel hizmeti, AUS-İ uygulamalarıyla arayüz oluşturur. Ayrıca MCD temel hizmeti, diğer servis katmanı öğeleriyle, özellikle de yerel dinamik veri elemanlarını içeren bir servis katmanı veri tabanı olan LDM ile etkileşime girebilir. Alıcı AUS-İ'de LDM, alınan bir MCD ile güncellenebilir ve AUS-İ uygulamaları, daha ileri işlemler için LDM veri tabanından bilgi alabilir. Şekil 37'de,

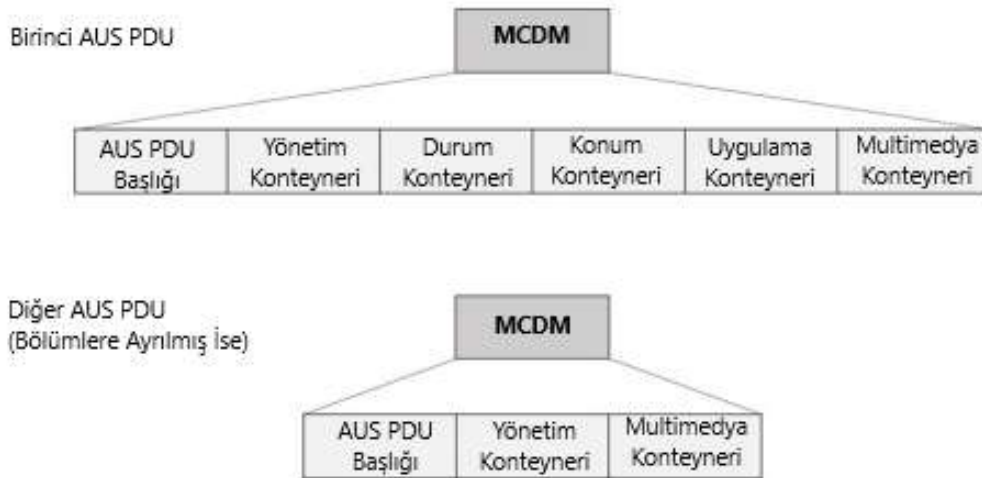


MCD temel hizmeti ve mantıksal arayüzü yer almaktadır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2019b).



**Şekil 37.** MCD Temel Hizmeti ve Mantıksal Arayüzü

Bir MCDM, seçilen erişim katmanı tarafından sağlanan paket boyutu sınırlama kurallarına göre belirli sayıda birime bölünür. İletilecek ilk birim, aynı MCDM'nin iletilen ardışık birimlerinin bağlantısını sağlayan bir yönetim konteynerini içerir. MCDM'nin kullandığı veri yapısı, ETSI TS 103 152 standardında tanımlanmış olup multimedya içeriğinin AUS-İ'ler arasında yayılması için gerekli veri yapılarını belirtir. MCDM genel yapısı, Şekil 38'de yer almaktadır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2019b).



**Şekil 38.** Multimedya İçeriği Yayma Mesajı (MCDM) Genel Yapısı

İlk MCDM AUS PDU, şunları içerir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2019b):

- Kaynak AUS-İ'nin protokol sürümü, mesaj türü ve AUS-İ ID bilgilerini içeren AUS PDU başlığı.
  - *Yönetim Konteyneri*, MCDM yönetimi ve MCD protokolüyle ilgili bilgileri içerir.
  - *Durum Konteyneri*, MCDM'nin tetikleyici kaynağıyla ilgili bilgileri içerir.
  - *Konum Konteyneri*, etkinlik konumuna ilişkin bilgileri içerir.
  - *Uygulama Konteyneri*, belirli uygulama veri öğelerini içerir.
  - *Multimedya Konteyneri*, multimedya verilerini içerir.

Diğer MCDM AUS PDU ise yönetim konteynerinin ve bir multimedya konteynerinin minimum bir alt kümesini içerir.

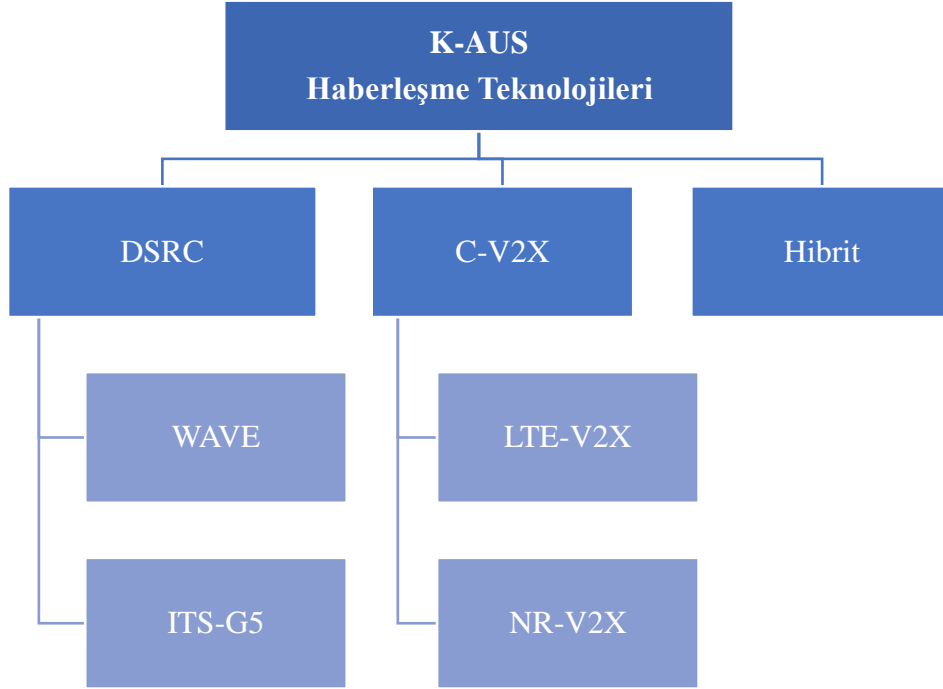
MCDM, farklı adresleme modları kullanılarak dağıtılabılır. Vericinin iletişim menzilineki tüm kullanıcılara (yayın/broadcast), bir coğrafi alandaki tüm kullanıcılara (coğrafi yayın/geobroadcasting), belirli bir kullanıcı grubuna (çoklu yayın/multicast) veya tek bir kullanıcıya (eşler arası/ peer-to-peer) yayılabilir. Ayrıca, bir uygulamanın gerektirdiği durumlarda mesajın minimum sayıda AUS-İ tarafından alınmasına olanak sağlamak amacıyla MCDM'ler tekrarlanabilir veya iletilebilir (European Commission, 2019b).

Şu ana kadar açıklanan diğer mesajlarından farklı olarak, MCDM'nin henüz C-Roads veya C2C-CC tarafından öngörülen uygulamaların herhangi birinde kullanılmak üzere değerlendirilmediğini vurgulamak önemlidir (European Commission, 2019b). Bununla birlikte, yolda engel uyarısı ve tehlikeli konum bildirimleri gibi DENM'in etkin kullanıldığı senaryolar ile ilişkilendirilebilir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2019b).

### **3.5. K-AUS Haberleşme Teknolojileri**

K-AUS hizmetlerinde V2X haberleşmenin kurulması ve önceki bölümlerde açıklanan mesajların iletilebilmesi için kullanılan farklı haberleşme teknolojileri bulunmaktadır. Kullanım alanına, uygulamaya alınan K-AUS senaryosuna, haberleşme mesafesine ve bölgedeki haberleşme altyapısının durumuna bağlı olarak kullanılacak en uygun haberleşme teknolojisinin seçilmesi önemlidir.

K-AUS hizmetlerinde kullanılan haberleşme teknolojileri; DSRC (IEEE 802.11p), C-V2X ve hibrit yöntemler olarak Şekil 39’da belirtilmiştir.



Şekil 39. K-AUS Hizmetlerinde Kullanılan Haberleşme Teknolojileri

### 3.5.1. DSRC

DSRC; araçların kısa mesafelerde, kablosuz olarak bilgi alışverişinde bulunmasını sağlayarak yolda güvenliği, verimliliği ve bağlantıyı artırmaktadır. Araçlar ve yol kenarı altyapısı arasında kesintisiz iletişimi kolaylaştıran DSRC; çarpışmadan kaçınma, trafik yönetimi ve kooperatif sürüş gibi özelliklerin etkinleştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

1999 yılında ABD FCC, IEEE 802.x ailesinden gelen DSRC teknolojisini geliştirmiş ve standartlaştırmıştır. DSRC, IEEE 802.11p standardına dayanarak geliştirilmiş olup yüksek hızlı bağlantı sunmayı amaçlamaktadır. Bu teknoloji içerisinde birçok standart barındırmaktadır (Arena vd., 2020). Bunlardan en önemlisi IEEE 802.11p standardıdır. Bu standart, IEEE 802.11 (WLAN) standardından, araçların haberleşmesi için özel olarak üretilmiştir.

Günümüzde, DSRC'nin kapasitesini arttırmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu kapsamda IEEE 802.11p temelli haberleşme sistemlerinde kapasiteyi arttırmak için bu standardın gelişmiş

versiyonu olan IEEE 802.11bd standardı tanıtılmış ve bu standartla gelen yeni modülasyon teknikleri gibi modellerle kapasitenin artırılması hedeflenmiştir (TechStreet, 2023).

DSRC teknolojisinin temelinde yer alan IEEE 802.11p standardının en önemli özelliği, DSRC teknolojisine göre yapılan haberleşmenin hangi frekans bandında olacağını belirtmesidir. Bu standarda göre DSRC haberleşmesi için ayrılan frekans bandı olan 5,9 GHz lisanslı spektrumu kullanılır ve yedi kanaldan oluşur.

DSRC teknolojisi, V2X iletişimi bağlamında, özellikle de güvenlikle ilgili alanlarda geniş bir uygulama alanına sahiptir. DSRC teknolojisi; araçlar arasındaki veya araç ve altyapı arasındaki haberleşmenin nasıl olacağına karar vermenin yanı sıra gönderilen paketlerin güvenliği, paketleri işaretleme ve paketleri anahtarlama işlemlerinin de standartlarını belirlemektedir. Bu sebeple DSRC sistemi, bu haberleşme formatında tüm standartları belirleyen bir çatı kavramdır (Kenney, 2011).

Standardizasyon kuruluşları; IEEE 1609.x, IEEE 802.11p, ETSI ITS-G5 gibi farklı DSRC haberleşme standartları geliştirmiştir. DSRC teknolojileri, kullanıldıkları bölgeye özeldir ve ayrıca destekleyici standarda atanan spektrum bandına ve V2X uygulamasına bağlıdır. Bu kapsamda en yaygın olarak kullanılan DSRC teknolojileri, araç ortamları için kablosuz erişim (WAVE) ve ITS-G5'tir.

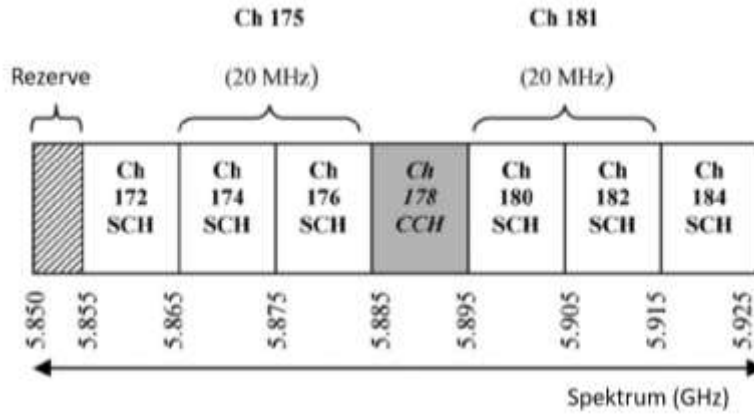
### **3.5.1.1. WAVE**

“WAVE” sistemi; ABD FCC tarafından tanıtılmış, kısa mesafeli ortamlarda, güvenli ve hızlı iletişimi sağlamayı amaçlayan bir kablosuz 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 kapsamında, bu 75 MHz'lik bölümün ilk 5 MHz'lik bölümü, diğer bantlarla karışmaması için bir koruma görevi görmektedir ve boş bırakılmaktadır. Her iki taraftan 10 MHz'lik bölüm ise acil durumlarda kullanılması için boş bırakılmaktadır. İleride bir kaza olması gibi çok acil

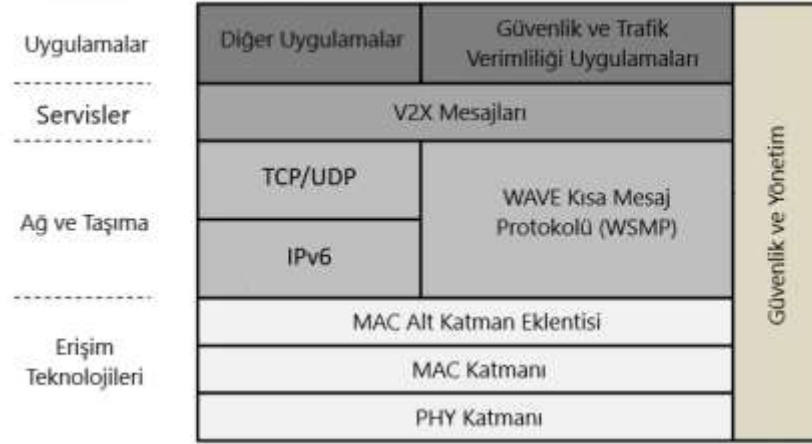
durumlarda, ağ trafiğine yakalanmamak için bu tarz bir uygulama yapılmaktadır. Her iki taraftaki 20 MHz'lik bantlar, K-AUS bileşenleri için servis görevi görmektedir.

5,9 GHz frekans bandı, genel olarak yüksek hızlı ve düşük gecikmeli bir haberleşmenin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Fakat yüksek frekans bandı aynı zamanda kapsama alanını düşürdüğü için WAVE sistemi, 1 kilometre civarında bir kapsama alanına sahiptir (Arena vd., 2020; Morgan, 2010). WAVE sisteminin frekans spektrumu, Şekil 40'da gösterilmiştir (Kenney, 2011).



Şekil 40. WAVE Teknolojisinin Frekans Spektrumu

WAVE teknolojisi kullanılarak hayata geçirilen K-AUS uygulamalarında; bileşenler arasında kurulan bağlantı, gönderilen mesajlar, güvenlik vb. konularda tekdüzeliği ve farklı bölgelerde yapılan uygulamalarda sürekliliği sağlamak amacıyla WAVE mimarisi oluşturulmuştur. Şekil 41'de, WAVE teknolojisi mimarisi yer almaktadır (Festag, 2015).



**Şekil 41.** WAVE Mimarisi

Şekil 41’de görüldüğü üzere WAVE mimarisi, farklı katmanlardan ve protokollerden oluşmaktadır. Her katmanın ve protokolün görevi farklıdır. Aşağıda mimari bileşenleri özetlenmiştir (Festag, 2015):

- *Erişim Teknolojileri Katmanı:* Bu katman dahilinde, fiziksel katman ve veri bağı katmanı olacak şekilde iki farklı alt katman yer almaktadır. Fiziksel katman (PHY Katmanı), mimarinin en altında yer almakta ve haberleşme kanalında gerçekleşen veri alışverişini sağlamaktadır (Miucic, 2015) Veri bağı katmanı (MAC Katmanı ve MAC Alt Katman Eklentisi) ise WAVE teknolojisini kullanan K-AUS bileşenleri arasında, güvenilir bir bağlantı kurulmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda; hata tespiti, hata düzeltilmesi ve veri akışının kontrolünden sorumludur (TechTarget, 2023b). MAC ve PHY Katmanı; IEEE 802.11p standardı kapsamında tanımlanırken MAC Alt Katman Eklentisi ise IEEE 1609.4 standardında tanımlanmaktadır. Bu eklenti ile IEEE 1609.4 standardında tanımlanan çoklu-kanal uygulamaları, mimariye dahil edilmektedir.
- *Ağ ve Taşıma Katmanı:* Ağ katmanı, WAVE teknolojisini kullanan bileşenler arasında bir ağ kurulmasını sağlamaktadır. Taşıma katmanı ise kurulan ağ üzerinden verinin güvenli bir şekilde transfer edilmesini sağlamaktadır. Bu katman dahilinde kullanılan protokoller, hayata geçirilen senaryoya göre değişiklik göstermektedir. Güvenlik ve trafik verimliliği ile ilgili uygulamalarda, bilgilerin hızlı ve düşük gecikmeli bir şekilde iletilmesi önemlidir. Bu nedenle bu uygulamalar kapsamında WAVE Kısa Mesaj Protokolü kullanılmaktadır. Bu protokol,

IEEE 1609.3 standardında tanımlanmaktadır. Diğer uygulamalarda ise ağ katmanı için IPv6<sup>10</sup> prokolü, taşıma katmanı için ise TCP<sup>11</sup> (İletim Kontrol Protokolü) ve UDP<sup>12</sup> (Kullanıcı Datagram Protokolü) protokolü kullanılmaktadır.

- *Servisler Katmanı:* Uygulanan K-AUS senaryosu dahilinde iletilmesi gereken mesajların veri yapıları ve formatları bu katmanda belirlenmektedir. Bu bağlamda, SAE J2735 standardı kullanılmaktadır.
- *Uygulama Katmanı:* Bu katman, uygulanan K-AUS senaryosu ile ilgilidir. Güvenlik ve trafik verimliliği ile ilgili uygulamalar ve diğer uygulamalar olarak ikiye ayrılmaktadır ve bu ayrım kapsamında, mimarinin alt katmanlarda kullanılan protokollere karar verilmektedir.
- *Güvenlik Katmanı:* Güvenlik, tüm mimari kapsamında sağlanması gereken bir husus olduğu için tüm katmanları kapsamaktadır. Ağ yapısı ile ilgili olarak DSRC sistemi, TCP tabanlı bir iletişim sistemi kullanılmaktadır. TCP tabanlı haberleşmelerde bilgi alışverişi başlamadan önce bir el sıkışma protokolü<sup>13</sup> uygulandığı için haberleşme başlamadan önce az bir zaman kaybı meydana gelebilmektedir. Bunu engellemek için araçlar ve altyapı, birbirlerinin temel hizmet seti tanımlayıcısını (BSSID)<sup>14</sup> öğrenmek yerine ortak bir BSSID ile çalışmaktadır. BSSID, her kablosuz aygıtın sahip olduğu bir kimlik adresidir. Bu sistemin dezavantajı ise kimlik doğrulamasının ve bilginin bütünlüğünü sağlamanın zorlaşmasıdır. Bu sebeple güvenlik önlemleri, daha üst katmanlarda alınmak zorunda olup WAVE modelinde tanımlı IEEE 1609.2 güvenlik standardı kullanılmaktadır.

WAVE teknolojisinin örnek kullanımı Şekil 42'de gösterilmiştir (Paranjothi vd., 2019).

---

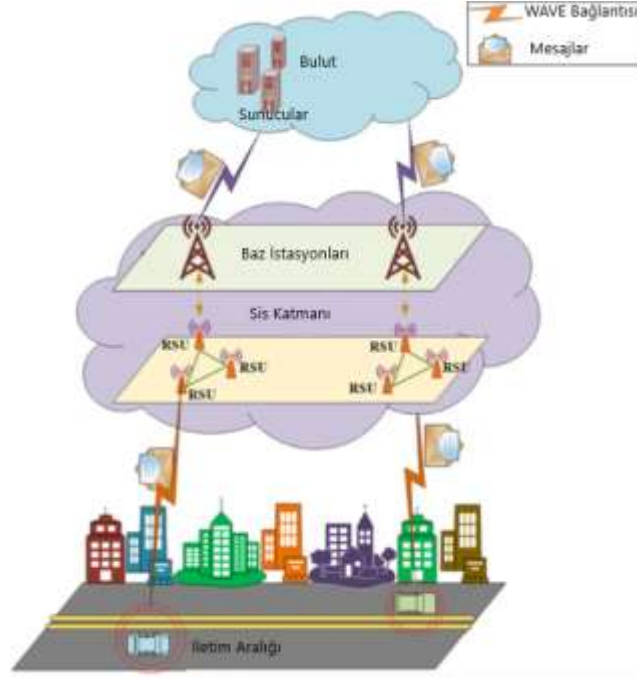
<sup>10</sup> IPv6, internet üzerinde cihazların özel bir kimliğe sahip olmasını ve iletişim kurulmasını sağlayan bir haberleşme protokolüdür.

<sup>11</sup> Güvenilir ve sıralı iletişim sağlayan bir haberleşme protokolüdür.

<sup>12</sup> Güvenilir ve sıralı iletişim sağlamaktan ziyade bağlantısız, hızlı ve düşük gecikmeli iletişim sağlayan protokoldür. Bu sebeple, veri paketlerinin hedefe ulaşması garanti edilmemektedir.

<sup>13</sup> TCP/IP, üç yönlü el sıkışma olarak adlandırılan bir el sıkışma protokolü kullanılmaktadır. Bu protokol, TCP/IP ağındaki bir sunucu ile istemci arasında bağlantı kurulmasını sağlamaktadır.

<sup>14</sup> Kablosuz ağlarda belirli bir erişim noktasını tanımlayan özel bir kimliktir.

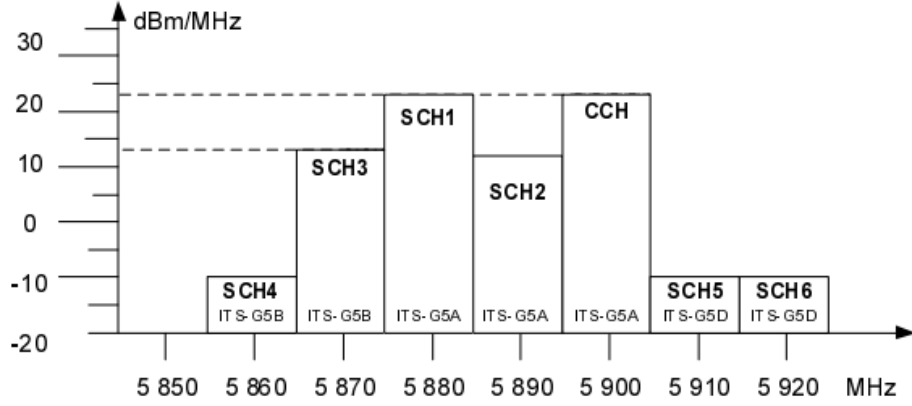


**Şekil 42.** WAVE Örnek Gösterimi

### 3.5.1.2. ITS-G5

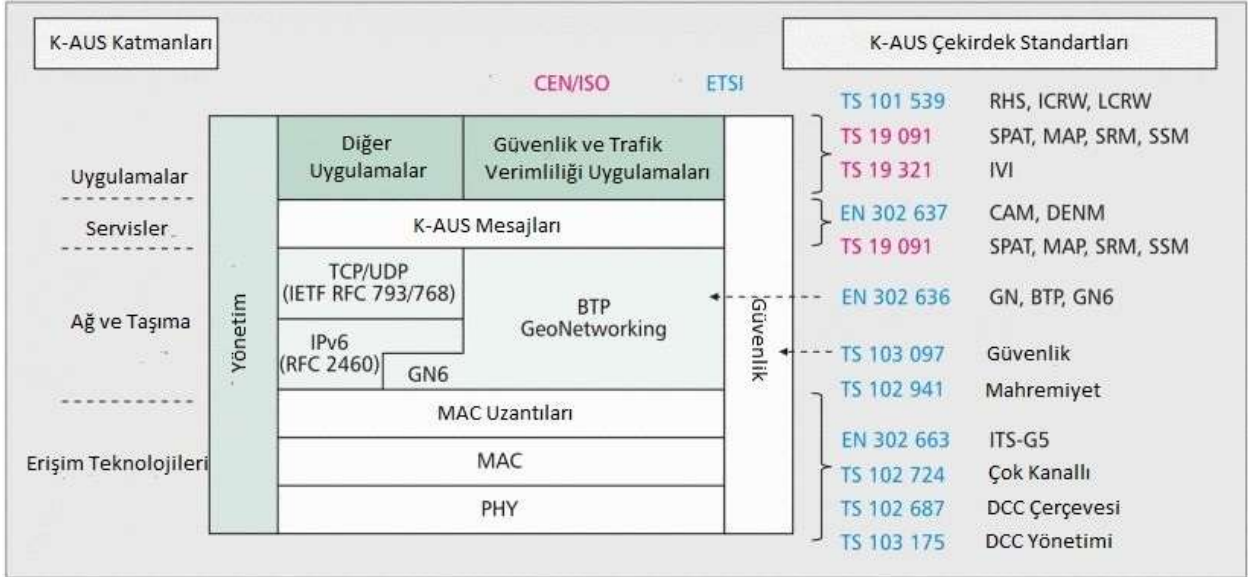
ITS-G5; Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (ETSI) tarafından ortaya sürülen, IEEE 802.11p standardı temelli bir K-AUS haberleşme teknolojisidir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2013). Bu teknoloji, WAVE ile birçok paralellik taşımaktadır. WAVE gibi 5,9 GHz frekans bandında çalışan bu model, yine WAVE teknolojisinde olduğu gibi 75 MHz bant genişliğine sahiptir. Fakat bu bantların dağılımı konusunda, WAVE ile farklılık göstermektedir. ITS-G5 sisteminde, 5 MHz'lik bölüm, koruma bandı olarak kullanılmaktadır. 20 MHz'lik bant sadece acil durumlar oluştuğunda kullanılacak biçimde ayrılmıştır. 30 MHz'lik bölüm, acil olmayan servislerin kullanımına sunulmuştur. Kalan 20 MHz'lik bölüm ise ileride geliştirilebilecek yeni uygulamalar için rezerve edilmiştir. Bu modelde de servis bantları, isteğe göre 10 MHz şeklinde veya 20 MHz şeklinde kullanılabilir. Şekil 43'te, ITS-G5 sisteminin frekans spektrumu yer almaktadır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2013; Mannoni vd., 2019).





**Şekil 43.** ITS-G5 Frekans Spektrumu

Genel olarak bazı farklılıklar olsa da ABD’de önerilen WAVE ve Avrupa’da önerilen ITS-G5 teknolojileri birbirlerine oldukça benzer sistemlerle oluşturulmuş teknolojilerdir. ITS-G5 ve WAVE mimarileri de birbirine yakın mimarilerdir, fakat bazı noktalarda birbirlerinden ayrılmaktadır. Şekil 44’te ITS-G5 mimarisi yer almaktadır (Festag, 2014).

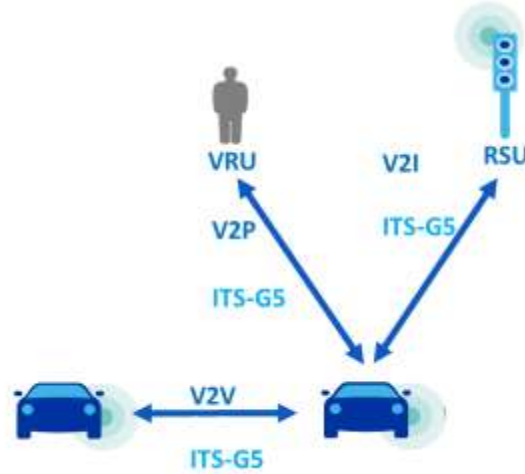


**Şekil 44.** ITS-G5 Mimarisi

Şekilde görüldüğü üzere WAVE ve ITS-G5 mimarisi genel katman yapısı itibarıyla aynıdır. Bu mimarileri birbirinden ayıran ise kullanılan standartlar ve protokollerdir. Katmanlardaki farklılıklar aşağıda açıklanmıştır:

- *Erişim Teknolojileri* katmanına çoklu-kanal özelliğinin eklenmesi için WAVE mimarisinde kullanılan IEEE 1609.4 standardı yerine, ETSI TS 102 724 standardı kullanılmaktadır.
- Güvenlik ve trafik verimliliği uygulamaları için *Ağ ve Taşıma Katmanı*'nda, BTP (Temel Taşıma Protokolü) GeoNetworking<sup>15</sup> protokolü kullanılmaktadır. Bu protokol, ETSI EN 302 636 standardında tanımlanmaktadır. Aynı zamanda, güvenlik ve trafik verimliliği ile ilgili olmayan uygulamalarda, IPv6 protokolü kullanılarak transfer edilen veri paketleri, GeoNetworking protokolü üzerinden gönderilebilmektedir. Bu protokol sistemine, GN6 adı verilmiştir.
- *Servisler Katmanında* yer alan V2X mesajları kapsamında kullanılan standartlar da WAVE mimarisi ile farklılık göstermektedir. CAM, DENM, SPAT, MAP ve IVI gibi mesajların veri formatlarının ve yapılarının belirlenmesinde, ETSI EN 302 637, ETSI TS 19 091 ve ETSI TS 19 321 standartları kullanılmaktadır.
- WAVE mimarisinde güvenlik için kullanılan IEEE 1609.2 standardı yerine, ETSI TS 103 097 standardı kullanılmaktadır. Aynı zamanda, gizliliğin sağlanması için ETSI TS 102 941 standardından yararlanılmaktadır.

ITS-G5 teknolojisinin örnek kullanımı, Şekil 45'te gösterilmiştir (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2018).



**Şekil 45.** ITS-G5 Haberleşmesi Örnek Gösterimi

<sup>15</sup> GeoNetworking: Coğrafi konum bilgisini içeren ve araçlar arası iletişimi sağlayan bir temel iletişim protokolüdür.

Ayrıca, ITS-G5 haberleşmesinin daha geniş ve IP tabanlı bir iletişim altyapısına entegre edilebilmesi için karasal mobil sistemler haberleşme erişimi (CALM) girişimi bulunmaktadır. CALM; AUS için standartlaştırılmış erişim prosedürleri, ağ protokolleri, taşıma protokolleri ve uygulama protokolleridir. CALM, çeşitli kablosuz haberleşme yöntemlerini desteklemekte ve araç haberleşmesi için tek bir evrensel standart oluşturmayı amaçlamaktadır. CALM mimarisi, IPv6 sürümündeki IP protokolü ile çalışmaktadır ve otomotiv uygulamaları ile farklı haberleşme türleri için bir soyutlama katmanına sahiptir. Hava arayüzü<sup>16</sup> için standartlaştırılmış protokoller kısa, orta ve uzun mesafeyi desteklemektedir (ITWissen, 2020).

### 3.5.2. C-V2X

C-V2X; sürücülere düşük gecikmeli V2V, V2I ve V2P haberleşmesi sunmak için tasarlanmış bir birleşik bağlantı teknolojisidir. Hücresel ağlar üzerinden V2X haberleşmesi sağlayan C-V2X; K-AUS haberleşmesinde kullanılmak üzere 4G'nin ve özellikle 5G'nin kabiliyetlerinin kullanılmasını amaçlamaktadır. Bu teknolojilerin getirdiği faydalar; yüksek veri verimi, minimum gecikme süresi ve çok sayıda nesneyi ağ üzerinden bağlama yeteneği olarak sıralanabilir.

C-V2X teknolojisi, ilk olarak 2017 yılında 3. Nesil Ortaklık Projesi (3GPP) tarafından yayınlanan Sürüm (Release) 14 teknik raporunda tanıtılmıştır (3GPP, 2017). Sürüm 12. ve Sürüm 13. raporlarında tanıtılan cihazdan cihaza (D2D) haberleşme sisteminin temel alındığı C-V2X teknolojisi 4G tabanlı olduğundan, LTE-V2X olarak da isimlendirilmiştir.

Sürüm 14 teknik raporunda, öncelikle servis gereklilikleri tanıtılmıştır. ETSI TS 22.185<sup>17</sup> raporunda da ayrıntılı olarak tanımlanan önemli servis gereklilikleri şu şekilde sıralanmıştır (3GPP, 2016a):

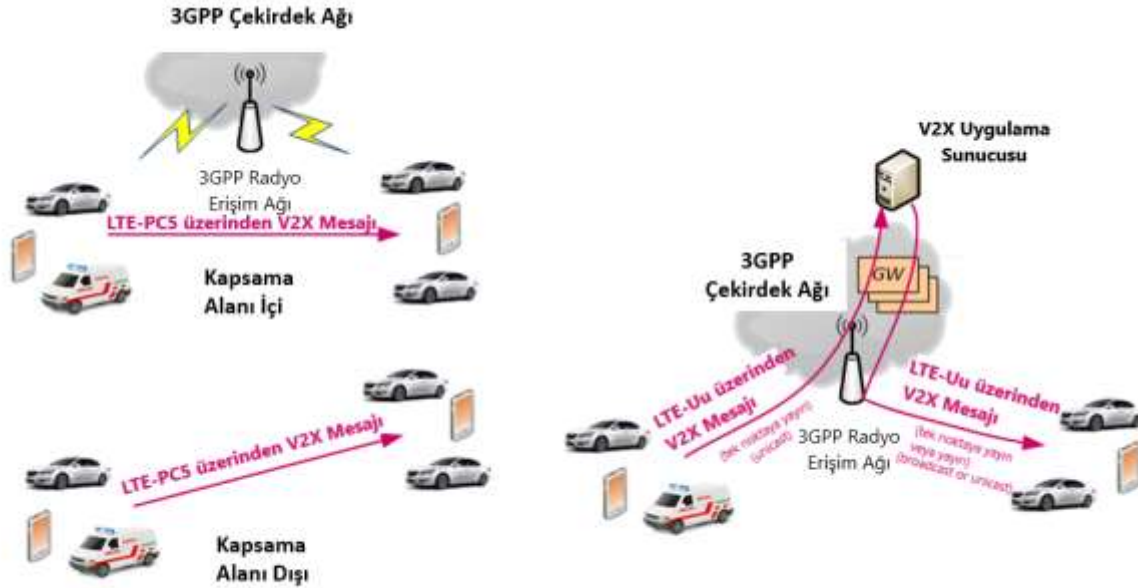
- Mesaj aktarım gecikmesi 100 ms'den fazla olmayacak, bazı durumlarda ise bu gecikme 20 ms ile sınırlı kalacaktır.
- 1200 byte'a kadar mesaj boyutlarını destekleyecektir.
- Tipik durumlar için saniyede 10 mesaj aktarımına kadar destek sağlanmalıdır. Maksimum mesaj aktarma frekansı ise 50 olarak ayarlanmalıdır.
- Haberleşme menzili, sürücünün iyi bir reaksiyon zamanına sahip olması için yeterli olmalıdır.

<sup>16</sup> Hava arayüzü, mobil veya kablosuz haberleşme sistemlerinde, iki istasyon arasındaki bağlantıyı ifade etmektedir.

<sup>17</sup> TS 22.185: V2X Hizmetleri İçin Hizmet Gereksinimler

- Araçların 500 km/s bağıl hızına kadar V2X haberleşme desteklenmelidir.
- V2X haberleşme, ağ kapsama alanı içinde ve dışında desteklenmelidir.

Sürüm 14 teknik raporunda, aynı zamanda V2X haberleşme için bir mimari önerilmiştir (3GPP, 2016b). LTE-V2X ile birlikte, iki farklı operasyon modu tanımlanmıştır: (i) PC5 arayüzü ile V2X haberleşme ve (ii) Uu arayüzü ile V2X haberleşme. PC5 arayüzü, direkt olarak iki kullanıcı ekipmanını (UE) birbirine bağlamak için kullanılmaktadır. Uu arayüzü ise LTE hücrenel ağlarında baz istasyonu görevi gören gelişmiş evrensel karasal radyo erişim ağı (eNB) ile UE arasındaki iletişimi sağlamak için kullanılmaktadır. Şekil 46'da PC5 ve Uu arayüzü üzerinden V2X haberleşmesi gösterimi yer almaktadır (3GPP, 2017).



**Şekil 46.** PC5 ve Uu Arayüzü Üzerinden V2X Haberleşmesi Örnek Gösterimi

Hem PC5 hem de Uu üzerinden yapılan haberleşmelerde, IP'nin kullanıldığı ve kullanılmadığı haberleşme çeşitleri desteklenmektedir. PC5 üzerinden gönderilen ve IP kullanan mesajlarda, IPv6 protokolü kullanılmaktadır. Uu arayüzü üzerinden yapılan V2X haberleşmede ise garantili veri aktarım hızı ve garantili olmayan veri aktarım hızı kanalları kullanılmaktadır. Bu kanallar, IP iletişim kanallarında belli bir veri aktarım hızının garanti edilip edilmediğini belirtmektedir.

V2X haberleşme sistemleri, güvenlik açısından yeni bir formüle gerek duymamakta ve sistem içerisinde dahil olan güvenlik çözümlerini kullanmaktadır. Uygulama verisi güvenliği, IEEE ya da

ETSI gibi kurumların oluşturduğu standartlar ile sağlanmaktadır. Hava arayüzü güvenliği için ise LTE servislerinde kullanılan genel güvenlik önlemlerinin, herhangi bir değişiklik olmaksızın uygulanması uygun görülmektedir (3GPP, 2015).

V2V bağlamında tanımlanmış PC5 arayüzü (fiziksel katmanda kenar bağlantısı olarak da adlandırılır) için birçok servis Sürüm 14 (Release 14) teknik raporunda önerilmiştir. Öncelikle PC5 arayüzü, iki farklı araç arasındaki iletişimi sağlamak için kullanılmaktadır. Bir aracın maksimum 250 km/s hıza çıktığının varsayıldığı bu sistemde, 500 km/s hız farkına kadar çalışan ve bu hız farkının oluşturduğu Doppler kaymasını<sup>18</sup> da hesaba katan birçok yeni teknoloji ve algoritma önerilmiştir.

2020'de ise 3GPP'nin Sürüm 16 teknik raporu (Release 16) yayınlanmış ve 2021'de son kez güncellenmiştir (3GPP, 2020). Bu teknik rapor sürümünde, bir önceki sürüme göre geliştirmeler yapılmıştır. C-V2X sistemlerinin LTE'den NR (Yeni Radyo) teknolojisine geçişi başlamıştır. NR, birleşik ve daha kabiliyetli olan 5G kablosuz hava arayüzü için oluşturulmuş bir teknolojidir. Bu teknoloji, önemli ölçüde daha hızlı ve daha esnek bir mobil deneyim sunmaktadır (Qualcomm, 2023).

3GPP'nin Sürüm 17 teknik raporu (Release 17), 2022 yılında yayınlanmış ve son güncellemesini de 2023 yılında almıştır (3GPP, 2022). NR-V2X için ikinci faz olan bu raporda, yeni servisler önerilmiş ve daha önce yer alan servisler geliştirilmiştir. NR-V2X, 5G hücreli haberleşme teknolojisinin kullanıldığı K-AUS haberleşme teknolojisidir. Ayrıca, uygulama katmanında da bazı geliştirmeler yapılmıştır.

2023 yılında ise 3GPP'nin sürüm 18 teknik raporu yayınlanmıştır. Sürüm 18 (Release 18); 5G performansını artırmayı, daha esnek ve verimli spektrum kullanımına olanak tanıyan özellikleri tanıtmayı, çeşitli cihazların desteklenmesini sağlamayı, farklı uygulamaları kolaylaştırmak için ağ topolojisini evrimleştirmeyi ve veri odaklı, akıllı ağ çözümleri sunmayı hedeflemiştir (3GPP, 2023).

---

<sup>18</sup> Doppler kayması, bir dalga sinyali kaynağının veya alıcısının hareket etmesi nedeniyle dalga frekansının değişimini ifade etmektedir.

LTE-V2X ve NR-V2X haberleşme teknolojilerinin, K-AUS mimarisinde hangi katmanda ve ne amaçla yer aldığı da önemli bir konudur (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2010):

- *Erişim katmanı* dahilinde, K-AUS bileşenleri arasında bir ağ kurulmakta ve bu ağ üzerinden güvenilir ve sorunsuz veri aktarımı gerçekleştirilmektedir. LTE-V2X ve NR-V2X teknolojileri, bu katman dahilinde K-AUS uygulamalarına katılmaktadır ve istenen bileşenler arasında bağlantı kurup veri transferini sağlamaktadır. Erişim katmanı, kendi içerisinde de farklı katmanlara sahiptir. Bunlar, *fiziksel katman* ve *veri bağı katmanı*dır. LTE-V2X ve NR-V2X teknolojilerinin bu katmanlara uyumluluklarının sağlanması ve K-AUS hizmetlerinde kullanılması için çeşitli standartlardan yararlanılmaktadır.
- *Fiziksel katman* dahilinde gerekli LTE-V2X veri elemanları, ETSI TS 136 331<sup>19</sup> kapsamında tanımlanmaktadır ve bu veri elemanlarının varsayılan değerleri de bu standart içerisinde yer almaktadır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020c). Ayrıca, LTE-V2X PC5 arayüzünün veri bağı katmanı, ETSI TS 136 321<sup>20</sup> standardında tanımlanmaktadır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020b, 2023b). Fiziksel katman dahilinde gerekli NR-V2X veri elemanları ise ETSI TS 138 331<sup>21</sup> kapsamında tanımlanmaktadır ve bu veri elemanlarının varsayılan değerleri de bu standart içerisinde yer almaktadır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020d). Ek olarak NR-V2X PC5 arayüzünün veri bağı katmanı da ETSI TS 138 321<sup>22</sup> standardında tanımlanmaktadır (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2021).

5G altyapısının yaygınlaştırılması ve kullanıma uygun hale getirilmesi ile 5G kullanılan C-V2X, K-AUS'un geleceği olarak değerlendirilmektedir. K-AUS uygulamaları kapsamında kullanılan C-V2X-hücreli haberleşme teknolojileri, (i) 4G/LTE (LTE-V2X) ve (ii) 5G/NR (NR-V2X) olarak ikiye ayrılır. LTE-V2X teknolojisinin dayandığı 4G/LTE ve NR-V2X teknolojisinin dayandığı 5G/NR teknolojileri, aşağıdaki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

---

<sup>19</sup> ETSI TS 136 331: LTE; Geliştirilmiş Evrensel Karasal Radyo Erişimi (E-UTRA); Radyo Kaynak Kontrolü (RRC); Protokol Spesifikasyonları (3GPP TS 36.321) (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020c)

<sup>20</sup> ETSI TS 136 321: LTE; Geliştirilmiş Evrensel Karasal Radyo Erişimi (E-UTRA); Orta Erişim Kontrolü (MAC) Protokol Spesifikasyonu (3GPP TS 36.321) (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020b)

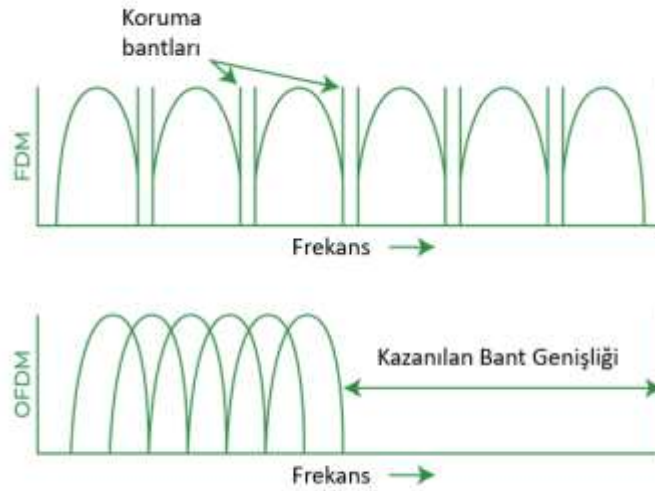
<sup>21</sup> 5G; NR; Radyo Kaynak Kontrolü (Radio Resource Control/ RRC); Protokol Spesifikasyonu (3GPP TS 38.331) (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2020d)

<sup>22</sup> 5G; NR; Orta Erişim Kontrolü (Medium Access Control/ MAC) Protokol Spesifikasyonu (3GPP TS 38.321) (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2021)

### 3.5.2.1. LTE-V2X

Cep telefonlarının kolay ve yaygın sosyal erişim noktasına dönüşmesiyle birlikte ortaya çıkan yeni alanlar, daha yüksek bilgi aktarım hızı ve daha düşük gecikme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca bu ihtiyaçların karşılanması sürecinde, bilgi kaybının olabildiğince minimize edilmesi gerektiğinden, bu durum 4G'ye geçişi hızlandırmıştır. Yaygın olarak kullanılan ve ayrıca LTE olarak da bilinen 4G, önceki nesillerde görülen ayrı standartları birleştirerek küresel ve ortak bir standart seti oluşturmuştur. Bu jenerasyonun en önemli yapı taşı ise ortogonal frekans bölme çoklu erişim (OFDMA) modeli olmuştur (Li & Stüber, 2006).

OFDMA, sinyallerin frekans alanındaki dikliklerini kullanan bir modeldir. OFDMA modelinde, iki farklı sinyal, frekans alanında birbirlerine dik olarak yan yana koyulabildiğinden bant genişliği açısından oldukça verimli bir sistemdir. Şekil 47'de, OFDM'nin, frekans bölme çoklamaya (FDM'ye) göre nasıl bant genişliği kazandırdığı görülebilmektedir (GeeksforGeeks, 2022). Sinyaller birbirlerine diklik özelliği kazandırılarak yan yana konumlandırıldığından, OFDM modelinde sinyalleri birbirinden ayırmak oldukça kolay olmaktadır. Böylelikle 4G, kendinden önceki hücresel ağ teknolojilerine göre daha verimli bir sistem olarak kullanılabilir.



Şekil 47. FDM ve OFDM'nin Karşılaştırılması

5GAA tarafından yayınlanan "Uygulamada Olan C-V2X" isimli bağlantılı hareketlilik raporunda, LTE-V2X ile çalışan K-AUS bileşenlerinin (modüller, OBU, RSU vb.) kapsamlı bir doğrulama testinin yapıldığı ve 2018 yılından bu yana kullanılmaya hazır olarak üretildiği belirtilmiştir

(5GAA, 2023b). Bu cihazların LTE-V2X doğrudan haberleşme (PC5) ve mobil ağ haberleşme (Uu) özelliklerini içerdiği ifade edilmiştir. Bu doğrultuda, LTE tabanlı AUS ve K-AUS uygulamalarının uygulanabilirliği kanıtlanmış ve donanımsal olarak hazır hale gelmiştir. PC5 ve Uu teknolojilerinin örnek gösterimi Şekil 48’de yer almaktadır (everything RF, 2023).



Şekil 48. PC5 ve Uu Örnek Gösterimi

PC5 ve Uu teknolojileri, içinde bulundukları yapıların farklılığı sayesinde, V2X uygulamalarında çeşitlilik sağlamaktadır. Bu bağlamda teknolojilerin kullanım alanları, LTE-Uu Hava Arayüzü Tabanlı V2X ve PC5 Hava Arayüzü Tabanlı V2X olarak sınıflandırılabilir (Shrestha vd., 2020):

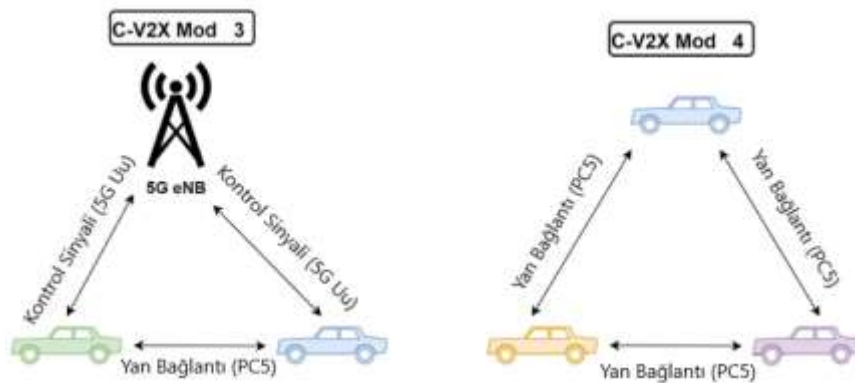
- *LTE-Uu Hava Arayüzü Tabanlı V2X*: Kullanıcı ekipmanını (UE’yi) ve bir eNodeB’yi bağlamak için kullanılan ortak hava arayüzüne *LTE-Uu* adı verilir. LTE-Uu protokolünü destekleyen her UE, sinyalini yukarı bağlantı (uplink) üzerinden eNB’ye iletir ve eNB, sinyali aşağı bağlantı üzerinden hedef UE’ye iletir. eNB, V2X yukarı bağlantı iletimiyle ilgili planlama yükünü azaltmak için yarı kalıcı planlamayı kullanacaktır. Yarı kalıcı planlamada, eNB; trafiğin çoğu periyodik olduğundan ve benzer paket boyutlarına sahip olduğundan, kaynakları birkaç sonraki iletim boyunca bir kullanıcıya tahsis eder.
- *PC5 Hava Arayüzü Tabanlı V2X*: Gizliliği garanti almak amacıyla doğrudan güvenlik mesajı bağlantısını sağlamak gerekmektedir. Bunun için C-V2X’te PC-5 D2D iletişim modunun etkinleştirilmesi gerekmektedir. Bu mod, gizlilik sunmanın yanı sıra abonelik gerektirmeden ITS 5,9 GHz bandında etkili bir şekilde çalışmaktadır. Ayrıca C-V2X, telefon veya veri erişimi



gibi ticari uygulamalar için halihazırda mevcut olan lisanslı hücresele ağları temel alan V2N modunu kullanabilir. Doğrudan UE bağlantıları, her paketin eNodeB üzerinden geçmesi ihtiyacını ortadan kaldırarak PC5 hava arayüzü sayesinde mümkün olur. eNodeB mevcut olduğunda veya bulunmadığında, kullanıcı düğümleri PC5 arayüzünün avantajlarından yararlanabilir.

PC5 ve Uu teknolojilerinin bir arada veya ayrı olarak kullanılması ile C-V2X yan bağlantı (sidelink) modu 3 ve C-V2X yan bağlantı modu 4 ortaya çıkmıştır (Shrestha vd., 2020):

- *C-V2X yan bağlantı modu 3*: Bu mod, yalnızca bir baz istasyonu veya eNB mevcut olduğunda, programlanan modun çalışmasına izin verir. Hücresele ağ, kaynak dağıtımını merkezi bir şekilde yönetir. Çapraz taşıyıcı planlama, UE raporlarına dayalı planlama ve yarı kalıcı planlama; mod 3 tekniklerinden birkaçıdır. Araçların eNB'ye bağlanması gereken yüksek hareketli otoyol senaryolarında, bu mod sorun teşkil etmektedir.
- *C-V2X yan bağlantı modu 4*: DSRC ile karşılaştırılabilir bir 5,9 GHz frekans spektrumunu kullanan C-V2X yan bağlantı modu 4; PC5 yan bağlantı radyo arayüzü aracılığıyla doğrudan etkileşim için eNB desteğinin yokluğunda bağımsız olarak çalışır. Bunun diğer adı da otonom moddur. Çevredeki diğer araçlarla merkezi olmayan etkileşimlerde bulunmak için merkezi hücresele ağ bağlantılarına gerek yoktur. Erken bir karşılaştırma sırasında, C-V2X Mod 4, birçok senaryoda IEEE 802.11p protokolünden daha iyi performans göstermiştir. Ayrıca çeşitli çalışma modları için güçlü güvenlik sunar. Şekil 49'da C-V2X Mod 3 ve Mod 4 örnek gösterimi yer almaktadır (Shrestha vd., 2020).



Şekil 49. C-V2X Mod 3 ve Mod 4 Örnek Gösterimi

### 3.5.2.2. NR-V2X

K-AUS uygulamalarında kritik sayılabilecek görevleri gerçekleştirmek için çeşitli haberleşme teknolojilerinin kullanılması gerekmektedir. Yapılacak birçok işlemin gerçek zamanlı, olabildiğince az bir gecikmeyle ve yüksek veri aktarım hızında yapılması; 5G teknolojilerinin sağladığı altyapı ile mümkün olacaktır. Bu bağlamda 5G, K-AUS hizmetleri için tamamlayıcı özellikte bir teknoloji olup ulaşım sistemlerinin güvenliğini, verimliliğini ve konforunu artırmada önemli bir rol oynamaktadır.

5G; 4G üzerine yeni ve devrimsel teknolojiler getirmek yerine, hali hazırda 4G’de bulunan birçok özelliği çok daha ileri götürmeyi amaçlayarak ortaya çıkmış bir mobil haberleşme neslidir. 5G’nin temelinde üç hedef vardır: Bunlar, (i) daha yüksek veri aktarım hızı, (ii) daha düşük gecikme ve (iii) daha yüksek sayıda internet nesnelere yönetebilmedir.

5G projesi hayata geçirilirken üç kilit teknolojiyi temel almıştır. Bu teknolojilerden ilki bant genişliğini olabildiğince artırmaya çalışan gelişmiş mobil geniş bant (eMBB) teknolojisidir. Bu teknoloji sayesinde ağ kapasitesi artırılarak aynı zaman diliminde, daha çok verinin aktarılması sağlanır. Bu da video, hologram gibi yüksek boyutlara sahip verilerin, daha hızlı bir şekilde bir uçtan diğer uca iletilmesine olanak sağlar. eMBB; video yayınları, sanal gerçeklik ya da oyunlar gibi yüksek veri içeriğine ihtiyaç duyan uygulamalar için oldukça önemli bir teknolojidir (Inseego, 2023b). Bir diğer 5G teknolojisi ise ultra güvenli düşük gecikmeli haberleşme (URLLC) teknolojisidir. Bu teknolojinin amacı ise haberleşmede yaşanan gecikmeyi ve veri aktarımı sırasında yaşanan veri kaybını olabildiğince azaltmaktır. Zamanın son derece kritik olduğu sanal gerçeklik ya da operasyonel teknolojiler gibi uygulamalarda, oldukça önemli bir teknolojidir (Inseego, 2023e). 5G’nin üçüncü temel teknolojisi ise büyük makine tipi haberleşme (mMTC) teknolojisidir. mMTC, son zamanlarda hayatımıza giren IoT teknolojisinden sonra oldukça önem kazanmıştır. Bu teknolojinin amacı ise son zamanlarda sayısı artan internete bağlanan nesnelere, birbirleriyle sorunsuz haberleşmesini sağlamak ve bu haberleşme ağını yönetmeye çalışmaktır (Inseego, 2023d).

Bu teknolojilerin yanı sıra yönlendirilmiş iletim veya alımı sağlayan belirli bir sinyal işleme yöntemi olan hüzmeme<sup>23</sup> teknolojisi de 5G’nin önemli teknolojilerinden biridir. 5G hüzmeme,

---

<sup>23</sup> Hüzmeme (Beamforming): Hücre baz istasyonlarına yönelik, belirli bir kullanıcıya en verimli veri dağıtım yolunu tanımlayan bir trafik sinyalizasyon sistemidir (Nordrum vd., 2017).

5G haberleşmesinin alıcı bir cihaza daha dikkatli bir şekilde yönlendirilmesini sağlar. Örneğin, ortalama bir 5G küçük hücresi, çoklu giriş çoklu çıkış (MIMO) iletimi sırasında hüzmeye kullanmazsa iletim ışınlarını belirli bir alana odaklayamaz. Hüzmeye ile küçük hücre; iletimi cep telefonu, dizüstü bilgisayar, otonom araç veya IoT düğümü gibi bir mobil cihaza doğru belirli bir yönde odaklayabilir. Bu, enerji tasarrufu sağlar ve ağın genel verimliliğini artırır (Verizon, 2024). Özellikle milimetre dalga çözümü adı verilen model sayesinde frekans bantları 90 GHz seviyesine kadar arttırılabilmektedir (Hong vd., 2014; Rappaport vd., 2011). 5G NR sistemlerinde kullanılan milimetrik dalga boylarının (mmWaves)<sup>24</sup> yüksek yayılma kaybı ve ayrıca kullanıcıların yüksek bant genişliği talepleri nedeniyle hüzmeye tekniklerinin önemi artmıştır. Hüzmeye teknolojisi ile verici tarafının ürettiği gücün büyük bölümünün istenen doğrultuya (alıcıya) yönlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bunun yolu da aynı sinyali aynı dalga boyunda ve fazda ileten, dalgaların belirli bir yönde güçlendirilmesiyle oluşturulan daha uzun ve hedefe odaklı bir akışa sahip tek bir anten oluşturmak için bir araya gelen birden fazla ışınım elemanının uygulamasından geçer (Metaswitch, 2023).

3GPP Sürüm 16'da, NR V2X PC5 arayüzünü kullanan NR V2X SideLink<sup>25</sup> iletişimlerinde alt kanalların seçimi için iki yeni mod (mod 1 ve mod 2) tanımlanmıştır. Bu iki mod, LTE-V2X'teki mod 3 ve 4'ün karşılığıdır. Ancak LTE-V2X, yalnızca yayın yan bağlantı (broadcast sidelink) iletişimlerini desteklerken NR V2X; yayın (broadcast), grup yayını (groupcast) ve tek noktaya yayın yan bağlantı (unicast sidelink) iletişimlerini desteklemektedir (Castañeda Garcia vd., 2021):

- *Mod 1*: LTE-V2X'teki mod 3'e benzer şekilde, gNodeB<sup>26</sup> veya eNodeB; NR Uu arayüzünü kullanarak mod 1 altında V2V iletişimleri için yan bağlantı radyo kaynaklarını tahsis eder ve yönetir. Bu nedenle UE'lerin mod 1'i kullanarak çalışabilmesi için ağ kapsamında olması gerekir. Yan bağlantı (sidelink) radyo kaynakları; yan bağlantı iletişimlerine tahsis edilmiş

---

<sup>24</sup> Milimetrik Dalga Boyu (mmWave): Mikrodalgalar ve kızılötesi arasındaki elektromanyetik frekans aralığıdır (TechTarget, 2023a).

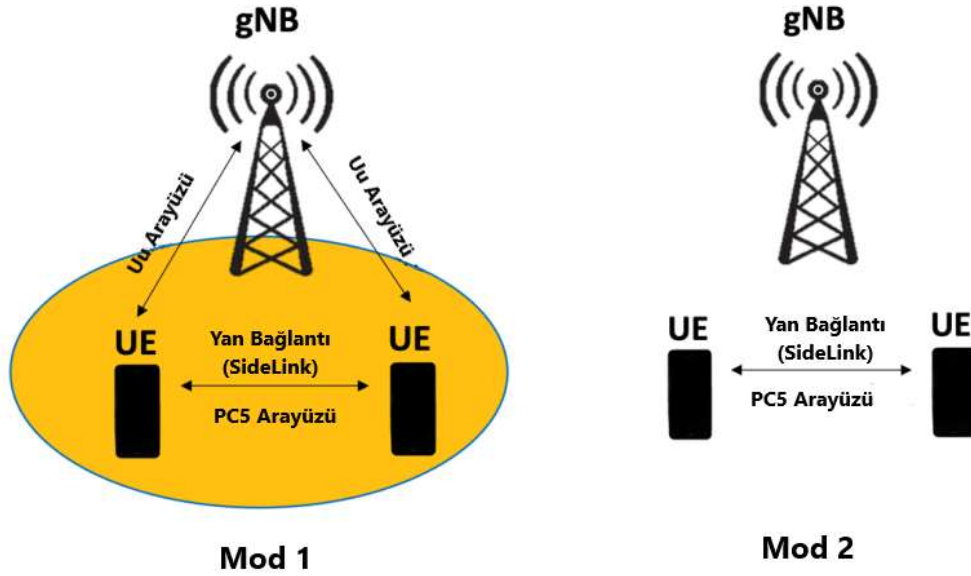
<sup>25</sup> Sidelink: Bir baz istasyonunu yardımıyla ya da yardımı olmadan, kullanıcıdan kullanıcıya doğrudan iletişim sağlayan, 3. Nesil Ortaklık Projesi (3GPP) tarafından standartlaştırılmış bir teknolojidir (IEEE Communications Society, 2023).

<sup>26</sup> gNodeB: Bir gNB (gNodeB), hücresel bir ağda, kullanıcı ekipmanı (UE) ile gelişmiş paket çekirdeği (evolved packet core, EPC) arasında bağlantı sağlayan bir düğümdür. Bir gNodeB, geleneksel bir hücresel ağdaki bir baz istasyonunun işlevsel eşdeğeridir (Inseego, 2023a).

lisanslı taşıyıcılardan veya kaynakları yan bağlantı ve yukarı bağlantı (uplink<sup>27</sup>) iletişimleri arasında paylaşılan lisanslı taşıyıcılardan tahsis edilebilir.

- *Mod 2*: LTE-V2X'teki mod 4'te olduğu gibi, UE'ler; NR V2X'te mod 2'yi kullanırken bir kaynak havuzundan yan bağlantı kaynaklarını (bir veya daha fazla alt kanal) özerk bir şekilde seçebilir. Bu durumda UE'ler, ağ kapsama alanı olmadan çalışabilir. Kaynak havuzu, UE ağ kapsama alanında olduğunda, gNB veya eNB tarafından yapılandırılabilir.

Şekil 50'de NR-V2X Mod 1 ve Mod 2'nin örnek gösterimi yer almaktadır (IEEE Communications Society, 2023).



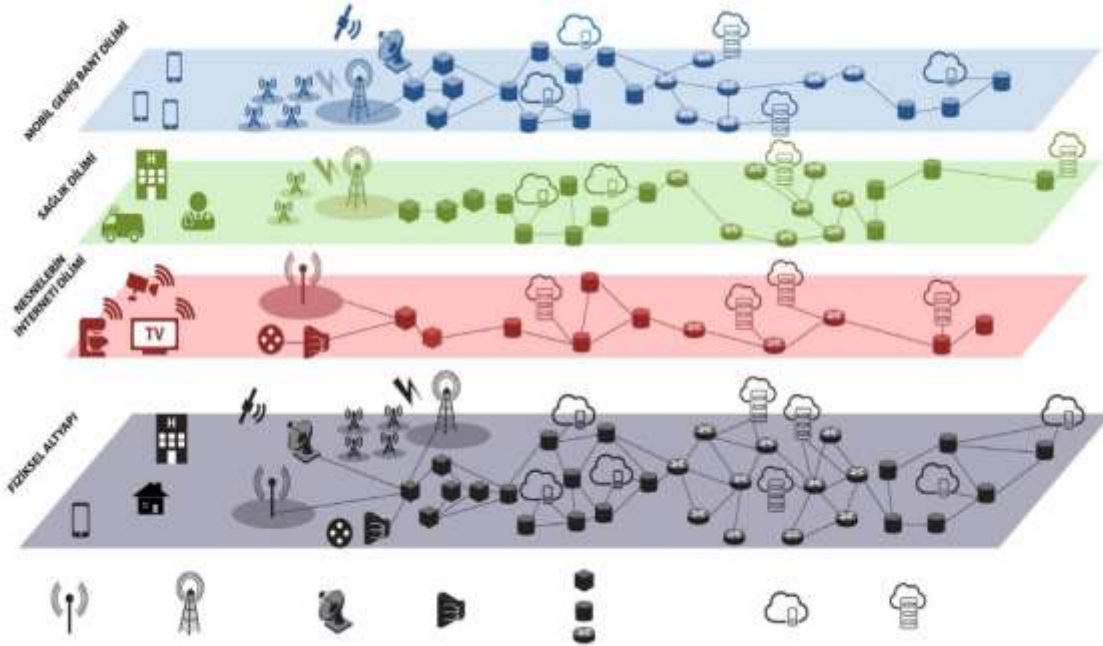
Şekil 50. NR-V2X Mod 1 ve Mod 2 Örnek Gösterimi

5G hedeflerine ulaşabilmek için kullanılan teknolojilerden biri, büyük MIMO (mMIMO) sistemidir (Chataut & Akl, 2020; Gahadza & Winberg, 2019; Gupta & Jha, 2015). 4G sisteminde kullanılan MIMO sisteminde, çoklu anten olarak iki ya da dört gibi düşük sayıda anten kullanılırken mMIMO sisteminde onlarca hatta yüzlerce anten kullanılması amaçlanmaktadır.

5G ile birlikte, haberleşme sistemlerinde kullanılan bir başka teknoloji ise sanal ağ katmanları oluşturabilmeyi sağlayan “ağ dilimleme teknolojisi”dir (Foukas vd., 2017; Subedi vd., 2021). Ağ

<sup>27</sup> Uplink: Yukarı bağlantı, ağ merkezlerinde (network hub), anahtarlarında ve yönlendiricilerinde bulunan ve bilgisayarlar veya diğer ağ aygıtları arasında bağlantıya izin veren bir bağlantı noktasıdır (Computer Hope, 2018).

dilimleme teknolojisinin hedefi, fiziksel altyapı kurulduktan sonra yazılım tanımlı ağ (SDN) ve SDN tabanlı ağ fonksiyonlarının sanallaştırılması (NFV) tekniklerini kullanarak farklı görevler ve hedefler için farklı sanal ağ katmanları oluşturmaktır. 5G'nin düşük gecikme kabiliyetini daha etkili kullanabilmek için düşük gecikmeli ağ dilimi oluşturma gibi teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır (Mei vd., 2019). Şekil 51'de çeşitli görevler için ağ dilimlendirme işleminin bir gösterimi yer almaktadır (Ordenez-Lucena vd., 2017).



**Şekil 51.** Ağ Dilimlendirme Örnek Gösterimi

5G kapsamında kullanımda olan bir diğer teknoloji de baz istasyonlarına düşen yükü azaltmak için önerilen “cihazdan cihaza (D2D) haberleşme modeli”dir (Adnan & Zukarnain, 2020; Kar & Sanyal, 2018). Bu modelde, iki farklı cihazın birbirleriyle baz istasyonunu kullanmadan direkt olarak iletişime geçebilmesi amaçlanmaktadır. Burada, Bluetooth ya da Wi-Fi gibi yerel kablosuz ağlar kullanarak iki cihaz birbiriyle direkt olarak iletişim kurabilmekte ya da hücrel ağ yardımıyla bağlantı kurabilmektedir. Öncelikle, iki cihaz birbiriyle baz istasyonu üzerinden bağlanmaktadır ve aralarında iletişim kurabilecekleri kişiselleştirilmiş bir kanal oluşturulmaktadır. Bu kanal, direkt D2D olabilmekte ya da hücrenin içerisinde bulunan iletim boğumlarını kullanarak oluşturulabilmektedir.

“Çoklu erişim uç bilişimi (MEC)” teknolojisi (Mao vd., 2017) sayesinde, kullanıcılar yapmaları gereken çevrim içi hesaplamaları; kilometrelerce ötedeki sunuculara göndermek yerine, bulunduğu hücrede veya komşu hücrelerde bulunan kenar sunuculara göndererek yapabilmektedir. Böylece hem daha az kanal kullanılacağı için hücresel ağların üzerindeki yük azalmış olmakta hem de verinin katettiği toplam mesafe kısaldığı için kullanıcının yaşadığı gecikme oldukça azalmaktadır.

Aynı zamanda 5G'nin IoT özelliği de kullanılarak her türlü nesne, K-AUS teknolojisinde kullanılabilir hale getirilebilmektedir. Bu sayede, hücresel ağ üzerinden internete bağlanan her türlü nesne, rahatlıkla K-AUS ağına katılabilecek ve bu şekilde K-AUS ağına kullanılabilecek sensör sayısı ve elde edilen veri miktarı da artırılabilir (Ericsson, 2023; Kunz vd., 2018).

Yüksek kapasiteye sahip 5G ağlarını da kullanabilecek olan C-V2X sistemi ile K-AUS ağlarında iletilen verilerin boyutunun artmasına da imkân sağlanabilecektir. Böylece video gibi yüksek boyutlu veriler de K-AUS ağları içerisinde kullanılabilecek ve bu da K-AUS teknolojisinin çok daha gelişmiş noktalara ulaşmasına olanak sağlayacaktır.

5G teknolojisinin getirdiği yüksek kapasite, düşük gecikme süresi ve gelişmiş güvenilirlik gibi ilerlemeler, 5GAA'nın “5G-V2X'e Doğru” makalesinde vurguladığı gibi, araçlar arasında gerçek zamanlı veri paylaşımının önünü açmaktadır. Ancak C-V2X gibi uygulamalarda, 5G kullanıma hazır olmasına rağmen, gerçek dünya uygulamalarına geçmeden önce daha fazla güvenlik testi yapılması gerekli görülmektedir. Bununla birlikte 5G teknolojisinin, hücresel iletişim endüstrisi tarafından sağlanan standart tabanlı, uygun maliyetli ve ölçeklenebilir erişim teknolojilerinden yararlanarak bağlantılı araç uygulamaları alanındaki ilerlemeyi hızlandırması beklenmektedir (5GAA, 2023a).

### **3.5.3. DSRC ve C-V2X Teknolojilerinin Karşılaştırılması**

IEEE 802.11p tabanlı (DSRC/WAVE ve ITS-G5) ve C-V2X (LTE-V2X ve NR-V2X) haberleşme teknolojileri, K-AUS alanında en yaygın kullanıma sahip olan haberleşme teknolojileridir. Bu teknolojiler hem V2V hem de V2I, V2P ve diğer unsurlar arasındaki haberleşmeyi sağlayarak güvenlik, trafik yönetimi ve sürüş deneyiminin iyileştirilmesine büyük katkı sunmaktadır.

IEEE 802.11p tabanlı kısa mesafeli haberleşme sistemleri, özellikle K-AUS hizmetleri için optimize edilmiş olup bu sistemler için tasarlandığı için kapasitesinin tamamını yalnızca bu

amaçlar doğrultusunda kullanabilmektedir. Bu durum, bu tür sistemlerin yüksek etkinlikle çalışmasına olanak sağlamaktadır. IEEE 802.11p teknolojisi, kısa mesafeli haberleşmeye odaklandığı için özellikle gecikme sürelerinin düşüklüğü ile öne çıkmaktadır. Trafikte zaman yönetiminin kritik öneme sahip olduğu göz önüne alındığında, düşük gecikme süreleri, araçların ve trafiğe katılan diğer unsurların hızlı karar alabilmesini sağlamaktadır. Bu durum, acil frenleme, kaza önleme ve trafik sinyalizasyonu gibi uygulamalarda avantaj sunmaktadır.

Diğer yandan C-V2X teknolojisi, yüksek kapasite sağlamaktadır. C-V2X; 5,9 GHz frekans bandını kullanabilmesine rağmen, diğer frekans bantlarını da kullanabilme yeteneğinden dolayı daha yüksek veri aktarım kapasitesine sahiptir. Kapsama alanı da kısa mesafeli haberleşme sistemlerine göre daha fazladır. Ayrıca, hücresel ağlara erişimi olan her türlü cihazı da V2X haberleşme sistemine ekleyebileceği için sadece araçlar ve RSU'lar değil, yayalar ve bisikletliler gibi dolaylı da olsa trafiğe etkisi olan unsurları da V2X haberleşme ağlarına eklemeye izin vermektedir (K. Ansari, 2018). Bu, özellikle yayalar ve bisikletlilerin güvenliğini artırma konusunda önemli bir rol oynamaktadır.

C-V2X'in LTE-V2X ve NR-V2X versiyonları, kapsama alanının genişliğini ve veri hızlarını daha da iyileştirmiştir. Özellikle NR-V2X (Yeni Radyo-V2X) teknolojisi, 5G altyapısının sağladığı düşük gecikme süreleri ve yüksek bant genişliği ile bu sistemin performansını önemli ölçüde artırmıştır. NR-V2X ile araçlar, sadece diğer araçlarla değil, altyapıyla ve çevresindeki diğer unsurlarla da gerçek zamanlı, yüksek hızda ve düşük gecikme ile haberleşebilir hale gelmiştir. Bu, örneğin, gerçek zamanlı trafik verilerinin hızlı bir şekilde paylaşılmasını ve sürücülerin olası tehlikelere karşı daha hızlı tepki vermesini sağlamaktadır.

Gecikme süresini azaltmak için hücresel ağ teknolojilerinde 6G'ye geçiş konusunda yapılan çalışmalar devam ederken mevcut kaynakların V2X haberleşmesi için nasıl kullanılacağı hakkında çalışmalar da yapılmaktadır. Bunun için en önemli teknolojilerden biri de ağ dilimlendirme teknolojisidir. Bu teknolojiyi kullanarak düşük gecikmeli bir ağ dilimini V2X haberleşmesi için ayırmak, yapılan çalışmalardan biridir. Bu ağ diliminin aynı zamanda birden fazla nesnenin katılımını destekleyecek bir biçimde yapılması, bir başka çalışma konusudur. V2X haberleşmeye dahil olabilecek nesne sayısının artması hem K-AUS hizmetleri için daha fazla sensör ve istatistik verilerin üretilmesini hem de yaya veya bisikletli gibi IEEE 802.11p destekli

sistemlerle haberleşmesi sağlanamayan unsurların sisteme dahil edilebilmesini sağlayacaktır. Böylece trafik güvenliği ve verimliliği için daha fazla kontrol elde edilebilecektir.

Dünyadaki IEEE 802.11p temelli sistemler benzer standartlarda tasarlanmalarına rağmen, coğrafi farklılıklar dolayısıyla farklılıklar olabilmektedir. Hücreyel ağ teknolojileri ise 4G'den sonra küresel bir standarda kavuşmuştur. Bu nedenle birlikte çalışabilirlik açısından C-V2X daha avantajlı bir yapı sunmaktadır (Chen vd., 2020).

DSRC ve C-V2X temelli kablosuz haberleşme teknolojilerini birbirinden ayıran ve benzerlik gösteren çeşitli karakteristik özellikleri, Tablo 3'te yer almaktadır.

**Tablo 3.** DSRC ve C-V2X Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması

Özellikler	DSRC	C-V2X
Kapsama Alanı	1 km (Haque vd., 2020).	> DSRC (Haque vd., 2020)
Gecikme	0.4 ms (GTT Wireless, 2021)	1 ms (GTT Wireless, 2021)
Aktarılan Veri Hacmi	2.5 Mbps (Haque vd., 2020)	> DSRC (Haque vd., 2020)
Kullanılan Standartlar	IEEE 802.11p IEEE 1609 SAE J2735	ETSI TS 123 287 ETSI TS 124 386 ETSI TR 137 985 SAE J3161

K-AUS hizmetlerinde kullanılan IEEE 802.11p tabanlı ve C-V2X haberleşme teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları, Tablo 4'te karşılaştırılmıştır.



**Tablo 4.** K-AUS Hizmetlerinde Kullanılan Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması

	DSRC		C-V2X	
	WAVE	ITS-G5	LTE-V2X	NR-V2X
Avantajları	-Özel frekans bandında çalışır.	-AUS için kullanılan Avrupa standardıdır.	-LTE ağları, dünya üzerinde yaygındır.	-Gelişmiş yetenekler için 5G'den yararlanır.
	-Yerleşik bir standarda sahiptir.	-Birden fazla uygulamayı ve hizmeti destekler.	-5G'ye kıyasla daha düşük maliyetli altyapı kurulumuna izin verir.	-Artırılmış spektral verimlilik sağlar.
Dezavantajları	-Kuzey Amerika dışında benimsenmesi sınırlıdır.	-Avrupa dışında sınırlı coğrafi kapsamı vardır.	-5G NR'ye kıyasla sınırlı bant genişliğine sahiptir.	-5G altyapısının yaygınlaşmasını gerektirir.
	-Hüresel teknolojilerle karşılaştırıldığında daha az esnekliğe sahiptir.	-Ağ entegrasyonu açısından C-V2X kadar çok yönlü değildir.		

Görüldüğü üzere IEEE 802.11p temelli sistemler ile C-V2X teknolojisinin birbirine göre avantajlarının olduğu hususlar vardır. Bundan dolayı bu iki haberleşme teknolojisini birleştiren hibrit haberleşme son zamanlarda ilgi görmeye başlamıştır. Hibrit haberleşme yöntemleri kullanılarak düşük gecikme gerektiren K-AUS senaryolarında IEEE 802.11p temelli protokollerin, yüksek kapasite ve kapsama alanı ihtiyacında ise devreye girecek C-V2X haberleşme teknolojilerinin tasarlanmasına başlanmıştır. Böylece hem acil durumlar gibi düşük gecikme gerektiren uygulamalar hem de video ve görüntü aktarımı gibi acil olmayan ama yüksek kapasite gerektiren uygulamalar için ideal çözümlerin bulunması amaçlanmaktadır. Burada önemli bir sorun ise kaynak tahsisi problemi olup bu konuda birçok literatür çalışması bulunmaktadır. Sistemin olabildiğince kapasitesini yükseltirken bunu mevcut kaynakları en verimli şekilde kullanarak yapmak; aynı zamanda, düşük gecikme gerektiren sinyalleri doğru kanalları kullanarak göndermek, hedefler arasındadır.

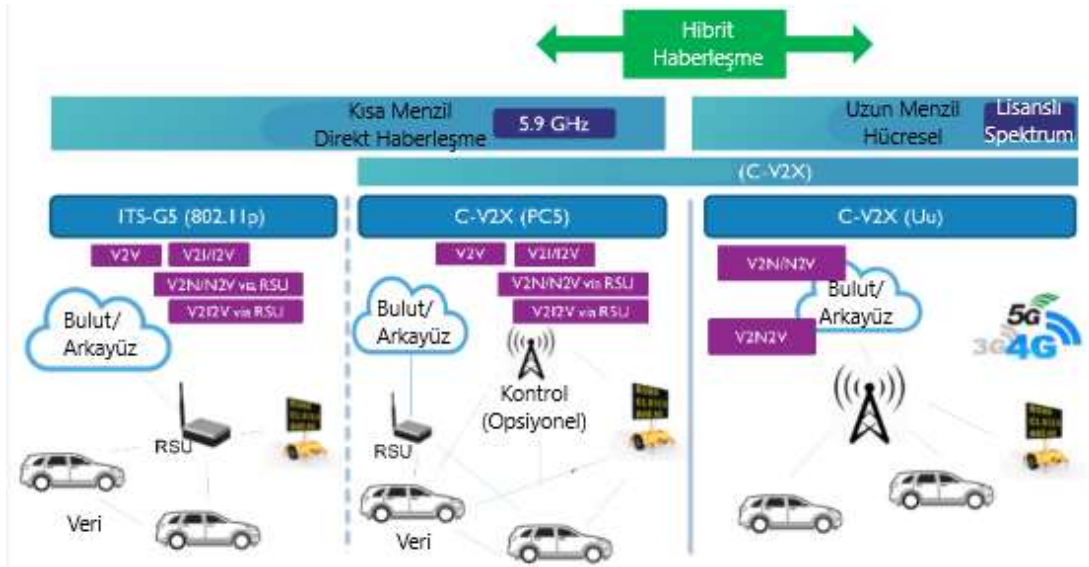
### 3.5.4. Hibrit Yöntem

Hibrit K-AUS haberleşme teknolojisi; yukarıdaki bölümlerde açıklanan IEEE 802.11p temelli teknolojilerin (DSRC/WAVE ve ITS-G5) ve C-V2X teknolojisinin (LTE-V2X ve NR-V2X) avantajlı yönlerini kullanarak oluşturulan sistemdir. Son zamanlarda bu alanda yapılan çalışmalar ilerlemiş ve bu sistemi daha verimli hale getirmek için araştırmalar yapılmaya başlanmıştır (K. Ansari, 2021; Mir vd., 2020a).

Hibrit yöntem; IEEE 802.11p temelli kısa mesafeli haberleşme sistemleri ya da C-V2X haberleşme sistemleri gibi belli bir grup altında standartlaştırılmamıştır. Bundan dolayı birçok ayrı çalışma grubu, bu iki ayrı teknolojiyi bir araya getiren hibrit araç ağlarını, kendi koşullarına bağlı olarak geliştirmeye başlamıştır.

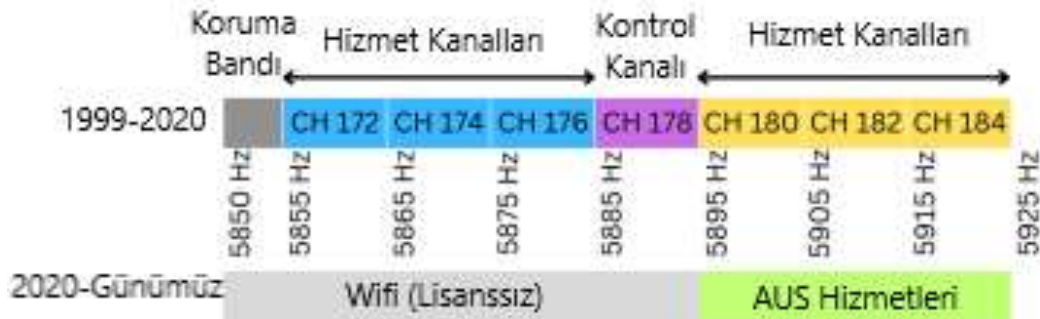
İyi bir hücrel ağ kapasitesi ve kapsama alanına sahip bir konumda, hibrit araç ağları daha çok hücrel ağlar üzerine şekillenebilecekken düşük hücrel ağ kapasitesine ve kapsama alanına sahip bölgelerde, maliyeti azaltmak için kısa mesafeli haberleşme teknolojileri kullanılabilir.

IEEE 802.11p temelli ve C-V2X haberleşme teknolojilerinin ortak olarak kullanıldığı sistemlerde; asıl amaç, her haberleşme kanalına olabildiğince kaliteli kaynak atayabilmek ve bu kaynak atamasını olabildiğince etkili bir şekilde yapabilmektir. Bu sayede, ihtiyaç duyulduğunda kısa mesafeli haberleşme sistemleri kullanılabilir veya gerektiğinde C-V2X sistemlerine geçiş yapılabilir. Bu sebeple literatürde, kaynak kullanımı probleminin nasıl çözülebileceği konusunda araştırmalar yapılmıştır (Mir vd., 2020b). Her iki ağda da hizmet kalitesi parametrelerini inceleyerek ona göre kaynak tahsisi yapan bu sistemlerde; kısa mesafeli haberleşmede kanalın doluluk oranı, C-V2X haberleşmede ise ağın üzerindeki yük üzerinden hesaplamalar yapılmaktadır. Kaynak tahsisi, seçilen ağ üzerinden yapıldıktan sonra, haberleşme kalitesinden ödün vermemek için ağ kaynaklarının gözlemlenmesi devam etmektedir. Bu şekilde gerektiği zaman tahsis edilen kaynaklar değiştirilmekte ve bu geçişin olabildiğince pürüzsüz olması amaçlanmaktadır. Şekil 52'de hibrit haberleşme örnek şeması bulunmaktadır (Naudts vd., 2021).



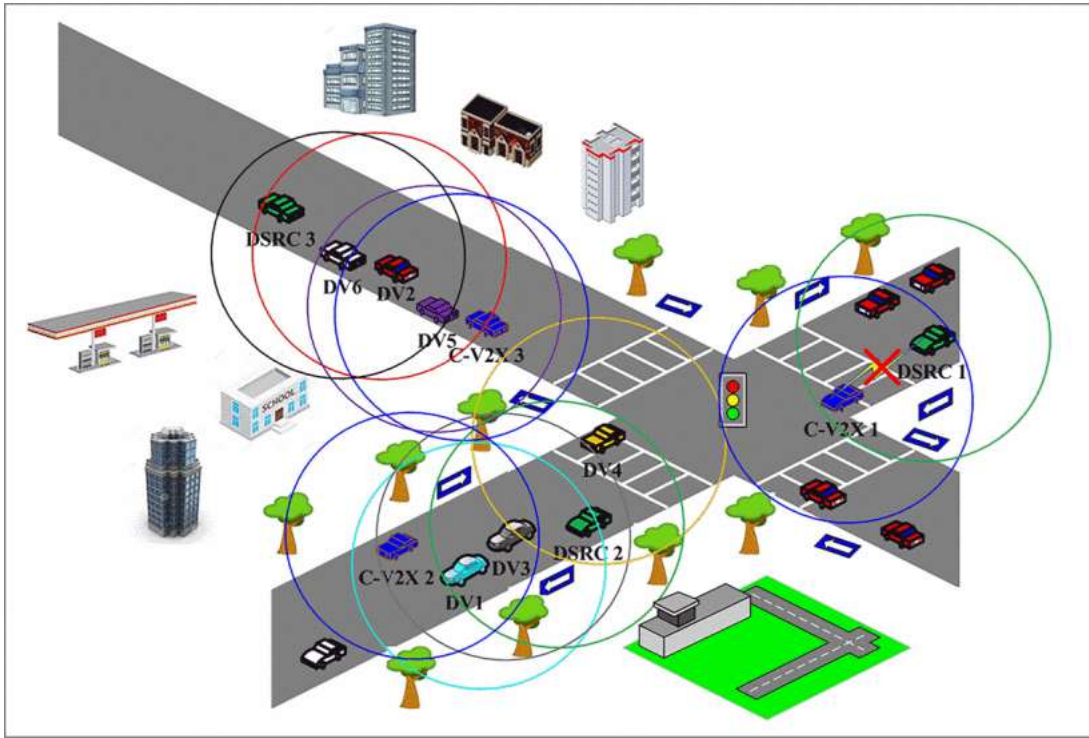
Şekil 52. Hibrit Haberleşme Örnek Şeması

1999 yılında AUS için 5,9 GHz civarında rezerve edilmiş, her biri 10 MHz'lik yedi kanal tahsis edilmiştir. Benzer bir tahsis Avrupa'da ise 2008 yılında yayınlanmıştır. Her iki durumda da tahsisler, dolaylı olarak DSRC'ye yöneliktir. Ancak otomobil üreticilerinin DSRC'yi araçlara tam entegre edememesi dolayısıyla 2020 yılında, ABD'de spektrum tahsisini düzenlemekten ve denetlemekten sorumlu olan FCC; 45 MHz'i, V2X'ten Wi-Fi'ye yeniden tahsis etme kararı almıştır. Bandın üst 30 MHz'i (5,895-5,925 GHz) Şekil 53'te gösterildiği gibi AUS için ayrılmıştır. Hem DSRC hem de C-V2X, bu 30 MHz bandı paylaşmaktadır; bu da her ikisinin de en iyi performansı elde edecek şekilde bir arada var olmaları gerektiği anlamına gelmektedir (Manshaei vd., 2024). Şekil 53'te AUS'a ayrılan 5,9 GHz bandının 2020 yılı öncesi ve sonrası frekans ve kanal tahsisi yer almaktadır (Manshaei vd., 2024).



Şekil 53. AUS'a Ayrılan 5,9 GHz Bandının 2020 Yılı Öncesi ve Sonrası Frekans ve Kanal Tahsisi

2019 yılında yapılan “Araç Ağlarında DSRC ve C-V2X’in Verimli Bir Arada Bulunmasını Sağlamak” adlı çalışmada, C-V2X ve DSRC’nin bir arada çalışabileceği homojen ve heterojen ortamlar incelenmiştir. Çalışmada, araca ve ortama göre orada bulunan radyo teknolojisi donanımları değişebileceği için aynı yol hattı içinde, bu iki teknolojidenden de yararlanmanın mümkün olması gerektiği belirtilmiştir. Bu problemi çözmek için ise çift arayüzlü araçları (dual interface vehicles, DV) önceliklendirmek için çoklu ölçüm içeren ve farklı radyo erişim teknolojileriyle donatılmış araçlar arasında sağlam iletişim sağlayan, hizmet kalitesine duyarlı bir aktarma algoritması (quality of service aware relaying algorithm, QR) ortaya atılmıştır. QR algoritması, paket aktarma hizmeti için periyodik bir işaret yayın mesajı kullanmaktadır. Aracın konumu, yönü, kimliği ve hızı gibi konum bilgileri, işaret mesajına gömülmektedir. Şekil 54’te, çift arayüzlü araçların ve IEEE 802.11p veya C-V2X ile gömülü araçların bir arada bulunmasına ilişkin bir örnek gösterilmiştir (Ghafoor vd., 2020).



**Şekil 54.** Çift Arayüzlü Araçların ve IEEE 802.11p veya C-V2X ile Gömülü Araçların Bir Arada Bulunması

## BÖLÜM IV

---

### 4. K-AUS HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİNE İLİŞKİN ÇALIŞMALAR

Uluslararası alanda, K-AUS hizmetlerinde farklı haberleşme teknolojilerinin kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar incelenerek farklı teknolojilerin avantajları ve dezavantajları ortaya koyulabilmektedir. Bu bölümde; Almanya, Avusturya, Birleşik Krallık, Fransa, İspanya ve İtalya'nın aralarında yer aldığı Avrupa'dan altı ülke; Avustralya, Çin, Güney Kore ve Japonya'nın aralarında yer aldığı Asya-Pasifik bölgesinden dört ülke ve ABD tarafından yayınlanan strateji belgeleri ve raporlar incelenmiş, ülkelerde yapılan K-AUS çalışmaları araştırılmıştır. Araştırma kapsamında elde edilen bilgiler, ilgili alt başlıkta incelenmiştir.

#### 4.1. Dünyada K-AUS Haberleşme Teknolojilerine İlişkin Çalışmalar

##### 4.1.1. Avrupa Birliği ve Avrupa Ülkeleri

K-AUS hizmetlerinin etkin, sürekli ve birlikte çalışabilmesi, yaygın bir biçimde uygulanabilmesi için haberleşme teknolojilerinin gelişmiş olması ve uygulamaya uygun olarak seçilerek kullanılması önemlidir. Bu bağlamda, K-AUS haberleşme teknolojileri ile ilgili olarak AB tarafından yayınlanan çeşitli strateji belgeleri, raporlar ve standartlar bulunmaktadır.

“DATEX II”; Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) tarafından standardize edilen çok parçalı bir standarttır. Trafik bilgisi ve trafik verilerinin Avrupa'da iletimi için kullanılan elektronik bir dil olarak tanımlanmaktadır. Bu, kontrol merkezleri arasında trafikle ilgili verilerin paylaşılması için kullanılan bir standarttan; kişilerin ve malların güvenli, çevreci ve verimli bir şekilde seyahat etmelerine katkı sağlamak amacıyla tüm ulaşım ekosisteminin dijitalleştirilmesini ve otomasyonunu destekleyen tutarlı bir standartlar kümesine dönüşmüştür. Bu standardın oluşturulmasına, 2023 yılında başlanmıştır (Datex II, 2023a).

DATEX II tarafından sağlanan standart seti ve gereklilikler kapsamında uygulamaya koyulan K-AUS senaryosunda; merkezden merkeze (C2C) haberleşme, altyapıdan merkeze (I2C) haberleşme ve altyapıdan altyapıya (I2I) haberleşme gibi farklı haberleşme sistemlerinde hangi protokollerin kullanılacağına karar verilmektedir. DATEX II; direkt olarak kullanılacak haberleşme protokolünü sağlamamaktadır, fakat operatörlerin kullanılacak haberleşme protokolünü seçmelerinde yardımcı

olacak bir araç sağlamaktadır. Bu seçim sürecinde dikkat edilmesi gerekenler ise bölgesel altyapı, regülasyonlar ve teknolojik durumdur.



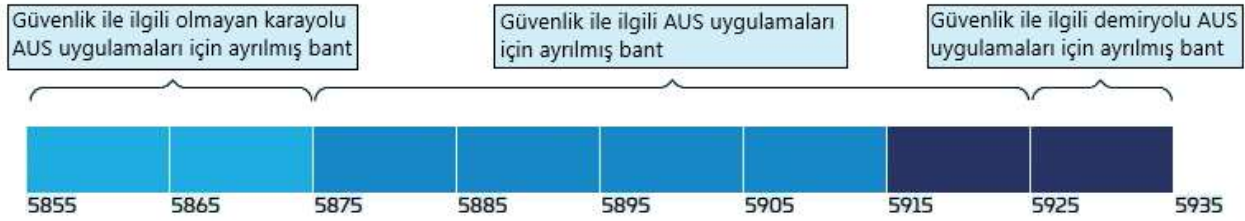
2016 yılında Avrupa Komisyonu tarafından “Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri için Avrupa Stratejisi: Kooperatif, Bağlantılı ve Otomatik Hareketlilik Yönünde Bir Dönüm Noktası” isimli strateji belgesi yayınlanmıştır. Bu belgede; sürücülerin, K-AUS mesajlarının iletilmesinde hangi haberleşme teknolojisini kullandığını önemsemedikleri, fakat Avrupa genelinde trafik ve güvenlik koşullarıyla ilgili tüm bilgileri sorunsuz bir şekilde almayı bekledikleri ve bunun, ancak hibrit bir haberleşme sistemi yaklaşımıyla sağlanabileceği vurgulanmıştır. Strateji belgesinde belirtildiği üzere, tüm K-AUS hizmetlerini araç içerisinde desteklemek için hibrit haberleşme sisteminin kullanılması gerekmektedir. Altyapı tarafında ise kullanılacak haberleşme teknolojisini seçimi; konum, hizmet türü ve maliyet verimliliğine bağlı olacaktır. K-AUS mesajları, kullanılan haberleşme teknolojisinden bağımsız olmalı ve böylece yeni haberleşme teknolojilerinin (örneğin 5G ve uydu iletişimi) hibrit haberleşme sistemine kolaylıkla dahil edilmesi sağlanabilmelidir.

Günümüz koşullarında, en yüksek faydayı vaat eden hibrit haberleşme sistemi, ITS-G5 ve mevcut hücresel ağların bir kombinasyonudur. Bu hibrit haberleşme sistemi, ITS-G5’in düşük gecikme süresi ile zaman açısından kritik ve güvenlikle ilgili K-AUS mesajlarını iletebilmekte ve mevcut hücresel ağların sahip olduğu geniş coğrafi kapsam hususlarından aynı anda yararlanabilmektedir (European Commission, 2016).



2016 yılında Avrupa Komisyonu “Avrupa’da K-AUS’un Yaygınlaştırılması Üzerine Çalışma” isimli raporu yayınlamıştır. Raporda belirtildiği üzere; ITS-G5, düşük gecikme süreli haberleşmeyi (100 milisaniyeden az) destekleme potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda, ITS-G5’in kullanılması ile sağlanacak hızlı bilgi alışverişi, kazaların önlenmesine (veya etkilerinin azaltılmasına) yardımcı olabilecek güvenlikle ilgili K-AUS uygulamaları için kritik bir olanak sağlayıcıdır (Asselin-Miller vd., 2016).

2020 yılında Avrupa Posta ve Telekomünikasyon İdareleri Konferansı'nın (CEPT) bir alt organizasyonu olan Elektronik Haberleşme Komitesi (ECC) tarafından kabul edilen ve yayınlanan dokümanlarda, AUS uygulamalarının 5,9 GHz bandında (5855-5925 MHz aralığı) çalışacağı belirtilmiştir. Aynı yıl içerisinde yayınlanan Avrupa Komisyonu Karar 2020/1426 kapsamında, bu frekans tahsisi desteklenmiştir. Aynı zamanda, AUS için ayrılmış bu frekans bandı, haberleşme teknolojisi fark etmeksizin kullanılabilir. Bu nedenle, C-V2X ve DSRC protokolleri kapsamında hayata geçirilen K-AUS uygulamalarının hepsinde, 5855-5925 MHz aralığı kullanılmaktadır. Şekil 55'te, Avrupa'da AUS kapsamında kullanılan frekans bandı yapısı gösterilmiştir (5GAA, 2021).



**Şekil 55.** Avrupa'da AUS Kapsamında Kullanılan Frekans Bandı Yapısı



2021 yılında AB AUS Platformu (EU EIP) tarafından "Başlangıç uygulamalarının ötesinde hizmet uygulamaları için yol haritası" isimli belge yayınlanmıştır. Bu belgede belirtildiği üzere, AB üye devletleri, K-AUS uygulamalarında hangi haberleşme teknolojilerinin kullanılacağı konusunda ayrılmış durumdadır. Otomotiv endüstrisinin önemli bir bölümü LTE-V2X'i tercih etmektedir, ancak Avrupa'da hayata geçirilen uygulamalarda ITS-G5 daha çok tercih edilmektedir. Hücresel ağ teknolojilerinde yaşanan gelişmeler ile birlikte, C-V2X haberleşme protokolünde LTE yerine 5G'nin kullanılması mümkün

hale gelmektedir. Avrupa'da K-AUS hizmetlerinde kullanılan haberleşme teknolojilerinin mevcut durumu değerlendirildiğinde, aşağıda listelenen hususlar gözlenmiştir:

- K-AUS uygulamalarında yer alan paydaşların çoğunluğu, K-AUS'un ITS-G5 ve hücresel haberleşmeyi içeren akıllı bir hibrit haberleşme teknolojisine dayanacağı görüşündedir.
- Otomotiv, telekomünikasyon ve ulaşım endüstrilerinin önemli paydaşları tarafından desteklenen iki temel V2X teknolojisi bulunmaktadır. Bunlar; ITS-G5 ve C-V2X'dir.

- Hibrit haberleşme teknolojisi, öncelikli bir durumdadır. Birçok ülkenin görüşü, hibrit haberleşmenin V2I uygulamaları açısından daha fazla esneklik sunduğu yönündedir (European ITS Platform, 2021).



2022 yılında AB AUS Platformu (EU EIP) tarafından “K-AUS’un yaygınlaştırılması için öneriler” isimli belge yayınlanmıştır. Bu belgede, K-AUS uygulamalarında kullanılan haberleşme teknolojilerine yönelik hususlar yer almaktadır. Belgede belirtildiği üzere; C-Roads Platformu, Hibrit Haberleşme Çalışma Grubu tarafından test edilerek kullanılabilirliği kanıtlanmış olan hibrit haberleşme teknolojilerinin kullanımını desteklemektedir. Aynı zamanda, bulut çözümler ve ilgili teknolojiler, güvenli bağlantıları desteklemeli ve tüm paydaşlar arasında uyumluluğu sağlamak için stratejilere dayanmalıdır.

Hücreli haberleşme teknolojilerinde 5G’nin rolünün artması; uzun mesafeli hücreli haberleşmenin, belirli alanlarda (kapsama alanı iyileştirmeleri ve sinyal verimliliği) daha gelişmiş hale gelmesinin önünü açmaktadır. Bu durum, kısa mesafeli bağlantıyı tamamlayarak hibrit haberleşme yaklaşımına faydalar sağlamaktadır.

5,9 GHz bandında kısa mesafeli haberleşme teknolojilerinin de kullanılabileceği durumda, C-V2X teknolojilerinden yararlanarak K-AUS hizmetlerinin sunulması ve ilgili verilerin alınması mümkün olabilmektedir. Yapılacak testler, ITS-G5 ve C-V2X gibi farklı haberleşme teknolojilerini aynı anda kullanabilen hibrit yol kenarı birimlerini içeren deneylerden oluşabilir (European ITS Platform, 2022).

Yayınlanan strateji belgelerine ve raporlara ek olarak AB tarafından fonlanmış veya Avrupa ülkeleri genelinde uygulaması olan K-AUS projeleri bulunmaktadır. Bu çalışmalarını yürüten çeşitli kurum ve kuruluşlar mevcuttur. 1991 yılında kurulan ve 120’den fazla üyesi bulunan ERTICO kamu-özel ortaklığı, bu kurumlardan birisidir. Bağlantılı, kooperatif ve otonom araç hareketliliği (CCAM) alanında çeşitli projeler geliştiren ERTICO; K-AUS haberleşme teknolojilerinin geliştirilmesi konusunda da çalışmalar yürütmektedir. C-Mobile, 5G-Drive, 5G-MOBIX gibi AB tarafından fonlanan projeler ve yenilikçi platformlar, ERTICO’nun hayata geçirdiği projeler arasındadır (ERTICO, 2023).



Avrupa’da K-AUS hizmetlerinin gelişmesine yönelik yürütülen projelerden bazıları aşağıda özetlenmiştir:

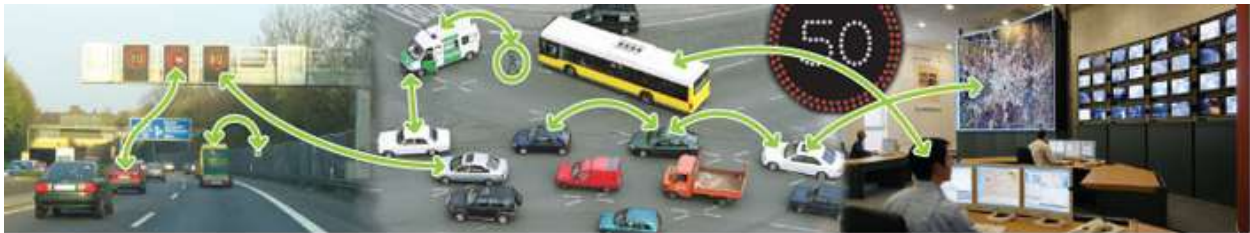
### ***CVIS Projesi***

“Kooperatif Araç-Altyapı Sistemleri (CVIS)” 2006 yılında başlayıp 2010 yılında tamamlanan ve AB tarafından fonlanmış bir projedir. Proje kapsamında altı test bölgesinde çalışmalar yürütülmüştür ve bu test alanlarının bulunduğu ülkeler Almanya, Fransa, İngiltere, İtalya, Hollanda-Belçika ve İsveç’tir (TRIMIS, 2010b).

CVIS Entegre Projesi ile araçların doğrudan birbirleriyle ve yol kenarı altyapısıyla iletişim kurmasına ve iş birliği yapmasına olanak tanıyarak sürücüler ile yol yetkilileri ve yöneticileri için önemli faydalar sağlamayı amaçlanmıştır. Projenin ana hedefleri, aşağıda listelenmiştir (Kompfner, 2010):

- V2V ve V2I arasında bir kablosuz ağ oluşturulması
- V2V ve V2I ortak hizmetleri için açık bir platform oluşturulması
- V2I yoluyla yol verimliliğinin ve güvenliğinin artırılması

CVIS kapsamında, uygulamaların hayata geçirilmesi için çoklu iletişim arayüzleri, yenilikçi konum tespit teknikleri ve destekleyici hizmetler içeren bir mobil yönlendirici oluşturulmuştur. CVIS uygulamaları, karayolu güvenliğini ve verimliliğini artırmak ve karayolu taşımacılığının çevresel etkisini azaltmak için Avrupa’daki yedi ülkedeki test tesislerinde hayata geçirilmiştir. Proje dahilinde kullanılabilen haberleşme teknolojileri ise C-V2X, DSRC, WLAN, Wi-Fi ve kızılötesi olmakla birlikte, bu teknolojiler CALM standartlarını temel alacak şekilde uygulamaya koyulmuştur (ERTICO, 2010). Şekil 56’da CVIS projesinden görseller yer almaktadır (CVIS, 2022).



**Şekil 56.** CVIS Projesi

### ***COOPERS Projesi***

“COOPERS Projesi”, 2006 yılında başlayıp 2010 yılında tamamlanan ve AB tarafından fonlanan bir K-AUS projesidir (TRIMIS, 2010a). Proje ile trafik yönetimi perspektifinden karayolu altyapısı ve araçlar arasında iki yönlü iletişimi kullanarak güvenlikle ilgili yeni hizmetleri, ekipmanları ve uygulamaları tanımlamak, geliştirmek ve test etmek hedeflenmiştir. COOPERS, çift yönlü V2I bağlantılarını, standartlaştırılmış bir kablosuz iletişim teknolojisi olarak kapsama dahil etmek için mevcut ekipman ve altyapıyı geliştirmeyi amaçlamıştır. COOPERS, V2I iletişimini kullanan uygulamaları hayata geçirmek için üç adımlı bir yaklaşım izlemiştir:

- Daha kesin durumlara dayalı trafik bilgisi ve sürücülere sağlanan tavsiyeler için yol sensörü altyapısını ve trafik kontrol uygulamalarını iyileştirmek ve yol ücretlendirme sistemleri ile V2I konsepti arasında bir bağlantı kurmak
- V2I gerekliliklerini yerine getirebilecek bir iletişim konsepti ve uygulamaları geliştirmek
- Hollanda, Almanya, Avusturya ve İtalya’da, yüksek yoğunluklu trafiğe sahip Avrupa otoyollarının önemli bölümlerinde test çalışmaları yapmak ve sonuçlarını paylaşmak

Test çalışmaları kapsamında, araçlara ve sürücülere, V2I iletişim teknolojisi kullanılarak gerçek zamanlı, yerel duruma dayalı, güvenlikle ilgili trafik ve altyapı durumu bilgileri sağlanmıştır. Sonuç olarak saha testlerine katılan yol operatörlerinin COOPERS Projesi’ni başarılı buldukları belirtilmiştir. Sistem, gerçek trafik koşullarında günlük operasyonda kullanılmıştır ve ilk sonuçlar, güvenlik ve kullanıcı kabulü ile ilgili beklentilerin karşılandığını göstermiştir (COOPERS, 2010).

### ***Drive C2X Projesi***

“Drive C2X Projesi” 2011 yılında başlayan ve 2014 yılında tamamlanan ve AB tarafından fonlanan bir K-AUS projesidir (CAR 2 CAR Communication Consortium, 2023). Drive C2X, yedi ulusal test sahasını bir araya getirerek ve yeni geliştirilen Drive C2X referans sistemine dayalı uyumlu bir test ortamı oluşturarak Avrupa’da, kooperatif sürüş için bir referans oluşturmayı hedeflemiştir (DRIVE C2X, 2014). Proje kapsamında yedi test sahası kullanılmıştır. Her test sahası, farklı bir Avrupa ülkesinde yer almış olup Şekil 57’de, Drive C2X test sahaları gösterilmiştir (Schulze vd., 2014).



**Şekil 57.** Drive C2X Test Sahaları

Drive C2X referans sistemi, saha testleri için teknolojik bir temel oluşturmayı hedeflemiştir. Drive C2X'ten önce yapılan projelerin sonuçları ile ETSI TC ITS standardizasyonundaki son gelişmeler birleştirilmiştir. Drive C2X, farklı haberleşme teknolojilerini bir araya getirerek kullanmıştır. Oluşturulan sistem, hücreli iletişimle (3G ve 4G) desteklenen IEEE 802.11p tabanlı DSRC teknolojisini kullanmıştır ve ad-hoc ağlarını da kapsamıştır.

### ***ITSSv6 Projesi***

“ITSSv6 Projesi”, 2011’de başlayan ve 2014’te tamamlanan bir Avrupa projesidir. Projenin liderliğini Fransa yapmıştır. Almanya ve İspanya, projenin üye ülkeleri arasında yer almıştır. ITSSv6 Projesi; ETSI, ISO ve IETF’deki mevcut standartlar ve CVIS ve GeoNet Projelerinde bulunan IPv6 yazılımı temel alınarak oluşturulmuştur (IPv6, bilgisayarların internete bağlı diğer bilgisayarları ve cihazları özel olarak tanımlamasını ve yerini saptamasını sağlayan internet protokolünün son sürümüdür (V2 Cloud, 2022). Projenin ana hedefi, AUS-İ referans mimarisi için optimize edilmiş bir IPv6 uygulaması sunmaktır. ITSSv6 kapsamında tanımlanan işler aşağıda özetlenmiştir (ITSSv6, 2011):

- Mevcut IPv6 ile ilgili AUS-İ standartlarının geliştirilmesi ve eksik özelliklerin belirlenmesi; böylelikle, AUS-İ'lerin geliştirilen ve eksiklikleri giderilen standartlar ile tekdüzeleştirilmesi ve aralarında kurulan iletişimin sağlanması, kolaylaştırılması ve uygulanabilirliğinin artırılması
- IPv6 ile ilgili AUS-İ standartlarının uygulanması
- Uygulamanın doğrulanması ve performansının bilimsel olarak değerlendirilmesi
- IPv6 AUS-İ belleğinin, seçilen üçüncü taraf platformlara taşınması
- Üçüncü taraf platformların, IPv6 AUS-İ'lerin kullanımında desteklenmesidir.

ITSSv6 tarafından sağlanan IPv6 AUS-İ belleği, IEEE 802.11p ve 2G/3G haberleşme teknolojilerini desteklemiştir ve AUS-İ'nin oynadığı role göre (yol kenarı, araç, merkezi) farklı şekilde yapılandırılmıştır (ITSSv6, 2011).

Avrupa ülkelerinde, dijitalleşmenin, haberleşme sistemlerinin ve K-AUS uygulamalarının, geliştirilmesi amacıyla yürütülen çalışmalardan bazıları aşağıdaki bölümlerde özetlenmiştir:

#### **4.1.1.1. Almanya**

Almanya'da, haberleşme teknolojilerinin geliştirilmesine ve kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik çeşitli strateji belgeleri yayınlanmıştır. Bunlardan biri olan "Dijital Almanya 2015"; 2015 yılına kadar olan dönem için öncelikleri, görevleri ve projeleri belirlemiştir ve aşağıdaki hedefleri gerçekleştirmeyi amaçlamıştır (Federal Ministry of Economics and Technology (BMWİ), 2011):

- Ekonomik sürecin tüm segmentlerinde haberleşme teknolojilerinin kullanımıyla rekabet gücünü arttırmak
- Gelecekte karşılaşılabilecek zorlukları aşmak için dijital altyapıyı ve ağları genişletmek
- Kullanıcıların kişisel haklarını, gelecekteki internet ve yeni medya kullanımında güvence altına almak
- Haberleşme teknolojileri sektöründeki araştırma ve geliştirmeyi hızlandırmak ve Ar-Ge bulgularının ticarileştirilebilir ürünlere ve hizmetlere dönüştürülmesini hızlandırmak
- Yeni medya kullanımıyla ilgili temel, ileri ve sürekli eğitimler yoluyla becerileri ve yetenekleri güçlendirmek

- Sürdürülebilirlik ve iklim koruma, sağlık, hareketlilik, yönetim ve vatandaşların yaşam kalitesinin iyileştirilmesi de dahil olmak üzere sosyal sorunlarla başa çıkmak için haberleşme teknolojilerini tutarlı bir şekilde kullanmak

Strateji belgesi içerisinde, haberleşme teknolojilerinin kullanımına dair bölümler yer almaktadır. Bu bölümlerden biri trafik alanındaki kullanım ile ilgilidir. Bu bölümde çeşitli hedefler belirlenmiştir ve bu hedefler aşağıda listelenmiştir (Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi), 2011):

- Karayolu taşımacılığı alanında akıllı ulaşım sistemlerinin yaygınlaşması için çerçeve oluşturma konusunda 2010/40/AB Direktifi'nin (European Union, 2010) uygulanması
- Akıllı trafik yönetimine yönelik ulusal bir eylem planı taslağı hazırlanması. Bu taslak aşağıda belirtilen önceliklere sahiptir:
  - Ortak önceliklerin belirlenmesi ve ortak önlemler ile araçlar üzerinde anlaşmaya varılması yoluyla akıllı karayolu trafik sisteminin geliştirilmesinde ve uygulanmasında, Almanya genelinde bir yönetimin sağlanması
  - Alman standartları aracılığıyla Alman işletmelerinin Avrupa düzeyinde teknik öncülüğünün sağlanması
  - Üye devletlerin kendi eylem planlarını benimsemeleri gerekliliğinin karşılanması
- Ulaştırma Araştırma Programı, Hareketlilik ve Ulaştırma Teknolojileri aşağıda belirtilen konulara yoğunlaşmıştır:
  - Akıllı lojistik
  - 21. yüzyılda kişisel hareketlilik
  - Akıllı altyapı (Federal Ministry of Economics and Technology, 2011).



2016'nın sonbaharında, Federal Hükümet; Almanya için 5G stratejisini başlatmıştır. Bu, 5G ağlarının ve uygulamalarının erken aşamada geliştirilmesini destekleyecek bir çerçeve oluşturmaktadır. "Almanya için 5G Stratejisi", 2025 yılına kadar Almanya'da 5G ağlarının yaygınlaştırılması için alanları ve bağlamları tanımlamaktadır. Stratejinin hedefi, Almanya'yı 5G uygulamaları için önde gelen bir pazar haline getirmektir. Bu hedefi, beş eylem alanında özel odak noktaları belirleyerek desteklemektedir (The Federal Government, 2017).

- Ağ yaygınlaştırmasının hızlandırılması
- Talebe dayalı frekansların sağlanması
- Telekomünikasyon ve kullanıcı endüstrileri arasındaki iş birliğinin teşvik edilmesi; standardizasyonda kullanıcı endüstrilerinin gereksinimlerinin, fikirlerinin ve çözümlerinin dikkate alınması
- Hedefe yönelik ve koordineli araştırmalar yapılması
- Şehirlerde ve kasabalarda 5G'nin erkenden aktif edilmesi

Ayrıca, bu strateji belgesinde belirtildiği üzere 5G teknolojisinin uygulama senaryoları arasında bağlantılı araç teknolojileri, AUS ve akıllı şehirler yer almaktadır.



“Dijital Strateji 2025”, Alman Hükümeti’nin dijitalleşme konusundaki önceliklerini tanımlamaktadır. Özellikle dijital yeteneklerin geliştirilmesi ve yeni araçların kullanımının teşvik edilmesiyle Almanya’nın dijitalleşme süreçlerini iyileştirme hedefi benimsenmiştir. Strateji, dijitalleşme için önemli olan 10 ana konu üzerine odaklanmıştır (EU Digital Skills & Jobs Platform, 2022). Bu konulardan biri, 2025 yılına kadar Almanya için bir Gigabit fiber optik (F/O) ağı oluşturmaktır. Yüksek kapasiteli, yaygın olarak erişilebilir ve düşük gecikmeli bir dijital altyapının oluşturulması

önemli olup bu üçlü gereksinimi yerine getirmek için 2025 yılına kadar Almanya’da bir Gigabit F/O ağı inşa etme hedefi, stratejide yer almaktadır (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2016).

Yukarıda bahsedilen çalışmaların yanı sıra Almanya’da yürütülen K-AUS projeleri aşağıda özetlenmiştir:

### ***SimTD (Güvenli ve Akıllı Hareketlilik-Almanya Test Alanı)***

“SimTD Projesi”, gerçek dünya uygulaması olan ve 2009 yılında başlayıp 2013 yılında sonuçlanan bir K-AUS projesidir. Proje kapsamında, V2X iletişim teknolojilerinin araştırılması ve uygulanması amacıyla gelecekte elde edilebilecek güvenlik ve akıllı hareketlilik kazanımları araştırılmıştır. Bu bağlamda, belirlenen trafik senaryoları (V2V ve V2I uygulamaları) öncelikle Frankfurt şehrinde bulunan test bölgesinde test edilmiştir. Ardından, bu uygulamaların tam

verimlilik ile hayata geçirilmelerini sağlamak adına politik, ekonomik ve teknolojik parametreler üzerine çalışmalar yapılmıştır (AS+P, 2013).

SimTD projesinde hayata geçirilen K-AUS uygulamalarında, IEEE 802.11p tabanlı DSRC teknolojisi kullanılmıştır. Araçlar arasında ve araçlar ile altyapı arasında gerçekleştirilen veri alışverişi 5,9 GHz bandında çalışan ITS G5 üzerinden sağlanmıştır (FOT-Net WIKI, 2015a.).

### ***CONVERGE Projesi***

2012 yılında başlayıp 2015 yılında sonuçlanan “CONVERGE Projesi”, kooperatif sistemlerin mimarisini oluşturmak için hayata geçirilmiştir. Projenin ana hedefi, bölgeler arası/uluslararası bağlantıya sahip, sağlayıcıdan bağımsız, ölçeklenebilir, esnek, güvenli ve hibrit haberleşme sistemi kullanan bir V2X sistem ağı mimarisi oluşturmaktır. Bu amaçla temel ağ mimarisinin tanımlanması ve bilgi teknolojilerinin güvenliği ve gizliliği ile veri yönetimini içeren kavramların geliştirilmesi hedeflenmiştir (Asselin-Miller vd., 2016).

Proje kapsamında DENM mesajlarının sadece ITS-G5 kullanılarak değil, 3G ve LTE üzerinden de iletilebilmesi yönüyle CONVERGE, hibrit haberleşme teknolojilerinin kullanıldığı öne çıkan bir projedir.

### ***K-AUS Uygulama Koridoru (Hollanda-Almanya-Avusturya)***

2013 yılında başlayıp 2017 yılında tamamlanan bu proje; Hollanda, Almanya ve Avusturya'dan geçen bir koridorun, K-AUS uygulamaları gerçekleştirilebilecek şekilde altyapısal olarak hazırlanması ile başlamıştır. Sınır ötesi bir proje olması yönüyle Avrupa'da birlikte çalışabilir ve uyumlu K-AUS uygulamalarının hayata geçirilmesi konusunda önemli kazanımlar sağlamıştır. Şekil 58'te K-AUS uygulama koridoru gösterilmiştir (Bundesministerium für Digitales und Verkehr | BMDV, 2017).



**Şekil 58.** K-AUS Uygulama Koridoru (Hollanda-Almanya-Avusturya)

Bu koridorda hayata geçirilen K-AUS senaryolarında iletişim, DSRC (5,9 GHz, IEEE 802.11p) ve hücresel ağların (3G, 4G) kullanılabildiği hibrit bir sistemle sağlanmıştır (Asselin-Miller vd., 2016).

#### 4.1.1.2. Avusturya



2016 yılında Avusturya Ulaştırma, İnovasyon ve Teknoloji Bakanlığı tarafından “Avusturya K-AUS Strateji Belgesi” yayınlanmıştır. Stratejide belirtildiği üzere Avusturya’da yürütülen K-AUS projeleri, 2006-2010 yılları arasında yürütülen COOPERS Projesi ile başlamıştır ve bu proje kapsamında K-AUS geliştirme ve test çalışmaları yapılmıştır. Bu strateji belgesinde belirtilen hedeflere ulaşılabilmesi için çekirdek aktörler ve görevleri tanımlanmıştır. Bu doğrultuda, belirli aktörlere haberleşme teknolojilerinin altyapısal ve teknolojik olarak hazır hale getirilmesi görevi yüklenmiştir. Bu görevler, Hibrit

K-AUS haberleşme sisteminin kullanıma hazır hale getirilmesi ve ITS-G5 güvenlik çözümlerinin oluşturulmasıdır (Bundesministerium für Verkehr & Innovation und Technologie, 2016).

Avrupa Komisyonu’nun 2021 yılında yayınladığı ve Avrupa’daki ülkelerin internet ağıyla ilgili yayınlanan “Avrupa’da Geniş Bant Kapsamı 2021” adlı raporda, Avusturya’nın durumu da ele alınmıştır. Haziran 2021’in sonunda, ulusal (%6,5) ve kırsal (%30,1) alanlarda yeni nesil erişim



(NGA) kapsamında önemli bir büyüme kaydedildiği, neredeyse tüm kırsal hanelerin (%99,7), en az bir LTE ağına erişiminin bulunduğu ve 5G kapsamının %28,8 artarak kırsaldaki hanelerin %36,3'üne ulaştığı belirtilmiştir.

Sonuç olarak Avusturya, yüksek geniş bant kapsama seviyeleri göstermiştir. LTE kapsamı yaygınlaşmıştır ve 5G kapsamının genişletilmesi hızlanmıştır (European Commission, 2021).

Yukarıda bahsedilen çalışmaların yanı sıra Avusturya'da yürütülen K-AUS uygulamaları aşağıda özetlenmiştir:

### ***C-Roads Avusturya***

“C-Roads Avusturya” projesi, 2016 yılında başlamıştır. Proje kapsamında operasyonların yürütüleceği pilot bölgeler olarak Avusturya'nın üç büyük kenti olan Viyana, Graz ve Linz seçilmiştir. Teknolojik gelişmelerin uygulanma potansiyeli yüksek olan bu üç şehirde, toplam 25 ITS-G5 yol kenarı istasyonu kurulmuştur. Bu çalışmaların sonucunda, 2020 yılının ekim ayında, Linz şehri yakınlarındaki A1 karayolunda, C-Roads Avusturya Projesi kapsamında başarılı bir C-Roads çapraz testi gerçekleştirilmiştir (C-Roads, 2023a).

### **4.1.1.3. Birleşik Krallık**

Birleşik Krallık'ın 27 Şubat 2019 tarihinde yayınladığı ve “2010/40/AB Direktifi (European Union, 2010)”nin 6 ve 7. Maddeleri (Akıllı Ulaşım Sistemleri Direktifi olarak da bilinmektedir) çerçevesindeki belgelerde, K-AUS'un temelleri olarak kabul edilen V2V, V2I ve V2X haberleşme teknolojilerinin yasal altyapısı hazırlanmıştır. Bu belgelerde, çok fazla sayıda uygulama alanı bulunan K-AUS'un potansiyel güvenlik sorunlarına önceden hazır olmak için bu teknolojilerin standardizasyonunun oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır. Öngörülen yasa, “Gün 1” uygulamalarının gizlilik ve güvenlik kriterlerini belirlemeyi amaçlamaktadır.

Parlamentoda oluşturulan ulaştırma komisyonu, K-AUS uygulamaları için Wi-Fi teknolojisi ile de uyumlu çalışan ITS-G5 standardının kullanılmasını önermiştir. Zamana bağlılık konusunda daha az kritik olan V2I servisleri için ise mobil hatlarda da oldukça yaygın olarak kullanılan 3G ve 4G teknolojilerinin kullanılması daha uygun bulunmuştur. Bununla birlikte, yeni gelişen ve fark edilir oranda hız kazandıran 5G ve LTE-V2X teknolojilerinin, henüz stabil bir şekilde çalışacak kadar gelişmişlik seviyesine ulaşmadığı için K-AUS uygulamaları kapsamında kullanılmamasına karar verilmiştir. (UK Parliament, 2019).

Birleşik Krallık İş, Enerji ve Endüstriyel Strateji Bakanlığı'na bağlı olan Innovate UK, Ağustos 2021'de "Birleşik Krallık Ulaşım Vizyonu 2050: Hareketliliğin Geleceğine Yatırım" isimli raporu yayınlamıştır. Rapor; Birleşik Krallık'taki insanların bir bölgeden diğerine kesintisiz, güvenli, sıfır karbon emisyonlu ve pratik bir şekilde seyahat edebilecekleri bir gelecek inşa etmeyi amaçlamaktadır. Raporda; 2021 yılına kadar K-AUS uygulamalarının desteklenmesi, ancak güvenlikten kesinlikle ödün verilmeyecek şekilde yollarda daha fazla C-V2X donanımlı araç olması hedeflenmektedir. 2025-2030 yılları arasında ise 5G teknolojisinin her yerde kullanılması hedeflenmekte ve bu sürecin aslında bir geçiş aşaması olarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu aşamadan sonra, 6G tabanlı bir sistem geliştirilerek her araca C-V2X teknolojisi entegre edilmesi öngörülmektedir. 2050 için oluşturulan nihai vizyon ise yapay zekanın her kavşağı kontrol ettiği ve tam güvenliği garanti ettiği bir Birleşik Krallık'tır (Innovate UK, 2021).

Birleşik Krallık'ta yürütülen K-AUS uygulamaları aşağıda özetlenmiş olup bu projelerde çeşitli haberleşme teknolojilerinden faydalanılmıştır.

### ***ZENZIC***

2022 yılında başlayan, ZENZIC ve Commsignia şirketlerinin liderlik ettiği ve Birleşik Krallık'taki test alanlarının, V2X haberleşmesi ve test edilebilirliği açısından geliştirilmesinin hedeflendiği bu proje kapsamında, Vodafone ve Nokia firmaları ile birlikte çalışılmaktadır. Bağlantılı araçların yaygınlaştığı ve otonom araçlara geçişin hızlandığı süreçte, proje ile V2X sistemleri açısından adaptasyonun sağlanması amaçlanmaktadır. Birleşik Krallık hükümetinin, "Bağlantılı ve Otonom Araçlar (CCAV) Merkezi" aracılığıyla fonlayarak destek verdiği bu proje ile test koridorlarındaki V2X senaryolarını artırmak mümkün olacaktır. Bu sayede, trafikte daha güvenli ve kontrollü bir sürüş sağlanacaktır (Traffic Technology Today, 2022).

### ***Midlands 5G Denemeleri***

2021 yılında İngiltere'nin Batı Midlands bölgesinde, Vodafone ve Nokia iş birliğinde 5G temelli V2X haberleşme teknolojisi ile canlı aktarım özelliği test edilmeye başlanmıştır. Birleşik Krallık sınırları içinde C-V2X teknolojisinin ilk canlı uygulaması olan bu proje ile cep telefonları entegrasyonu sağlanmış; Birmingham, Coventry ve Wolverhampton'da merkezler kurulmuştur. Projeye, Londra merkezli veri paylaşım şirketi Chordant da destek vermektedir. Geliştirilen uygulama sayesinde her 10 saniyede bir veri alışverişi sağlanabilmektedir. Projenin ileride

ulaşmak istediği hedef ise bütün Avrupa ve Afrika'daki yol kullanıcılarının bu teknolojiye sahip olmasıdır (RCR Wireless, 2021).

#### **4.1.1.4. Fransa**

Avrupa Komisyonu'nun 2021 yılında yayınladığı ve Avrupa'daki ülkelerin internet ağlarıyla ilgili olan "Avrupa'da Geniş Bant Kapsamı 2021"adlı raporda Fransa'nın durumu da ele alınmıştır. Bu rapora göre Fransa, 2017'de evrensel sabit geniş bant kapsama alanına ulaşmıştır ve o zamandan bu yana NGA<sup>28</sup> ağlarını geliştirmeye odaklanmıştır. 2021'in ortalarına kadar NGA geniş bant hizmetleri, bir önceki yıla göre %4,7 artmıştır. Bununla birlikte, Fransa, incelenen ülkeler arasında en düşük NGA kapsamına sahiptir.

LTE kapsamında, kırsal alanlarda %99,7'ye ulaşılmıştır. 5G kapsamında ise AB ortalaması geride bırakılarak kırsaldaki hanelerin %48,2'sine ulaşılmıştır.

Sonuç olarak Fransa, evrensel sabit geniş bant kapsamına ulaşmıştır ve NGA ağlarını geliştirmeye odaklanmıştır. LTE hizmetleri yaygın olarak mevcuttur ve 5G kapsamının genişletilmesine devam edilmektedir (European Commission, 2021).

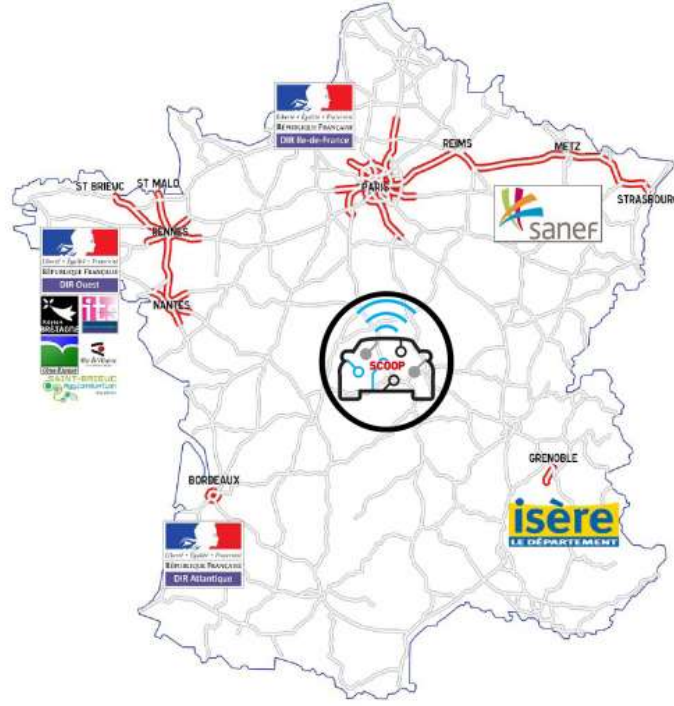
Fransa'da yürütülen K-AUS uygulamaları aşağıda özetlenmiş olup bu projelerde çeşitli haberleşme teknolojilerinden faydalanılmıştır.

#### ***SCOOP Projesi***

"SCOOP Projesi", V2V ve V2I haberleşmesine dayalı sistemlerin uygulamaya alınması için hayata geçirilen ve 2014 yılında başlayıp 2018 yılında tamamlanan bir pilot projedir. Yapılan çalışmalar, beş farklı pilot bölgede yürütülmüştür. SCOOP'un amaçlarından biri, yol güvenliğini ve aynı zamanda yol çalışması ve diğer bakım işlemleri için yollara müdahale eden yol bakım görevlilerinin güvenliğini iyileştirmektir (SCOOP Project: Connected Road and Vehicle, 2018a). Şekil 59'da SCOOP Projesi'nde yer alan pilot bölgeler gösterilmiştir (SCOOP Project : Connected Road and Vehicle, 2018b).

---

<sup>28</sup> Geleneksel ağların sağladığı kapasite ve hıza kıyasla daha yüksek hızlı ve geniş bant bağlantı sağlayan gelişmiş telekomünikasyon altyapısını ifade eder.



Şekil 59. SCOOP Projesi Pilot Bölgeleri

Proje kapsamında, araçlar ve altyapı arasındaki bilgi alışverişi, K-AUS için tasarlanmış kısa mesafeli bir iletişim teknolojisi olan ITS-G5'e dayanmaktadır. Aynı zamanda, projenin ikinci aşamasında, ITS-G5 standardı ile hücresel ağ teknolojileri olan 3G ve 4G'nin birlikte kullanıldığı hibrit haberleşme yöntemi de kullanılmıştır.

### ***InterCor Projesi***

“InterCor (Birlikte Çalışabilir Koridorlar) Projesi”, 2016 yılında başlayan ve 2019 yılında tamamlanan bir Avrupa K-AUS projesidir. Hollanda K-AUS Koridoru (Hollanda-Almanya-Avusturya), SCOOP projesinde tanımlanan Fransız koridoru, Birleşik Krallık'ın K-AUS koridoru girişimlerini ve Belçika'nın K-AUS girişimlerini birbirine bağlamayı amaçlamıştır.

Proje, araçların ve ilgili yol altyapısının; Fransa, Hollanda, Belçika ve Birleşik Krallık'tan geçen yol koridorlarında, hücresel, ITS-G5 veya her iki ağın bir kombinasyonu aracılığıyla veri iletimi sağlamayı amaçlamıştır. Proje kapsamında; 3G, 4G, ITS-G5 ve hibrit yöntem gibi farklı iletişim teknolojileri test edilmiştir. “13. Aşama-Pilot Değerlendirme Raporu Sürüm:1.0.” raporunun sonuç bölümünde belirtildiği üzere en etkili iletişim seçeneğinin hibrit haberleşme teknolojisi olduğu, ancak bu teknolojinin kullanımının karmaşık olduğu tespit edilmiştir (InterCor, 2020).

## ***C-Roads Fransa***

“C-Roads Fransa”, yenilikçi K-AUS çözümleri geliştirmeyi ve test etmeyi amaçlayan bir K-AUS pilot uygulama projesidir ve bu proje 2021 yılında sona ermiştir (C-Roads, 2023b). Bu proje kapsamında sürücülere sunulan hizmetler, güvenlik açısından kritik olmayan uygulamalar için ITS-G5 ve hücresel ağ arasında kesintisiz geçiş sağlayabilen bir hibrit haberleşme teknolojisi ile desteklenmiştir.

### **4.1.1.5. İspanya**



İspanya'nın dijitalleşmesi ve ülke genelinde dijital teknolojilerin etkin ve yaygın bir şekilde kullanılması için “Dijital İspanya 2025” stratejisi yayınlanmıştır. Bu stratejide; dijital bağlanabilirlik, 5G teknolojisinin kullanımını artırma, siber güvenlik, vb. konulara değinilmiş, dijital bağlanabilirlik konusunda ülkenin kentsel ve kırsal alanlardaki ve büyük küçük şirketler arasındaki

bağlantı farklılıkları göz önüne alınmıştır. Bu doğrultuda, herkese ve her bölgeye yeterli seviyede bağlantı kalitesi sağlanması hedeflenmiştir. Aynı zamanda, geniş bant altyapısını genişletmek ve kalitesini arttırmak da hedefler arasında yer almaktadır.

İspanya'nın dijital stratejisini belirleyen bir diğer odak alanı ise 5G teknolojisidir. 5G uygulamalarının ve kullanımının yaygınlaşması amacıyla 5G pilot projelerin hayata geçirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, İspanya'nın ulaşım ağında kesintisiz bir şekilde 5G bağlantı olanakları sunan koridorların, 2025 yılına kadar hayata geçirilmesi planlanmaktadır.

İspanya, siber güvenlik de dijitalleşme konusunda önemli adımlar atmaktadır. Dijital İspanya 2025 kapsamında, şirketlerin ve halkın siber güvenlik kapasitelerinin artırılması hedeflenmektedir. Genişletilmesi ve geliştirilmesi planlanan 5G ağların, daha güvenli hale gelmesi de siber güvenlik alanındaki gelişmeler ile mümkün olacaktır. Aynı zamanda, siber güvenlik operasyon merkezlerinin kurulması, strateji planında ele alınmaktadır (Gobierno de España, 2020).



“Dijital İspanya 2025” strateji belgesi daha sonra güncellenerek “Dijital İspanya 2026” olarak yayımlanmıştır. Bu strateji belgesinde, kapsamın bir bölümü önceki versiyon ile aynıdır. Ek olarak altyapı ve teknoloji alanında geniş bant bağlanabilirlik altyapısının genişletilmesi, 5G ve 6G alanlarında Ar-Ge çalışmaları yapılması, yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler alanına olan ilginin artırılması ve yapay zekâ gibi yeni teknolojilerin uygulamalarının yaygınlaştırılması amacıyla yatırımlar yapılması konuları yer almaktadır (Gobierno de España, 2022). K-AUS hizmetlerinin gelişimi, çeşitlendirilmesi ve kazanımlarının artırılmasında, yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin rolü büyüktür. Bu nedenle bu strateji belgesi kapsamında yapılması planlanan yatırımların, K-AUS alanına faydaları olacağı değerlendirilmektedir.

Yukarıda bahsedilen çalışmaların yanı sıra İspanya’da yürütülen K-AUS çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

### ***SISCOGA***

İspanya’da, V2X uygulamaları için 2010 ve 2011 yıllarında, “SISCOGA” isimli bir saha operasyonel test çalışması yapılmıştır. Bu çalışma, Galiçya’da bulunan ve mevcut karayolu ağını kullanan akıllı bir koridorda gerçekleştirilmiştir. Kuzeybatı Yönetim Trafik Merkezi, Galiçya Otomotiv Teknoloji Merkezi (CTAG) ve Trafik Genel Müdürlüğü (DGT) iş birliğiyle; RSU’lar ile donanım ve yazılıma sahip 100’den fazla araç çalıştırılmak için hazır hale getirilmiştir. DGT çatısındaki Trafik Yönetim Merkezi, yollara kurulan saha ekipmanlarını kontrol etmektedir. Bu istasyonlar, 3G üzerinden haberleşerek saha ekipmanlarının durumlarının sürekli olarak izlenmesini mümkün kılmıştır (FOT-Net WIKI, 2015b). Bu proje kapsamında RSU’ların iletişimi 3G ile sağlanırken araçların kurduğu iletişimi temsil eden V2V ve V2I haberleşme ise 5,9 GHz bandında çalışan DSRC teknolojisi ile sağlanmıştır.

### ***C-Roads İspanya***

“C-Roads İspanya”, her biri kendine özgü teknolojileri ve K-AUS hizmetleri olan ve farklı ortakların katılımıyla çeşitli pilot bölgelerden oluşan bir projedir. Bu heterojenlik ile birçok senaryoda, bağlantılı hareketliliğin etkisini değerlendirmek amacıyla geniş bir kullanım yelpazesi oluşturulması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, pilot uygulama aşamasının etkili bir şekilde

yürütülmesi, doğru bir şekilde önceden planlamaya ve değerlendirme metodolojisinin tanımlanmasına bağlıdır. Belirlenen pilot bölge seti, ulusal düzeyde ve Avrupa düzeyinde birlikte çalışabilirliği ve farklı senaryolarda K-AUS hizmetlerinin katma değerini doğrulamak için dikkatle seçilmiştir (C-Roads, 2023c). Proje kapsamında belirlenen pilot bölgeler aşağıda özetlenmiştir:

- *DGT 3.0*, İspanya’da yaklaşık 12.270 km’lik bir uzantı ile genel karayolu ağı boyunca yer almaktadır. Bu pilot bölge, İspanya’da bulunan TEN-T çekirdek ağının tamamını kapsamaktadır. DGT 3.0 kapsamında, hücresel tabanlı iletişim teknolojileri (3G ve 4G/LTE) kullanılarak K-AUS senaryoları hayata geçirilmiştir.
- *SISCOGA Extended*, ITS-G5 iletişim teknolojisini test etmek için hazırlanmış olan Vigo şehrinde olup şehrin metropol bölgesinde bulunan mevcut bir test sahası altyapısının genişletilmiş halini kapsamaktadır. Bu pilot bölgenin uzunluğu 150 km’dir.
- *Madrid Calle 30*, Madrid’te “Calle 30” yolu üzerinde, yaklaşık 32 km uzunluğunda olan pilot bölgedir. Bu alanda K-AUS senaryoları, hibrit haberleşme teknolojileri kullanılarak uygulanmıştır.
- *Kantabria pilot bölgesi*, İspanya’nın kuzeyinde yaklaşık 75 km uzunluğunda olan ve hibrit haberleşme teknolojileri (hücresel ve ITS-G5 teknolojilerinin birlikte kullanılması) kullanılarak hayata geçirilen K-AUS senaryolarının yer aldığı bir alandır.
- *Akdeniz bölgesi pilot sahası*, hibrit haberleşme teknolojileri kullanılarak Katalonya ve Endülüs’te bulunan seçili yol kesimlerinde, yaklaşık 125 km boyunca uygulamaya alınan K-AUS senaryolarını içermektedir.

Şekil 60’da C-Roads İspanya projesinde yer alan pilot bölgeler gösterilmiştir (C-Roads, 2023c).



Şekil 60. C-Roads İspanya Projesi Pilot Bölgeleri

Pilot bölgelerde yürütülen çalışmalarda, C-Roads İspanya projesi kapsamında hem hücresel hem DSRC hem de bu haberleşme teknolojilerinin bir arada kullanıldığı hibrit bir haberleşme sisteminin kullanıldığı gözlenmektedir.

### ***C-Mobile***

C-Mobile, kentsel hareketliliği ve güvenliği artırmak için K-AUS'un büyük ölçekli dağıtımına odaklanan bir Avrupa girişimidir. Proje; tehlike uyarıları, trafik güncellemeleri ve park yeri müsaitliği gibi gerçek zamanlı dijital hizmetleri, daha akıllı yol kullanımını destekleyen birleşik bir uygulamaya entegre etmektedir. C-Mobile; araçları, altyapıyı ve yol kullanıcılarını çeşitli şehirlere bağlayarak trafik akışını iyileştirmeyi, kazaları azaltmayı, seyahat sürelerini kısaltmayı ve çevresel etkileri düşürmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, daha verimli ulaşım operasyonlarını teşvik ederek ve Avrupa genelinde yenilikçi hareketlilik çözümlerini teşvik ederek ekonomik sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır (C-Mobile, 2024)..

### ***Barselona***

Barselona'da uygulanan K-AUS hizmetleri kapsamında, güvenlik ve trafik verimliliğine odaklanılmaktadır ve sürücülere; dikkatlerini artırmayı, ağ koşulları hakkında bilgilendirmeyi ve çevre dostu sürüşü teşvik etmeyi amaçlayan bildirimler sunulmaktadır. Tüm servis işlemleri, LTE tarafından desteklenmektedir ve Android işlemcili akıllı telefonlar üzerinden kullanılabilir (C-Mobile, 2023a).

### ***Bilbao***

Bilbao'da uygulanan K-AUS hizmetleri ile güvenlik, trafik ve park etme verimliliğine odaklanılırken sürücülere dikkatlerini artırmaya yönelik ağ koşulları ve park durumu hakkında bilgi vermeyi ve çevre dostu sürüşü teşvik etmeyi amaçlayan bildirimler sunulmaktadır (C-Mobile, 2023b). Uygulanan K-AUS hizmetleri, Android işletim sistemli cihazlarla kullanılabilen bir mobil uygulama üzerinden sunulmakta ve bu hizmetler LTE ile desteklenmektedir.



#### 4.1.1.6. İtalya



İtalyan Ticaret Ajansı (ITA), İtalya merkezli şirketlerin yurtdışındaki ticari gelişimini ve İtalya’da yabancı yatırımın çekilmesini destekleyen bir devlet kurumu olup 2021 yılında yayınladığı “Haberleşme Teknolojileri 2020 Kitapçığı”, İtalya’da haberleşme teknolojileri sektörünün 2020 yılındaki durumu konusunda bilgiler içermektedir. Raporda; hızlı internet bağlantısı (F/O ve ultra geniş bant), mobil internet (4G/5G), siber güvenlik, vb. alanlarda sektörlerdeki gelişimler ve mevcut durumdan bahsedilmektedir. NGA için ağ kapsamının 2020 yılında

altyapısal olarak genişletilerek İtalyan hane halkının %89’una ulaştığı ve bu oranın, AB ortalaması olan %86’nın üzerinde olduğu belirtilmektedir. 5G hazırlıkları açısından, İtalya şu anda Avrupa’da üçüncü sırada yer almakta olup kablosuz geniş bant kapsamında, AB seviyesinde uyumlaştırılmış spektrumun %94’ü tahsis edilmiştir. Aynı zamanda, her bir vatandaşın ve şirketin dijital kimliğinin oluşturulacağı dijital ortamın geliştirilmesi için F/O altyapısının oluşturulması ve 5G altyapısının güçlendirilmesi hedeflenmektedir. Ek olarak ultra geniş bant ve geniş bant altyapılarının kapsam ve hız olarak geliştirilmesi amacıyla yatırımlar yapılmaktadır. Siber güvenlik sektöründe ise ülkenin farklı alanlarında (Lombardiya, Ligurya, Emilia-Romagna, Piyemonte vb.) farklı yatırımlar ve araştırma ve geliştirme çalışmaları (enerji üretimi için endüstriyel kontrol sistemleri, elektrik enerjisi dağıtımı, tedarik zincirleri ve ulaşım) yapılmıştır. Bu çalışmalar, özellikle kritik haberleşme teknolojileri altyapıları için siber güvenliği sağlamak amacıyla yürütülmektedir. Bu kapsamda, dijital kimlikler ve gelişmekte olan bilişim teknolojileri (web, mobil, bulut ve IoT) kullanılarak veri güvenliğinin sağlanması hedeflenmektedir (Invest in Italy vd., 2020).



2021 yılında yayınlanan “Toparlanma ve Dayanıklılık Planı”nda; 5G, ultra geniş bant ve F/O ağlarının genişletilmesi ve geliştirilmesi hususları yer almaktadır. Bu çerçevede, “Görevler ve Bileşenler” başlığı altında, “Bölgesel Toplu Taşımanın Dijitalleştirilmesi” eylemi ile toplu taşımanın daha güvenli, verimli ve entegre hale gelmesini sağlamak için K-AUS projelerinin hayata geçirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, trafik güvenliğinin ve sağlanan hizmetlerin geliştirilmesi amacıyla K-AUS ve 5G altyapılarının uyumlaştırılması konularına önerilerde bulunulmuştur

(Council of Ministers, 2021).

Yukarıda bahsedilen çalışmaların yanı sıra İtalya’da yürütülen K-AUS projeleri aşağıda özetlenmiştir.

## **ANAS**

ANAS adlı özel şirket, İtalya’daki otoyolların inşası ve bu yollara akıllı altyapı sistemlerinin entegre edilmesi üzerine çalışmaktadır. Bu şirket tarafından inşa edilen yollarda, V2X haberleşmesi ve 5G haberleşme teknolojileri uygulamaları yer almaktadır (Connected Automated Driving, 2020). Böylece inşa edilen yollar, hayata geçirilecek K-AUS projelerinin haberleşme sistemleri için hazır hale getirilmektedir.

## ***Sürdürülebilir Şehir Hareketlilik Planı***

Turin şehrinde “Sürdürülebilir Şehir Hareketlilik Planı” hayata geçirilmiştir. Bu plan kapsamında şehir genelinde, K-AUS hizmetlerine, 5G haberleşmeye ve otonom araçlara uygun yollar dizayn edilmiştir. Proje kapsamında çalışılan yol ağı 35 km uzunluğundadır (Connected Automated Driving, 2020). Bu projenin hayata geçirilmesi ile gelecek K-AUS ve otonom araç çalışmalarında kurulacak haberleşme sistemleri için uygun ortam sağlanmış olacaktır (Città di Torino, 2024).

## **4.1.2. Asya-Pasifik Ülkeleri**

### **4.1.2.1. Avustralya**



Avustralya Altyapı, Ulaştırma, Bölgesel Geliştirme ve İletişim Bakanlığı’nın (Department of Infrastructure, Transport, Regional Development, Communications and the Arts); WSP, Deloitte ve Melbourne Üniversitesi ile yaptığı ortak çalışma sonucu 2022 yılının mart ayında yayınlanan “K-AUS Yayılmasına Destek Stratejilerine Öneri” adlı rapor ile Avustralya’nın gelecekte K-AUS alanında atacağı adımların planlanmasına katkıda bulunulmuştur. Bu bağlamda, güncel ulaşım ve iletişim teknolojilerinin durumu ve K-AUS uygulamalarının bu ortama

nasıl uyumlaştırılacağı, halihazırda kullanımda olan K-AUS uygulamaları, yasaların uygunluğu ve gelecekte yürürlüğü girebilecek olan yasa tasarıları ele alınmıştır. Bu konuların incelenmesi sonrasında ortaya çıkan sonuçlar değerlendirilerek millî bir plan oluşturulmuştur. İnsanlarda ve altyapıda dijital yeterliliği artırmaya yönelik çalışmalar başta olmak üzere belirli fikirler ortaya

çıkmiştir (Department of Infrastructure Transport Regional Development and Communications vd., 2022).

Yukarıda bahsedilen çalışmaların yanı sıra Avustralya’da yürütülen K-AUS projeleri aşağıda özetlenmiştir.

### ***iMOVE Avustralya***

K-AUS alanında Avustralya’nın lider kuruluşu olan iMOVE, Avustralya genelinde K-AUS teknolojisinin sağladığı tüm imkanları, ülkede sunmaya çalışmaktadır. Bu bağlamda; V2V, V2I ve V2X başta olmak üzere tüm araç ve altyapı gelişmeleri takip edilmektedir. Ayrıca, yürütülen bu projede, DSRC ve C-V2X teknolojilerinin bağımsız bir karşılaştırmasının yapılması hedeflenmiştir. Avustralya’nın K-AUS hizmetlerinde kullanacağı haberleşme teknolojilerine, proje kapsamında elde edilen sonuçlar ışığında karar verilmesi gerektiği belirtilmiştir (iMOVE Australia, 2022).

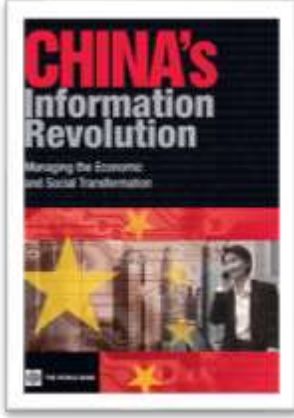
### ***Sıfıra Doğru***

Avustralya’nın Victoria eyaleti, “Sıfıra Doğru” vizyonuyla trafik kazalarına bağlı ölümleri sıfıra indirmeyi hedeflemektedir. C-V2X destekli K-AUS, bu hedefe ulaşılmasında çok önemli bir rol oynamaktadır (New South Wales Government, 2024).

Avustralya’nın telekomünikasyon şirketi ile Telstra ve otomobil üreticisi Lexus Avustralya, 4G tabanlı bağlantılı araç teknolojisinin saha test çalışmalarını yürütmek için bir yatırım almıştır. Ericsson, test çalışmaları için C-V2X teknolojisini ve platformunu sağlamıştır. Test çalışmalarında, iletişim için düşük gecikme süresi ve yüksek öncelik sağlamak üzere Ericsson’un C-V2X teknolojisinin yanı sıra Telstra’nın 4G ağının optimize edilmiş bir versiyonu kullanılmıştır. Sonuçlar, yol güvenliğini artırmak için umut verici bir potansiyel olduğunu göstermiştir. Halihazırda Avustralya nüfusunun %99,6’sını kapsayan Telstra’nın mevcut 4G ağ kapsama alanı, ek altyapı kurulumu ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Bu test çalışmaları aynı zamanda 5G’nin otomotiv endüstrisinin geleceğini nasıl şekillendirebileceğine dair öngörüler sağlamaktadır (Ericsson, 2023).

#### 4.1.2.2. Çin

Ekim 2018’de Çin Sanayi ve Bilgi Teknolojileri Bakanlığı (Ministry of Industry and Information Technology); 5,9 GHz frekansında yer alan 5905-5925 MHz aralığını kapsayan 20 MHz’lik bandı, LTE-V2X (PC5) protokolüne tahsis etmiştir. Bu bant üzerinde, altta yer alan 10 MHz’lik blok V2V için; üstte yer alan 10 MHz’lik blok ise V2I için ayrılmıştır (5GAA, 2021).



Dünya Bankası’nın Çin hükümeti ile beraber hazırladığı ve 2007 yılında yayınlanan “Çin’in Bilgi Devrimi: Ekonomik ve Sosyal Dönüşümü Yönetmek” adlı raporda, Çin’in yeni gelişen bilgi merkezli dünyaya uyum sağlamak için attığı adımlar ve gelecekteki planları ele alınmıştır. 1970’li yıllarda başlayan sanayi atılımları ile birlikte büyümeye oldukça önem veren Çin, 1997 yılında ilk defa “Ulusal Bilişim Geliştirme Planı”nı sunmuştur. Bundan üç yıl sonra ise bu konu 10,5 yıllık kalkınma planına resmen dahil edilmiştir. Çin, bu süreçte dört konuda büyük aşama kat etmiştir (The World Bank, 2007):

- Verimli teknoloji uygulaması
- Destekleyici ortam
- Ortaklıklar ve ittifaklar
- Yerel kapasite oluşturma

Bu çalışmaların yanı sıra Çin’de yürütülen K-AUS projeleri aşağıda özetlenmiştir.

#### ***C-V2X Saha Testi***

Çin, C-V2X teknolojilerine yaptığı yatırımların sonuçlarını görebilmek için kendi C-V2X test alanını oluşturmuştur. Burada “IMT-2020 (5G) tanıtım grubu” tarafından düzenlenen çeşitli saha testleri uygulanmaktadır. Bu testler, dünya üzerindeki en etkili demo gösterimler arasında değerlendirilmektedir (Cui vd., 2022).

2018 yılının kasım ayında, Şangay’da, V2X uygulamalarının üç katmanlı çalışabilirlik etkinliği, dünyada bir ilk olarak düzenlenmiştir. Çin’e özgü mesaj katman protokolü de K-AUS’un bir parçası olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Ayrıca, 2019 yılının ekim ayında dört katmanlı çalışabilirlik etkinliği düzenlenmiştir. Bu çalışmalar sayesinde, Çin’in C-V2X alanında dünyanın

önde gelen ticari güçlerinden biri olacağı öngörülmeye başlanmıştır. Çin hükümetinin bu yolda hedeflediği bir sonraki aşama ise dört katmanlı sisteme yüksek çözünürlüklü harita entegre ederek gerçekçi trafik senaryolarına uyarlanmasını sağlamaktır (Cui vd., 2022).

2021 yılının kasım ayında, C-V2X çalışmalarına teknoloji alanında önde gelen firmalardan Sony de dahil olmuştur. Çin Bilgi ve İletişim Teknolojileri Akademisi'nin düzenlediği etkinlikte görev alan Sony, C-V2X'in geniş kapsamlardaki uygulamaları için katkıda bulunmuştur. Vuhan'da yer alan test alanı, bloke edilmiş bir T-kavşak ve 200 OBU'ya sahip aracın simülasyonuna olanak sağlamıştır. Elde edilen sonuçlara göre 50 metre menzilde %95'in üstünde başarılı iletişim sağlanırken 400 metre menzile çıkıldığında başarı oranının %80'e kadar kademeli olarak düştüğü gözlenmiştir. Bazı test sonuçları da başarı oranının %60'a kadar düştüğünü göstermiştir (Cui vd., 2022).

### ***Çin'de Yer Alan C-V2X Pilot ve Gösterim Alanları***

5GAA'nın 2022 yılında yayınladığı “Çin'de Yer Alan C-V2X Pilot ve Gösterim Alanları” raporunda, C-V2X teknolojileri kullanılarak hayata geçirilen K-AUS uygulamalarının bulunduğu bölgelere yer verilmiştir. Bu bölgeler ve pilot alanlar, aşağıda belirtilmiştir (5GAA, 2022):

- Bağlantılı araç teknolojilerinin test edileceği dört Ulusal Pilot Bölge oluşturulmuştur. Bunlar; Jiangsu Eyaleti'nde bulunan Wuxi şehri, Tianjin Belediyesi yönetimindeki bulunan Xiqing bölgesi, Hunan Eyaleti'nde bulunan Changsha şehri ve Chongqing Belediyesi yönetimindeki Liangjiang bölgesidir.
- Sanayi ve Bilgi Teknolojileri Bakanlığı, Ulaştırma Bakanlığı ve Kamu Güvenliği Bakanlığı, yerel yönetimler ile iş birliği yaparak akıllı ve bağlantılı araç teknolojilerinin test edileceği 18 farklı gösterim alanının oluşturulmasında yer almıştır. Bu gösterim alanlarının, farklı iklimsel ve jeomorfik özellikler taşıması amacıyla Çin'in farklı bölgelerinde oluşturulmasına dikkat edilmiştir.
- Konut ve Kentsel-Kırsal Gelişim Bakanlığı ve Sanayi ve Bilgi Teknolojileri Bakanlığı, akıllı şehir altyapılarının geliştirilmesi ve bağlantılı araç teknolojilerinin test edilmesi için 16 pilot şehrin oluşturulmasına onay vermiştir. Bu şehirlere Beijing ve Guangzhou gibi büyük şehirler de dahildir.

Bu pilot ve gösterim alanlarında, C-V2X teknolojilerinin kullanıldığı çeşitli K-AUS uygulamaları hayata geçirilmiş ve gösterimleri yapılmıştır.

### 4.1.2.3. Güney Kore

Güney Kore’de AUS uygulamaları için ayrılmış frekans; 5,9 GHz’de yer alan 70 MHz’lik bir banttır. 2022 yılında Güney Kore Bilim, Bilgi ve Haberleşme Teknolojileri Bakanlığı tarafından yayınlanan yeni spektrum politikası kapsamında AUS için ayrılmış olan 70 MHz’lik bandın tahsisi düzenlenmiştir. Bu düzenleme kapsamında gerçekleştirilen frekans tahsisleri, aşağıdaki gibidir (5GAA, 2023b);

- 5855-5875 (20 MHz) – LTE-V2X
- 5875-5895 (20 MHz) – Koruma ve Test Bandı
- 5895-5925 (30 MHz) – DSRC

Güney Kore Arazi, Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı’nın 2016 yılında hazırladığı “Güney Kore’de Akıllı Ulaşım Sistemleri” adlı belgede, AUS’un tanımı yapılarak hangi operasyonlar üzerinde durulduğu anlatılmıştır. Buna göre bakanlıkla ilişkili olmak üzere kamu ve özel sektör atılımları bulunmaktadır. Kamuda görev alan birimler; yerel hükümet, Güney Kore Otoyol Şirketi (KEC), Güney Kore Altyapı Teknoloji Geliştirme Birimi (KAIA) ve Ulusal Ar-Ge Enstitüsü’dür. Özel sektör olarak Güney Kore Akıllı Ulaşım Topluluğu (ITS Korea) görev almaktadır. Yıllar içerisinde atılan adımlar sonucunda elde edilen kazanımlar, aşağıda özetlenmiştir (Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2016):

- *Yıllık 11,8 milyar dolarlık gelir:* Ortalama seyahat hızı %15-20 oranında arttığı için sıkışıklık ve lojistik maliyetlerden kaynaklanan zararlar azalmıştır.
- *Yüksek fayda/maliyet oranı:* Altyapı harcamalarını sadece %1 artırmak, trafik sıkışıklığını %20 oranında azaltmıştır.
- Özel sektöre sağlanan destek ile bu sektörün genişlemesi sağlanmıştır.
- Sera gazı emisyonları ve yakıt tüketimi azaltılmıştır.

RSU ve OBU donanımlarıyla desteklenen bu yatırımlar ile K-AUS alanında da ilerleme kaydedilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, 2030 yılına kadar yapılacak K-AUS geliştirmeleri ve uygulamaları ile belirli kazanımlara ulaşılması amaçlanmaktadır. 2030 yılına kadar yapılması hedeflenen işler üç farklı başlıkta incelenmiştir. İlk olarak 2014-2020 yılları arasında araçların %10’luk kısmının OBU ile donatılması ve otobanların %68’lik kısmında K-AUS uygulamalarının hayata geçirilmesi hedeflenmiştir. İkinci kısmı oluşturan 2021-2025 yılları arasında, araçların

%50'lik kısmının OBU ile donatılması ve otobanların %100'ünde, ulusal yol ağının %16'sında ve kent içi yolların ise %12'sinde K-AUS uygulamalarının hayata geçirilmesi planlanmıştır. Son olarak 2026-2030 yılları arasında araçların %70'lik bir bölümünün OBU ile donatılması ve otobanların %100'ünde, ulusal yol ağının %67'sinde ve kentsel yolların %17'sinde K-AUS uygulamalarının hayata geçirilmesi hedeflenmiştir. Bu plan kapsamında elde edilmesi amaçlanan kazanımlar ise şöyledir (Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2016).

- Yıllık trafik kaza sayısında %46 oranında azalış
- Ortalama hız verisinde %30 oranında artış
- Sosyal giderlerde %28 oranında azalış

V2X alanında yapılan gelişmelerin yanı sıra otonom araçlar konusunda da ilerleme kaydedilmesi, Güney Kore'nin uzun vadeli hedefleri arasında yer almaktadır.



Güney Kore Ulaştırma Enstitüsü tarafından hazırlanan ve 2019'da yayınlanan “Güney Kore’de AUS’tan Akıllı Hareketliliğe: Alınan Dersler ve Gelecekteki Yön” adlı raporda, hızla artan nüfus ve buna bağlı olarak artan araç sayısından kaynaklanan optimizasyon zorunluluğu üzerinde durulmuştur. Geleneksel çözüm olan yeni yollar inşa etmenin büyük miktarda bütçe ve zaman gerektirmesi ve

daha fazla trafik talebi oluşturacağına tespitiyle mevcut kapasitenin, teknoloji yardımıyla artırılması üzerinde durulmaya başlanmıştır. Bu bağlamda, K-AUS uygulamalarının hayata geçirilmesi önem kazanmıştır. V2V, V2I ve V2P haberleşme teknolojileri konusunda ileri seviyede olan Güney Kore, aynı zamanda otonom araç teknolojilerine de yatırım yapmaktadır (Kim, 2019).

Güney Kore Arazi, Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı'nın 19 Ekim 2021'de basınla paylaştığı raporda “Akıllı Ulaşım Sistemleri 2030 Ana Planı” hakkında bilgi verilmiştir. Buna göre yapay zekâ ve büyük veri temelli 4. endüstri devrimi kapsamında, AUS mimarisinin oluşturulması ve yeni dönem teknolojileri ile otonom araçların ulaşım sistemine entegre edilmesi gerektiği belirtilmiştir. 2000 yılındaki ilk 10 yıllık plan ve 2010 yılındaki 10 yıllık yasal plandan sonra yayınlanan 2021-2030 arası kapsayan planın ana hedefi; çevre dostu, güvenli ve insan merkezli bir ulaşım ağı kurmaktır. Ayrıca, V2X haberleşme teknolojisinin güvenlik sorunlarının çözülmesi, birinci öncelik olarak belirlenmiştir. Şehir planlama alanında konum tespit teknolojilerinden

yararlanılması da hedefler arasında yer almıştır (Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2021; Smart City Korea, 2021).

Yukarıda bahsedilen çalışmaların yanı sıra Güney Kore’de yürütülen K-AUS projeleri aşağıda özetlenmiştir.

#### ***K-AUS Pilot Projesi***

“K-AUS Pilot Projesi” 2014 yılında başlamış ve 2017 yılında tamamlanmıştır. Bu proje kapsamında, altyapı bağlanabilirlik konusunda hazır hale getirilmiş, bağlantılı araçlar OBU’lar ile donatılmış ve 15 K-AUS senaryosu uygulamaya alınmıştır. Çalışmada, Sejong şehrinde bulunan 87,8 kilometre uzunluğundaki bir yol ağı, pilot bölge olarak değerlendirilmiştir. Proje ile K-AUS’un güvenlik konusundaki etkilerinin incelenmesi ve ekonomik fizibilitenin yapılması amaçlanmıştır (Ministry of Land Infrastructure and Transport & Korean Expressway Corporation, 2017).

#### ***Otonom Araç Test Sahası ve K-AUS***

Seul Belediyesi’nin bir kuruluşu olan TOPIS, AUS ile ilgili operasyonlar yürütmektedir ve 1998 yılında kentsel ulaşım sorunlarına çözüm bulmak amacıyla oluşturulmuştur (Seoul TOPIS, 2021b). TOPIS, 2020 yılında otonom araç test sahası ve K-AUS pilot programını başlatmıştır. Bu program kapsamında, K-AUS ve 5G haberleşme teknolojisi konularında test çalışmaları yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar; V2V, V2I ve V2P üzerine yoğunlaşmış durumdadır. WAVE, C-V2X ve 5G iletişim ağlarını kullanabilen bağlantılı toplu taşıma sistemi konusunda çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalar kapsamında, otobüsler; sürüş sırasında, çukurları ve trafik çalışma alanlarını tespit ederek bu bilgileri merkeze göndermekte ve diğer araçlarla paylaşabilmektedir. Merkezden araçlara iletilen bilgiler ile araçların, farklı güzergahlara yönlendirilmesi veya şerit değişiklikleri yapmaları sağlanabilmekte ve olası trafik kazalarının önüne geçilebilmektedir (Seoul TOPIS, 2021a).

#### **4.1.2.4. Japonya**

Japonya’da AUS alanında kullanılan frekans bandı, Avrupa’nın ve ABD’nin aksine 5,8 GHz frekansında yer alan 5770-5850 MHz bandındaki 70 MHz’lik bölgedir (Ministry of Internal Affairs and Communications, 2023). Bu bölge, ilk olarak DSRC teknolojisi için tahsis edilen bir



frekans bandı olsa da hücresel bağlantı teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte, C-V2X ile DSRC'nin ortak olarak kullanılabileceği bir bant olarak tanımlanmıştır.

2013 yılında Japonya İçişleri ve Haberleşme Bakanlığı'nın Haberleşme Teknolojileri Strateji Politika Bölümü tarafından "Japonya'nın Haberleşme Teknolojileri Alanındaki Büyüme Stratejisi" isimli strateji belgesi yayınlanmıştır. Bu strateji belgesinde önemi vurgulanan ve vizyon olarak belirlenen konulardan birisi, ortak haberleşme teknolojileri altyapısının geliştirilmesi ve güçlendirilmesidir. Aynı zamanda, açık veri ve siber güvenlik gibi geniş ve kapsamlı alanlarda, haberleşme teknolojilerinin kullanımının teşvik edilmesinin önemi vurgulanmıştır. Belirlenen vizyonun hayata geçirilebilmesi için çeşitli çalışma alanları oluşturulmuştur ve bu alanlarda projelerin yürütülmesine karar verilmiştir. Bu alanlardan bazıları aşağıda listelenmiştir (Yamakawa, 2013):

- *Veri kullanımı*: Katma değer oluşturan projelerin teşvik edilmesi
- *Bölgesel canlandırma*: "Akıllı Şehir" projesinin ulusal düzeyde hızlandırılması ve genişletilmesi
- *Kaynaklar*: Uydu iletişimi kullanarak geniş bant uygulamalarını içeren projelerin teşvik edilmesi

Ocak 2019'da Japonya İçişleri ve Haberleşme Bakanlığı, "5. Nesil Mobil İletişim Sisteminin Tanıtımı İçin Belirtilen Baz İstasyonlarının Kurulmasına İlişkin Kılavuz" belgesini hazırlamış ve kurulum planı için yetkilendirme başvurularını almaya başlamıştır. Nisan 2019'da başvuruda bulunan mobil operatörlere, 5G frekansları tahsis edilmiştir. Ayrıca, 5G'nin yaygınlaştırılması için Tokyo, Nagoya ve Osaka dışındaki bölgelerde kullanılabilen 1,7 GHz bandı, bir mobil operatöre tahsis edilmiştir (Ministry of Internal Affairs and Communications, 2021).

Japonya İçişleri ve Haberleşme Bakanlığı, 5G Ötesi'nin tanıtımında beklenen ihtiyaçları ve teknik ilerlemeleri göz önünde bulundurarak kapsamlı bir stratejinin oluşturulması için çalışmalar yürütmek üzere Ocak 2020'den bu yana "5G Ötesi Teşvik Stratejisi Toplantısı" düzenlemektedir. Bu çalışmaların sonucunda, bakanlık aynı yılın haziran ayında "5G Ötesi Teşvik Stratejisi-6G'ye Doğru Yol Haritası"nı yayınlamıştır (Ministry of Internal Affairs and Communications, 2020). Ayrıca, bu yol haritasında, AUS alanında haberleşme teknolojilerinin kullanımına dair bilgiler yer verilmiştir. AUS Strateji Merkezi tarafından Temmuz 2020'de hazırlanan "Kamu-Özel AUS Girişimi/Yol Haritaları 2020"ye dayanarak Japonya İçişleri ve İletişim Bakanlığı, 5G'nin

yaygınlaştırılması ve uygulamaya alınması için çalışmalar yürütmektedir (Kikushima, 2020). 5,9 GHz bandı, küresel olarak V2X frekansları olarak kabul edilmektedir. Bakanlık, otonom sürüş teknolojilerinin uygulanabilmesi için yürüttüğü çalışmaların bir parçası olarak 5,9 GHz bandındaki yeni bir V2X sisteminin tanıtımı için gerekli olan frekans paylaşımı konusunda teknik çalışmalar yürütmektedir (Ministry of Internal Affairs and Communications, 2021a).



Japonya İçişleri ve Haberleşme Bakanlığı, 2021 yılında “Japonya Bilgi ve Haberleşme Teknolojileri Beyaz Kitabı”nı paylaşmıştır. Bu belgede, haberleşme teknolojilerine yönelik politika yönelimleri yer almaktadır.

2019 yılından bu yana; yerel yönetimler, telekomünikasyon sağlayıcıları ve diğer haberleşme teknolojileri paydaşları tarafından karşılanan yüksek hızlı ve yüksek kapasiteli kablosuz haberleşme için önkoşul olan optik F/O kurulum maliyetlerinin bir kısmını karşılayan “Gelişmiş Radyo Ortamının Teşvik Projesi”ni uygulayan Japonya İçişleri ve Haberleşme

Bakanlığı, 2020 yılında, ikinci ek bütçede, bu projeye 50,16 milyar Yen<sup>29</sup> ayırmıştır. Bu sayede belediyeler, istedikleri tüm bölgelere optik F/O kurulumu yapabilmektedir.

Japonya’da 2011 yılında, Ulusal Polis Teşkilatı aracılığıyla V2I sistemlerinin uygulanabileceği pilot alanlar belirlenmiştir. Aynı yılda Arazi, Altyapı, Ulaşım ve Turizm Bakanlığı; V2I ve V2V haberleşme sistemlerinin çalışması için gerekli donanımları çeşitli otoyolların altyapısına entegre etmiştir. Bunların yanı sıra İçişleri ve Haberleşme Bakanlığı, AUS kablosuz ağ sistemi için teknik yönergeleri yayınlayarak sistemin sağlıklı bir şekilde ilerlemesini sağlamıştır.

Ayrıca Japonya genelinde K-AUS uygulamalarının hayata geçirildiği otoyol sayısı artırılmış ve servis kalitesi yükseltilmiştir. Kalite artırımı sürecinde V2V sisteminin gelişimi için de çalışmalar devam etmiştir. Çeşitli testler gerçekleştirilmiş ve bunlar 2013 yılında Tokyo’da gerçekleştirilen AUS Dünya Kongresi’nde sergilenmiştir. Hepsini kapsayacak şekilde, standardizasyon ve donanım geliştirmeleri ile V2P geliştirmeleri de devam etmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, 2010 yılında trafik kazalarından kaynaklanan 4.863 ölüm sayısı, 2018 yılında 2500’ün altına düşürülmüştür (MLIT, 2012).

<sup>29</sup> 462,48 milyon Dolar (2020 yılı, dolar kuru baz alınmıştır).

### ***ETC2.0 Projesi***

2014 yılında hayata geçirilen Elektronik Geçiş Ücreti Toplama Sistemi 2.0 (ETC2.0) Projesi'nde, 5,9 GHz bandında çalışan DSRC teknolojisinin yüksek kapasiteli iletim özelliği kullanılarak elektronik geçiş ücreti toplama sürecinin daha hızlı bir şekilde yürütülmesi sağlanmıştır (Makano, 2017).

### ***SKY Projesi***

Japonya'nın 2006 ile 2015 yılları arasında uyguladığı bu proje, mevcut ve gelecekte geliştirilecek olan uygulamaların test edilebilmesi için oluşturulmuş kapsamlı bir test programıdır. Bu programda bağlantılı sistemlerle ilgili farklı başlıklarda çalışmalar yapılmıştır (FOT-Net WIKI, 2015c):

- GPS teknolojisine sahip cep telefonları kullanılarak yaya trafiği güvenliğinin sağlanması

Aralık 2008'den bu yana uygulanmakta olan bu test sayesinde, araçlar ve yayalar arasındaki iletişim, cep telefonları üzerinden sağlanmaktadır. Ana amacın trafik kazalarının önlenmesi olduğu bu alt başlıkta, Kanagawa şehrinin Atsugi bölgesinde bir test alanı oluşturulmuştur (FOT-Net WIKI, 2015e).

- Radyo frekansı ile tanımlama (RFID)

Aralık 2005 ile Mart 2006 tarihleri arasında uygulanan bu alt başlık kapsamında, RFID teknolojisinin trafik kazalarının önlenmesindeki rolü araştırılmıştır. Kanagawa şehrinin Yokohoma bölgesinde oluşturulan test alanında, V2I ve V2V haberleşme teknolojileri test edilmiştir. Gerçekleştirilen test çalışmalarında, veri transferi, RFID haberleşme teknolojisi kullanılarak yapılmıştır (FOT-Net WIKI, 2015f).

- Kavşaklarda çarpışma önleme sistemleri

Ekim 2006 ile Mart 2009 tarihleri arasında aktif olan bu uygulama kapsamında, kızılötesi ışık vericileri ile veri alışverişi sağlanarak sürücü davranışlarının değişimi gözlenmiştir. Kavşaklara yerleştirilen ünitelerle araçların birbirine veri göndermesi sağlanarak kavşaklarda oluşabilecek muhtemel kazaların önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Test bölgesi olarak Kanagawa şehrinin Yokohoma bölgesi seçilmiştir (FOT-Net WIKI, 2015d).

- Patinaj bilgi sistemi

Kasım 2007 ile Mart 2009 tarihleri arasında aktif olan bu test kapsamında, karlı yollardaki patinaj durumları araştırılmıştır. Nissan'ın özel bir servisi olan Patinaj Bilgi Sistemi (CARWINGS) aracılığı ile gerçekleştirilen bu projede, Nissan'ın yanı sıra NTT Docomo, Panasonic ve Clarion da katkıda bulunmuştur. Test alanı olarak Hokkaido adasının Sapporo şehri seçilmiştir (FOT-Net WIKI, 2015e).

#### 4.1.3. ABD

ABD'de K-AUS hizmetlerinde yaygın olarak kullanılan iki haberleşme teknolojisi, DSRC ve C-V2X'tir. Bu teknolojilerde kullanılacak frekans bantlarının tahsisi, ABD FCC tarafından yapılmaktadır. İlk olarak 1999 yılında, FCC tarafından, DSRC kapsamında yalnızca V2V ve I2V haberleşme için kullanılmak üzere 5,9 GHz frekansında 5850-5925 MHz aralığını kapsayacak şekilde 75 MHz'lik bir bant tahsis edilmiştir (Jiang & Delgrossi, 2008). Bu frekans bandının protokol yapısı Şekil 61'de mevcuttur. (NXP USA, 2020).



**Şekil 61.** 2020 Yılı Öncesi ABD K-AUS Frekans Bandı Protokol Yapısı

2020 yılında FCC'nin kabul ettiği 19-138 numaralı Rapor ve Karar (R&O) doğrultusunda, 75 MHz'lik bandın alt 45 MHz'lik bölümü DSRC ve Wi-Fi gibi teknolojilerde kullanılacak olup üst 30 MHz'lik bölüm C-V2X için ayrılmıştır (Federal Communications Commission, 2020). Bu frekans bandının protokol yapısı, Şekil 62'de mevcuttur (NXP USA, 2020).



**Şekil 62.** 2020 Yılı Sonrası ABD K-AUS Frekans Bandı Protokol Yapısı

Akıllı Ulaşım Sistemleri için Ulusal Ulaşım Haberleşme Protokolü (NTCIP), farklı üreticiler tarafından geliştirilen elektronik trafik kontrol ekipmanlarının, bir sistem dahilinde birbirleriyle uyumlu çalışabilmesi için gerekli haberleşme kurallarını ve terimleri sağlayan bir standartlar ailesidir (NTCIP, 2023a). NTCIP kapsamında yapılan çalışmalar doğrultusunda, K-AUS uygulamalarında kurulan merkezden merkeze (C2C), altyapıdan merkeze (I2C) ve altyapıdan altyapıya (I2I) bağlantılarda, hangi protokollerin kullanılacağına karar verme sürecinde kullanılacak araçlar elde edilmektedir. Bu çalışmalara, Merkezden Merkeze Haberleşme Çalışma Grubu tarafından yayınlanan standartlar, düzenlemeler ve revizyonlar örnek olarak verilebilmektedir. Bu çalışma grubu, C2C kapsamında kullanılan haberleşme protokollerinin geliştirilmesi için yayınlanan NTCIP standartlarının geliştirilmesinden ve bakımlarının yapılmasından sorumludur (NTCIP, 2023b).

DATEX II’de olduğu gibi NTCIP standart ailesi de kullanılması gereken haberleşme protokolünü direkt olarak belirtmekten ziyade, operatörlerin kullanılacak haberleşme protokolünü seçme süreçlerinde yararlanabilecekleri araçlar sağlamaktadır. Kullanılacak haberleşme protokolünün seçim sürecinde dikkat edilmesi gerekenler ise bölgesel altyapı, regülasyonlar ve teknolojik gelişmişlik seviyesidir.

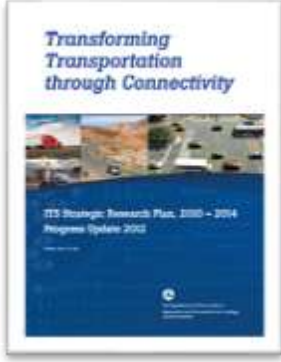
ABD’de AUS ve K-AUS konularında Ar-Ge çalışmaları, projeler ve pilot uygulamalar yürüten çeşitli kurum ve kuruluşlar mevcuttur. Bu kurumlardan birisi AUS Amerika’dır (ITS America). AUS Amerika, akıllı ulaşım teknolojileri kapsamında araştırma ve uygulama çalışmalarını ilerleterek hayat kurtarmayı, hareketliliği artırmayı, sürdürülebilirliği teşvik etmeyi, verimliliği ve üretkenliği artırmayı amaçlamaktadır. ABD’nin AUS alanındaki birliği olan AUS Amerika, ilgili tüm sektörlerden katılımcıları bir araya getiren tek organizasyondur. Katılımcılar; ulaştırma bakanlıkları, bölgesel ve yerel ulaşım ve planlama kurumları, AUS ürünleri, hizmetleri ve teknolojisi sunan özel şirketler, otomobil üreticileri ve tedarikçileri, araştırma kuruluşları, akademik kurumlar ve ulaşım derneklerini kapsamaktadır (ITS America, 2022).

1998 yılında “21. Yüzyıl için Ulaşım Adaleti Yasası (TEA-21)” yayınlanmıştır. Bu yasa kapsamında AUS uygulamalarına yönelik Ar-Ge çalışmalarının teşvik edilmesi ve hızlandırılmasına ilişkin eylemler yer almaktadır. Aynı zamanda, ileri tarihlerde hayata geçirilmesi planlanan projelere yönelik teşvikler de bulunmaktadır (Rep. Shuster, 1998). Bu yasa kapsamında; güvenliği, hareketliliği ve yük taşımacılığını geliştirmek için AUS teknolojilerini geliştirmek ve

uygulamaya almak adına 1,3 milyar dolarlık bir bütçe ayrılmıştır. Ek olarak diğer büyük program fonlarının kullanım alanının genişletilmesi ve AUS uygulamaları adına kullanılabilmesinin önünün açılması sağlanmıştır (United States Department of Transportation, 1998).

AUS Ortak Program Ofisi (ITS JPO), AUS alanında çeşitli çalışmalar yapan ve strateji ve eylem planları hazırlayan, ABD Ulaştırma Bakanlığı bünyesinde bir kurumdur. ITS JPO, 2005 yılında “Güvenli, Sorumlu, Esnek, Verimli Ulaşım Adaleti Yasası: Kullanıcılar İçin Bir Miras (SAFETEA-LU)” isimli eylemi (act) yayınlamıştır. SAFETEA-LU, AUS’u; ulaşım planlama ve uygulama süreçlerinin ana akımına yerleştirmeye ve AUS uygulamalarının benimsenmesiyle geliştirilecek operasyonlar hakkında genel farkındalığı artırmaya yönelik hükümler içermektedir. Aynı zamanda, bu eylem kapsamında, AUS Ar-Ge çalışmaları ve ilerleyen dönemlerde uygulamaya alınacak AUS projeleri için belirli bir miktarda bütçe tahsisi yapılmıştır (United States Department of Transportation, 2005).

ABD'nin AUS programı, ABD Ulaştırma Bakanlığı ITS JPO tarafından yönetilmektedir. AUS programı; başlangıcından bu yana güvenliği, hareketliliği ve verimliliği artırmak için ulaşım sistemlerine son teknolojiyi entegre etmeye odaklanmıştır. Bu bağlamda 2012 yılında “21. Yüzyılda Gelişim için İlerleme Yasası (MAP-21)” yayınlanmıştır. MAP-21, AUS Programı desteğini sürdürmüştür ve Teknoloji ve Yenilik Uygulama Programı’nı oluşturmuştur. MAP-21, AUS etkinlikleri için fonların kullanım odak noktasını değiştirerek Ulaştırma Bakanlığı’nı, AUS teknolojilerinin kullanımını teşvik etmeye ve ulusal karayolu sisteminin performansını artırmaya yönlendirmiştir. 2015 yılında “Amerika’nın Yüzey Taşımacılığını Düzeltme Yasası (FAST Yasası)” yayınlanmıştır. FAST Yasası, AUS Programının finansmanlığını sürdürmüştür. Program; tüm yüzey taşıma araçları, trafik işaretleri, diğer altyapı sistemleri, yaya, kablosuz cihazlar ve otonom araç sistemleri arasında etkileşimli kablosuz iletişime dayanan gelişmiş güvenlik sistemleri yoluyla kazaları önemli ölçüde azaltmaya odaklanmıştır (United States Department of Transportation, 2020).



“2010-2014 Akıllı Ulaşım Sistemleri Stratejik Araştırma Planı”, ABD Ulaştırma Bakanlığı ITS JPO’nun yayınladığı ve 2010 ile 2014 yılları arasında kapsayan AUS strateji dokümanıdır. Bu stratejik plan kapsamında; V2V ve V2I güvenlik teknolojilerinin araştırılması, prototip geliştirilmesi ve geliştirilen prototiplerin test edilmesi ve gösterimi konularında çalışmalar yapılmıştır. Strateji planı doğrultusunda yapılan araştırmalarda, özellikle gerçek zamanlı veri toplama ve yönetim süreçlerinin önemine vurgu yapılmıştır. Gerçek zamanlı veri, ulaşım

sistemlerinin verimli ve etkin bir şekilde çalışmasını sağlamak için hayati öneme sahiptir, ancak bu verilerin toplanması, işlenmesi ve analiz edilmesi oldukça karmaşık ve çok katmanlı süreçler gerektirmektedir. Bu süreçte; farklı veri kaynaklarının entegrasyonu, veri kalitesi, güvenilirliği ve güvenliği gibi konular ön plana çıkmıştır. Bu dönemde, AUS stratejisi doğrultusunda, yeni nesil hareketlilik uygulamaları tanımlanmıştır. Bu uygulamalar, ulaşımda esnekliği artırmak, trafik akışını optimize etmek ve genel ulaşım deneyimini iyileştirmek amacıyla geliştirilmiştir. Özellikle dinamik rota belirleme, toplu taşıma sistemleri için gerçek zamanlı bilgilendirme ve trafik sıklığını azaltmaya yönelik algoritmalar, bu süreçte önemli bir rol oynamıştır. Ayrıca, hava durumu verilerinin ulaşım sistemlerine entegrasyonu da önemli bir araştırma alanı olarak yer almıştır. Hava durumu bilgilendirme sistemleri ile sürücülere yol koşulları hakkında anlık bilgiler sunarak trafik güvenliğinin artırılması ve kazaların önlenmesi hedeflenmiştir (United States Department of Transportation, 2010).

Bu çalışmalara ek olarak DSRC tabanlı bağlantılı araç güvenlik uygulamalarının ülke genelinde hayata geçirilebilmesi için Bağlantılı Araç Güvenlik Pilotu projesi oluşturulmuştur (United States Department of Transportation, 2024). Bağlantılı araç teknolojileri konularında çalışmalar yapılması da strateji planında yer almakta olup bağlantılı araç ortamı için kritik standartların geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. IEEE 802.11p, IEEE 1609 serisi, WAVE ve SAE J2735 DSRC mesaj setlerinin oluşturulması, yapılan çalışmalar arasındadır (United States Department of Transportation, 2010).



2010-2014 AUS stratejik araştırma planının ardından, “2015-2019 AUS Strateji Planı” yayınlanmıştır. Bu plan; AUS teknolojilerinin araştırılması, geliştirilmesi ve benimsenmesi için gerekli yapıyı sağlamak amacıyla program kategorileri içermektedir. Bu kategorilerden biri de bağlantılı araçlardır ve kategori alt başlıkları; “DSRC tabanlı V2V haberleşmesi” ve “DSRC veya hücreli, Wi-Fi, uydu haberleşme gibi farklı iletişim teknolojilerini baz alan bağlantılı araç teknolojileri”dir. Bu kapsamda yer alan AUS program hedefleri de farklı alanlarda kategorize edilmiştir. Bağlantılı araç hedefleri; geleneksel AUS uygulamalarına, bağlantılı araçları entegre etmek; öncelikli bağlantılı araç uygulamalarına ilişkin faydalar, maliyetler ve uygulamalar kapsamında çıkarılan derslere ilişkin bilgi toplamak; bağlantılı araç uygulamalarında eyalet, yerel ve trafik müdürlüğü fonksiyonlarını desteklemektir. Bağlantılı araç hedeflerine ek olarak otomasyon, yeni teknoloji uygulama olanakları, işletme verileri, birlikte çalışabilirlik ve uygulamaya almayı hızlandırmak konularında da hedefler yer almaktadır (United States Department of Transportation, 2015).



2018 yılında Ulaştırma Bakanlığı tarafından “2018-2022 Mali Yılları için Strateji Planı” yayınlanmıştır. Bu plan kapsamında; Ulaştırma Bakanlığı, farklı kurum ve kuruluşların yürüttüğü çalışmaları koordine etmeyi hedeflemiştir. Bu çalışmalara örnek olarak ITS JPO’nun yürüttüğü ve AUS çalışmaları kapsamında veri iletimi konusunda yapılan Araştırma Verisi Alışverişi çalışması ve Ulaştırma Bakanlığı Güvenlik Kurulu’nun oluşturduğu Siber Güvenlik Aksiyon Ekibi’nin araştırmaları verilebilmektedir (United States Department of Transportation, 2018).





2010-2014 ve 2015-2019 AUS strateji planlarının ardından “2020-2025 AUS Ortak Program Ofisi Strateji Planı” yayınlanmıştır. 2020’den 2025’e kadar, ITS JPO; otomasyon, bağlanabilirlik, veri erişimi ve alışverişindeki araştırmalara yapılan geçmiş yatırımları temel alarak ve umut vadeden yeni teknolojilere odaklanarak AUS alanındaki çalışmalarını artırmayı hedeflemektedir. Ayrıca, yenilikçi ve gelişmekte olan teknolojileri bir adım daha ileri götürmek amacıyla yapılması planlanan faaliyetler arasında, K-AUS ve otonom ulaşımı mümkün kılmak için haberleşme teknolojilerinin araştırılması ve test edilmesi de yer almaktadır.

AUS Programı kapsamında ayrıca, AUS uygulamalarının uzun vadeli hedeflerinin gerçekleştirildiğinden emin olmak için değerlendirmeler yapılmaktadır. Değerlendirmeler, hayata geçirilen AUS uygulamalarının etkinliğini, faydalarını ve AUS Programı yatırımlarının değerini belirlemekte ve AUS vizyonu doğrultusunda ilerlemeyi sağlamaktadır. Bu değerlendirmeler, altı alanda yapılmaktadır. Bunlar; AUS Araştırma Değerlendirmesi, AUS Uygulama Takip Anketleri, AUS Uygulama Değerlendirmesi, AUS Programı Değerlendirmesi, Bilgi Yönetimi ve Bilgi Aktarımı’dır (United States Department of Transportation, 2020).



“San Francisco Haberleşme Teknolojileri Planı 2018-2022”, ABD’nin Kaliforniya eyaletinde yer alan San Francisco şehri için beş yıllık bir planı içermektedir. Bu plan kapsamında veri güvenliği, siber güvenlik ve K-AUS’un en önemli bileşenlerinden biri olan haberleşme teknolojilerinin geliştirilmesi gibi konular ele alınmaktadır. Planda, San Francisco Teknoloji Departmanı’nın odaklanacağı beş farklı stratejik alan belirlenmiştir. Bu alanlardan biri bağlanabilirliktir<sup>30</sup>. Geniş bant teknolojilerinin bağlanabilirlik alanında birinci derecede önemli bir

bileşen olduğunun önemi vurgulanmıştır. Şehrin Bağlanabilirlik Planı doğrultusunda, Teknoloji Departmanı, fiber ağını hızlı bir şekilde kurmaya ve San Francisco’nun ücretsiz kablosuz internet hizmeti #SFWiFi’in bakımını yapmaya odaklanmaktadır (City and County of San Francisco, 2017).

<sup>30</sup> Bağlanabilirlik, sistemlerin ve cihazların birbirleri arasında bağlantı kurabilme özelliğidir.



Bu planın ardından “San Francisco Haberleşme Teknolojileri Planı 2022-2026” yayınlanmıştır. Bu plan kapsamında üç hedef belirlenmiştir: (i) vatandaşların ulaşabileceği çevrim içi ve erişilebilir hizmetler, (ii) verimli ve uygun maliyetli şehir operasyonları ve (iii) güvenilir iletişim teknolojileri altyapısıdır. Güvenilir iletişim teknolojileri hedefi kapsamında, ağlar ve siber güvenlik konularında çalışmalar yer almaktadır. Şehirde yer alan tüm binaların, 2025 yılına kadar F/O kablolar ile bağlanması hedefi kapsamında, şehir fiber ağının genişletilmesi ve geliştirilmesi üzerine çalışılacaktır. Planın kapsadığı yıllar içerisinde, Teknoloji Departmanı, bir Yazılım Tanımlı Ağ (SDN) kurmayı hedeflemektedir. Şehir SDN’si; gelecekteki uygulamalar, ses, video, bulut sağlayıcıları ve hareketlilik taleplerine uyum sağlayabilen, geleceğe yönelik, yüksek erişilebilirlikli bir ağ sağlayacaktır. Modernize edilen ağ ayrıca, bir felaket durumunda, yedek veri merkezi ile iş sürekliliği sağlayabilecektir. Bunlara ek olarak Teknoloji Departmanı; siber güvenlik araçlarını entegre ederken güçlü politikalar ve uygulamalar belirleyerek şehir altyapısını güvence altına almaya yönelik adımlar atmaktadır. Sistemleri ve verileri dış müdahalelere veya kesintilere karşı korumak, Şehir Siber Güvenlik Programı’nın misyonları arasındadır (City and County of San Francisco, 2021).



2021 yılında Minnesota Ulaştırma Bakanlığı tarafından “Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) Tasarım El Kitabı” yayınlanmıştır. Bu dokümanda; K-AUS kapsamında kullanılacak haberleşme bileşenlerine, teknolojilerine ve protokollerine yer verilmiştir. Bunlar; bakır ethernet kabloları ve ilgili protokoller (RS-232, RS-422 ve RS-485), F/O kablolar, ethernet, DSRC, hücresel bağlantı ve NTCIP 1218 protokolüdür.

Bakır ethernet kabloları ile kurulan bağlantı, çok kısa mesafeli iletişimlerde kullanılmaktadır ve bu haberleşme sisteminde kullanılan protokoller; kablolama, iletişim modu, azami iletim mesafesi ve azami iletim oranı gibi hususlarda farklılık göstermektedir. Ethernet, IEEE 802’yi kullanarak Yerel Alan Ağı (LAN) üzerinden cihazları birbirine bağlamaktadır. NTCIP 1218 ise RSU’lar ile kontrol yönetim istasyonları arasındaki mantıksal arayüzü belirleyen yeni bir iletişim protokolüdür (Minnesota Department of Transportation, 2021).

Yukarıda bahsedilen çalışmaların yanı sıra ABD’de yürütülen bazı K-AUS projeleri aşağıda özetlenmiştir:

### ***Bağlantılı Araç Güvenliği Pilot Projesi***

Bağlantılı Araç Güvenliği Pilot Projesi, 2014 yılında başlayan bir K-AUS projesidir. Bu proje, DSRC tabanlı bağlantılı araç güvenliği uygulamalarının ülke çapında kullanıma hazır olduğunu gösteren bir araştırma projesidir. Bağlantılı Araç Güvenliği Pilot Projesi’nin vizyonu; gerçek dünya senaryolarında, V2V ve V2I haberleşme sistemlerine dayalı bağlantılı araç güvenliği uygulamalarını, DSRC teknolojisi kullanılarak test etmektir. Bu pilot proje, araştırma ekibinin çalışma kapsamındaki uygulamaların kaza oranlarını azaltmadaki etkinliğini belirlemesine, cihazların güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamasına ve sürücülerin gereksiz yere dikkatini dağıtmadığından ve istenmeyen sonuçlara neden olmadığından emin olmasına olanak tanımıştır (United States Department of Transportation, 2021b).

### ***New York Şehri Ulaştırma Departmanı Bağlantılı Araç Pilot Projesi***

New York Ulaştırma Departmanı Bağlantılı Araç Pilot Projesi, 2015 yılında başlayan bir K-AUS projesidir. Bu proje; mevcut teknolojileri, gelişmekte olan AUS ve iletişim teknolojilerini kullanarak bağlantılı araç uygulama kavramlarını erken benimseyenler arasında, yeniliği teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Proje kapsamındaki pilot uygulamalar, bağlantılı araç araştırma kavramlarını pratik ve etkili unsurlara entegre etmeyi ve mevcut operasyonel yetenekleri artırmayı hedeflemektedir. Bu pilot uygulamaların amacı, çok sayıda paydaşın ortaklığını teşvik etmek ve ulaşım sisteminin tüm unsurlarında araçlar, mobil cihazlar ve altyapı gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen verileri kullanarak uygulamaların hayata geçirilmesini desteklemektir. Bu şekilde, sistem performansının iyileştirilmesi ve performansa dayalı yönetimin desteklenmesi amaçlanmaktadır.

New York Ulaştırma Departmanı Bağlantılı Araç Pilot Projesi kapsamında, DSRC haberleşme teknolojisi kullanılarak yaklaşık 320 sinyalizasyon kavşak V2I haberleşme sistemine uygun hale getirilmiştir. Ayrıca kısa yarıçaplı virajlar, ağırlık limiti ve minimum köprü açıklığı gibi zorlukların üstesinden gelmek için şehir genelindeki diğer stratejik konumlarda; 100’den fazla RSU kullanılmıştır (United States Department of Transportation, 2021a).

### ***San Diego Bölgesel Test Alanı***

San Diego Bölgesel Test Alanı, 2016 yılında başlayan bir K-AUS projesidir. Bu projenin amacı, bağlantılı ve otonom araç teknolojilerinin test edilmesini ve doğrulanmasını sağlarken kamu güvenliğini desteklemek, ayrıca hareketlilik, sürdürülebilirlik ve ekonomik refah hedeflerine destek olarak kamu politikasını ve uzun vadeli planlamayı oluşturmaktır. Bu amaçlara başarıyla ulaşmak amacıyla program kapsamında uygulanan K-AUS senaryolarında kullanılan haberleşme teknolojisi ise C-V2X'tir (California Transportation Commission, 2018).

### ***THEA Bağlantılı Araç Pilot Projesi***

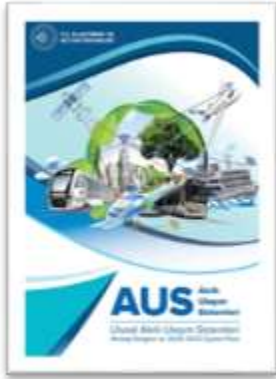
2018 yılından bu yana, Tampa şehir merkezi ve çevresinde bağlantılı araç uygulamalarının güvenlik ve hareketlilik faydalarını göstermek için çalışılmaktadır. THEA Bağlantılı Araç Pilot Projesi'nin mevcut aşaması; DSRC teknolojisinin kullanımını destekleyen, DSRC ve C-V2X özelliklerine sahip çift modlu RSU'ların uygulamalarını içermektedir. Ayrıca, bu proje; DSRC, C-V2X, Wi-Fi ve diğer radyo sinyallerini üretmek için kullanılan cihazların uygulamalarını da içermektedir. Bu cihazların işlevselliği, çift modlu RSU ve OBU kullanımıyla birleşerek gerçek dünya ortamında, kanal kapasitesi testlerini mümkün kılmaktadır (Florida Department of Transportation, 2022).

## **4.2. Türkiye’de K-AUS Haberleşme Teknolojileri Çalışmaları**

Türkiye’de telekomünikasyon sektörünü düzenleyen ve denetleyen Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından yayınlanan, “Frekans Tahsisinden Muaf Telsiz Cihaz ve Sistemleri Hakkında Yönetmelik (FTM Yönetmeliği)” kapsamında hazırlanan “Frekans Tahsisinden Muaf Telsiz Cihaz ve Sistemlerine İlişkin Teknik Ölçütler” dokümanında yer alan “*Tablo 5-Ulaştırma ve trafik telematik sistemleri teknik ölçütleri*”nde, AUS ve K-AUS hizmetlerinde kullanılan frekans bantları ve teknik ölçütler belirtilmiştir (Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, 2019). Bu çerçevede, 5855 ile 5925 MHz aralığını kapsayan frekans bandı, AUS ve K-AUS haberleşme teknolojilerine tahsis edilmiştir. Bu bandın en alttaki 20 MHz’lik bölümü (5855-5875 MHz), yalnızca V2V ve V2I kapsamında kullanılmaktadır. 5875-5925 MHz aralığını kapsayan bant ise tüm AUS güvenlik uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu frekans bandının 5875-5915 MHz aralığındaki bölümü, karayolu AUS uygulamalarını kapsarken en üstteki 10 MHz’lik bölüm demiryolu AUS uygulamalarını kapsamaktadır.

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB) tarafından yayımlanarak yürürlüğe giren “Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı”nda (Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020), CCAM hizmetlerinin Türkiye’de hayata geçirilmesine yönelik eylemler ve uzun dönem hedefler yer almaktadır. Bu eylemler ve uzun dönem hedefler aşağıda özetlenmiştir:

- “Eylem 1.2: AUS Mimarisinin Geliştirilerek Yayımlanması” eylemi ile ülkemizde hızla artan AUS yatırımlarına çatı oluşturmak, AUS geliştiricilerine yol göstermek, çalışmalarını ortak paydada buluşturmak; birbiri ile uyumlu, gelişen ihtiyaçlara cevap veren sistemler geliştirebilmek, ulaşım modlarının birbiri ile entegrasyonunu sağlamak amacıyla çalışmalar yapılması amaçlanmıştır. V2V, V2I ve araç-merkez haberleşmesi, uydu teknolojileri



üzerinden veri iletimi sağlanması, akıllı ulaşım sistemlerinde kullanılan yenilikçi haberleşme teknolojilerinin geliştirilmesi, bağlantılı araçlar, otonom araçlar vb. yeni nesil akıllı araçların karayolu ağında sorunsuz seyahat edebilmelerini tesis etmek amacıyla uyumlu yol altyapısının ve haberleşme sistemlerinin kurulmasına ilişkin çerçevenin oluşturulması hedeflenmiştir.

- “Eylem 1.8:K-AUS için Test ve Uygulama Koridorunun Kurulması” eylemi ile Hasdal–İstanbul Havalimanı arasında yer alan yaklaşık 30 kilometrelik güzergahta, K-AUS test ve uygulama koridorunun kurulması, OBU ve RSU’ların; hücresel ağlar ve/veya ITS G5 haberleşme teknolojilerini kullanarak Gün 1 K-AUS hizmetlerinin verilmesi hedeflenmiştir.
- “Eylem 3.3. Araç İçi Bilgi ve Haberleşme Sistemi (ABHS)” kapsamında; hücresel ve kablosuz haberleşme teknolojileri kullanan araç içi bilgi ve haberleşme sistemleri ve bu sistemlerden veri toplanabilmesi için teknik gerekliliklerin belirlenmesine yönelik çalışmaların yapılması planlanmıştır. Bu kapsamda, UAB Haberleşme Genel Müdürlüğü ile Marmara Üniversitesi Rektörlüğü arasında, 8 Eylül 2022 tarihinde “Araç İçi Bilgi ve Haberleşme Sisteminin (ABHS) Teknik Özelliklerinin Belirlenmesi Projesi Protokolü” imzalanmıştır. ABHS’nin ve kapsamındaki cihazların teknik özelliklerinin, standartlarının, haberleşme ve veri iletim protokollerinin ülkemiz şartlarına göre yerli ve milli üretime esas olacak şekilde teknik özellikleri belirlenerek ülkemiz için referans olacak raporlar hazırlanmıştır (Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024).

Ayrıca, Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı'nda uzun dönem hedefleri arasında;

- Mevcut altyapının bağlantılı araçlar ve otonom sürüşe uygun hale getirilmesi amacıyla hazırlık çalışmalarının yapılması ve tam otonom araçların geliştirilerek ulaşım modlarında yaygınlaştırılması,
- Başta araç içi bilgi ve haberleşme sistemleri olmak üzere otonom ve bağlantılı araç teknolojilerinin yerli ve milli olarak üretimine yönelik çalışmaların yapılması yer almaktadır.



Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından yayınlanan “On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)”nın elektronik sektörü kapsamında yer alan ilişkili politika ve tedbir maddeleri arasında, yerli üretim ve Ar-Ge faaliyetlerinin yeni nesil mobil haberleşme teknolojileri ile desteklenmesi yer almaktadır. Otonom ve bağlantılı araçların karayolu trafiğinde seyahatini kolaylaştıracak haberleşme teknolojilerinin geliştirilmesi, altyapıların kurulması ve ülkemizde bu araçların üretiminin ve geliştirilmesinin kolaylaştırılması konularında hususlar yer almaktadır

(Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019).



Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından yayınlanan “On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028)”nın kentsel altyapı kapsamında yer alan ilişkili politika ve tedbir maddeleri arasında, kent içi ulaşım ağının daha verimli kullanılabilmesi, trafik güvenliğinin artırılması, ulaşım talebinin doğru şekilde yönetilebilmesi ve daha etkin planlama yapılabilmesini sağlayacak şekilde AUS uygulamalarının yaygınlaştırılması, K-AUS kurulumlarına devam edilmesi hususları yer almaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe

Başkanlığı, 2023).

AUS ve K-AUS alanında kullanılan haberleşme teknolojilerinin geliştirilmesine ve yaygınlaştırılmasına yönelik hükümler içeren mevzuat çalışmaları yanında, K-AUS ve yeni nesil haberleşme teknolojilerinin test edildiği pilot uygulamalar da mevcuttur.

### ***5G Pilot Alan Uygulaması***

Türkiye’de çeşitli kuruluşlar tarafından 5G’ye geçiş kapsamında çalışmalar yürütülmektedir. Bu kapsamda; Turkcell, Türk Telekom ve Vodafone Türkiye tarafından İstanbul Havalimanı içerisinde 5G teknolojisinin test edildiği bir çalışma yer almaktadır (Anadolu Ajansı, 2022).

### ***5G Yol Haritası***

5. nesil mobil haberleşme teknolojisi olan 5G’nin Türkiye’de yaygınlaşması için UAB ve Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından “5G Yol Haritası” hazırlık çalışmaları devam etmektedir. Hazırlanacak yol haritasında, 5G’ye geçiş süreci ile birlikte; 5G ve ötesi teknolojilerin ulaştırma ve sanayide kullanımı, IoT, yapay zekâ, artırılmış gerçeklik, robotik ve üretim teknolojileri gibi yeniliklerin de ele alınması planlanmaktadır. 2026 yılına kadar 3,5 milyardan fazla cihazın 5G’ye bağlanması beklenmekte olup 5G’nin ülkemizde yaygınlaşmasına yönelik çalışmalarda; 7,13 GHz’lik radyolink sistemi, yerli üretim 5G çekirdek şebeke yazılımı ve 5G cihazları çekirdek şebekeye erişimlerini sağlayacak erişim şebekesi yazılımlarının geliştirilmesi tamamlanmıştır (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2023). Bunların yanı sıra 5G Yol Haritası’nda dikkat çekilen en önemli husus, yerli ürün kullanımının artırılmasıdır. Bu kapsamda; UAB ve BTK koordinasyonunda, 5G şebekesinin hemen hemen tüm yazılım ve donanım bileşenlerinde, ülkenin mühendislik kabiliyetinin yer alması amacıyla yürütülen çalışmalara, kamu ve özel sektör paydaşları tarafından da destek verilmektedir.

### ***5G Vadisi Açık Test Sahası***

2017 yılında UAB ve BTK’nın koordinasyonunda “5G Vadisi Açık Test Sahası” projesine başlanmıştır. Bu proje ile Hacettepe Üniversitesi Beytepe Kampüsü, Bilkent Üniversitesi ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) yerleşkeleri ile BTK Merkez Binası arasında yer alan bölgenin haberleşme altyapısının 5G’ye hazır hale getirilmesi ve 5G haberleşme teknolojileri konularında çalışmalar yürütmek isteyen tarafların test çalışmaları yapabileceği bir alanın oluşturulması hedeflenmiştir. Bu projenin protokolü 2017 yılında BTK, Hacettepe Üniversitesi, Bilkent Üniversitesi, ODTÜ, Turkcell, Türk Telekom ve Vodafone tarafından imzalanmıştır ve çalışmalara başlanmıştır (Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, 2018). Bu çalışmalar ile gelecekte birçok alanda avantajlar sağlayacak bir teknoloji olan 5G’nin yerli imkanlar ile geliştirilerek test edilmesi ve yaygınlaştırılması hedeflenmektedir.

### ***Paydaş Çalışmaları***

Proje kapsamında yapılan paydaş görüşmelerinde, Marmara Üniversitesi VeNIT Lab tarafından yürütülen K-AUS hizmetlerinde ITS-G5 haberleşme teknolojisinin; İBB, Anadolu Isuzu ve UAB Ulaştırma Hizmetleri Başkanlığı tarafından yürütülen bağlantılı araç çalışmalarında DSRC temelli haberleşme teknolojilerinin kullanıldığı belirtilmiştir.

### ***5G-MOBIX***

“5G-MOBIX Projesi” kapsamında; araç trafiği, ağ kapsamı, hizmet talebi koşulları altında ve farklı yasal, ticari ve sosyal yerel yönleri de göz önünde bulundurarak birden fazla sınır ötesi koridor ve kentsel deneme sahası boyunca, 5G temel teknolojik yeniliklerini kullanarak otonom araç işlevleri geliştirilmiş ve test edilmiştir (5G-MOBIX, 2023a). Ford Otosan; 5G-MOBIX çalışmaları kapsamında “Katarlama Uygulaması (Platooning Application)” geliştirmiş; “Gördüğümü Gör (See-What-I-See)” ve “Kamyon Yönlendirme Uygulaması (Truck Routing Application)” projelerine de destek vermektedir (5G-MOBIX, 2023b). Projede; Yunanistan-Türkiye Koridoru’nda, katar düzeninde giden kamyonlar için “Gördüğümü Gör” fonksiyonu, uzaktan araç denetimi, tahmini risk değerlendirmesi ve gümrükte otomatik kamyon yönlendirmesi gösterimleri yapılmış ve test edilen çözümlerin etkisini sergilenmiştir (5G-MOBIX, 2022).



## BÖLÜM V

### 5. K-AUS HİZMETLERİNDE KULLANILAN VE İLİŞKİLİ HABERLEŞME STANDARTLARI

Standardizasyon çalışmaları; ilgili sistemlerin, uygulamaların ve hizmetlerin, sorunsuz, etkili ve verimli bir şekilde çalışmasını garanti etmeyi amaçlamaktadır. K-AUS alanında standart geliştirme çalışmaları hızla ilerlemekte olup K-AUS uygulamalarının yaygınlaştırılması sürecinde tutarlı veya tekdüze bir yapı oluşturulması hedeflenmektedir.

Bu bölümde, proje kapsamında yürütülen anket çalışmaları ve detaylı kaynak taraması sonucu elde edilen; ABD, Avrupa ve Asya-Pasifik ülkeleri ile Türkiye’de yayınlanmış ve K-AUS ve ilişkili uygulamalarında kullanılan standartlar yer almaktadır. ABD’de yayınlanan, ABD’de yürütülmekte olan K-AUS hizmetlerinde kullanılan haberleşme teknolojilerine yönelik standartlar, Tablo 5’te verilmiştir.

**Tablo 5.** ABD’de Yayınlanan ve K-AUS Hizmetlerinde Kullanılan Haberleşme Teknolojilerine Yönelik Standartlar

Kurum	Kullanılan Standartlar	Standartın İngilizce Başlığı	Standartın Türkçe Başlığı
SAE	SAE J1760	Data Security Services	Veri Güvenliği Hizmetleri
	SAE J2266	Location Referencing Message Specification (LRMS)	Konum Referans Mesajı Spesifikasyonu (LRMS)
	SAE J2735	V2X Communication Message Set Dictionary	V2X Haberleşme Mesaj Seti Sözlüğü
	SAE J2945/1A	Vehicle Level Validation Test Procedures for V2V Safety Communications	V2V Güvenlik Haberleşmesi Kapsamında Araç Seviyesi Doğrulama Test Prosedürleri

SAE J2945/1B	On-Board System Requirements for V2V Safety Communications by Non-Light-Duty Vehicles and Motorcycles	Hafif Hizmet Dışı Araçlar ve Motosikletlerle V2V Güvenlik Haberleşmesi için Araç İçi Sistem Gereksinimleri
SAE J2945/2	Dedicated Short Range Communications (DSRC) Performance Requirements for V2V Safety Awareness	V2V Güvenlik Bilinci için Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC) Performans Gereksinimleri
SAE J2945/3	Requirements for Road Weather Applications	Yol Hava Durumu Uygulamalarına İlişkin Gereksinimler
SAE J2945/4	Road Safety Applications	Yol Güvenliği Uygulamaları
SAE J2945/5	Service Specific Permissions and Security Guidelines for Connected Vehicle Applications	Bağlantılı Araç Uygulamaları için Hizmete Özel İzinler ve Güvenlik Yönergeleri
SAE J2945/6	Performance Requirements for Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC) and Platooning	Kooperatif Adaptif Hız Kontrolü (CACC) ve Müfreze Oluşturma için Performans Gereksinimleri
SAE J2945/7	High-Precision Positioning for V2X Systems	V2X Sistemleri için Yüksek Hassasiyetli Konumlandırma
SAE J2945/8	Cooperative Perception System	Kooperatif Algılama Sistemi
SAE J2945/9	Vulnerable Road User Safety Message Minimum Performance Requirements	Savunmasız Yol Kullanıcısı Güvenlik Mesajı Minimum Performans Gereksinimleri

	SAE J3161	LTE Vehicle-to-Everything (LTE-V2X) Deployment Profiles and Radio Parameters for Single Radio Channel Multi-Service Coexistence	Tek Radyo Kanallı Çoklu Hizmetlerin Bir Arada Varlığı için LTE Araçtan Her Şeye (LTE-V2X) Uygulama Profilleri ve Radyo Parametreleri
	SAE J3186	Application Protocol and Requirements for Maneuver Sharing and Coordinating Service	Manevra Paylaşımı ve Koordinasyon Hizmeti için Uygulama Protokolü ve Gereksinimler
	SAE J3224	V2X Sensor-Sharing for Cooperative and Automated Driving	Kooperatif ve Otonom Sürüş için V2X Sensör Paylaşımı
	SAE J3289	SAE V2X ASN.1 Modules-Organization and Management Rules	SAE V2X ASN.1 Modülleri-Organizasyon ve Yönetim Kuralları
	SAE SS V2X 001	Security Specification Through the Systems Engineering Process for SAE V2X Standards	SAE V2X Standartları için Sistem Mühendisliği Süreci Aracılığıyla Güvenlik Spesifikasyonu
IEEE	IEEE 802.11	WLAN Standards Working Group	WLAN Standartları Çalışma Grubu
	IEEE 802.11p	Information Technology Standard--Local and Metropolitan Area Networks--Specific Requirements--Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments	Bilgi Teknolojisi Standardı--Yerel ve Metropol Alan Ağları--Özel Gereksinimler--Bölüm 11: Kablosuz LAN Ortam Erişim Kontrolü (MAC) ve Fiziksel Katman (PHY) Spesifikasyonları Değişiklik 6: Araç Ortamları için Kablosuz Erişim

	IEEE 802.11bd	Information Technology Standard-Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks -Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Enhancements for Next Generation V2X	Bilgi Teknolojisi Standardı-Yerel ve Metropol Alan Ağları Sistemleri Arasında Telekomünikasyon ve Bilgi Alışverişi-Özel Gereksinimler Bölüm 11: Kablosuz LAN Ortam Erişim Kontrolü (MAC) ve Fiziksel Katman (PHY) Spesifikasyonları Değişiklik 5: Yeni Nesil V2X için Geliştirmeler
	IEEE 1512	Common Incident Management Message Sets Standard for Use by Emergency Management Centers	Acil Durum Yönetim Merkezlerinin Kullanımına Yönelik Ortak Olay Yönetimi Mesaj Setleri Standardı
	IEEE 1609	Family of Standards for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)	Araç Ortamları için Kablosuz Erişime İlişkin Standartlar Ailesi (WAVE)
OTHER	NTCIP	National Transportation Communication Protocol for Intelligent Transportation Systems	Akıllı Ulaşım Sistemleri için Ulusal Ulaşım Haberleşme Protokolü
	TMDD	Traffic Management Data Dictionary	Trafik Yönetimi Veri Sözlüğü
	ASTM E2213	Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems-5 GHz Band Dedicated Short-Range Communications (DSRC), Medium Access Control (MAC), and Physical Layer (PHY) Specifications	Yol Kenarı ve Araç Sistemleri Arasında Telekomünikasyon ve Bilgi Alışverişi için Standart Şartname-5 GHz Banda Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC), Ortam Erişim Kontrolü (MAC) ve Fiziksel Katman (PHY) Spesifikasyonları

Avrupa’da yayınlanan ve kullanılan K-AUS haberleşme teknolojilerine yönelik standartlar, Tablo 6’da yer almaktadır.

**Tablo 6.** Avrupa’da Yayınlanan ve K-AUS Hizmetlerinde Kullanılan Haberleşme Teknolojilerine Yönelik Standartlar

Kurum	Kullanılan Standartlar	Standardın İngilizce Başlığı	Standardın Türkçe Başlığı
ETSI	ETSI TS 102 486-1-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Road Transport and Traffic Telematics (RTTT)-Test Specifications for Dedicated Short Range Communications (DSRC) Transmission Equipment-Part 1: DSRC Data Link Layer: Medium Access and Logical Link Control-Subpart 2: Test Suite Structure and Test Purposes (TSS VE TP)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Karayolu Taşımacılığı ve Trafik Telematiği (RTTT)-Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC) İletim Ekipmanı için Test Spesifikasyonları-Bölüm 1: DSRC Veri BağlantıKatmanı: Ortam Erişimi ve Mantıksal Bağlantı Kontrolü-Alt Bölüm 2: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları (TSS VE TP)
	ETSI TS 102 486-1-3	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Road Transport and Traffic Telematics (RTTT)-Test Specifications for Dedicated Short Range Communications (DSRC) Transmission Equipment-Part 1: DSRC Data Link Layer: Medium Access and Logical Link Control-Subpart 3: Abstract Test Suite (ATS) and Partial PIXIT Proforma	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Karayolu Taşımacılığı ve Trafik Telematiği (RTTT)-Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC) İletim Ekipmanı için Test Spesifikasyonları-Bölüm 1: DSRC Veri BağlantıKatmanı: Ortam Erişimi ve Mantıksal Bağlantı Kontrolü-Alt Bölüm 3: Özet Test Paketi (ATS) ve Kısmi PIXIT Proformas

ETSI TS 102 486-2-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Road Transport and Traffic Telematics (RTTT)-Test Specifications for Dedicated ShortRange Communications (DSRC) Transmission Equipment-Part 2: DSRC Application Layer-Subpart 1: Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) Proforma Specification	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Karayolu Taşımacılığı ve Trafik Telematiği (RTTT)-Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC) İletim Ekipmanı için Test Spesifikasyonları-Bölüm 2: DSRC Uygulama Katmanı-Alt Bölüm 1: Protokol Uygulama Uygunluk Beyanı (PICS) Proforması Spesifikasyonu
ETSI TS 102 486-2-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Road Transport and Traffic Telematics (RTTT)-Test Specifications for Dedicated Short Range Communications (DSRC) transmission equipment-Part 2: DSRC Application Layer-Subpart 2: Test Suite Structure and Test Purposes (TSS VE TP)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Karayolu Taşımacılığı ve Trafik Telematiği (RTTT)-Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC) iletim ekipmanı için Test Spesifikasyonları-Bölüm 2: DSRC Uygulama Katmanı-Alt Bölüm 2: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları (TSS VE TP)
ETSI TS 102 486-2-3	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Road Transport and Traffic Telematics (RTTT)-Test Specifications for Dedicated Short Range Communications (DSRC) Transmission Equipment-Part 2: DSRC Application Layer-Subpart 3: Abstract Test Suite (ATS) and Partial PIXIT Proforma	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Karayolu Taşımacılığı ve Trafik Telematiği (RTTT)-Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC) İletim Ekipmanı için Test Spesifikasyonları-Bölüm 2: DSRC Uygulama Katmanı-Alt Bölüm 3: Özet Test Paketi (ATS) ve Kısmi PIXIT Proforması
ETSI TS 102 636-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications – GeoNetworking-Part 1: Requirements	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi – GeoNetworking-Bölüm 1: Gereksinimler
ETSI TS 102 636-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications – GeoNetworking-Part 2: Scenarios	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi – GeoNetworking-Bölüm 2: Senaryolar

ETSI TS 102 636-3	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications – GeoNetworking-Part 3: Network Architecture	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi – GeoNetworking-Bölüm 3: Ağ Mimarisi
ETSI TS 102 636-4-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications – GeoNetworking-Part 4: Geographical Addressing and Forwarding for Point-to-Point and Point-to-Multipoint Communications-Sub-Part 1: Media-Independent Functionality	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç haberleşmesi – GeoNetworking-Bölüm 4: Noktadan Noktaya ve Noktadan Çok Noktaya Haberleşme için Coğrafi Adresleme ve Yönlendirme-Alt Bölüm 1: Ortam Bağımsız İşlevsellik
ETSI TS 102 636-4-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications – Geonetworking-Part 4: Geographical Addressing and Forwarding for Point-to-Point and Point-to-Multipoint Communications-Sub-Part 2: Media-Dependent Functionalities for ITS G5	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi – Geonetworking-Bölüm 4: Noktadan Noktaya ve Noktadan Çok Noktaya Haberleşme için Coğrafi Adresleme ve Yönlendirme-Alt Bölüm 2: ITS G5 için Ortama Bağlı İşlevsellikler
ETSI TS 102 636-4-3	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications – Geonetworking-Part 4: Geographical Addressing and Forwarding for Point-to-Point and Point-to-Multipoint Communications-Sub-Part 3: Media-Dependent Functionalities for LTE-V2X	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi – Geonetworking-Bölüm 4: Noktadan Noktaya ve Noktadan Çok Noktaya Haberleşme için Coğrafi Adresleme ve Yönlendirme-Alt Bölüm 3: LTE-V2X için Ortama Bağlı İşlevsellikler
ETSI TS 102 636-5	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications – GeoNetworking-Part 5: Transport Protocols-Subpart 1: Basic Transport Protocol	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi – GeoNetworking-Bölüm 5: Taşıma Protokolleri-Alt Bölüm 1: Temel Taşıma Protokolü

ETSI TS 102 636-6	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-GeoNetworking-Part 6: Internet Integration-Subpart 1: Transmission of IPv6 Packets over GeoNetworking Protocols	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi – GeoNetworking-Bölüm 6: İnternet Entegrasyonu-Alt Bölüm 1: IPv6 Paketlerinin GeoNetworking Protokolleri Üzerinden İletimi
ETSI TS 102 687	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transportation Systems Operating in the 5 GHz Range-Access Layer Part	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-5 GHz Aralığında Çalışan Akıllı Ulaşım Sistemleri için Merkezi Olmayan Tıkanıklık Kontrol Mekanizmaları-Erişim Katmanı Bölümü
ETSI TS 102 723-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-OSI Cross-layerCross-layer Topics-Part 1: Architecture and Addressing Schemes	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-OSI Katmanlar Arası Konular-Bölüm 1: Mimari ve Adresleme Şemaları
ETSI TS 102 723-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)-OSI Cross-layerCross-layer Topics-Part 2: Management Information Base	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-OSI Katmanlar Arası Konular-Bölüm 2: Yönetim Bilgi Tabanı
ETSI TS 102 723-3	Intelligent Transportation Systems (ITS)-OSI Cross-layerCross-layer Topics-Part 3: Interface Between Management Entity and Access Layer	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-OSI Katmanlar Arası Konular-Bölüm 3: Yönetim Varlığı ve Erişim Katmanı Arasındaki Arayüz
ETSI TS 102 723-4	Intelligent Transportation Systems (ITS)-OSI Cross-layer Topics-Part 4: Interface Between Management Entity and Networking & Transport Layer	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-OSI Katmanlar Arası Konular-Bölüm 4: Yönetim Varlığı ile Ağ ve Taşıma Katmanı Arasındaki Arayüz



ETSI TS 102 723-5	Intelligent Transportation Systems (ITS)-OSI Cross-layer Topics-Part 5: Interface Between Management Entity and Facilities Layer	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-OSI Katmanlar Arası Konular-Bölüm 5: Yönetim Varlığı ile Servisler Katmanı Arasındaki Arayüz
ETSI TS 102 723-8	Intelligent Transportation Systems (ITS)-OSI Cross-layer Topics-Part 8: Interface Between Security Entity and Network and Transport Layer	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-OSI Katmanlar Arası Konular-Bölüm 8: Güvenlik Varlığı ile Ağ ve Taşıma Katmanı Arasındaki Arayüz
ETSI TS 102 723-9	Intelligent Transportation Systems (ITS)-OSI Cross-layer Topics-Part 9: Interface Between Security Entity and Facilities Layer	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-OSI Katmanlar Arası Konular-Bölüm 9: Güvenlik Varlığı ile Servisler Katmanı Arasındaki Arayüz
ETSI TS 102 723-10	Intelligent Transportation Systems (ITS)-OSI Cross-layer Topics-Part 10: Interface Between Access Layer and Networking and Transport Layer	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-OSI Katmanlar Arası Konular-Bölüm 10: Erişim Katmanı ile Ağ ve Taşıma Katmanı Arasındaki Arayüz
ETSI TS 102 760-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Communications Access for Land Mobiles (CALM)-Test Specifications for Access Technology Support (ISO 21218)-Part 1: Implementation Conformance Statement (ICS) Proforma	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Kara Mobil Sistemler Haberleşme Erişimi (CALM)-Erişim Teknolojisi Desteği için Test Spesifikasyonları (ISO 21218)-Bölüm 1: Uygulama Uygunluk Beyanı (ICS) Proforması
ETSI TS 102 760-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Communications Access for Land Mobiles (CALM)-Test Specifications for Access Technology Support (ISO 21218)-Part 2: Test Suite Structure and Test Purposes (TSS and TP)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Kara Mobil Sistemler Haberleşme Erişimi (CALM)-Erişim Teknolojisi Desteği için Test Spesifikasyonları (ISO 21218)-Bölüm 2: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları (TSS ve TP)

ETSI TS 102 760-3	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Communications Access for Land Mobiles (CALM)-Test Specifications for Access Technology Support (ISO 21218)-Part 3: Abstract Test Suite (ATS) and Partial PIXIT Proforma	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Kara Mobil Sistemler Haberleşme Erişimi (CALM)-Erişim Teknolojisi Desteği için Test Spesifikasyonları (ISO 21218)-Bölüm 3: Özet Test Paketi (ATS) ve Kısmi PIXIT Proforması
ETSI TS 102 792	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Mitigation Techniques to Avoid Interference Between European CEN Dedicated Short Range Communication (CEN DSRC) Equipment and Intelligent Transportation Systems (ITS) Operating in the 5 GHz Frequency Range	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Avrupa CEN Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (CEN DSRC) Ekipmanı ile 5 GHz Frekans Aralığında Çalışan Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) Arasındaki Girişimi Önlemeye Yönelik Azaltma Teknikleri
ETSI TS 102 797-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Communication Access for Land Mobile (CALM)-Test Specifications for ITS Station Management (ISO 24102)-Part 1: Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) Specification	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Kara Mobil Sistemler Haberleşme Erişimi (CALM)-AUS İstasyon Yönetimi için Test Spesifikasyonları (ISO 24102)-Bölüm 1: Protokol Uygulama Uygunluk Beyanı (PICS) Spesifikasyonu
ETSI TS 102 797-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Communication Access for Land Mobiles (CALM)-Test Specifications for ITS Station Management (ISO 24102)-Part 2: Test Suite Structure and Test Purposes (TSS and TP)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Kara Mobil Sistemler Haberleşme Erişimi (CALM)-AUS İstasyon Yönetimi için Test Spesifikasyonları (ISO 24102)-Bölüm 2: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları (TSS ve TP)

ETSI TS 102 797-3	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Communication Access for Land Mobiles (CALM)-Test Specifications for ITS Station Management (ISO 24102)-Part 3: Abstract Test Suite (ATS) and Partial PIXIT Proforma	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Kara Mobil Sistemler Haberleşme Erişimi (CALM)-AUS İstasyon Yönetimi için Test Spesifikasyonları (ISO 24102)-Bölüm 3: Özet Test Paketi (ATS) ve Kısmi PIXIT Proforması
ETSI TS 102 859-1	Intelligent Transportation Systems (ITS) – Testing- Conformance Test Specifications for Transmission of IP Packets over Geonetworking-Part 1: Test Requirements and Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) Pro Forma	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Test-IP Paketlerinin Geonetworking Üzerinden İletimi için Uygunluk Testi Spesifikasyonları-Bölüm 1: Test Gereksinimleri ve Protokol Uygulama Uygunluk Beyanı (PICS) Proforması
ETSI TS 102 859-2	Intelligent Transportation Systems (ITS) – Testing-Conformance Test Specifications for Transmission of IP Packets over Geonetworking-Part 2: Test Suite Structure and Test Purposes (TSS and TP)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Test-IP Paketlerinin Geonetworking Üzerinden İletimi için Uygunluk Testi Spesifikasyonları-Bölüm 2: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları (TSS ve TP)
ETSI TS 102 859-3	Intelligent Transportation Systems (ITS) – Testing-Conformance Test Specifications for Transmission of IP Packets over Geonetworking-Part 3: Abstract Test Suite (ATS) and Protocol Implementation eXtra Information for Testing (PIXIT)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Test-IP Paketlerinin Geonetworking Üzerinden İletimi için Uygunluk Testi Spesifikasyonları-Bölüm 3: Özet Test Paketi (ATS) ve Test için Protokol Uygulama Ek Bilgileri (PIXIT)
ETSI TS 102 870-1	Intelligent Transportation Systems (ITS) – Testing- Conformance Test Specifications for GeoNetworking Basic Transport Protocol (BTP)-Part 1: Test Requirements and Protocol Implementation	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Test-Geonetworking-GeoNetworking Temel Taşıma Protokolü (BTP) için Uygunluk Testi Spesifikasyonları -Bölüm 1: Test Gereksinimleri ve Protokol

	Conformance Statement (PICS) Proforma	Uygulama Uygunluk Beyanı (PICS) Proforması
ETSI TS 102 870-2	Intelligent Transportation Systems (ITS) – Testing – Geonetworking – Conformance Test Specifications for GeoNetworking Basic Transport Protocol (BTP) – Part 2: Test Suite Structure and Test Purposes (TSS and TP)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Test – Geonetworking-GeoNetworking Temel Taşıma Protokolü (BTP) için Uygunluk Testi Spesifikasyonları -Bölüm 2: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları (TSS ve TP)
ETSI TS 102 870-3	Intelligent Transportation Systems (ITS) – Testing – Geonetworking – Conformance Test Specifications for GeoNetworking Basic Transport Protocol (BTP) – Part 3: Abstract Test Suite (ATS) and Protocol Implementation eXtra Information for Testing (PIXIT)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Test-Geonetworking-GeoNetworking Temel Taşıma Protokolü (BTP) için Uygunluk Testi Spesifikasyonları -Bölüm 3: Özet Test Paketi (ATS) Test için Protokol Uygulama Ek Bilgileri (PIXIT)
ETSI TS 102 871-1	Intelligent Transportation Systems (ITS) – Testing-Conformance Test Specifications for Geonetworking-Part 1: Test Requirements and Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) Proforma	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Test-Geonetworking için Uygunluk Testi Spesifikasyonları-Bölüm 1: Test Gereksinimleri ve Protokol Uygulama Uygunluk Beyanı (PICS) Proforması
ETSI TS 102 871-2	Intelligent Transportation Systems (ITS) – Testing- Conformance Test Specifications for GeoNetworking-Part 2: Test Suite Structure and Test Purposes (TSS and TP)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Test-GeoNetworking için Uygunluk Testi Spesifikasyonları-Bölüm 2: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları (TSS ve TP)

ETSI TS 102 871-3	Intelligent Transportation Systems (ITS) – Testing- Conformance Test Specifications for GeoNetworking-Part 3: Abstract Test Suite (ATS) and Protocol Implementation eXtra Information for Testing (PIXIT)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Test-GeoNetworking için Uygunluk Testi Spesifikasyonları-Bölüm 3: Özet Test Paketi (ATS) ve Test için Protokol Uygulama Ek Bilgileri (PIXIT)
ETSI TS 102 890-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)- Facilities Layer Function-Part 1: Services Announcement (SA) Specification	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)- Servisler Katmanı Fonksiyonu-Bölüm 1: Hizmetler Duyurusu (SA) Spesifikasyonu
ETSI TS 102 894-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Users and Applications Requirements-Part 1: Facility Layer Structure, Functional Requirements and Specifications	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Kullanıcılar ve Uygulamalar Gereksinimleri-Bölüm 1: Servisler Katmanı Yapısı, İşlevsel Gereksinimler ve Spesifikasyonlar
ETSI TS 102 916-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)- Test Specifications for The Mitigation Techniques to Avoid Interference Between Cooperative ITS-G5 and TTT DSRC -Part 1: Protocol Implementation Conformance Statement (PICS)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)- Kooperatif ITS-G5 ve TTT DSRC Arasındaki Girişimi Önlemek için Azaltma Tekniklerine İlişkin Test Spesifikasyonları-Bölüm 1: Protokol Uygulama Uygunluk Beyanı (PICS)
ETSI TS 102 916-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Test Specifications for Mitigation Techniques to Avoid Interference Between Cooperative ITS G5 and TTT DSRC-Part 2: Test Suite Structure and Test Purposes (TSS and TP)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)- Kooperatif ITS G5 ve TTT DSRC Arasındaki Girişimi Önlemek için Azaltma Tekniklerine İlişkin Test Spesifikasyonları-Bölüm 2: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları (TSS ve TP)

ETSI TS 102 916-3	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Test Specifications for the Methods to Ensure Coexistence of Cooperative ITS G5 with RTTT DSRC-Part 3: Abstract Test Suite (ATS) and Partial Protocol Implementation eXtra Information for Testing (PIXIT)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Kooperatif ITS G5'in RTTT DSRC ile Bir Arada Varlığını Sağlamaya Yönelik Yöntemlere İlişkin Test Spesifikasyonları-Bölüm 3: Özet Test Paketi (ATS) ve Test için Kısmi Protokol Uygulaması Ek Bilgileri (PIXIT)
ETSI TS 102 917-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Test Specifications for Channel Congestion Control Algorithms Operating in the 5,9 GHz Range-Part 1: Protocol Implementation Conformance Statement (PICS)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-5,9 GHz Aralığında Çalışan Kanal Tıkanıklığı Kontrol Algoritmaları için Test Spesifikasyonları-Bölüm 1: Protokol Uygulama Uygunluk Beyanı (PICS)
ETSI TS 102 917-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Test Specifications for The Channel Congestion Control Algorithms Operating in the 5,9 GHz Range-Part 2: Test Suite Structure and Test Purposes (TSS and TP)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-5,9 GHz Aralığında Çalışan Kanal Tıkanıklığı Kontrol Algoritmaları için Test Spesifikasyonları-Bölüm 2: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları (TSS ve TP)
ETSI TS 102 917-3	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Test Specifications for The Channel Congestion Control Algorithms Operating in the 5,9 GHz Range-Part 3: Abstract Test Suite (ATS) and Partial Protocol Implementation eXtra Information for Testing (PIXIT)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-5,9 GHz Aralığında Çalışan Kanal Tıkanıklığı Kontrol Algoritmaları için Test Spesifikasyonları-Bölüm 3: Özet Test Paketi (ATS) ve Kısmi Protokol Uygulaması Testi için Ek Bilgiler (PIXIT)

ETSI TS 102 985-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Communication Access for Land Mobile (CALM)-Test Specifications for Non-IP Networking (ISO 29281)-Part 1: Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) Proforma	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Kara Mobil Sistemler Haberleşme Erişimi (CALM)-IP Dışı Ağ Haberleşmesi için Test Spesifikasyonları (ISO 29281)-Bölüm 1: Protokol Uygulama Uygunluk Beyanı (PICS) Proforması
ETSI TS 102 985-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Communication Access for Land Mobiles (CALM)-Test Specifications for Non-IP Networking (ISO 29281)-Part 2: Test Suite Structure and Test Purposes (TSS and TP)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Kara Mobil Sistemler Haberleşme Erişimi (CALM)-IP Dışı Ağ Haberleşmesi için Test Spesifikasyonları (ISO 29281)-Bölüm 2: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları (TSS ve TP)
ETSI TS 102 985-3	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Communication Access for Land Mobile (CALM)-Test Specifications for Non-IP Networking (ISO 29281)-Part 3: Abstract Test Suite (ATS) and Partial PIXIT Proforma	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Kara Mobil Sistemler Haberleşme Erişimi (CALM)-IP Dışı Ağ Haberleşmesi için Test Spesifikasyonları (ISO 29281)-Bölüm 3: Özet Test Paketi (ATS) ve Kısmi PIXIT Proforması
ETSI TS 103 141	Intelligent Transportation Systems (ITS)- Facilities Layer Function-Multi Channel Operation (MCO) for Cooperative ITS (C-ITS) Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Servisler Katmanı Fonksiyonu-Kooperatif AUS (K-AUS) için Çok Kanallı Çalışma (MCO) Sürüm 2
ETSI TS 103 157	Speech and Multimedia Transmission Quality (STQ)-Frequency Responses of Headphones and Earphones Using Measurement Methods and Limits of STQ TS 102 924	Konuşma ve Multimedya İletim Kalitesi (STQ)-STQ TS 102 924'ün Ölçüm Yöntemleri ve Limitleri Kullanılarak Kafaüstü ve Kulakiçi Kulaklıkların Frekans Yanıtları

ETSI TS 103 175	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Cross Layer DCC Management Entity for Operation in the ITS G5A and ITS G5B Environment	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-ITS G5A ve ITS G5B Ortamında Operasyon için Çapraz Katmanlı DCC Yönetim Varlığı
ETSI TS 103 191-1	Intelligent Transportation Systems (ITS) – Testing- Conformance Test Specifications for Facilities Layer Protocols and Communications Requirements for Infrastructure Services-Part 1: Test Requirements and Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) Pro Forma	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Test-Servisler Katmanı Protokolleri ve Altyapı Hizmetlerine İlişkin Haberleşme Gereksinimleri için Uyumluluk Testi Spesifikasyonları-Bölüm 1: Test Gereksinimleri ve Protokol Uygulama Uygunluk Beyanı (PICS) Proforması
ETSI TS 103 191-2	Intelligent Transportation Systems (ITS) – Testing- Conformance Test Specifications for Facilities Layer Protocols and Communication Requirements for Infrastructure Services-Part 2: Test Suite Structure and Test Purposes (TSS and TP)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Test-Servisler Katmanı Protokolleri ve Altyapı Hizmetlerine İlişkin Haberleşme Gereksinimleri için Uyumluluk Testi Spesifikasyonları-Bölüm 2: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları (TSS ve TP)
ETSI TS 103 248	Intelligent Transportation Systems (ITS)-GeoNetworking-Port Numbers for Basic Transport Protocol (BTP) Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-GeoNetworking-Temel Taşıma Protokolü (BTP) için Bağlantı Noktası Numaraları Sürüm 2
ETSI TS 103 301	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-Basic Set of Applications-Facilities Layer Protocols and Communication Requirements for Infrastructure Services	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-Temel Uygulama Seti-Altyapı Hizmetleri için Servisler Katmanı Protokolleri ve Haberleşme Gereksinimleri



ETSI TS 103 574	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Congestion Control Mechanisms for C-V2X PC5 Interface-Access Layer Part-Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-C-V2X PC5 Arayüzü için Tıkanıklık Kontrol Mekanizmaları- Erişim Katman Bölümü Sürüm 2
ETSI TS 103 601	Intelligent Transportation Systems (ITS) – Security-Security Management Messages Communication Requirements and Distribution Protocols- Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Güvenlik-Güvenlik Yönetimi Mesajları Haberleşme Gereksinimleri ve Dağıtım Protokolleri- Sürüm 2
ETSI TS 103 613	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Access Layer Specification for Intelligent Transportation Systems Using LTE Vehicle to everything Communication in the 5,9 GHz Frequency Band	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-5,9 GHz Frekans Bandındaki Tüm Haberleşme için LTE Aracını Kullanan Akıllı Ulaşım Sistemlerine Yönelik Erişim Katmanı Spesifikasyonu
ETSI TS 103 695	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Access Layer Specification in 5 GHz Frequency Band-Multi Channel Operation (MCO) for Cooperative ITS (C-ITS)- Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-5 GHz Frekans Bandında Erişim Katmanı Spesifikasyonu-Kooperatif AUS (K-AUS) için Çok Kanallı Çalışma (MCO)- Sürüm 2
ETSI TS 103 696	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Communication Architecture for Multi Channel Operation (MCO)- Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Çok Kanallı Çalışma (Multi-Channel Operation, MCO) için Haberleşme Mimarisi- Sürüm 2
ETSI TS 103 724	Intelligent Transportation Systems (ITS)- Facilities Layer Function-Interference Management Zone Message (IMZM)- Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)- Servisler Katmanı İşlevi-Girişim Yönetim Bölgesi Mesajı (IMZM)- Sürüm 2
ETSI TS 103 794	Intelligent Transportation Systems (ITS)-LTE-V2X Access Layer for Intelligent Transportation Systems Operating in the 5 GHz Frequency Band-Test Specification	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-5 GHz Frekans Bandında Çalışan Akıllı Ulaşım Sistemleri için LTE-V2X Erişim Katmanı-Test Spesifikasyonu

ETSI TS 103 836-3	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-GeoNetworking-Part 3: Network Architecture- Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-GeoNetworking-Bölüm 3: Ağ Mimarisi- Sürüm 2
ETSI TS 103 836-4-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-GeoNetworking-Part 4: Geographical Addressing and Forwarding for Point-to-Point and Point-to-Multipoint Communications-Subpart 1: Media-Independent Functionality-Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-GeoNetworking-Bölüm 4: Noktadan Noktaya ve Noktadan Çok Noktaya Haberleşme için Coğrafi Adresleme ve Yönlendirme-Alt Bölüm 1: Ortam Bağımsız İşlevsellik- Sürüm 2
ETSI TS 103 836-5-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications – GeoNetworking-Part 5: Transport Protocols-Subpart 1: Basic Transport Protocol- Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi – GeoNetworking-Bölüm 5: Taşıma Protokolleri-Alt Bölüm 1: Temel Taşıma Protokolü- Sürüm 2
ETSI TS 103 836-6-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-GeoNetworking-Part 6: Internet Integration-Sub-Part 1: Transmission of IPv6 Packets over GeoNetworking Protocols for ITS-G5- Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi – GeoNetworking-Bölüm 6: İnternet Entegrasyonu-Alt Bölüm 1: IPv6 Paketlerinin ITS-G5 için GeoNetworking Protokolleri Üzerinden İletimi-Sürüm 2
ETSI TS 103 898	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Communication Architecture- Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Haberleşme Mimarisi-Sürüm 2
ETSI TS 103 899	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-Geographical Area Definition-Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-Coğrafi Alan Tanımı-Sürüm 2

ETSI TS 133 127	LTE-5G-Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM)-Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)-Lawful Interception (LI) Architecture and Functions	LTE-5G-Dijital hücresel telekomünikasyon sistemi (Faz 2+) (GSM)-Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (UMTS)-Yasal Dinleme(LI) Mimarisi ve İşlevleri
ETSI TS 302 890-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)- Facilities Layer Function-Part 2: Position and Time Management (PoTi)- Release 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)- Servisler Katmanı Fonksiyonu-Bölüm 2: Pozisyon ve Zaman Yönetimi (Position and Time Management, PoTi)-Sürüm 2
ETSI TR 121 917	Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM) – Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) – LTE – 5G – Release 17 Description – Summary of Rel-17 Working Items	Dijital hücresel telekomünikasyon sistemi (Faz2+) (GSM)-Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (UMTS) – LTE-5G-Sürüm 17 Açıklaması-Rel-17 Çalışma Ögelerinin Özeti
ETSI TR 137 902	Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)-LTE-Measurements of User Equipment (UE) Radio Performances for LTE/UMTS Terminals-Total Radiated Power (TRP) and Total Radiated Sensitivity (TRS) Test Methodology	Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (UMTS)-LTE-LTE/UMTS Terminalleri için Kullanıcı Ekipmanı (UE) Radyo Performanslarının Ölçümleri-Toplam Yayılan Güç (TRP) ve Toplam Yayılan Hassasiyet (TRS) Test Metodolojisi
ETSI TR 137 985	LTE-5G- Overall description of Radio Access Network (RAN) aspects for Vehicle-to-everything (V2X) based on LTE and NR	LTE-5G-LTE ve NR'ye Dayalı Araçtan Her Şeye (V2X) Yönelik Radyo Erişim Ağı (RAN) Özelliklerinin Genel Açıklaması
ETSI EN 301 893	5 GHz RLAN-Harmonized Standard Covering the Essential Requirements of Article 3.2 of Directive 2014/53/EU	5 GHz RLAN'ı-2014/53/AB Direktifi'nin 3.2. Maddesinin Temel Gerekliliklerini Kapsayan Uyumlaştırılmış Standart

ETSI EN 302 571	Intelligent Transport Systems (ITS)-Radiocommunication Equipment Operating in the 5855 MHz to 5925 MHz Frequency Band -Harmonised Standard Covering the Essential Requirements of Article 3.2 of Directive 2014/53/EU	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-5855 MHz ile 5925 MHz Frekans Bandında Çalışan Radyokomünikasyon Ekipmanı-2014/53/AB Direktifi'nin 3.2. Maddesinin Temel Gerekliliklerini Kapsayan Uyumlaştırılmış Standart
ETSI EN 302 636-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-GeoNetworking-Part 1: Requirements	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-GeoNetworking-Bölüm 1: Gereksinimler
ETSI EN 302 636-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-GeoNetworking-Part 2: Scenarios	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-GeoNetworking-Bölüm 2: Senaryolar
ETSI EN 302 636-3	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-GeoNetworking-Part 3: Network Architecture	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-GeoNetworking-Bölüm 3: Ağ Mimarisi
ETSI EN 302 636-4-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-GeoNetworking-Part 4: Geographical Addressing and Forwarding for Point-to-Point and Point-to-Multipoint Communications-Subpart 1: Media-Independent Functionality	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-GeoNetworking-Bölüm 4: Noktadan Noktaya ve Noktadan Çok Noktaya Haberleşme için Coğrafi Adresleme ve Yönlendirme-Alt Bölüm 1: Ortam Bağımsız İşlevsellik
ETSI EN 302 636-5-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-GeoNetworking-Part 5: Transport Protocols-Subpart 1: Basic Transport Protocol	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-GeoNetworking-Bölüm 5: Taşıma Protokolleri-Alt Bölüm 1: Temel Taşıma Protokolü

	ETSI EN 302 636-6-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-GeoNetworking-Part 6: Internet Integration-Subpart 1: Transmission of IPv6 Packets over GeoNetworking Protocols	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-GeoNetworking-Bölüm 6: İnternet Entegrasyonu-Alt Bölüm 1: IPv6 Paketlerinin GeoNetworking Protokolleri Üzerinden İletimi
	ETSI EN 302 663	Intelligent Transportation Systems (ITS)-ITS-G5 Access Layer Specification for Intelligent Transportation Systems Operating in the 5 GHz Frequency Band	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-5 GHz Frekans Bandında Çalışan Akıllı Ulaşım Sistemleri için ITS-G5 Erişim Katmanı Spesifikasyonu
	ETSI EN 302 890-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)- Facilities Layer Function-Part 1: Services Announcement (SA) Specification	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Servisler Katmanı Fonksiyonu-Bölüm 1: Hizmet Duyurusu Spesifikasyonu
	ETSI EN 302 931	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-Geographical Area Definition	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-Coğrafi Alan Tanımı
	ETSI EN 303 613	Intelligent Transportation Systems (ITS)-LTE-V2X Access Layer Specification for Intelligent Transportation Systems Operating in the 5 GHz Frequency Band	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-5 GHz Frekans Bandında Çalışan Akıllı Ulaşım Sistemleri için LTE-V2X Erişim Katmanı Spesifikasyonu
CEN	CEN/TS 17496	Cooperative Intelligent Transportation Systems-Communication Profiles	Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri-Haberleşme Profilleri
	CEN ISO/TS 21719-1	Electronic Fee Collection-Personalization of On-Board Equipment (OBE) -Part 1: Framework	Elektronik Ücret Toplama-Araç İçi Donanımın (OBE) Kişiselleştirilmesi-Bölüm 1: Çerçeve
	CEN ISO/TS 21719-2	Electronic Fee Collection-Personalization of On-Board Equipment (OBE)-Part 2: Using Dedicated Short Range Communication	Elektronik Ücret Toplama-Araç İçi Donanımın Kişiselleştirilmesi-Bölüm 2: Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşmenin Kullanılması

	CEN ISO/TS 21719-3	Electronic Fee Collection- Personalization of On-Board equipment (OBE) -Part 3: Using Integrated Circuit (s) Cards	Elektronik Ücret Toplama-Araç İçi Donanımın Kişiselleştirilmesi- Bölüm 3: Entegre Devre(ler) Kartlarının Kullanılması
	CEN EN 15509	Electronic Fee Collection- Interoperability Application Profile for DSRC	Elektronik Ücret Toplama-DSRC için Birlikte Çalışabilirlik Uygulama Profili
	CEN EN 16062	Intelligent Transportation Systems – eSafety-eCall High Level Application Requirements (HLAP) Using GSM/UMTS Circuit Switched Networks	Akıllı Ulaşım Sistemleri – eGüvenlik-GSM/UMTS Devre Anahtarlama Ağı Kullanarak eCall Yüksek Düzey Uygulama Gereksinimleri ( HLAP)
	CEN EN ISO 13141	Electronic Fee Collection- Localization Augmentation Communication for Autonomous Systems	Elektronik Ücret Toplama-Otonom Sistemler için Yerelleştirme DestekHaberleşmesi
ISO	ISO 13141	Electronic Fee Collection- Localization Augmentation Communication for Autonomous Systems	Elektronik Ücret Toplama-Otonom Sistemler için Yerelleştirme DestekHaberleşmesi
	ISO 15118- 20	Road Vehicles-Vehicle to Grid Communication Interface-Part 20: 2nd Generation Network Layer and Application Layer Requirements	Karayolu Taşıtları-Araçtan Şebekeye Haberleşme Arayüzü- Bölüm 20: 2. Nesil Ağ Katmanı ve Uygulama Katmanı Gereksinimleri
	ISO 16460	Intelligent Transportation Systems- Localized Communications- Communication Protocol Messages for Global Usage	Akıllı Ulaşım Sistemleri- Yerleşmiş Haberleşmeler- Küresel Kullanım için Haberleşme Protokolü Mesajları
	ISO 18788	Management Systems for Private Security Operations	Özel Güvenlik Operasyonları için Yönetim Sistemleri

ISO 21210	Intelligent Transportation Systems-Communication Access for Land Mobile (CALM)-IPv6 Network Optimization	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Kara Mobil Sistemler Haberleşme Erişimi (CALM)-IPv6 Ağ Optimizasyonu
ISO 17515-1	Intelligent Transportation Systems-Communication Access for Land Mobile (CALM)- Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Kara Mobil Sistemler Haberleşme Erişimi (CALM)-Gelişmiş Evrensel Karasal Radyo Erişim Ağı (E-UTRAN)
ISO 17515-3	Intelligent Transportation Systems-Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network-Part 3: LTE-V2X	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Gelişmiş Evrensel Karasal Radyo Erişim Ağı-Bölüm 3: LTE-V2X
ISO 17575-2	Electronic Fee Collection-Application Interface Definition for Autonomous Systems-Part 2: Communication and Connection with Lower Layers	Elektronik Ücret Toplama-Otonom Sistemler için Uygulama Arayüzü Tanımı-Bölüm 2: Alt Katmanlarla Haberleşme ve Bağlantı
ISO 21177	Intelligent Transportation Systems-ITS Station Security Services for Secure Session Establishment and Authentication between Trusted Devices	Güvenilen Cihazlar Arasında Güvenli Oturum Açma ve Kimlik Doğrulama için AUS İstasyonu Güvenlik Hizmetleri
ISO 21210	Intelligent Transportation Systems-Communication Access for LandMobiles (CALM)-IPv6 Network	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Kara Mobil Sistemler Haberleşme Erişimi (CALM)-IPv6 Ağı
ISO 21215	Intelligent Transportation Systems-Localized Communications – ITS M5	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Yerelleşmiş Haberleşme – ITS M5
ISO 21217	Intelligent Transportation Systems-Station and Communication Architecture	Akıllı Ulaşım Sistemleri-İstasyon ve Haberleşme Mimarisi
ISO 21218	Intelligent Transportation Systems-Hybrid Communications- Access Technology Support	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Hibrit Haberleşme- Erişim Teknolojisi Desteği

	ISO 24102-2	Intelligent Transportation Systems-ITS Station Management-Part 2: Remote Management of ITS-SCUs	Akıllı Ulaşım Sistemleri-AUS İstasyon Yönetimi-Bölüm 2: ITS-SCUs'un Uzaktan Yönetimi
	ISO 24102-4	Intelligent Transportation Systems-ITS Station Management-ITS Station Management-Part 4: Station Internal Management Communication	Akıllı Ulaşım Sistemleri-AUS istasyon yönetimi-AUS İstasyon Yönetimi-Bölüm 4: İstasyon İçi Yönetim Haberleşmesi
	ISO 24102-6	Intelligent Transportation Systems-Communications Access for Land Mobiles (CALM)- ITS Station Management Chapter 6: Path and Flow Management	Akıllı Ulaşım Sistemleri AUS-Kara Mobil Sistemler Haberleşme Erişimi (CALM) – AUS İstasyon Yönetimi Bölüm 6: Yol ve Akış Yönetimi
	ISO 29281-1	Intelligent Transportation Systems-Localized Communication-Part 1: Fast Networking & Transport Layer Protocol (FNTP)	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Yerelleşmiş Haberleşme-Bölüm 1: Hızlı Ağ ve Taşıma Katmanı Protokolü (FNTP)
	ISO 29281-2	Intelligent Transportation Systems-Localized Communication-Part 2: Legacy System Support	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Yerelleşmiş Haberleşme-Bölüm 2: Eski Sistem Desteği
	ISO/TS 19091	Intelligent Transportation Systems-Cooperative ITS-Using V2I and I2V Communications for Applications Related to Signalized Intersections	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Kooperatif AUS-Sinyalize Kavşaklarla İlgili Uygulamalar için V2I ve I2V Haberleşmenin Kullanılması
Other	CSN EN ISO 15118	RoadVehicles-Vehicle to Grid Communication Interface	Karayolu Araçları-Araçtan Şebekeye Haberleşme Arayüzü
	CSN EN ISO 15118-20	RoadVehicles-Vehicle to Grid Communication Interface-Part 20: 2nd Generation Network Layer and Application Layer Requirements	Karayolu Taşıtları-Araçtan Şebekeye Haberleşme Arayüzü-Bölüm 20: 2. Nesil Ağ Katmanı ve Uygulama Katmanı Gereksinimleri



Asya-Pasifik ülkelerinde yayınlanan ve K-AUS hizmetlerinde kullanılan haberleşme teknolojilerine yönelik standartlar, Tablo 7’de yer almaktadır.

**Tablo 7.** Asya-Pasifik Ülkelerinde Yayınlanan ve K-AUS Hizmetlerinde Kullanılan Haberleşme Teknolojilerine Yönelik Standartlar

Country	Instution	Used Standards	English Title of Standard	Turkish Title of Standard
Çin	T/ITS	T/ITS 0001-2014	The Standard of the communication technology for Gateway Terminal of operating vehicles	İşletme Araçlarının Ağ Geçidi Terminali için Haberleşme Teknolojisi Standardı
		T/ITS 0004.1-2014	ITS Data Exchange Protocol for Mobile and Other Portable Station Application-Part 1: General Information and Use Cases	Mobil ve Diğer Taşınabilir İstasyon Uygulamaları için AUS Veri Haberleşme Protokolü-Bölüm 1: Genel Bilgiler ve Kullanım Durumları
		T/ITS 0005-2014	Mobile Information Management System Platform for Data Exchange and Integration Standards	Veri Alışverişi ve Entegrasyon Standartları için Mobil Bilgi Yönetim Sistemi Platformu
		T/ITS 0013.1-2014	C-ITS – DSRC-Part 1: General Technical Requirements	K-AUS – DSRC-Bölüm 1: Genel Teknik Gereksinimler
		T/ITS 0013.2-2014	V2I – DSRC-Part 2: MAC and PHY Features	V2I – DSRC-Bölüm 2: MAC ve PHY Özellikleri
		T/ITS 0013.3-2014	C-ITS – DSRC-Part 3: Technical Requirements for Network Layer and Application Layer	K-AUS – DSRC-Bölüm 3: Ağ Katmanı ve Uygulama Katmanı için Teknik Gereksinimler
		T/ITS 0021-2015	Common Intersection Signal Information and Violation Warning Systems-Performance Requirements and Test Procedures	Ortak Kavşak Sinyal Bilgileri ve İhlal Uyarı Sistemleri-Performans Gereksinimleri ve Test Prosedürleri

T/ITS 0024-2015	Technical Requirements of Vehicle Gateway Based on Public Telecommunication Network	Halka Açık Telekomünikasyon Ağına Dayalı Araç Ağ Geçidinin Teknik Gereksinimleri
T/ITS 0033-2015	DSRC-Wireless OBU and Application	DSRC-Kablosuz OBU ve Uygulaması
T/ITS 0034-2015	DSRC-Wireless RSU Online Setup	DSRC-Kablosuz RSU Çevrim İçi Kurulumu
T/ITS 0036-2015	Data Interface Specification Between Objects in C-ITS	K-AUS'ta Nesnelere Arası Veri Arayüzü Spesifikasyonu
T/ITS 0041-2015	Data Center-Data Collection Platform Access Specification	Veri Merkezi-Veri Toplama Platformu Erişim Spesifikasyonu
T/ITS 0051-2017	General Technical Requirements of LTE-Based Vehicle Communications	LTE Tabanlı Araç Haberleşmesinin Genel Teknik Gereksinimleri
T/ITS 0054-2016	Vehicle Gateway Testing Methods Based on Public Telecommunication Network	Halka Açık Telekomünikasyon Ağına Dayalı Araç Ağ Geçidi Test Yöntemleri
T/ITS 0068-2017	Technological Requirements of Connected Vehicle Cybersecurity Based on Public Telecommunication Network	Halka Açık Telekomünikasyon Ağına Dayalı Bağlantılı Araç Siber Güvenliğinin Teknolojik Gereksinimleri
T/ITS 0117-2022	RSU and Central Subsystem Connection-Data Interface Specification	RSU ve Merkezi Alt Sistem Bağlantısı-Veri Arayüzü Spesifikasyonu

		T/ITS 0118-2020	C-ITS-Vehicle Communication Phase II Application Layer Specification and Data Exchange Standard	K-AUS-Araç Haberleşmesi Faz II Uygulama Katmanı Spesifikasyonu ve Veri Alışverişi Standardı
		T/ITS 0127-2020	Technical Specifications of Communication Certificate Management for V2I Systems	V2I Sistemleri için Haberleşme Sertifikası Yönetiminin Teknik Özellikleri
		T/ITS 0183-2022	Cloud Control Core Platform for V2I Systems- Technical Requirements for Cybersecurity	V2I Sistemleri için Bulut Kontrolü Çekirdek Platformu-Siber Güvenlik için Teknik Gereksinimler
		T/ITS 0191.2-2022	Intelligent Bus System-Part 2: Data Interface	Akıllı Veri Yolu Sistemi-Bölüm 2: Veri Arayüzü
		T/ITS 0210-2022	Framework for Information Interaction Interface Between Traffic Signal Controller and RSU Equipment	Trafik Sinyal Denetleyicisi ve RSU Ekipmanı Arasındaki Bilgi Etkileşimi Arayüzü için Çerçeve
Güney Kore	MOLIT	MOLIT 2013 – 251	Information Exchange with DSRC	DSRC ile Bilgi Alışverişi
		MOLIT 2016 – 186	Public Transport Information Exchange	Toplu Taşıma Bilgi Alışverişi
		MOLIT 2016 – 206	Basic Traffic Information Exchange I	Temel Trafik Bilgi Alışverişi I
		MOLIT 2016 – 207	Basic Traffic Information Exchange II	Temel Trafik Bilgi Alışverişi II
		MOLIT 2016 – 208	Basic Traffic Information Exchange IV	Temel Trafik Bilgi Alışverişi IV
Japonya	TTA	TTAK.KO-06.0377	E-UTRAN Interface in ITS	AUS'ta E-UTRAN Arayüzü

Türkiye’de yürütülen projelerde kullanılan K-AUS haberleşme teknolojilerine yönelik standartlar, Tablo 8’de yer almaktadır.

**Tablo 8.** Türkiye’de Kullanılan K-AUS Haberleşme Teknolojilerine Yönelik Standartlar

Kurum	Standart Kodu	Standard Title	Standart Başlığı
ETSI	ETSI TS 102 636-4-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicle communications – GeoNetworking-Part 4: Geographical Addressing and Forwarding for Point-to-Point and Point-to-Multipoint Communications-Sub-Part 1: Media-Independent Functionality	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi – Geonetworking-Bölüm 4: Noktadan Noktaya ve Noktadan Çok Noktaya Haberleşme için Coğrafi Adresleme ve Yönlendirme-Alt Bölüm 1: Ortam Bağımsız İşlevsellik
	ETSI TS 102 636-4-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications – Geonetworking-Part 4: Geographical Addressing and Forwarding for Point-to-Point and Point-to-Multipoint Communications-Sub-Part 2: Environment-Dependent Functionalitie for ITS G5	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi – Geonetworking-Bölüm 4: Noktadan Noktaya ve Noktadan Çok Noktaya Haberleşme için Coğrafi Adresleme ve Yönlendirme-Alt Bölüm 2: ITS G5 için Ortama Bağlı İşlevler
	ETSI TS 102 636-5	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications – Geonetworking-Part 5: Transport Protocols-Subpart 1: Basic Transport Protocol	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi – Geonetworking-Bölüm 5: Taşıma Protokolleri-Alt Bölüm 1: Temel Taşıma Protokolü
	ETSI TS 102 636-6	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-Geonetworking-Part 6: Internet Integration-Sub-Part 1: Transmission of IPv6 Packets over Geonetworking Protocols	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi – Geonetworking-Bölüm 6: İnternet Entegrasyonu-Alt Bölüm 1: IPv6 Paketlerinin Geonetworking Protokolleri Üzerinden İletimi
	ETSI TS 102 894-1	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Users and Applications Requirements-Part 1: Facility Layer Structure, Functional Requirements and Specifications	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Kullanıcılar ve Uygulamalar Gereksinimleri-Bölüm 1: Servisler Katmanı Yapısı, İşlevsel Gereksinimler ve Spesifikasyonlar

ETSI TS 102 894-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Users and Application Requirements-Part 2: Applications and Facilities Layer Common Data Dictionary-Version 2	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Kullanıcılar ve Uygulama Gereksinimleri-Bölüm 2: Uygulamalar ve Servisler Katmanı Ortak Veri Sözlüğü-Sürüm 2
ETSI TS 102 941	Intelligent Transportation Systems (ITS) – Security-Trust and Privacy Management	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Güvenlik-Güven ve Mahremiyet Yönetimi
ETSI TS 102 942	Intelligent Transportation Systems (ITS) – Security-Access Control	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) – Güvenlik-Erişim Kontrolü
ETSI TS 103 701	Cybersecurity for the Internet of Things: Compliance Assessment of Baseline Requirements	Nesnelerin İnterneti için Siber Güvenlik: Temel Gereksinimlerin Uyumluluğunun Değerlendirilmesi
ETSI TS 136 101	LTE-Enhanced Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA)-User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception	LTE-Gelişmiş Evrensel Karasal Radyo Erişimi (E-UTRA)-Kullanıcı Ekipmanı (UE) Radyo İletimi ve Alımı
ETSI TS 136 133	LTE-Enhanced Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA)-Requirements for Radio Resource Management Support	LTE-Gelişmiş Evrensel Karasal Radyo Erişimi (E-UTRA)-Radyo Kaynak Yönetimi Desteği için Gereksinimler
ETSI TS 301 489-1	Electromagnetic Compatibility (EMC)-Standard for Radio Equipment and Services-Part 1: Common Technical Requirements-Harmonized Standard for Electromagnetic Compatibility	Elektromanyetik Uyumluluk (EMC)-Radyo Ekipmanı ve Hizmetlerine İlişkin Standart-Bölüm 1: Ortak Teknik Gereksinimler-Elektromanyetik Uyumluluk için Uyumlaştırılmış Standart
ETSI EN 202 663	Intelligent Transportation Systems (ITS)-European Profile Standard for the Physical and Medium Access Control Layer of Intelligent Transportation Systems Operating in the 5 Ghz Frequency Band	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-5 GHz Frekans Bandında Çalışan Akıllı Taşıma Sistemlerinin Fiziksel ve Ortam Erişimi Kontrol Katmanı için Avrupa Profil Standardı

ETSI EN 301 908-13	IMT Cellular Networks-Harmonized Standard for Access to the Radio Spectrum-Part 13: Enhanced Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) User Equipment (UE)	IMT Hücresel Ağları-Radyo Spektrumuna Erişim için Uyumlaştırılmış Standart-Bölüm 13: Gelişmiş Evrensel Karasal Radyo Erişimi (E-UTRA) Kullanıcı Ekipmanı (UE)
ETSI EN 302 571	Intelligent Transport Systems (ITS)-Radiocommunication Equipment Operating in the 5855 MHz to 5925 MHz Frequency Band Harmonized Standard Covering the Essential Requirements of Article 3.2 of Directive 2014/53/EU	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-5855 MHz ile 5925 MHz Frekans Bandında Çalışan Radyokomünikasyon Ekipmanı-2014/53/AB Direktifi'nin 3.2. Maddesinin Temel Gerekliliklerini Kapsayan Uyumlaştırılmış Standart
ETSI EN 302 637-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-Basic Set of Applications-Part 2: Determination of Cooperative Awareness Basic Service	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-Temel Uygulama Seti-Bölüm 2: Kooperatif Farkındalık Temel Hizmetinin Belirlenmesi
ETSI EN 302 637-3	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-Basic Set of Applications-Part 3: Features of the Decentralized Environmental Notification Basic Service	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-Temel Uygulama Seti-Bölüm 3: Merkezi Olmayan Çevresel Bildirim Temel Hizmetinin Özellikleri
ETSI EN 302 665	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Communication Architecture	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Haberleşme Mimarisi
ETSI EN 302 895	Intelligent Transportation Systems (ITS)-Vehicular Communications-Basic Set of Applications-Local Dynamic Map (LDM)	Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)-Araç Haberleşmesi-Temel Uygulama Seti-Yerel Dinamik Harita (LDM)

	ETSI EN 303 413	Satellite Earth Stations and Systems (SES)-Global Navigation Satellite System (GNSS) Receivers-Radio Equipment Operating in the Frequency Bands 1164 Mhz to 1300 Mhz and 1559 Mhz to 1610 Mhz-Harmonized Standard for Access to the Radio Spectrum	Uydu Yer İstasyonları ve Sistemleri (SES)-Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) Alıcıları-1164 MHz ile 1300 MHz ve 1559 MHz ile 1610 MHz Frekans Bantlarında Çalışan Radyo Ekipmanı-Radyo Spektrumuna Erişim için Uyumlaştırılmış Standart
ECE	ECE 4807	Uniform Provisions Concerning the Approval of: Means for the Installation of Lighting and Light Signaling Devices	Aydınlatma ve Işıklı Sinyal Cihazlarının Takılması Konusunda Araçlara Onay Verilmesine İlişkin Tek Tip Hükümler
	ECE 14101	Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles for Tire Pressure Monitoring Systems	Araçların Lastik Basıncı İzleme Sistemleri Açısından Onaylanmasına İlişkin Tekdüzen Hükümler
	ECE 14201	Proposal for Amendments Series 01 to UN Regulation No. 142 (Tire Mounting).	142 Sayılı BM Yönetmeliğine (Lastik Montajı) İlişkin 01 Serisi Değişiklik Teklifi
	ECE 15100	Uniform Provisions Concerning the Approval of Motor Vehicles for the Blind Spot Information System for the Detection of Bicycles	Bisikletlerin Tespitine Yönelik Kör Nokta Bilgi Sistemine İlişkin Motorlu Taşıtların Onayına İlişkin Tekdüzen Hükümler
	ECE 15800	UN Regulation on Uniform Provisions for the Approval of Devices and Motor Vehicles for the Driver's Awareness of Vulnerable Road Users Behind the Vehicle when Reversing	Sürücünün Geri Geri Dönerken Araç Arkasındaki Savunmasız Yol Kullanıcılarının Farkındalığı Açısından Cihazların ve Motorlu Taşıtların Onayına İlişkin Tekdüzen Hükümler Hakkında BM Yönetmeliği
	ECE 15900	Uniform Provisions Concerning the Approval of Motor Vehicles for the Movement Information System for the Detection of Pedestrians and Cyclists	Yaya ve Bisikletlilerin Algılanmasına Yönelik Hareket Etme Bilgi Sistemine İlişkin Motorlu Taşıtların Onayına İlişkin Tekdüzen Hükümler

	ECE 16000	Uniform Provisions for Approval of Motor Vehicles with Respect to Event Data Recorder	Olay Veri Kaydedicisi ile İlgili Olarak Motorlu Taşıtların Onaylanmasına İlişkin Tekdüzen Hükümler
	UN R10 ECE	Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles for Electromagnetic Compatibility	Araçların Elektromanyetik Uyumluluk Açısından Onaylanmasına İlişkin Tekdüzen Hükümler
	UN R155 ECE	Cyber Security and Cyber Security Management System	Siber Güvenlik ve Siber Güvenlik Yönetim Sistemi
	UN R156 ECE	Software Update and Software Update Management System	Yazılım Güncelleme ve Yazılım Güncelleme Yönetim Sistemi
EEC	EEC 2021/535	Implementing Regulation (EU) 2021/535 of the Commission laying down the Rules for the Application of Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council and Union Procedures for Type Approval of Vehicles and General Construction Characteristics of Systems, Components and Separate Technical Units for These Vehicles, in Respect of Technical Specifications and Regulation dated 31 March 2021 as Specific Regulation in Terms of Security	Avrupa Parlamentosu ve Konseyi Yönetmeliği (AB) 2019/2144'ün Uygulanmasına İlişkin Kuralları Belirleyen 2021/535 Sayılı Komisyon'un Uygulama Yönetmeliği ve Araçların Tür Onayı için Birlik Prosedürleri ve Teknik Özellikler Bakımından, Sistemlerin, Bileşenlerin ve Bu Araçlar için Ayrı Teknik Ünitelerin Genel İnşaat Özellikleri ve Güvenliği Bakımından Belirli Yönetmeliği Olarak 31 Mart 2021 Tarihli Yönetmelik



	EEC 2021/1341	Delegated Regulation 2021/1341 of the Commission Supplementing Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council and Establishing Specific Test Procedures and Technical Requirements for Type Approval of Automobile Vehicles with respect to Driver Drowsiness and Attention Warning Systems and amending Annex II to that Regulation, Regulation dated 23 April 2021.	Avrupa Parlamentosu ve Konseyi Yönetmeliği (AB) 2019/2144'ü Tamamlayan ve Otomobil Araçlarının Sürücü Uykusuzluğu ve Dikkat Uyarı Sistemleri Bakımından Tür Onayı için Belirli Test Prosedürleri ve Teknik Gereksinimleri Belirleyen ve Bu Yönetmeliğin Ek II'sini Değiştiren 2021/1341 Sayılı Komisyon'un Yetkilendirilmiş Yönetmeliği, 23 Nisan 2021 Tarihli Yönetmelik
	EEC 2021/1958	Commission No 2021/1958 Supplementing Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council and Establishing Specific Test Procedures and Technical Requirements for Type Approval with respect to Intelligent Speed Assistance Systems of Automobile Vehicles and Establishing Relevant Rules for Type Approval of These Systems as Separate Technical Units Regulation of 23 June 2021 amending the Delegated Regulation and Annex II to this Regulation.	Avrupa Parlamentosu ve Konseyi Yönetmeliği (AB) 2019/2144'ü Tamamlayan ve Otomobil Araçlarının Akıllı Hız Yardım Sistemleri Bakımından Tür Onayı için Belirli Test Prosedürleri ve Teknik Gereksinimleri Belirleyen ve Bu Sistemlerin Ayır Teknik Üniteler Olarak Tür Onayı için İlgili Kuralları Koyan 2021/1958 Sayılı Komisyon'un Yetkilendirilmiş Yönetmeliği ve Bu Yönetmeliğin Ek II'sini Değiştiren 23 Haziran 2021 Tarihli Yönetmelik.
SAE	SAE J1939	Recommended Practice for Serial Control and Communication Vehicle Network	Seri Kontrol ve Haberleşme Araç Ağı için Önerilen Uygulama

IEEE	IEEE 802.11-2012	Information Technology Standard-Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks-Special Requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications	Bilgi Teknolojisi Standardı-Sistemler Arasında Telekomünikasyon ve Bilgi Alışverişi Yerel ve Metropol Alan Ağları-Özel Gereksinimler-Bölüm 11: Kablosuz LAN Ortam Erişim Kontrolü (MAC) ve Fiziksel Katman (PHY) Spesifikasyonları
	IEEE 802.11p	Information Technology Standard-Local and Metropolitan Area Networks-Special Requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment-Part 6: Wireless Access in Vehicular Environments	Bilgi Teknolojisi Standardı-Yerel ve Metropol Alan Ağları-Özel Gereksinimler-Bölüm 11: Kablosuz LAN Ortam Erişim Kontrolü (MAC) ve Fiziksel Katman (PHY) Spesifikasyonları Değişiklik-Bölüm 6: Araç Ortamları için Kablosuz Erişim
ISO	ISO 4926	Highway Vehicles-Hydraulic Brake Systems-Non-Petroleum Based Reference Fluid	Karayolu Araçları-Hidrolik Fren Sistemleri-Petrol Bazlı Olmayan Referans Sıvısı
	ISO 8855	Road Vehicles-Vehicle Dynamics and Handling Ability: Glossary	Karayolu Araçları-Araç Dinamiği ve Yol Tutuş Yeteneği: Sözlük
	ISO 11898	Road Vehicles-Controller Area Network (CAN)-Part 1: Data Link Layer and Physical Signaling	Karayolu Araçları-Denetleyici Alan Ağı (CAN)- Bölüm 1: Veri Bağı Katmanı ve Fiziksel Sinyal
	ISO 15765-2	On-Road Vehicles-Diagnostic Communications over Controller Area Network (CAN)-Part 2: Transport Protocol and Network Layer Services	Karayolu Araçları-Denetleyici Alan Ağı (CAN) Üzerinden Teşhis Haberleşmesi-Bölüm 2: Taşıma Protokolü ve Ağ Katmanı Hizmetleri
	ISO 16750-3	Environmental Conditions and Tests for Electrical and Electronic Equipment-Part 3: Mechanical Loads	Elektrikli ve Elektronik Ekipmanlar için Çevresel Koşullar ve Testler-Bölüm 3: Mekanik Yükler

	ISO 16750-4	Environmental Conditions and Tests for Electrical and Electronic Equipment-Part 4: Climatic Loads	Elektrikli ve Elektronik Ekipmanlar için Çevresel Koşullar ve Testler-Bölüm 4: İklimsel Yükler
	ISO 26262	Road Vehicles-Functional Safety-Part 1: Glossary	Karayolu Araçları-İşlevsel Güvenlik-Bölüm 1: Sözlük
	ISO/SAE 21434	Road Vehicles-Cyber Security Engineering	Karayolu Araçları-Siber Güvenlik Mühendisliği
	ISO/IEC 27001	Information Security-Cyber Security and Privacy Protection-Information Security Management Systems: Requirements	Bilgi Güvenliği-Siber Güvenlik ve Gizliliğin Korunması-Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemleri: Gereksinimler
TS	TS ISO 23376	Intelligent Transportation Systems-Vehicle-to-Vehicle Intersection Collision Warning Systems (VVICW) Performance Requirements and Test Procedures	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Araçtan Araca Kavşak Çarpışma Uyarı Sistemleri (Vehicle-to-Vehicle Intersection Collision Warning Systems, VVICW) Performans Gereksinimleri ve Test Prosedürleri
	TS EN 15509	Electronic Fee Collection-Interoperability Application Profile for DSRC	Elektronik Ücret Toplama-DSRC için Birlikte Çalışabilirlik Uygulama Profili
	TS EN 15722	Intelligent Transportation Systems – e-Safety – e-Call Minimum Data Set	Akıllı Ulaşım Sistemleri – e-Güvenlik – e-Çağrı Minimum Veri Seti
	TS EN 15876	Electronic Fee Collection-Assessment of On-Board Units and Roadside Units for Compliance with EN 15509	Elektronik Ücret Toplama-Araç İçi Birimlerinin ve Yol Kenarı Birimlerinin EN 15509'a Uyumluluğunun Değerlendirilmesi
	TS EN 16062	Intelligent Transportation Systems – e-Safety-e-Call Using GSM/UMTS Circuit Switched Networks High Level Application Requirements (HLAP)	Akıllı Ulaşım Sistemleri – e-Güvenlik-GSM/UMTS Devre Anahtarlama Ağı Kullanarak e-Çağrı Yüksek Düzey Uygulama Gereksinimleri (High Level Application Requirements, HLAP)
	TS EN 16072	Intelligent Transportation Systems – e-Safety-Pan-European e-Call Operating Requirements	Akıllı Ulaşım Sistemleri – e-Güvenlik-Avrupa Çapında e-Çağrı İşletim Gereksinimleri

TS 16102	EN	Intelligent Transportation Systems – e-Call – Operating Requirements for Third Party Support	Akıllı Ulaşım Sistemleri – e-Çağrı-Üçüncü Taraf Desteği için İşletim Gereksinimleri
TS EN ISO 12813		Electronic Fee Collection-Compliance Check Communication for Autonomous Systems	Elektronik Ücret Toplama-Otonom Sistemler için Uyumluluk Kontrolü Haberleşmesi
TS EN ISO 13140-1		Electronic Fee Collection-Evaluation of On-Board Units and Roadside Units for Compliance with ISO 13141-Part 1: Test Package Structure and Test Purposes	Elektronik Ücret Toplama-Araç İçi Birimlerin ve Yol Kenarı Birimlerinin ISO 13141'e Uyumluluk Açısından Değerlendirilmesi-Bölüm 1: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları
TS EN ISO 13140-2		Electronic Fee Collection-Evaluation of On-Board Units and Roadside Units for Compliance with ISO 13141-Part 2: Summary Test Package	Elektronik Ücret Toplama-Araç İçi Birimlerin ve Yol Kenarı Birimlerinin ISO 13141'e Uyumluluk Açısından Değerlendirilmesi-Bölüm 2: Özet Test Paketi
TS EN ISO 13141		Electronic Fee Collection-Localization Augmentation Communication for Autonomous Systems	Elektronik Ücret Toplama-Otonom Sistemler için Yerelleştirme İyileştirme Haberleşmesi
TS EN ISO 13143-1		Electronic Fee Collection-Evaluation of On-Board Units and Roadside Units for Compliance with ISO 12813-Part 1: Test Package Structure and Test Purposes	Elektronik Ücret Toplama-Araç İçi Birimlerin ve Yol Kenarı Birimlerinin ISO 12813'e Uyumluluk Açısından Değerlendirilmesi-Bölüm 1: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları
TS EN ISO 14906		Electronic Fee Collection-Implementation of Interface Definition for DSRC	Elektronik Ücret Toplama-DSRC için Arayüz Tanımının Uygulanması
TS EN ISO 14907-1		Electronic Fee Collection Test Procedures for User and Fixed Equipment-Part 1: Description of Test Procedures	Kullanıcı ve Sabit Ekipman için Elektronik Ücret Toplama Test Prosedürleri-Bölüm 1: Test Prosedürlerinin Açıklaması

TS EN ISO 14907-2	Electronic Fee Collection Testing Procedures for User and Fixed Equipment-Part 2: Compliance Testing for Onboard Unit Application Interface	Kullanıcı ve Sabit Ekipman için Elektronik Ücret Toplama Test Prosedürleri-Bölüm 2: Araç İçi Birim Uygulama Arayüzü için Uyumluluk Testi
TS EN ISO 15118-20	Highway Vehicles-Vehicle-to-Grid Communication Interface-Part 20: Generation 2 Network Layer and Application Layer Requirements	Karayolu Taşıtları-Araçtan Şebekeye Haberleşme Arayüzü-Bölüm 20: 2. Nesil Ağ Katmanı ve Uygulama Katmanı Gereksinimleri
TS EN ISO 16407-1	Electronic Fee Collection – Evaluation of Equipment for Compliance with ISO 17575-1-Part 1: Test Package Structure and Test Purposes	Elektronik Ücret Toplama – ISO 17575-1’e Uyumluluk Açısından Ekipmanın Değerlendirilmesi-Bölüm 1: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları
TS EN ISO 16407-2	Electronic Fee Collection – Evaluation of Equipment for Compliance with ISO 17575-1-Part 2: Summary Test Package	Elektronik Ücret Toplama – ISO 17575-1’e Uyumluluk Açısından Ekipmanın Değerlendirilmesi-Bölüm 2: Özet Test Paketi
TS EN ISO 17573-1	Electronic Fee Collection-System Architecture for Vehicle-Related Tolling-Part 1: Reference Model	Elektronik Ücret Toplama-Araçla İlgili Ücretlendirme için Sistem Mimarisi-Bölüm 1: Referans Modeli
TS EN ISO 17575-1	Electronic Fee Collection-Application Interface Definition for Autonomous Systems-Part 1: Charging	Elektronik Ücret Toplama-Otonom Sistemler için Uygulama Arayüzü Tanımı-Bölüm 1: Şarj Etme
TS EN ISO 17575-2	Electronic Fee Collection-Application Interface Definition for Autonomous Systems-Part 2: Communication and Connection with Lower Layers	Elektronik Ücret Toplama-Otonom Sistemler için Uygulama Arayüzü Tanımı-Bölüm 2: Alt Katmanlarla Haberleşme ve Bağlantı
TS EN ISO 17575-3	Electronic Fee Collection-Application Interface Definition for Autonomous Systems-Part 3: Context Data	Elektronik Ücret Toplama-Otonom Sistemler için Uygulama Arayüzü Tanımı-Bölüm 3: Bağlam Verileri
TS EN ISO 19299	Electronic Fee Collection-Security Framework	Elektronik Ücret Toplama-Güvenlik Çerçevesi

	TS EN ISO 25110	Electronic Fee Collection-Interface Description for Resident Account Using Integrated Circuit Card (ICC)	Elektronik Ücret Toplama-Entegre Devre Kartı (Integrated Circuit Card, ICC) Kullanan Yerleşik Hesap için Arayüz Tanımı
TSE	TSE CEN/TS 16331	Electronic Fee Collection-Interoperable Application Profiles for Autonomous Systems	Elektronik Ücret Toplama-Otonom Sistemler için Birlikte Çalışabilir Uygulama Profilleri
	TSE CEN/TS 16405	Intelligent Transportation Systems – e-Call-Additional Data Requirements for Heavy Cargo Vehicles	Akıllı Ulaşım Sistemleri – e-Çağrı-Ağır Yük Taşıtları için İlave Veri Şartları
	TSE CEN/TS 16986	Electronic Fee Collection-Interoperable Application Profiles for Information Exchange Between Service Service Provision and Toll Charging	Elektronik Ücret Toplama-Hizmet Sunumu ve Ücret Toplama Arasındaki Bilgi Alışverişi için Birlikte Çalışabilir Uygulama Profilleri
	TSE CEN/TS 17148	Intelligent Transportation Systems – e-Safety-ProForma e-Call Agreement Between TPSP and PARES	Akıllı Ulaşım Sistemleri – e-Güvenlik-TPSP ile PARES Arasında ProForma e-Çağrı Anlaşması
	TSE CEN/TS 17154-1	Electronic Fee Collection-Evaluation of the Application in Terms of Compliance with CEN/TS 16986-Part 1: Test Package Structure and Objectives	Elektronik Ücret Toplama-CEN/TS 16986'ya Uyumluluk Açısından Uygulamanın Değerlendirilmesi-Bölüm 1: Test Paketi Yapısı ve Amaçları
	TSE CEN/TR 15762	Road Transport and Traffic Telematics-Electronic Fee Collection (EFC)-Ensuring Correct Operation of EFC Equipment Installed Behind Metallized Windshield	Karayolu Taşımacılığı ve Trafik Telematiği-Elektronik Ücret Toplama (EFC)-Metalize Ön Camın Arkasına Takılan EFC Ekipmanının Doğru Çalışmasını Sağlama
	TSE CEN/TR 16152	Electronic Fee Collection-Customization and Assembly of the First Passenger OBU	Elektronik Ücret Toplama-Kullanılacak ilk OBE'nin Kişiselleştirilmesi ve Montajı
	TSE CEN/TR 16219	Electronic Fee Collection-Value Added Services Based on EFC Onboard Equipment	Elektronik Ücret Toplama-EFC Yerleşik Ekipmanına Dayalı Katma Değerli Hizmetler

TSE CEN/TR 16968	Electronic Fee Collection-Security Measures Assessment for Applications Using DSRC	Elektronik Ücret Toplama-DSRC Kullanan Uygulamalar için Güvenlik Önemleri Değerlendirmesi
TSE CEN ISO/TS 18234-1	Intelligent Transport Systems-Traffic and Transport Protocol Expert Group, Travel Information via Generation 1 (Tpeg1) Binary Data Format-Part 1: Introduction, Numbering and Versions (Tpeg1-Inv)	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Trafik ve Ulaşım Protokol Uzmanlar Grubunun, Kuşak 1 (Tpeg1) İkili Veri Biçimi Yoluyla Seyahat Bilgileri-Bölüm 1: Giriş, Numaralandırma ve Sürümleri (Tpeg1-Inv)
TSE CEN ISO/TS 18234-2	Intelligent Transportation Systems-Travel Information Through the Traffic and Transport Protocol Expert Group, Generation 1 (Tpeg1) Binary Data Format-Part 2: Syntax, Semantic and Frame Structure	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Trafik ve Ulaşım Protokolü Uzmanlar Grubu Vasıtasıyla Seyahat Bilgileri, Kuşak 1 (Tpeg1) İkili Veri Biçimi-Bölüm 2: Sözdizimi, Anlam ve Çerçeve Yapısı
TSE CEN ISO/TS 18234-7	Intelligent Transportation Systems-Travel Information through the Traffic and Transport Protocol Expert Group, Generation 1 (Tpeg1) Binary Data Format-Part 7: Parking Information (Tpeg1-Pki)	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Trafik ve Ulaşım Protokolü Uzmanlar Grubu Vasıtasıyla Seyahat Bilgileri, Kuşak 1 (Tpeg1) İkili Veri Biçimi-Bölüm 7: Park Bilgileri (Tpeg1-PKI)
TSE CEN ISO/TS 18234-9	Intelligent Transport Systems-Travel Information through the Traffic and Transport Protocol Expert Group, Generation 1 (Tpeg1) Binary Data Format-Part 9: Traffic Event Compact (Tpeg1-Tec)	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Trafik ve Ulaşım Protokolü Uzmanlar Grubu Vasıtasıyla Seyahat Bilgileri, Kuşak 1 (Tpeg1) İkili Veri Biçimi-Bölüm 9: Trafik Olay Kompakt (Tpeg1-Tec)
TSE CEN ISO/TS 18234-10	Intelligent Transportation Systems-Travel Information through the Traffic and Transport Protocol Expert Group, Generation 1 (Tpeg1) Binary Data Format-Part 10: Conditional Access Information (Tpeg1-Cai)	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Trafik ve Ulaşım Protokolü Uzmanlar Grubu Vasıtasıyla Seyahat Bilgileri, Kuşak 1 (Tpeg1) İkili Veri Biçimi-Bölüm 10: Koşullu Erişim Bilgileri (Tpeg1-CAI)

	TSE CEN ISO/TS 21719-1	Electronic Fee Collection- Personalization of On-Board Equipment -Part 1: Framework	Elektronik Ücret Toplama-Araç İçi Birimini Kişiselleştirilmesi-Bölüm 1: Çerçeve
	TSE CEN ISO/TS 21719-2	Electronic Fee Collection- Personalization of On-Board Equipment-Part 2: Using Dedicated Short Range Communication	Elektronik Ücret Toplama-Araç İçi Birimini Kişiselleştirilmesi-Bölüm 2: Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşmenin Kullanılması
	TSE CEN ISO/TS 21719-3	Electronic Fee Collection- Personalization of On-Board Equipment -Part 3: Using Integrated Circuit Cards	Elektronik Ücret Toplama-Araç İçi Birimini Kişiselleştirilmesi-Bölüm 3: Entegre Devre Kartlarının Kullanılması
	TSE CEN ISO/TR 16401-1	Electronic Fee Collection-Evaluation of Equipment for Conformity to ISO/TS 17575-2 -Part 1: Test Suite Structure and Test Purposes	Elektronik Ücret Toplama- Ekipmanın ISO/TS 17575-2 Standardına Uygunluk Açısından Değerlendirilmesi-Bölüm 1: Test Paketi Yapısı ve Test Amaçları
	TSE CEN ISO/TR 16401-2	Electronic Fee Collection-Evaluation of Equipment for Conformity to ISO/TS 17575-2 -Part 2: Abstract Test Package	Elektronik Ücret Toplama- Ekipmanın ISO/TS 17575-2 Standardına Uygunluk Açısından Değerlendirilmesi-Bölüm 2: Özet Test Paketi
	TSE ISO/TS 17574	Electronic Fare Allocation-Guide to Security Protection Profiles	Elektronik Ücret Tahsisi-Güvenlik Koruma Profilleri için Kılavuz
	TSE ISO/TR 21707	Intelligent Transportation Systems- Integrated Transportation Information, Management and Control-Quality of Data in ITS Systems	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Bütünleşik Ulaşım Bilgisi, Yönetimi ve Kontrolü-AUS Sistemlerindeki Verinin Kalitesi
	TSE ISO/TR 25102	Intelligent Transportation Systems- System Structure-'Use Scenario' Possible Template	Akıllı Ulaşım Sistemleri-Sistem Yapısı-'Kullanım Senaryosu' Muhtemel Şablonu
DİĞER	NB-IOT	Narrow Band-Iot	Dar Bant-IoT
	CAT-M	Category M	Kategori M



## BÖLÜM VI

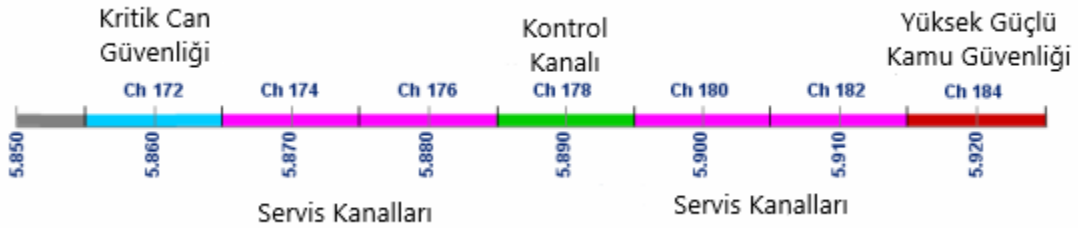
### 6. AUS/K-AUS HİZMETLERİNDE KULLANILAN HABERLEŞME PROTOKOLLERİ

Haberleşme protokolü, özellikle bir ağ üzerinden verilerin nasıl iletileceğini veya değiştirileceğini açıklayan bir dizi resmi kural olarak tanımlanır (Australian Research Data Commons, 2023). K-AUS hizmetlerinde iletişim protokolleri ise araçlar, altyapı ve diğer unsurlar arasında veri alışverişi için standartlaştırılmış kuralları ifade eder. Bu protokoller, kesintisiz haberleşmeye olanak tanıyarak trafik koşulları, yoldaki tehlikeler ve araç hareketleri gibi kritik bilgilerin gerçek zamanlı paylaşımını kolaylaştırır. K-AUS hizmetlerinde haberleşme protokolleri uygulanarak V2X haberleşme sağlanır. Böylece genel trafik yönetimi geliştirilir, trafik güvenliği artırılır ve birbirine bağlı araçlar ve altyapı bileşenleri arasındaki birlikte çalışabilirlik sağlanarak ulaşım sistemlerinin verimliliği yükseltilir. V2X, C2C, I2C, I2I haberleşme için kullanılan bazı haberleşme protokolleri aşağıda yer almaktadır.

#### 6.1. IEEE 802.11 Ailesi

##### 6.1.1. IEEE 802.11p

V2X haberleşme için atılan ilk adım, IEEE 802.11p temelli haberleşme teknolojilerinin tanıtılması olmuştur. IEEE 802.11p, araç ortamları için kablosuz erişim (WAVE) sağlayacak şekilde IEEE 802.11 standardının bir değişikliğidir. 5,9 GHz (5,850-5,925 GHz) frekans bandında, V2X haberleşme uygulamalarının kullandığı IEEE standardıdır (everything RF, 2020). Bu teknolojiye kullanılan DSRC spektrumu, 1999 yılında ABD FCC tarafından, yalnızca V2V ve I2V haberleşme için kullanılmak üzere 5,9 GHz’de 75 MHz olarak tahsis edilmiştir. Şekil 63’te ABD’de, DSRC spektrum bandı ve kanalları gösterilmiştir (Jiang & Delgrossi, 2008).



Şekil 63. ABD’de DSRC Spektrum Bandı ve Kanalları

IEEE802.11p standardına dayalı IEEE 1609 standartları, toplu olarak güvenli V2V ve V2I kablosuz iletişimleri mümkün kılan bir mimari ve tamamlayıcı, standartlaştırılmış bir hizmet ve arayüz seti tanımlamaktadır. Bu standartlar; araç güvenliği, otomatik geçiş ücreti, gelişmiş navigasyon, trafik yönetimi ve daha birçokları dahil olmak üzere ulaşım ortamındaki geniş bir uygulama yelpazesi için temel sağlamaktadır. Bu standartlar aşağıda listelenmiştir (United States Department of Transportation, 2009):

- *IEEE 1609.0 WAVE – Mimari için Taslak Standart:* Çok kanallı DSRC/WAVE cihazlarının mobil araç ortamında iletişim kurması için gerekli olan WAVE mimarisini ve hizmetlerini açıklar.
- *IEEE 1609.1 WAVE – Kaynak Yöneticisi için Test Standardı:* WAVE-Kaynak Yöneticisi uygulamasının servislerini ve arayüzlerini belirtir. WAVE mimarisi içerisinde sunulan veri ve yönetim servislerini açıklar. Komut mesajı formatlarını ve bu mesajlara verilen uygun yanıtları, mimari bileşenler arasında iletişim kurmak için uygulamalar tarafından kullanılması gereken veri depolama formatlarını ve durum ve istek mesajı formatlarını tanımlar.
- *IEEE 1609.2 WAVE – Uygulamalar ve Yönetim Mesajları için Güvenlik Hizmetleri İçin Test Standardı:* Güvenli mesaj formatlarını ve işlenmesini tanımlar. Bu standart aynı zamanda güvenli mesaj alışverişinin kullanılmasına ilişkin koşulları ve bu mesajların alışverişin amacına göre nasıl işlenmesi gerektiğini de tanımlar.
- *IEEE 1609.3 WAVE – Ağ Kurma Servisleri için Test Standardı:* Güvenli WAVE veri alışverişini desteklemek için adresleme ve yönlendirme dahil olmak üzere ağ ve taşıma katmanı hizmetlerini tanımlar. Uygulamalar tarafından doğrudan desteklenebilen, IPv6'ya alternatif olarak geliştirilen WAVE kısa mesajlarını da tanımlar. Ayrıca bu standart, WAVE protokol yığını için Yönetim Bilgi Tabanını (MIB) tanımlar.
- *IEEE 1609.4 WAVE Çok Kanallı Operasyonlar için Test Standardı:* WAVE işlemlerini desteklemek için IEEE 802.11 ortam erişim kontrolünde (MAC) iyileştirmeler sağlar.
- *IEEE 1609.11 Akıllı Ulaşım Sistemleri için Havadan Veri Alışverişi Protokolü (Over-the-Air Data Exchange Protocol for Intelligent Transportation Systems):* Güvenli elektronik ödemeleri desteklemek için gerekli hizmetleri ve güvenli mesaj formatlarını tanımlar.

IEEE 1609 standartlarında el sıkışma protokolünü (hand shake protocol) atlayan protokoller de bulunur. Özellikle IEEE 1609.2; sertifikaların, kriptografik algoritmaların ve güvenli mesaj

biçimlerinin kullanımı da dahil olmak üzere WAVE için güvenlik hizmetlerini özel olarak ele alması ile el sıkışma protokolü ile bağlantılıdır. El sıkışma protokolü; farklı cihazlar, sistemler veya ağlar arasında istikrarlı bir bağlantı oluşturmak için kullanılır ve bu sayede iki taraf arasındaki haberleşmenin daha güvenli olması sağlanır (NordVPN, 2023). El sıkışma protokolünün atlanmasıyla gecikmede azalma sağlanmış olur.

Yukarıda belirtilen protokollerin yanı sıra IEEE 802.11p standardıyla tanımlanan paketleri önceliğine göre sıralayarak düşük gecikme gerektiren paketleri daha hızlı yollamayı sağlayan protokol de bulunur. WAVE Kısa Mesaj Protokolü (WSMP), araç haberleşme sistemlerinde araçlar ile yol kenarı altyapısı arasında kısa mesaj ve kontrol bilgisi alışverişini kolaylaştırmak için tasarlanmış bir iletişim protokolüdür (Telcoma, 2024).

Her şehrin ve ülkenin yapısı birbirinden farklı olduğu için birçok ülkede ve şehirde, IEEE 802.11p temelli sistemlerin kanal kontrolü yapılmaktadır. Haberleşme kanallarını etkileyen, kanal içinden ve dışından gelebilecek gürültü ve parazitler, düzensizlikler gibi çok sayıda sorun vardır. Bu sorunlardan biri olan Doppler<sup>31</sup> etkisi de yollarda özellikle yüksek hızlı otoyollarda, araçların ve altyapının birbirlerine göre bağlı hızlarının farklı olması sonucu meydana gelmektedir ve bu da sinyallerin birbirleriyle çakışmasına sebep olabilmektedir. Ayrıca araçların hızlarının artması; haberleşme menzili, paket teslimat oranı (packet delivery rate, PDR)<sup>32</sup> ve paket alım arası süresinde (packet inter-reception time, PIR)<sup>33</sup> bozulmalar meydana getirmektedir (Almeida vd., 2018). Bu tür durumlara çözüm olarak Doppler etkisini azaltmak için IEEE802.11p standardında kanal bant genişliği, 10 MHz'e düşürülmüştür (Ministeri & Vangelista, 2014). Ayrıca gerçek zamanlı ayarlanabilir yeniden yapılandırılabilir akıllı yüzeyler (Reconfigurable Intelligent Surfaces, RIS)<sup>34</sup> sayesinde, Doppler etkisi nedeniyle alınan sinyal gücündeki hızlı dalgalanmaların azaltılabilmesi mümkündür (Basar, 2021).

---

<sup>31</sup> Doppler etkisi, bir dalga sinyali kaynağının veya alıcısının hareket etmesi nedeniyle dalga frekansının değişimini ifade etmektedir.

<sup>32</sup> Paket teslimat oranı veri paketlerinin göndericiden alıcıya başarılı bir şekilde teslim edildiğini gösteren bir ölçümdür. Paketlerin amaçlanan hedeflerine hata veya kayıp olmadan ulaşma yüzdesini ifade eder (TEKTELIC Glossary, 2024)

<sup>33</sup> Paket alım arası süre, iki başarılı işaret alımı arasında geçen zaman aralığı olarak tanımlanmaktadır ve paket teslimat oranına kıyasla arabalardaki "durum farkındalığı" seviyesini tanımlayan bir ölçüttür.

<sup>34</sup> Yeniden Yapılandırılabilir Akıllı Yüzeyler (RIS), özellikleri yansıma, kırılma, odaklama, kolimasyon, modülasyon veya emilim yoluyla olay kablosuz sinyallerini 'ayarlamak' için dinamik olarak kontrol edilebilen birim hücrelerden oluşan düzlemsel bir yüzeye karşılık gelir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2024).

Genel olarak IEEE 802.11p temelli V2X teknolojileri, haberleşmede düşük gecikmeyi ve yüksek veri aktarımını amaçlayan sistemlerdir. Sadece K-AUS hizmetleri için tanımlanan bu sistemler, kendilerine ait bir frekans bandında çalıştıkları için oldukça esnek sistemlerdir. Tahsis edilen frekans bandının sadece K-AUS için tanımlanması dolayısıyla lisans ücretinin olmaması, bu bandı kullanmayı ekonomik olarak daha avantajlı kılmaktadır. Bu teknolojinin en büyük dezavantajı ise çalışma menzildir. Bir yol ağında oluşturulmak istenen K-AUS mimarisinin sorunsuz ve kesintisiz bir şekilde çalışması için yol kenarlarına yerleştirilen RSU'ların birbirlerine uzaklıkları 800-1000 metre arasında olmalıdır (J. Liu vd., 2020). Bu teknoloji ile sadece araçlar ile RSU'ların dahil olduğu haberleşme bağlantıları kurulabildiği için yaygın bir haberleşme altyapısı kurmak ekonomik açıdan maliyetlidir.

### **6.1.2. IEEE 802.11bd**

IEEE 802.11p'nin üzerine, 2018 yılında daha yüksek performanslı olması için IEEE 802.11bd standardı geliştirilmeye başlanmıştır (Naik vd., 2019). IEEE 802.11bd, araç iletişimini geliştirmek için tasarlanmış selefi IEEE 802.11p'ye göre birkaç önemli özellik ve iyileştirme getirmektedir. IEEE 802.11bd; modülasyon, kodlama şemaları ve kanal kodlamasında önemli iyileştirmeler sunarak üstün performans sağlamaktadır. En önemli yükseltmelerden biri, daha hızlı ve daha gelişmiş V2X uygulamalarına olanak tanıyan veri akışındaki artıştır. Ek olarak gelişmiş güvenilirlik ve azaltılmış paket kaybı, güvenlik açısından kritik uygulamalar için çok önemli olan daha kararlı ve parazitsiz bir iletişim kanalı sağlayan temel avantajlarıdır. Standart, ayrıca çarpışma önleme gibi gerçek zamanlı araç yanıtları için hayati önem taşıyan gecikmeyi düşürmeye odaklanmaktadır. IEEE 802.11bd'nin, IEEE 802.11p ile karşılaştırıldığında veri aktarım hızını iki katına çıkardığı, veri aktarım gecikmesini yarıdan fazla azalttığı ve güvenilirliği %20 oranında artırdığı gözlenmiştir.

IEEE 802.11bd, performans artışının yanı sıra IEEE 802.11p ile geriye dönük uyumluluğu garanti ederek yeni IEEE 802.11bd cihazlarının eski altyapı ve araçlarla sorunsuz bir şekilde iletişim kurmasını sağlamaktadır (IEEE Standards Association, 2023). Ayrıca tıkanık ortamlarda bile daha fazla veri iletimini destekleyen birden fazla kanal ve iyileştirilmiş spektrum verimliliğinden yararlanmaktadır (Torgunakov vd., 2022).

IEEE 802.11bd, OFDM sembolleri arasına orta noktalar ekleyerek mobil senaryolarda iletim güvenilirliğini önemli ölçüde artırmakta ve bu da hızlı değişen ortamlarda kanal tahminini

iyileştirmeye yardımcı olmaktadır. IEEE 802.11p standardından devralınan evrişimli kodlara ek olarak gelişmiş hata düzeltme yetenekleri sunan Düşük Yoğunluklu Parite Kontrolü (LDPC) kodlarını desteklemektedir. Girişimi daha da azaltmak için standart, bir Yeni Nesil V2X (NGV) istasyonunun kısa çerçeveler arası boşluklarla bir çerçeveyi üç defaya kadar yeniden ilemesini sağlayan ve kanal koşullarına göre dinamik olarak ayarlayan uyarlanabilir kör yeniden iletimleri sunmaktadır. Daha uzun mesafeli güvenilirlik için IEEE 802.11bd, verileri bitişik kanallar arasında kopyalayan ve iletimlerin sağlamlığını artıran İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama Çift Taşıyıcı Modülasyonu (BPSK DCM) kullanmaktadır. Daha yüksek verime yönelik artan talebi karşılamak için standart, iki uzamsal akışın iletimine izin veren Tek Kullanıcı Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (SU-MIMO) teknolojisini ve artırılmış veri hızları için 256-QAM gibi daha yüksek dereceli modülasyonu içermektedir. Ayrıca, IEEE 802.11bd, 60 GHz bandında çalışmayı destekleyerek yüksek hızlı, kısa mesafeli iletişimi kolaylaştırmakta ve veri hızlarını, güvenilirliği artıran ve gecikmeyi azaltan 20 MHz iletimleri için kanal bağlamayı sunmaktadır (Torgunakov vd., 2022). Bu iyileştirmeler, standartı, kooperatif otomatik sürüş ve araç bilgi-eğlence sistemleri gibi gelişmiş kullanım durumları için uygun hale getirmektedir.

Ağ kapasitesini arttırmak için de birçok çalışma yapılmaktadır. IEEE 802.11p temelli haberleşme sistemlerinde kapasiteyi arttırmak için bu standardın gelişmiş versiyonu olan IEEE 802.11bd standardı tanıtılmış ve bu standartla gelen yeni modülasyon teknikleri gibi modellerle kapasite arttırılmaya çalışılmıştır (TechStreet, 2023). Aynı zamanda kanalda yapılan filtreleme işlemleri ile semboller arası girişimi azaltarak kapasite arttırma çalışmaları da yapılmaktadır. Bunun için de kanal test deneyleri büyük önem taşımaktadır.

## **6.2. Akıllı Ulaşım Sistemleri için Ulusal Ulaşım Haberleşme Protokolü (NTCIP)**

1996 yılında Federal Karayolu İdaresi (Federal Highway Administration, FHWA) hem kullanıcı hem de endüstri katılımını genişletmek için standart geliştiren kuruluşlar arasında bir ortaklık önermiştir. AASHTO, ITE ve NEMA<sup>35</sup> bir araya gelerek NTCIP Ortak Komitesi'ni kurmuş ve NTCIP'nin tamamlanması konusunda birlikte çalışmak üzere bir anlaşma imzalamıştır (NEMA, 2023). Bu ortaklık sayesinde, farklı üreticilerin ürettiği trafik kontrol ekipmanlarının aynı altyapı üzerinde sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için araştırmalar başlamıştır. Böylece

---

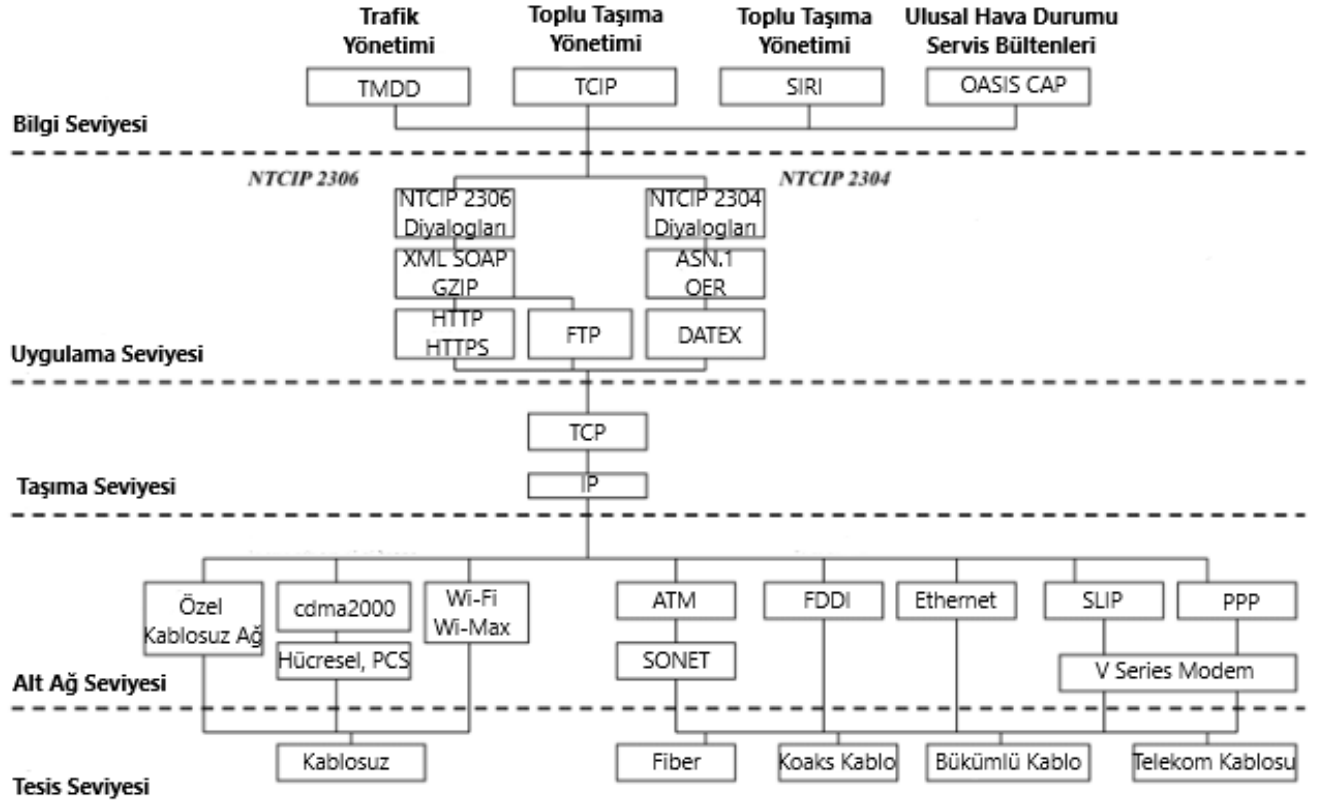
<sup>35</sup> NEMA: 1926 yılında kurulan, ABD merkezli bir standardizasyon kuruluşudur.

elektronik trafik kontrol sistemleri arasında iletişim sağlamak amacıyla NTCIP'nin temelleri atılmıştır (AASHTO vd., 2001). NTCIP hem iletişim kurallarını hem de farklı üreticilerin elektronik trafik kontrol ekipmanlarının bir sistem olarak birbirleriyle çalışmasına izin vermek için gerekli kelime dağarcığını sağlayan bir standartlar ailesi olarak ortaya çıkmıştır (NTCIP, 2024).

NTCIP, elektronik trafik kontrol cihazlarını ve mesaj sistemlerini, çeşitli firmalar tarafından üretilmelerine rağmen uyumlu bir şekilde çalıştırmak ve birbirlerinin yerine kullanılabilirliklerini kolaylaştırmak için tasarlanmış endüstri çapında bir standart veri iletişim protokolü olarak tanımlanabilmektedir. NTCIP; beş tanımlanmış seviyeden oluşmaktadır (Odak Arge Merkezi, 2023):

- *Bilgi Seviyesi:* Verilerin anlamlarını tanımlar ve sistemlerin işlevselliğini temsil eder.
- *Uygulama Seviyesi:* Veri alışverişinde geçerli olacak kuralları tanımlar. Sistemin çalışması için oluşturulacak ifade dizilerinden sorumludur.
- *Taşıma Seviyesi:* Bir iletinin gerekli olan yere yönlendirilmesini ifade eder. Ağ yönetimi işlevlerini içeren uygulama verilerinin değişimi için kural ve prosedürleri tanımlar.
- *Alt Ağ Seviyesi:* Seçilen bir iletişim ortamında, iki aygıt arasında yapılacak olan veri alışverişindeki kuralları ve prosedürleri tanımlar.
- *Servis Seviyesi:* NTCIP haberleşme standartlarının kullanılacağı iletişim altyapısını içerir. NTCIP hakkında bilgi edinecek olanlar için bir referans noktası sağlama aracı olarak da kullanılır.

Şekil 64'te gerçek zamanlı sistem yönetimi bilgi programı veri değişim formatı spesifikasyonu şeması yer almaktadır (United States Department of Transportation-Federal Highway Administration, 2023).



**Şekil 64.** Gerçek Zamanlı Sistem Yönetimi Bilgi Programı Veri Değişim Formatı Spesifikasyonu (Data Exchange Format Specification / DXFS) Şeması

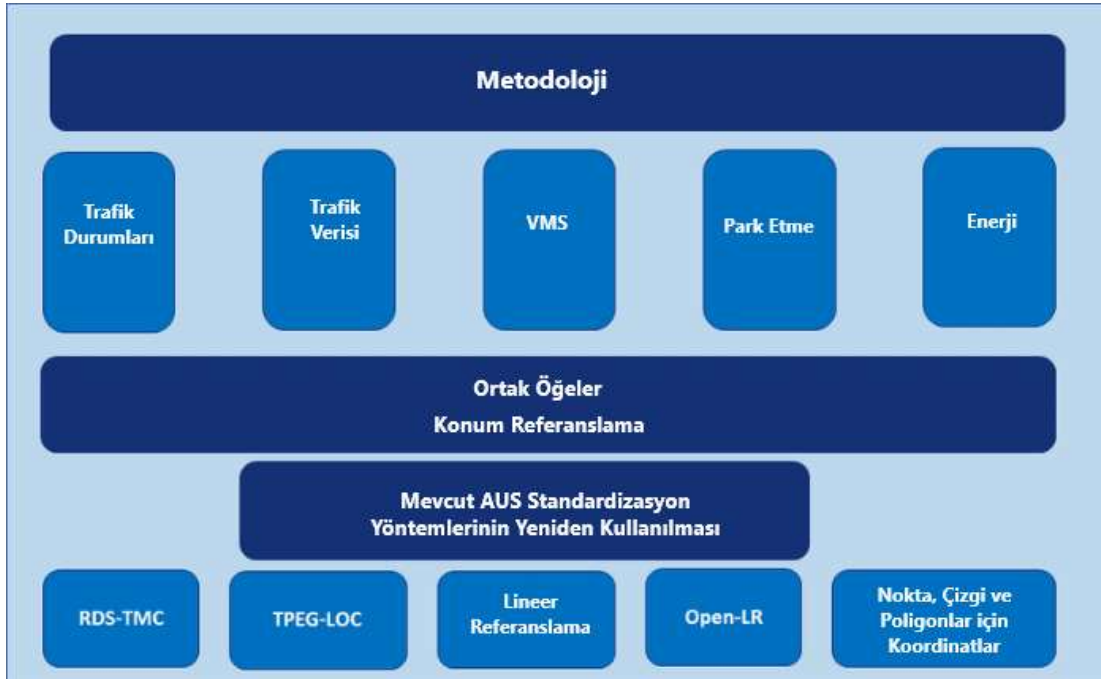
NTCIP hem bilgi iletim yöntemlerini hem de sahadaki cihazın işlevselliğini tanımlar. Verilerin paketlenme, iletilme ve doğrulanma yöntemlerini belirler. Ayrıca, NTCIP; sahadaki cihazların ekran renkleri, kamera etiketleri ve hava durumu sensörleri gibi ekipmanların hangi isteğe bağlı işlevleri desteklemesi gerektiğini belirtir. NTCIP tarafından aşağıdaki tanımlanan alanlar ele alınmıştır (Odak Arge Merkezi, 2023):

- Dinamik otoyol mesaj işaretleri
- Otomatik trafik sinyalleri
- Veri toplama ve izleme cihazları (trafik sayaçları ve sınıflandırıcıları, tartım istasyonları vb.)
- Araç içi sensörler ve kontrolörler
- Çevresel sensörler
- Eğitim sayaçları
- Araç yakınlık dedektörleri

- Kapalı devre kameraları

### 6.3. DATEX II

DATEX II, Avrupa’da trafik bilgileri ve trafik verilerinin değişimi için kullanılan bilgi modelidir. İnsanların ve eşyaların güvenli, yeşil ve verimli bir şekilde seyahat etmesine katkıda bulunmak için tüm karayolu taşımacılığı ekosisteminin dijitalleştirilmesini ve otomasyonunu destekleyen tutarlı bir standartlar dizisi olarak da tanımlanabilir (Datex II, 2023b). şekil 65’te çok parçalı bir standart olan DATEX II’in yapısı gösterilmektedir (European Commission, 2019a).



şekil 65. DATEX II Yapısı

- *Bağlam ve Çerçeve*: DATEX II spesifikasyonları boyunca uygulanan modelleme metodolojisini anlamak isteyen tüm paydaşlara yöneliktir.
- *Konum Referanslama*: DATEX II’de trafik ve seyahat bilgilerinin konum referanslaması ile ilgilendir. Mevcut konum referanslama standartlarına veya Avrupa standartlarına atıfta bulunur ve bu standartların DATEX II’nin trafik ve seyahat bilgileri alanında kullanımını belirtir.
- *Trafik Durumları*: Durum bilgilerinin yayınlanmasıyla ilgilendir. Hem karayolu ağı yöneticisi hem de yol kullanıcısı açısından bir karayolu ağına ilişkin durum bilgilerinin iletilmesi için değiş tokuş edilebilecek bilgilerin yapılarını ve tanımlarını belirtir. Bu bölümde ifade



edilebilecek bilgilere örnek olarak trafik sıkışıklığı mesajları, yol çalışmaları, yol kapatmaları, alternatif rotalar, geçici yol planları, hava koşullarını etkileyen trafik vb. verilebilir.

- *VMS Yayını*: Değişken mesaj işareti (VMS) bilgilerinin yayınlanmasıyla ilgilendir.
- *Ölçülen ve Detaylandırılan Veri Yayınları*: Bağlantılardaki seyahat süreleri, nokta konumlarıdaki trafik akışı vb. gibi ölçülen ve detaylandırılan bilgilerin alışverişini destekleyen, DATEX II modeli içindeki bir veya daha fazla yayın alt modelini/modellerini ele alır.
- *Park Etme Yayını*: Hem statik hem de dinamik durum verileri olan park etme bilgilerinin yayınlanmasıyla ilgilendir. Şehir içi park etme bilgilerini veya Kamyon Park etme bilgilerini iletmek için değiştirilebilecek bilgilerin yapılarını ve tanımlarını belirtir. Kamyon Park Etme için “AB Kamyon Park Etme Yönetmeliği”ne uygun bir DATEX II profili belirlenmiştir. Ayrıca kentsel park profilinin kapsamlı ve yalın bir versiyonu da sunulmaktadır.
- *Ortak Öğeler*: Birden fazla yayında kullanılan ortak unsurların ele alınması hedeflenmektedir. Standardın diğer bölümlerinde açıklanan bilgileri iletmek için değiştirilebilecek bilgilerin yeniden kullanılan yapılarını ve tanımlarını belirtir.

DATEX II karayolu operatörlerine ve veri sağlayıcılarına; ilgili verilerin homojen bir şekilde değiş tokuş edilebilmesi için dokümantasyon, UML modeli, XML araçları ve kullanıcı desteği sağlar. İçerik açısından DATEX II, AB mevzuatına uygunluk, konum referanslama şemaları, (kentsel) trafik yönetimi ve K-AUS çözümleriyle entegredir. Bu bağlamda, DATEX II hem ulusal hem de uluslararası değişim için kullanılan 50 ila 60 düğümden oluşan bir ağ ile operasyonel trafik veri alışverişi için başarıyla kullanılmaktadır (AustriaTech, 2023).

#### **6.4. Değerlendirme**

Haberleşme protokolleri; veri iletiminin hızı, kapasitesi ve güvenliğini optimize eden çözümler sunmaktadır. Ayrıca K-AUS operasyon otoriteleri tarafından uygulanabilecek çeşitli önlemler de mevcuttur. Bunlardan biri, K-AUS uygulama bölgesi boyunca altyapının, kullanılan haberleşme protokolüne uygun şekilde genişletilmesi ve ağ bağlantısının kesintisiz haberleşme sağlayacak şekilde güvence altına alınmasıdır. Diğer bir önemli husus ise hem altyapı hem de araçlarda kullanılan donanım ve yazılım bileşenlerinin düzenli bakımlarının yapılması, güvenlik özelliklerinin güncel tutulması ve gerekli siber güvenlik önlemlerinin alınmasıdır. Bu şartlar sağlandığında, K-AUS hizmetlerinin güvenli ve kesintisiz bir şekilde sunulması mümkün olacaktır.

## BÖLÜM VII

---

### 7. TÜRKİYE'DE K-AUS HİZMETLERİ İÇİN ÖNERİLEN HABERLEŞME PROTOKOLLERİ

K-AUS hizmetlerinin sunulmasında yararlanılan V2X haberleşme sistemleri ile C2C, I2C, I2I haberleşme sistemlerinin farklı gereksinimleri bulunmaktadır. Bu nedenle K-AUS uygulamalarında kurulacak iletişim kanalları, farklı iletişim protokolleri ile sağlanmaktadır.

Dünyadaki gelişmeler incelendiğinde, V2X kapsamında yaygın olarak kullanılan protokollerin IEEE 802.11p tabanlı DSRC teknolojileri (ITS-G5 ve WAVE) ile C-V2X teknolojileri olduğu görülmektedir. Araştırmalar, her iki türdeki haberleşme sistemlerinin avantajları ve dezavantajları olduğunu ve iki haberleşme sisteminin bir arada kullanılabilirdiği hibrit haberleşme yöntemlerinin daha avantajlı olabileceğini göstermektedir.

IEEE 802.11p tabanlı haberleşme teknolojileri incelendiğinde, dünyada yaygın olarak DSRC/WAVE ve ITS-G5 protokollerinin kullanıldığı görülmektedir. ITS-G5; Avrupa'da kullanılırken DSRC/WAVE ABD'de kullanılmaktadır. Bu nedenle Türkiye'nin coğrafi koşulları göz önünde bulundurulduğunda, K-AUS uygulamalarında sürekliliğin sağlanması ve sınır ötesi projelerde kesinti yaşanmadan kooperatif sürüşün devamlılığının sağlanması için Türkiye'de hayata geçirilecek K-AUS hizmetlerinde, ETSI tarafından geliştirilen ITS-G5 protokolünün kullanılması uygun olacaktır.

K-AUS hizmetlerinin haberleşme sistemlerini oluşturan ve V2X türleri arasında yer alan V2V ve V2I haberleşmede ise kullanım alanlarına göre hem DSRC hem de C-V2X haberleşme teknolojileri kullanılarak bağlantı kurulabilmektedir. Bu nedenle her iki haberleşme teknolojisinin avantajlı yönlerini kullanmayı hedefleyen hibrit haberleşme altyapısı kurulması, ideal bir K-AUS haberleşme yöntemi olacaktır.

V2N ve V2P haberleşmesi ise hücresel ağlar üzerinden gerçekleştirildiğinden, bu haberleşme türlerinde 4G ve 5G tabanlı C-V2X haberleşme teknolojileri kullanılabilir.

V2X haberleşme dışında, K-AUS hizmetlerinde yer alan C2C, I2C ve I2I bağlantıları da DSRC ve C-V2X teknolojilerini kullanılmaktadır. I2I kapsamında RSU'ların konumu, merkezlerin konumu ve bunların aralarındaki mesafe önemlidir. C-V2X, DSRC'ye kıyasla daha geniş kapsama alanına

sahip olduğu için RSU'lar ile merkez arasındaki mesafenin arttığı durumlarda, C-V2X haberleşmenin kullanılması daha uygun olacaktır. Aynı zamanda, uygulanan K-AUS senaryosu da önemli olup güvenlik açısından kritik mesajların iletildiği senaryolarda, daha az gecikmeye sahip olan DSRC teknolojisinin kullanılması önem kazanmaktadır.

C2C haberleşmede ise NTCIP protokolü de kullanılmaktadır. Bu nedenle farklı K-AUS uygulamaları dahilinde kurulacak C2C, I2C ve I2I bağlantılarında kullanılacak haberleşme protokolüne, senaryo ve altyapı şartları detaylı bir şekilde incelenerek karar verilmelidir. K-AUS hizmetlerinde, DSRC ve C-V2X teknolojileri dünyada yaygın olarak kullanılmakta olup Türkiye'de hayata geçirilecek K-AUS senaryosuna uygun teknolojilerin seçimi gerekmektedir.

Tablo 5'te, Türkiye'de geliştirilecek K-AUS hizmetlerinde yer alacak haberleşme türleri için önerilen haberleşme protokolleri yer almaktadır. Önerilen haberleşme protokollerinin K-AUS uygulamalarında kullanılması ile sürekliliği sağlanan (kesintisiz), hızlı ve gecikmesi düşük bir haberleşme sistemi kurulabilecek, K-AUS uygulamalarından elde edilecek kazanımlar en üst düzeye çıkarılmış olacaktır.

**Tablo 9.** Türkiye'de V2X Haberleşme için Önerilen Haberleşme Protokolleri

Haberleşme Sistemi	Önerilen Haberleşme Protokolü
<b>V2V</b>	Hibrit (IEEE 802.11p tabanlı ITS-G5 ile C-V2X Kombinasyonu)
<b>V2I</b>	Hibrit (IEEE 802.11p tabanlı ITS-G5 ile C-V2X Kombinasyonu)
<b>V2N</b>	C-V2X
<b>V2P</b>	C-V2X
<b>C2C</b>	C-V2X F/O Haberleşme
<b>I2C</b>	C-V2X F/O Haberleşme
<b>I2I</b>	Hibrit (IEEE 802.11p tabanlı ITS-G5 ve C-V2X Kombinasyonu) F/O Haberleşme

## BÖLÜM VIII

---

### 8. SONUÇ

K-AUS'un en önemli bileşenlerinden biri olan haberleşme teknolojileri, K-AUS sistem bileşenleri arasındaki veri alışverişini sağlamaktadır. Kullanılacak haberleşme teknolojilerinin doğru seçimi, uygulanacak K-AUS senaryolarından maksimum faydanın elde edilmesini sağlayacaktır. Bu bağlamda, Türkiye'de hayata geçirilecek K-AUS hizmetlerinde kullanılacak haberleşme teknolojilerinin seçimi büyük önem taşımaktadır. Bu raporda, en uygun seçimin yapılabilmesi amacıyla uluslararası K-AUS projelerinde kullanılan haberleşme teknolojileri araştırılmış ve avantajları ve dezavantajları hakkında bilgiler verilmiştir. Aynı zamanda, Almanya, Avusturya, Fransa, İngiltere, İspanya ve İtalya'nın yer aldığı Avrupa ülkelerinde; Avustralya, Çin, Güney Kore ve Japonya'nın yer aldığı Asya Pasifik ülkelerinde ve ABD'de K-AUS çalışmalarında kullanılan haberleşme teknolojileri araştırılmış; ülkeler tarafından yayınlanan strateji belgeleri, raporlar ve gerçek dünya uygulamalarını içeren çalışmalar derlenmiştir. Ayrıca, uygulanan K-AUS senaryolarında, verilerin hızlı, güvenli ve güvenilir bir şekilde aktarılmasına ilişkin bilgiler verilmiştir. Rapor kapsamında elde edilen bilgiler ışığında, Türkiye'de sunulacak K-AUS hizmetlerinde kullanımı önerilen iletişim protokollerine yer verilmiştir.

Dünya örnekleri ve literatür çalışmaları incelendiğinde, günümüzde K-AUS hizmetleri için en güvenli ve verimli iletişim yönteminin, IEEE 802.11p temelli ve C-V2X haberleşme sistemlerinin entegre edilmesiyle oluşturulan hibrit haberleşme teknolojisi olduğu gözlenmektedir. IEEE 802.11p temelli sistemlerin sağladığı düşük gecikme ile hücreyel ağların sağladığı yüksek kapasite ve geniş kapsama alanı, hibrit haberleşme teknolojilerinin tercih edilmesinde etkili olmaktadır. Bununla birlikte, gelişmekte olan mobil haberleşme teknolojilerinin, K-AUS hizmetleri için C-V2X teknolojisini tek başına yeterli olabilecek hale getirmesi de muhtemeldir.

K-AUS hizmetlerinde yer alan V2X (V2V, V2I, V2P ve V2N arasında) haberleşme ve C2C, I2C ve I2I haberleşme; farklı unsurlar arasında bağlantı kurduğu için kullanılacak haberleşme protokolleri de farklılık gösterebilmektedir. Rapor kapsamında elde edilen bilgiler ışığında, farklı V2X haberleşme türleri için haberleşme protokolü önerisinde bulunulmuştur. V2V ve V2I haberleşmede, hibrit haberleşme teknolojisinin kullanımının en uygun seçim olacağı değerlendirilmektedir. V2P ve V2N haberleşmede ise C-V2X haberleşme teknolojilerinin

kullanımı gerekmektedir. C2C ve I2C haberleşme için C-V2X haberleşme teknolojileri ve F/O kablo altyapısının kullanılması, I2I haberleşme için ise hem DSRC hem C-V2X teknolojileri hem de F/O kablo altyapısının kullanımı önerilmekte; hayata geçirilecek K-AUS senaryosundaki şartlar değerlendirilerek seçim yapılması gerekmektedir.

## **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, Aslıcan KAYA ve Ertuğrul HASGÜL katkı sunmuştur.

## **Sorumluluk Reddi Beyanı**

“K-AUS Haberleşme Teknolojileri 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.

## KAYNAKÇA

- 3GPP. (2015). *Specification* # 33.401. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2296>
- 3GPP. (2016a). *Specification* # 22.185. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2989>
- 3GPP. (2016b). *Specification* # 23.285. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3078>
- 3GPP. (2017). *Release 14*. <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-14>
- 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>
- 3GPP. (2023). *WG SA2-Release 18 Update*. <https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/rel18-sa2>
- 5GAA. (2021). *Deployment band configuration for C-V2X at 5.9 GHz in Europe 5GAA Automotive Association Position paper*. [https://5gaa.org/content/uploads/2021/06/5GAA\\_S-210019\\_Position-paper-on-European-deployment-band-configuration-for-C-V2X\\_final.pdf](https://5gaa.org/content/uploads/2021/06/5GAA_S-210019_Position-paper-on-European-deployment-band-configuration-for-C-V2X_final.pdf)
- 5GAA. (2022). *C-V2X Pilot and Demonstration Areas in China*. <https://5gaa.org/content/uploads/2022/10/C-V2X-Pilot-and-Demonstration-Areas-in-China.pdf>
- 5GAA. (2023a). *5G-V2X onward-*. <https://5gaa.org/5g-technology/>
- 5GAA. (2023b). *C-V2X in action*. <https://5gaa.org/c-v2x-in-action/>
- 5G-MOBIX. (2022). *5G-MOBIX Greece-Turkey Cross-border Corridor Demo Event*. <https://www.5g-mobix.com/newsandevents/events/5g-mobix-greece-turkey-cross-border-corridor-demo-event>
- 5G-MOBIX. (2023a). *5G-MOBIX*. <https://www.5g-mobix.com/>
- 5G-MOBIX. (2023b). *The 5G TALKS-Episode 2: meet FORD OTOSAN*. <https://www.5g-mobix.com/newsandevents/news/the-5g-talks-episode-2-meet-ford-otosan>
- AASHTO, ITE, & NEMA. (2001). *National Transportation Communications for ITS Protocol Simple Transportation Management Framework*. <https://www.ntcip.org/file/2018/11/NTCIP1101Rescinded-2006.pdf>
- Adnan, M. H., & Zukarnain, Z. A. (2020). Device-To-Device Communication in 5G Environment: Issues, Solutions, and Challenges. *Symmetry* 2020, Vol. 12, Page 1762, 12(11), 1762. <https://doi.org/10.3390/SYM12111762>
- Aldridge Traffic Controllers. (2019a). *SCATS Traffic Management Systems*. <https://www.aldridgetrafficcontrollers.com.au/products/traffic-signal-controllers/atasc4>
- Aldridge Traffic Controllers. (2019b). *SPaT data | Aldridge Traffic Controllers – SCATS Traffic Management Systems*. <https://www.aldridgetrafficcontrollers.com.au/products/traffic-signal-controllers/atasc4/spat-data>

Almeida, T. T., Gomes, L. D. C., Ortiz, F. M., Júnior, J. G. R., & Costa, L. H. M. K. (2018). *IEEE 802.11p Performance Evaluation: Simulations vs. Real Experiments*. <https://www.gta.ufrj.br/ftp/gta/TechReports/itsc18.pdf>

Anadolu Ajansı. (2022, Temmuz 30). *Türkiye'nin 5G yolculuğu İstanbul Havalimanı'ndan başladı*. <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/turkiyenin-5g-yolculugu-istanbul-havalimanindan-basladi/2648567>

Ansari, K. (2018). Cloud Computing on Cooperative Cars (C4S): An Architecture to Support Navigation-as-a-Service. *IEEE International Conference on Cloud Computing, CLOUD, 2018-July*, 794-801. <https://doi.org/10.1109/CLOUD.2018.00108>

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>

Ansari, M. R., Monteuis, J.-P., Petit, J., & Chen, C. (2021). *V2X Misbehavior and Collective Perception Service: Considerations for Standardization*. [https://www.researchgate.net/publication/356818075\\_V2X\\_Misbehavior\\_and\\_Collective\\_Perception\\_Service\\_Considerations\\_for\\_Standardization](https://www.researchgate.net/publication/356818075_V2X_Misbehavior_and_Collective_Perception_Service_Considerations_for_Standardization)

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>

AS+P. (2013). *SimTD Safe and Intelligent Mobility-Test Field Germany*. <https://www.asp.com/projects/project/simtd-sichere-intelligente-mobilitaet-testfeld-deu-94/>

Asselin-Miller, N., Biedka, M., Gibson, G., Kirsch, F., Hill, N., White, B., & Uddin, K. (2016). *Study on the Deployment of C-ITS in Europe: Final Report*. <https://transport.ec.europa.eu/system/files/2016-10/2016-c-its-deployment-study-final-report.pdf>

Australian Research Data Commons. (2023). *Standardised Communications Protocols*. <https://ardc.edu.au/resource/standardised-communications-protocols/>

AustriaTech. (2023). *DATEX II*. <https://austriatech.at/en/projects//showprojekt/7/DATEX%20II>

bamboo apps. (2022, Kasım 30). *What is automotive HMI or the Human Machine Interface?* <https://bambooapps.eu/blog/what-is-automotive-hmi#aioseo-automotive-hmi-definition>

Basar, E. (2021). Reconfigurable Intelligent Surfaces for Doppler Effect and Multipath Fading Mitigation. *Frontiers in Communications and Networks*, 2, 672857. <https://doi.org/10.3389/FRCMN.2021.672857/BIBTEX>

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. (2018, Aralık 10). *5G VADİSİ AÇIK TEST SAHASI TEST ŞEBEKE ALTYAPILARI FAYDALANICILARIN KULLANIMINA AÇILIYOR-Duyurular*. <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/ftm-teknik-olcutler-ek-5.pdf>

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. (2019). *FREKANS TAHSİSİNDEN MUAF TELSİZ CİHAZ VE SİSTEMLERİNE İLİŞKİN TEKNİK ÖLÇÜTLER*. <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/slug/frekans-tahsisinden-muaf-telsiz-cihaz-ve-sistemlerine-ilis-kin-teknik-olcu-utler-taslag-i.pdf>



- Bodet Time. (2022, May 30). *Comprendre les différents systèmes de satellites*. <https://www.bodet-time.com/fr/ressources/blog/1792-comprendre-les-differents-systemes-de-satellites.html>
- Britannica. (2024, Mart 25). *Radar | Definition, Invention, History, Types, Applications, Weather, & Facts | Britannica*. <https://www.britannica.com/technology/radar>
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr | BMDV. (2017). *Cooperative ITS Corridor Joint Deployment*. [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/EN/Documents/DG/cooperative-its-corridor.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/EN/Documents/DG/cooperative-its-corridor.pdf?__blob=publicationFile)
- Bundesministerium für Verkehr & Innovation und Technologie. (2016). *C-ITS Strategy Austria*. <https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:805487b2-3563-4bd0-8fc6-e392970a42ec/citsstrategy.pdf>
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2018). *Deliverable D3.1: Comparative Analysis of Candidate V2X Radio Technologies*. [https://web.archive.org/web/20230630065046/https://convex-project.de/onewebmedia/D3.1\\_Radio\\_Technologies.pdf](https://web.archive.org/web/20230630065046/https://convex-project.de/onewebmedia/D3.1_Radio_Technologies.pdf)
- California Transportation Commission. (2018). *San Diego Regional Proving Ground*. <https://catc.ca.gov/-/media/ctc-media/documents/tab-15-4-3-a11y.pdf>
- CAR 2 CAR Communication Consortium. (2020). *Automotive Requirements on IVIM*. [https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/Basic\\_System\\_Profile/Release\\_1.5.2/C2CCC\\_RS\\_2080\\_IVIM\\_Automotive\\_Requirements.pdf](https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/Basic_System_Profile/Release_1.5.2/C2CCC_RS_2080_IVIM_Automotive_Requirements.pdf)
- CAR 2 CAR Communication Consortium. (2023). *About C-ITS*. <https://www.car-2-car.org/about-c-its>
- Castañeda Garcia, M. H., Molina-Galan, A., Boban, M., Gozalvez, J., Coll-Perales, B., Şahin, T., & Kousaridas, A. (2021). *A Tutorial on 5G NR V2X Communications*. <https://arxiv.org/pdf/2102.04538>
- Chataut, R., & Akl, R. (2020). Massive MIMO systems for 5G and beyond networks—overview, recent trends, challenges, and future research direction. *Sensors (Switzerland)*, 20(10). <https://doi.org/10.3390/S20102753>
- Chen, S., Hu, J., Shi, Y., Zhao, L., & Li, W. (2020). A Vision of C-V2X: Technologies, Field Testing, and Challenges with Chinese Development. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(5), 3872-3881. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2974823>
- Città di Torino. (2024). *Piano Urbano della Mobilità Sostenibile-Introduzione | Geoportale*. <http://geoportale.comune.torino.it/web/sezioni-tematiche/piano-urbano-della-mobilita-sostenibile-introduzione>
- City and County of San Francisco. (2017). *Information and Communication Technology Plan | Fiscal Years 2018-2022*. <https://sfcoit.org/sites/default/files/2017-12/ICT%20Plan%202018-22%20FINAL%20-%20Adopted%20Compressed.pdf>
- City and County of San Francisco. (2021). *Information and Communication Technology Plan | Fiscal Years 2022-2026*. [https://sf.gov/sites/default/files/2021-03/ITC\\_2022-26\\_Plan\\_0421\\_V2\\_Web%20%281%29.pdf](https://sf.gov/sites/default/files/2021-03/ITC_2022-26_Plan_0421_V2_Web%20%281%29.pdf)
- C-Mobile. (2023a). *Barcelona*. <https://c-mobile-project.eu/barcelona/>

C-Mobile. (2023b). *Bilbao*. <https://c-mobile-project.eu/bilbao-2/>

C-Mobile. (2024). *Home*. <https://c-mobile-project.eu/>

Computer Hope. (2018). *What is an Uplink?* <https://www.computerhope.com/jargon/u/uplink.htm>

Connected Automated Driving. (2020). *Italy*. <https://www.connectedautomateddriving.eu/regulation-and-policies/national-level/eu/italy/>

COOPERS. (2010). *Co-operative Networks for Intelligent Road Safety D6100 Final report on demonstration*.  
[https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20130513\\_134835\\_11324\\_D6100\\_\\_Final\\_report\\_on\\_demonstrations\\_V1\\_0.pdf](https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20130513_134835_11324_D6100__Final_report_on_demonstrations_V1_0.pdf)

COORDINATES. (2010). *Transport planning in Korea*. <https://mycoordinates.org/transport-planning-in-korea/>

Council of Ministers. (2021). *Recovery and Resilience Plan*.  
[https://www.mef.gov.it/en/focus/documents/PNRR-NEXT-GENERATION-ITALIA\\_ENG\\_09022021.pdf](https://www.mef.gov.it/en/focus/documents/PNRR-NEXT-GENERATION-ITALIA_ENG_09022021.pdf)

C-ROADS. (2023a). *C-Roads Austria*. [https://www.c-roads.eu/pilots/core-members/austria/Partner/project/show/c-roads-austria.html?cHash=b402a8012e81913ba0f504b058b467f6&L=0&no\\_cache=1&sword\\_list%5B0%5D=austria](https://www.c-roads.eu/pilots/core-members/austria/Partner/project/show/c-roads-austria.html?cHash=b402a8012e81913ba0f504b058b467f6&L=0&no_cache=1&sword_list%5B0%5D=austria)

C-ROADS. (2023b). *C-Roads France*. <https://www.c-roads.eu/pilots/core-members/france/Partner/project/show/c-roads-france.html>

C-ROADS. (2023c). *C-Roads Spain*. <https://www.c-roads.eu/pilots/core-members/spain/Partner/project/show/test-project-11.html>

Cui, T., Li, L., Zhang, Z., & Sun, C. (2022). C-V2X Vision in the Chinese Roadmap: Standardization, Field Tests, and Industrialization. *Vehicular Networks-Principles, Enabling Technologies and Perspectives [Working Title]*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.107933>

CVIS. (2022). *CVISproject.org Home*. <http://www.cvisproject.org/>

Datex II. (2023a). *About*. <https://datex2.eu/about/>

Datex II. (2023b). *About*. <https://datex2.eu/about/>

Degrande, T. ; Vannieuwenborg, F. ; Colle, ; Verbrugge, S., Degrande, T., Vannieuwenborg, F., & Colle, D. (2021). *From ITS to C-ITS highway roadside infrastructure: the handicap of a headstart?*  
<https://www.econstor.eu/handle/10419/238016>

Department of Infrastructure Transport Regional Development and Communications, WSP, Deloitte, & The University of Melbourne. (2022). *Advice on Strategies to Support C-ITS Deployment*.  
<https://www.infrastructure.gov.au/sites/default/files/documents/wsp-report-advice-on-strategies-to-support-c-its-deployment-findings-march2022.pdf>

DRIVE C2X. (2014). *The European reference for cooperative driving*. <https://www.eucar.be/wp-content/uploads/2015/01/DRIVE-C2X.pdf>

Ericsson. (2023). *C-V2X-Creating safer roads using cellular IoT*. <https://www.ericsson.com/en/cases/2020/cellular-v2x-creating-safer-roads>

ERTICO. (2010, Temmuz 27). *Project News: CVIS*. <https://erticonetwork.com/project-news-cvis/>

ERTICO. (2023). *ITS Innovation & Deployment*. <https://ertico.com/its-innovation-deployment/>

EU Digital Skills & Jobs Platform. (2022). *Germany-Digital Strategy 2025*. <https://digital-skills-jobs.europa.eu/en/actions/national-initiatives/national-strategies/germany-digital-strategy-2025>

European Commission. (2016). *A European strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems, a milestone towards cooperative, connected and automated mobility*. 9. [http://aei.pitt.edu/96134/1/COM\\_\(2016\)\\_766\\_final.pdf](http://aei.pitt.edu/96134/1/COM_(2016)_766_final.pdf)

European Commission. (2019a). *INSPIRE-MMTIS: overlap in standards related to the Delegated Regulation (EU) 2017/1926 | Final report with recommendations to Member States and to the EC*. <https://doi.org/10.2760/404745>

European Commission. (2019b). *TransAID | Transition Areas for Infrastructure-Assisted Driving: Definition of V2X message sets*. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5c7276b79&appId=PPGMS>

European Commission. (2021). *Digital Single Market Broadband Coverage in Europe 2021 Mapping progress towards the coverage objectives of the Digital Decade FINAL REPORT*. <https://doi.org/10.2759/642537>

European ITS Platform. (2021). *Roadmap for C-ITS service implementation beyond initial deployment EU EIP EU EIP ACTIVITY 4.4/2021/N°7 2/66 Document Information*. <https://www.its-platform.eu/wp-content/uploads/ITS-Platform/AchievementsDocuments/IntegratingC-ITS/EU%20EIP-44-D7-C-ITS%20Roadmap-v1.0%20211223.pdf>

European ITS Platform. (2022). *Recommendations for continuation of C-ITS deployment Deliverable 8 of sub-activity 4.4 (Cooperative ITS Services Deployment Support)*. <https://www.its-platform.eu/wp-content/uploads/ITS-Platform/AchievementsDocuments/IntegratingC-ITS/EU%20EIP-44-D8-C-ITS%20Recommendations-v1.0.pdf>

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2010). *EN 302 665-V1.1.1-Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture*. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/302665/01.01.01\\_60/en\\_302665v010101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302665/01.01.01_60/en_302665v010101p.pdf)

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2011). *TR 102 863-V1.1.1-Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Local Dynamic Map (LDM); Rationale for and guidance on standardization*. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/102800\\_102899/102863/01.01.01\\_60/tr\\_102863v010101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102800_102899/102863/01.01.01_60/tr_102863v010101p.pdf)

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2013). *Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band*.

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2014a). *EN 302 636-3-V1.1.2-Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 3: Network Architecture*. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/30263603/01.01.02\\_20/en\\_30263603v010102a.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263603/01.01.02_20/en_30263603v010102a.pdf)

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2014b). *EN 302 637-2-V1.3.1-Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service*. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/30263702/01.03.01\\_30/en\\_30263702v010301v.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01.03.01_30/en_30263702v010301v.pdf)

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2019a). *EN 302 637-3-V1.3.1-Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service*. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/30263703/01.03.01\\_60/en\\_30263703v010301p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263703/01.03.01_60/en_30263703v010301p.pdf)

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2019b). *TS 103 152-V2.1.1-Intelligent Transport Systems (ITS); V2X Communications; Multimedia Content Dissemination (MCD) Basic Service specification; Release 2*. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/103100\\_103199/103152/02.01.01\\_60/ts\\_103152v020101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103100_103199/103152/02.01.01_60/ts_103152v020101p.pdf)

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2019c, Nisan 2). *EN 302 637-3 V1.2.1 (2019-04) Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/etsi/37b8ef26-95b8-40aa-9ce8-9890a7edc4bd/etsi-en-302-637-3-v1-3-1-2019-04>

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2020a). *EN 302 890-2-V2.1.1-Intelligent Transport Systems (ITS); Facilities Layer function; Part 2: Position and Time management (PoTi); Release 2*. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302800\\_302899/30289002/02.01.01\\_20/en\\_30289002v020101a.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302800_302899/30289002/02.01.01_20/en_30289002v020101a.pdf)

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2020b). *TS 136 321-V16.1.0-LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification (3GPP TS 36.321 version 16.1.0 Release 16)*. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136300\\_136399/136321/16.01.00\\_60/ts\\_136321v160100p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136321/16.01.00_60/ts_136321v160100p.pdf)

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2020c). *TS 136 331-V16.1.1-LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (3GPP TS 36.331 version 16.1.1 Release 16)*. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136300\\_136399/136331/16.01.01\\_60/ts\\_136331v160101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136331/16.01.01_60/ts_136331v160101p.pdf)

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2020d). *TS 138 331-V16.1.0-5G; NR; Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (3GPP TS 38.331 version 16.1.0 Release 16)*. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/138300\\_138399/138331/16.01.00\\_60/ts\\_138331v160100p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138300_138399/138331/16.01.00_60/ts_138331v160100p.pdf)

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2021). *TS 138 321-V16.3.0-5G; NR; Medium Access Control (MAC) protocol specification (3GPP TS 38.321 version 16.3.0 Release 16)*. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/138300\\_138399/138321/16.03.00\\_60/ts\\_138321v160300p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138300_138399/138321/16.03.00_60/ts_138321v160300p.pdf)

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2023a). *TS 103 324-V2.1.1-Intelligent Transport System (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Collective Perception Service; Release 2*. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/103300\\_103399/103324/02.01.01\\_60/ts\\_103324v020101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/103324/02.01.01_60/ts_103324v020101p.pdf)

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2023b). *Work Programme-Work Item Detailed Report*. [https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report\\_WorkItem.asp?WKI\\_ID=61900](https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=61900)

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2024). *Reconfigurable Intelligent Surfaces*. <https://www.etsi.org/technologies/reconfigurable-intelligent-surfaces>

European Union. (2010). *Directive-2010/40-EN*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32010L0040>

everything RF. (2020, Eylül 22). *What is IEEE 802.11p?* <https://www.everythingrf.com/community/what-is-ieee-802-11p>

everything RF. (2023, Ocak 8). *What is LTE-V2X (PC5)?* <https://www.everythingrf.com/community/what-is-lte-v2x-pc5>

Evrım Ağacı. (2021). *LIDAR Teknolojisi Nedir? Nasıl Çalışır? Nerelerde Kullanılır?*. <https://evrimagaci.org/lidar-teknolojisi-nedir-nasil-calisir-nerelerde-kullanilir-10214>

Federal Communications Commission. (2020). *FCC Modernizes 5.9 GHz Band to Improve Wi-Fi and Automotive Safety* | . <https://www.fcc.gov/document/fcc-modernizes-59-ghz-band-improve-wi-fi-and-automotive-safety-0>

Federal Communications Commission. (2022). *Dedicated Short Range Communications (DSRC) Service / Federal Communications Commission*. <https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/mobility-division/dedicated-short-range-communications-dsrc-service>

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. (2016). *Digital Strategy 2025*. [https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/digitale-strategie-2025.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/digitale-strategie-2025.pdf?__blob=publicationFile&v=1)

Federal Ministry of Economics and Technology. (2011). *The Technology Campaign of the Federal Ministry of Economics and Technology*. [https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/technologieoffensive-des-bmwi.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/technologieoffensive-des-bmwi.pdf?__blob=publicationFile&v=1)

Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi). (2011). *ICT Strategy of the German Federal Government: Digital Germany 2015*. <https://www.unapcict.org/sites/default/files/2019-01/ICT%20Strategy%20of%20the%20German%20Federal%20Government%20Digital%20Germany%202015.pdf>

Festag, A. (2014). Cooperative intelligent transport systems standards in Europe. *IEEE Communications Magazine*, 52(12), 166-172. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6979970>

- Festag, A. (2015). Standards for vehicular communication—from IEEE 802.11p to 5G. *Elektrotechnik und Informationstechnik*, 132(7), 409-416. <https://doi.org/10.1007/S00502-015-0343-0/>
- Florida Department of Transportation. (2022). *THEA Connected Vehicle Pilot*. <https://www.fdot.gov/traffic/teo-divisions.shtm/cav-ml-stamp/cv/maplocations/thea-cvp.shtm>
- Fogue, M., Garrido, P., Martinez, F. J., Cano, J. C., Calafate, C. T., Manzoni, P., & Sanchez, M. (2011). Prototyping an automatic notification scheme for traffic accidents in vehicular networks. *IFIP Wireless Days*, 1(1). <https://doi.org/10.1109/WD.2011.6098139>
- FOT-Net WIKI. (2015a). *SIMTD*. <https://wiki.fot-net.eu/index.php/SIMTD>
- FOT-Net WIKI. (2015b). *SISCOGA*. <https://wiki.fot-net.eu/index.php/SISCOGA#Results>
- FOT-Net WIKI. (2015c). *SKY Project*. [https://wiki.fot-net.eu/index.php?title=SKY\\_Project](https://wiki.fot-net.eu/index.php?title=SKY_Project)
- FOT-Net WIKI. (2015d). *SKY Project-Intersection Collision Avoidance*. [https://wiki.fot-net.eu/index.php?title=SKY\\_Project\\_-\\_Intersection\\_Collision\\_Avoidance](https://wiki.fot-net.eu/index.php?title=SKY_Project_-_Intersection_Collision_Avoidance)
- FOT-Net WIKI. (2015e). *SKY Project-Pedestrian Traffic Safety using GPS mobile phone*. [https://wiki.fot-net.eu/index.php?title=SKY\\_Project\\_-\\_Pedestrian\\_Traffic\\_Safety\\_using\\_GPS\\_mobile\\_phone](https://wiki.fot-net.eu/index.php?title=SKY_Project_-_Pedestrian_Traffic_Safety_using_GPS_mobile_phone)
- FOT-Net WIKI. (2015f). *SKY Project-RFID*. [https://wiki.fot-net.eu/index.php?title=SKY\\_Project\\_-\\_RFID](https://wiki.fot-net.eu/index.php?title=SKY_Project_-_RFID)
- 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>
- Frotscher, A., Monschiebl, B., Drosou, A., Gelenbe, E., Reed, M. J., & Al-Naday, M. (2019). Improve cybersecurity of C-ITS road side infrastructure installations: The SerIoT-Secure and Safe IoT approach. *2019 8th IEEE International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2019-Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ICCV45908.2019.8965056>
- Gahadza, M., & Winberg, S. (2019). Performance of massive MIMO Systems for Future Generation Wireless Systems. *2019 IEEE 10th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies, ICMIMT 2019*, 204-211. <https://doi.org/10.1109/ICMIMT.2019.8712054>
- GeeksforGeeks. (2022). *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM)*. <https://www.geeksforgeeks.org/orthogonal-frequency-division-multiplexing-ofdm/>
- Ghafoor, K. Z., Guizani, M., Kong, L., Maghdid, H. S., & Jasim, K. F. (2020). Enabling Efficient Coexistence of DSRC and C-V2X in Vehicular Networks. *IEEE Wireless Communications*, 27(2), 134-140. <https://doi.org/10.1109/MWC.001.1900219>
- Gobierno de España. (2020). *DIGITAL SPAIN 2025*. 7-18. <https://espanadigital.gob.es/sites/agendadigital/files/2022-01/Digital-Spain-2025.pdf>
- Gobierno de España. (2022). *España Digital 2026 | Executive Summary*. 10. <https://espanadigital.gob.es/sites/espanadigital/files/2022-08/Digital%20Spain%202026-Executive%20Summary.pdf>

GTT Wireless. (2021). *DSRC vs C-V2X: Comparing the Connected Vehicles Technologies*-.  
<https://www.gttwireless.com/dsrc-vs-c-v2x-comparing-the-connected-vehicles-technologies/>

Gupta, A., & Jha, R. K. (2015). A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies. *IEEE Access*, 3, 1206-1232. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2461602>

Haque, K. F., Abdelgawad, A., Yanambaka, V. P., & Yelamarthi, K. (2020). LoRa Architecture for V2X Communication: An Experimental Evaluation with Vehicles on the Move. *Sensors 2020*, Vol. 20, Page 6876, 20(23), 6876. <https://doi.org/10.3390/S20236876>

Hong, W., Baek, K. H., Lee, Y., Kim, Y., & Ko, S. T. (2014). Study and prototyping of practically large-scale mmWave antenna systems for 5G cellular devices. *IEEE Communications Magazine*, 52(9), 63-69. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6894454>

HYPR. (2023). *What is Symmetric Key Cryptography? | Security Encyclopedia*.  
<https://www.hypr.com/security-encyclopedia/symmetric-key-cryptography>

IEEE Communications Society. (2023). *Who Needs Basestations When We Have Sidelinks?*  
<https://www.comsoc.org/publications/ctn/who-needs-basestations-when-we-have-sidelinks>

IEEE Standards Association. (2023). *IEEE 802.11bd-2022*. <https://standards.ieee.org/ieee/802.11bd/7451/>

iMOVE Australia. (2022). *What C-ITS technologies for national deployment in Australia?*  
<https://imoveaustralia.com/project/what-c-its-technologies-for-national-deployment-in-australia/>

Informatica. (2023). *Low Latency: What It Is, Meaning & Definition | Informatica*.  
<https://www.informatica.com/services-and-training/glossary-of-terms/low-latency-definition.html>

Innovate UK. (2021). *UK TRANSPORT VISION 2050: investing in the future of mobility*.

Inseego. (2023a). *What is a GNB (gNodeB)?* <https://inseego.com/resources/5g-glossary/what-is-gnb/>

Inseego. (2023b). *What is eMBB (Enhanced Mobile Broadband)?* . <https://inseego.com/resources/5g-glossary/what-is-embb/>

Inseego. (2023c). *What is mMTC: Massive Machine Type Communications?*  
<https://inseego.com/resources/5g-glossary/what-is-mmtc/>

Inseego. (2023d). *What is URLLC?* <https://inseego.com/resources/5g-glossary/what-is-urllc/>

Institute of Transportation Engineers. (2021). *CTI 4001 v01.00, Roadside Unit (RSU) Standard*.  
<https://www.ite.org/pub/?id=764FB228-0F6C-BA02-6D7B-16A86B1F8108>

Institute of Transportation Engineers. (2023). *RSU Standardization-Institute of Transportation Engineers*.  
<https://www.ite.org/technical-resources/standards/rsu-standardization/>

InterCor. (2020). *Milestone 13-Pilot Evaluation Report Version number: 1.0*. [https://intercor-project.eu/wp-content/uploads/sites/15/2020/03/InterCor\\_M13-Pilot-Evaluation\\_v1.0\\_INEA.pdf](https://intercor-project.eu/wp-content/uploads/sites/15/2020/03/InterCor_M13-Pilot-Evaluation_v1.0_INEA.pdf)

International Organization for Standardization (ISO). (2000). *ISO/IEC 7498-1:1994-Information technology — Open Systems Interconnection — Basic Reference Model: The Basic Model*.  
<https://www.iso.org/standard/20269.html>

- Invest in Italy, Italian Trade Agency, & Invitalia. (2020). *Information & Communication Technology*. 19,30,72,124. <https://www.ice.it/en/sites/default/files/2021-01/ict-booklet-jan-2021.pdf>
- ITS America. (2022). *About*. <https://itsa.org/about/>
- ITS America. (2023). *ITSA Events*. <https://www.itsamericaevents.com/#events>
- ITS Deployment Evaluation Program. (2021). *2020 Executive Briefing\_Signal Phase and Timing (SPaT)*. [https://www.itskrs.its.dot.gov/sites/default/files/doc/07\\_SPaT%20Challenge\\_FINAL%20508%20VERSION\\_06\\_23\\_21.pdf](https://www.itskrs.its.dot.gov/sites/default/files/doc/07_SPaT%20Challenge_FINAL%20508%20VERSION_06_23_21.pdf)
- ITS Standards, & United States Department of Transportation. (2013). *ITS Standards Advisory Traffic Management Data Dictionary Standard for Traffic Management Center-to-Center Communications*. [https://www.standards.its.dot.gov/content/documents/advisories/tmdd\\_advisory\\_2013.pdf](https://www.standards.its.dot.gov/content/documents/advisories/tmdd_advisory_2013.pdf)
- ITSSv6. (2011). *ITSSv6 Poster*. <http://itssv6.inria.fr/lib/exe/fetch.php?media=itssv6-poster-201109.pdf>
- ITWissen. (2020). *Communication access for land mobiles (automotive) (CALM)*. <https://www.itwissen.info/en/communication-access-for-land-mobiles-automotive-CALM-126771.html#gsc.tab=0>
- ITWissen. (2023). *On-board unit (automotive) (OBU)* . <https://www.itwissen.info/en/on-board-unit-automotive-OBU-116882.html#gsc.tab=0>
- Jiang, D., & Delgrossi, L. (2008). IEEE 802.11p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. *IEEE Vehicular Technology Conference*, 2036-2040. <https://doi.org/10.1109/VETECS.2008.458>
- Kar, U. N., & Sanyal, D. K. (2018). An overview of device-to-device communication in cellular networks. *ICT Express*, 4(4), 203-208. <https://doi.org/10.1016/J.ICTE.2017.08.002>
- 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>
- Kikushima, J. (2020). *Public-Private ITS Initiative / Roadmaps 2020*. [https://en.sip-adus.go.jp/evt/workshop2020/file/jg/08JG\\_01E\\_Kikushima.pdf](https://en.sip-adus.go.jp/evt/workshop2020/file/jg/08JG_01E_Kikushima.pdf)
- Kim, T. (2019). *Intelligent Transport System to Smart Mobility in Korea: Lessons & Future Direction*. 4,5,12,13,15,16,17,29. <https://www.its-knihovna.cz/CDV/media/ITS-Knihovna/Projekty%20a%20studie/201910-intelligent-transport-system-smart-mobility-korea-lessons-future-direction.pdf>
- Kompfner, P. (2010). *Final Activity Report Period: 01/02/2006 to 30/06/2010*. [https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20120713\\_132648\\_5935\\_DEL\\_CVIS\\_1.3\\_FinalActivityReport\\_PartII\\_PublishableSummary\\_V1.0.pdf](https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20120713_132648_5935_DEL_CVIS_1.3_FinalActivityReport_PartII_PublishableSummary_V1.0.pdf)
- Kotsi, A., Lusco, T., Mitsakis, E., & Sill, S. (2020). *Harmonization and interoperability of C-ITS Architectures in Europe and USA*. <https://arxiv.org/abs/2010.08405v1>



- Kountche, D. A., Bonnin, J. M., & Labiod, H. (2017). The problem of privacy in cooperative intelligent transportation systems (C-ITS). *2017 IEEE Conference on Computer Communications Workshops, INFOCOM WKSHPS 2017*, 482-486. <https://doi.org/10.1109/INFOCOMW.2017.8116424>
- Kunz, A., Nkenyereye, L., & Song, J. (2018). 5G Evolution of Cellular IoT for V2X. *2018 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking, CSCN 2018*. <https://doi.org/10.1109/CSCN.2018.8581830>
- Li, Y., & Stüber, G. L. (2006). Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Wireless Communications. *Çinde Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Wireless Communications*. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/0-387-30235-2>
- Liu, J., Cai, L., Wang, X., Lu, C., & Zhang, L. (2020). *Roadside Unit Deployment of Cooperative Vehicle-Infrastructure System Based on Digital Measurable Image Method*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1626/1/012112>
- 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](https://www.researchgate.net/publication/337656003_GNSS-based_Localization_for_Autonomous_Vehicles_Prospects_and_Challenges)
- Maaloul, S., Aniss, H., Kassab, M., & Berbineau, M. (2021). Classification of C-ITS Services in Vehicular Environments. *IEEE Access*, 9, 117868-117879. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3105815>
- Makano, H. (2017). *C-ITS and Connected Automated Driving in Japan*. [https://www.nilim.go.jp/lab/qcg/japanese/3paper/pdf/2017\\_13.pdf](https://www.nilim.go.jp/lab/qcg/japanese/3paper/pdf/2017_13.pdf)
- 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/VTCSPRING.2019.8746562>
- Manshaei, M. H., Krunz, M., & Youssef, A. (2024). *Performance Evaluation of DSRC and C-V2X Coexistence in the 5.895-5.925 GHz Spectrum*. <http://www.conf-icnc.org/2024/papers/p862-manshaei.pdf>
- Mao, Y., You, C., Zhang, J., Huang, K., & Letaief, K. B. (2017). A Survey on Mobile Edge Computing: The Communication Perspective. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 19(4), 2322-2358. <https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2745201>
- Mei, J., Wang, X., & Zheng, K. (2019). Intelligent network slicing for V2X services toward 5G. *IEEE Network*, 33(6), 196-204. <https://doi.org/10.1109/MNET.001.1800528>
- Metaswitch. (2023). *What is 5G beamforming, beam steering and beam switching with massive MIMO*. <https://www.metaswitch.com/knowledge-center/reference/what-is-beamforming-beam-steering-and-beam-switching-with-massive-mimo>
- Ministeri, G., & Vangelista, L. (2014). Channel impulse response estimation in IEEE 802.11p via data fusion and group orthogonal matching pursuit. *Proceeding of IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks 2014, WoWMoM 2014*. <https://doi.org/10.1109/WOWMOM.2014.6918994>

- Ministry of Internal Affairs and Communications. (2020). *Beyond 5G Promotion Strategy—Roadmap towards 6G*.  
[https://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/joho\\_tsusin/eng/presentation/pdf/Beyond\\_5G\\_Promotion\\_Strategy-Roadmap\\_towards\\_6G-.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/eng/presentation/pdf/Beyond_5G_Promotion_Strategy-Roadmap_towards_6G-.pdf)
- Ministry of Internal Affairs and Communications. (2021). *Chapter 5: ICT Policy Directions*.  
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/eng/WP2021/chapter-5.pdf>
- Ministry of Internal Affairs and Communications. (2023). *Frequency Allocation Table*.  
<https://www.tele.soumu.go.jp/resource/e/search/share/pdf/t2.pdf>
- Ministry of Land Infrastructure and Transport. (2016). *Intelligent Transport Systems in Korea*.  
[http://www.molit.go.kr/upload/cyberJccr/pdf\\_file/ITS%20brochure.pdf](http://www.molit.go.kr/upload/cyberJccr/pdf_file/ITS%20brochure.pdf)
- Ministry of Land Infrastructure and Transport. (2021). *지능형교통체계(ITS) 기본계획 2030*.  
[https://www.molit.go.kr/LCMS/DWN.jsp?fold=law&fileName=%EC%A7%80%EB%8A%A5%ED%98%95%EA%B5%90%ED%86%B5%EC%B2%B4%EA%B3%84%28ITS%29\\_%EA%B8%B0%EB%B3%B8%EA%B3%84%ED%9A%8D\\_2030\\_%EC%A0%84%EB%AC%B8.pdf](https://www.molit.go.kr/LCMS/DWN.jsp?fold=law&fileName=%EC%A7%80%EB%8A%A5%ED%98%95%EA%B5%90%ED%86%B5%EC%B2%B4%EA%B3%84%28ITS%29_%EA%B8%B0%EB%B3%B8%EA%B3%84%ED%9A%8D_2030_%EC%A0%84%EB%AC%B8.pdf)
- Ministry of Land Infrastructure and Transport, & Korean Expressway Corporation. (2017). *C-ITS Pilot Project*. <https://www.c-its.kr/english/pilotProject.do>
- Ministry of Land Infrastructure Transport and Tourism. (2012). *ITS initiatives in Japan*.  
<https://www.mlit.go.jp/road/ITS/pdf/ITSinitiativesinJapan.pdf>
- Minnesota Department of Transportation. (2021). *Intelligent Transportation Systems (ITS) Design Manual*.  
<https://www.dot.state.mn.us/its/docs/itsmanual.pdf>
- Mir, Z. H., Toutouh, J., Filali, F., & Ko, Y. B. (2020a). 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>
- Mir, Z. H., Toutouh, J., Filali, F., & Ko, Y. B. (2020b). 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>
- Mitsakis, E., & Kotsi, A. (2017). *Costs and benefits of bundled C-ITS services. The C-MobILE approach*.  
<https://c-mobile-project.eu/wp-content/uploads/sites/19/2019/04/Costs-and-benefits-of-bundled-C-ITS-services.The-C-MobILE-approach.pdf>
- Miucic, R. (2015). *WAVE Physical Layer*. [https://ccv.eng.wayne.edu/lecture\\_PDF/lecture\\_09-WAVE\\_PHY.pdf](https://ccv.eng.wayne.edu/lecture_PDF/lecture_09-WAVE_PHY.pdf)
- 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>
- Müller, S., & ETSI CTI. (2016). *C-ITS TECHNICAL SPECIFICATIONS FOR INTEROPERABILITY STATUS AND ROADMAP*. <https://slideplayer.com/slide/12878194/>

Naik, G., Choudhury, B., & Park, J. M. (2019). IEEE 802.11bd 5G NR V2X: Evolution of Radio Access Technologies for V2X Communications. *IEEE Access*, 7, 70169-70184. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2919489>

Naudts, D., Maglogiannis, V., Hadiwardoyo, S., Van Den Akker, D., Vanneste, S., Mercelis, S., Hellinckx, P., Lannoo, B., Marquez-Barja, J., & Moerman, I. (2021). Vehicular Communication Management Framework: A Flexible Hybrid Connectivity Platform for CCAM Services. *Future Internet 2021, Vol. 13, Page 81, 13*(3), 81. <https://doi.org/10.3390/FI13030081>

NEMA. (2023). *NTCIP*. <https://www.nema.org/standards/technical/ntcip>

New South Wales Government. (2024). *Home | Towards Zero*. <https://towardszero.nsw.gov.au/>

Nexus Ingroup. (2024). *Identities for vehicle-to-everything-V2X PKI*. <https://doc.nexusgroup.com/pub/identities-for-vehicle-to-everything-v2x-pki>

Nguyen, P. H., Hugo, A., Svantorp, K., & Elnes, B. M. (2020). Towards a Simulation Framework for Edge-To-Cloud Orchestration in C-ITS. *Proceedings-IEEE International Conference on Mobile Data Management, 2020-June*, 354-358. <https://doi.org/10.1109/MDM48529.2020.00077>

Nordrum, A., Clark, K., & IEEE SPECTRUM. (2017, Temmuz 15). *5G Bytes: Beamforming Explained*. <https://spectrum.ieee.org/5g-bytes-beamforming-explained>

NordVPN. (2023). *Handshake protocol definition-Glossary*. <https://nordvpn.com/tr/cybersecurity/glossary/handshake-protocol/>

NTCIP. (2023a). *About |*. <https://www.ntcip.org/about/>

NTCIP. (2023b). *Center-to-Center (C2C) |*. <https://www.ntcip.org/center-to-center/>

NTCIP. (2024). *About*. <https://www.ntcip.org/about/>

NXP USA. (2020). *How Re-Allocating the 5.9 GHz Band Could Affect Road Safety*. <https://www.nxp.com/docs/en/white-paper/V2XFCCWP.pdf>

Odak Arge Merkezi. (2023). *NTCIP Protokolü Nedir ve Uygulama Alanları Nelerdir?* <https://www.odakarge.com/ntcip-protokolu-nedir-ve-uygulama-alanlari-nelerdir/>

Olson, M. (1971). *The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups, Second printing with new preface and appendix (Harvard Economic Studies)*. <https://www.hup.harvard.edu/catalog.php?isbn=9780674537514>

Ordenez-Lucena, J., Ameigeiras, P., Lopez, Di., Ramos-Munoz, J. J., Lorca, J., & Figueira, 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>

Pais Ribeiro, J., Moura, L. T., & Silva Costa, R. (2019). *C-ITS Framework Development and European Test Cases Scenarios*. 3-6. [https://www.a-to-be.com/wp-content/uploads/2022/02/2019\\_RIBEIRO\\_ITSEurope13\\_CITS\\_Framework\\_Development.pdf](https://www.a-to-be.com/wp-content/uploads/2022/02/2019_RIBEIRO_ITSEurope13_CITS_Framework_Development.pdf)

- Paranjothi, A., Tanik, U., Wang, Y., & Khan, M. S. (2019). Hybrid-Vehfog: A robust approach for reliable dissemination of critical messages in connected vehicles. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 30(6). <https://doi.org/10.1002/ETT.3595>
- PR Newswire. (2022, Mart 7). *Demonstration of a V2X System for the prioritization of Public Transportation Vehicles (Buses) on Bus Rapid Transport System corridor in Ahmedabad, INDIA*. <https://www.prnewswire.com/in/news-releases/demonstration-of-a-v2x-system-for-the-prioritization-of-public-transportation-vehicles-buses-on-bus-rapid-transport-system-corridor-in-ahmedabad-india-865495134.html>
- Qualcomm. (2023). *5G NR / 5g New Radio Standard* | . <https://www.qualcomm.com/research/5g/5g-nr>
- Rappaport, T. S., Murdock, J. N., & Gutierrez, F. (2011). State of the art in 60-GHz integrated circuits and systems for wireless communications. *Proceedings of the IEEE*, 99(8), 1390-1436. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2011.2143650>
- RCR Wireless. (2021). *Vodafone deploys 'live' C-V2X in UK 'first' as part of expanding Midlands 5G trials*. <https://www.rcrwireless.com/20210604/5g/vodafone-deploys-live-c-v2x-part-of-expanding-midlands-5g-trials>
- Rep. Shuster, B. [R-P.-9]. (1998). *H.R.2400-105th Congress (1997-1998): Transportation Equity Act for the 21st Century*. <https://www.congress.gov/bill/105th-congress/house-bill/2400>
- Rezazadehbaee, M. A., Simpson, L., Boyen, X., Foo, E., & Pieprzyk, J. (2021). A Model to Evaluate Reliability of Authentication Protocols in C-ITS Safety-Critical Applications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70(9), 9306-9319. <https://doi.org/10.1109/TVT.2021.3097088>
- RGBSI. (2022a). *Defining Vehicle to Pedestrian (V2P)*. <https://blog.rgbsi.com/defining-vehicle-to-pedestrian-v2p>
- RGBSI. (2022b). *Making the Connection with Vehicle to Network (V2N)*. <https://blog.rgbsi.com/connection-with-vehicle-to-network-v2n>
- RGBSI. (2022c). *What is Vehicle to Infrastructure V2I Technology?* <https://blog.rgbsi.com/what-is-v2i-technology>
- RGBSI. (2022d). *What You Need to Know About V2V Technology*. <https://blog.rgbsi.com/what-to-know-about-v2v-technology>
- Santa, J., Pereñíguez, F., Moragón, A., & Skarmeta, A. F. (2014). Experimental evaluation of CAM and DENM messaging services in vehicular communications. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 46, 98-120. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2014.05.006>
- Schulze, M., Mäkinen, T., Kessel, T., Metzner, S., & Stoyanov, H. (2014). *DRIVE C2X 07/07/2014 Deliverable D11.6 Version 1.0 2 Authors Project funding 7th Framework programme INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES Project co-ordinator*. [https://www.eict.de/fileadmin/redakteure/Projekte/DriveC2X/Deliverables/DRIVE\\_C2X\\_D11\\_6\\_Final\\_report\\_full\\_version\\_.pdf](https://www.eict.de/fileadmin/redakteure/Projekte/DriveC2X/Deliverables/DRIVE_C2X_D11_6_Final_report_full_version_.pdf)

SCOOP Project : Connected Road and Vehicle. (2018a). *General presentation*. <https://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/general-presentation-a9.html>

SCOOP Project : Connected Road and Vehicle. (2018b). *Pilot sites*. <https://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/pilot-sites-a8.html>

SemiconductorEngineering. (2022). *Radar For Automotive: Why Do We Need Radar?* <https://semiengineering.com/radar-for-automotive-why-do-we-need-radar/>

Seoul TOPIS. (2021a). *C-ITS*. <https://topis.seoul.go.kr/openEngCits.do>

Seoul TOPIS. (2021b). *Introduction*. <https://topis.seoul.go.kr/openEngIntro.do>

Shenzhen RECODA Technologies Limited. (2023). *The Importance of Vehicle Camera for Autonomous Driving*-. <https://www.recodadr.com/the-importance-of-vehicle-camera-for-autonomous-driving.html>

Shrestha, R., Nam, S. Y., Bajracharya, R., & Kim, S. (2020). Evolution of V2X Communication and Integration of Blockchain for Security Enhancements. *Electronics 2020, Vol. 9, Page 1338*, 9(9), 1338. <https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS9091338>

SkEyeWatch. (2023). *360 Truck Camera System | Truck 4 Way Camera System*. <https://www.skeyewatch.com/360-degree-truck-camera-system/>

Smart City Korea. (2021). *MOLIT, Basic Plan for Intelligent Transportation System 2030 ('21~'30)*. <https://smartcity.go.kr/en/2021/10/19/%EA%B5%AD%ED%86%A0%EB%B6%80-%EC%A7%80%EB%8A%A5%ED%98%95%EA%B5%90%ED%86%B5%EC%B2%B4%EA%B3%84-%EA%B8%B0%EB%B3%B8%EA%B3%84%ED%9A%8D-20302130-%EC%88%98%EB%A6%BD/>

SSL2BUY. (2024). *Symmetric vs. Asymmetric Encryption-What are differences?* <https://www.ssl2buy.com/wiki/symmetric-vs-asymmetric-encryption-what-are-differences>

Subedi, P., Alsadoon, A., Prasad, P. W. C., Rehman, S., Giweli, N., Imran, M., & Arif, S. (2021). Network slicing: a next generation 5G perspective. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2021(1), 1-26. <https://doi.org/10.1186/S13638-021-01983-7/TABLES/5>

SWARCO. (2020). *C-ITS OVERVIEW*. [https://www.swarco.com/sites/default/files/public/swarco-downloads/SWARCO%20C-ITS%20Whitepaper%20Folder%20v1.pdf?utm\\_source=linkedin&utm\\_content=Influencers%2CConnecte dDriving%2CThoughtLeader%2CBuyers%2CITS%2CSmart%2CLeadGeneration%2CHolistic%2CGlob al%2CModern%2CInnovation%2CPromotional%2CMobilitySolutions%2CInformative%2CGreen&utm\\_campaign=falcon+social&utm\\_medium=SWARCO](https://www.swarco.com/sites/default/files/public/swarco-downloads/SWARCO%20C-ITS%20Whitepaper%20Folder%20v1.pdf?utm_source=linkedin&utm_content=Influencers%2CConnecte dDriving%2CThoughtLeader%2CBuyers%2CITS%2CSmart%2CLeadGeneration%2CHolistic%2CGlob al%2CModern%2CInnovation%2CPromotional%2CMobilitySolutions%2CInformative%2CGreen&utm_campaign=falcon+social&utm_medium=SWARCO)

Tahir, M. N., Máenpää, K., Sukuvaara, T., & Leviäkangas, P. (2021). Deployment and Analysis of Cooperative Intelligent Transport System Pilot Service Alerts in Real Environment. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2, 140-148. <https://doi.org/10.1109/OJITS.2021.3085569>

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023, Ocak 20). *TÜRKİYE'NİN 5G YOL HARİTASI HAZIR*. <https://www.sanayi.gov.tr/medya/haber/turkiyenin-5g-yol-haritasi-hazir>



UK Parliament. (2019). *Documents considered by the Committee on 27 February 2019-European Scrutiny Committee-House of Commons*. <https://publications.parliament.uk/pa/cm201719/cmselect/cmeuleg/301-1v/30109.htm>

United States Department of Transportation. (1998). *TEA-21 | The Transportation Equity Act for the 21st Century Summary*. <https://www.fhwa.dot.gov/tea21/summary.htm>

United States Department of Transportation. (2005). *A Summary of Highway Provisions in SAFETEA-LU*. <https://www.fhwa.dot.gov/safetealu/summary.htm>

United States Department of Transportation. (2009, Eylül 25). *ITS Standards Program*. <https://www.standards.its.dot.gov/factsheets/factsheet/80>

United States Department of Transportation. (2010). *Transforming Transportation through Connectivity | ITS Strategic Research Plan, 2010 to 2014. Progress Update 2012*. <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/34609>

United States Department of Transportation. (2015). *ITS Strategic Plan 2015-2019*. <https://www.its.dot.gov/strategicplan.pdf>

United States Department of Transportation. (2018). *U.S. Department of Transportation-Strategic Plan for Fiscal Years 2018-2022*. <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/mission/administrations/office-policy/304866/dot-strategic-planfy2018-2022508.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](https://www.its.dot.gov/stratplan2020/ITSJPO_StrategicPlan_2020-2025.pdf)

United States Department of Transportation. (2021a). *NEW YORK CITY (NYC) DOT PILOT*. [https://www.its.dot.gov/pilots/pilots\\_nycdot.htm](https://www.its.dot.gov/pilots/pilots_nycdot.htm)

United States Department of Transportation. (2021b). *Program Overview*. <https://www.its.dot.gov/pilots/overview.htm>

United States Department of Transportation. (2024). *Connected Vehicle Safety Pilot*. [https://www.its.dot.gov/research\\_archives/safety/safety\\_pilot\\_plan.htm](https://www.its.dot.gov/research_archives/safety/safety_pilot_plan.htm)

United States Department of Transportation-Federal Highway Administration. (2023). *Real-Time System Management Information Program Data Exchange Format Specification Implementation Guidance-Section 5*. <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop13046/sec5.htm>

V2 Cloud. (2022). *IPv6 Definition*. <https://v2cloud.com/glossary/internet-protocol-version6-definition>

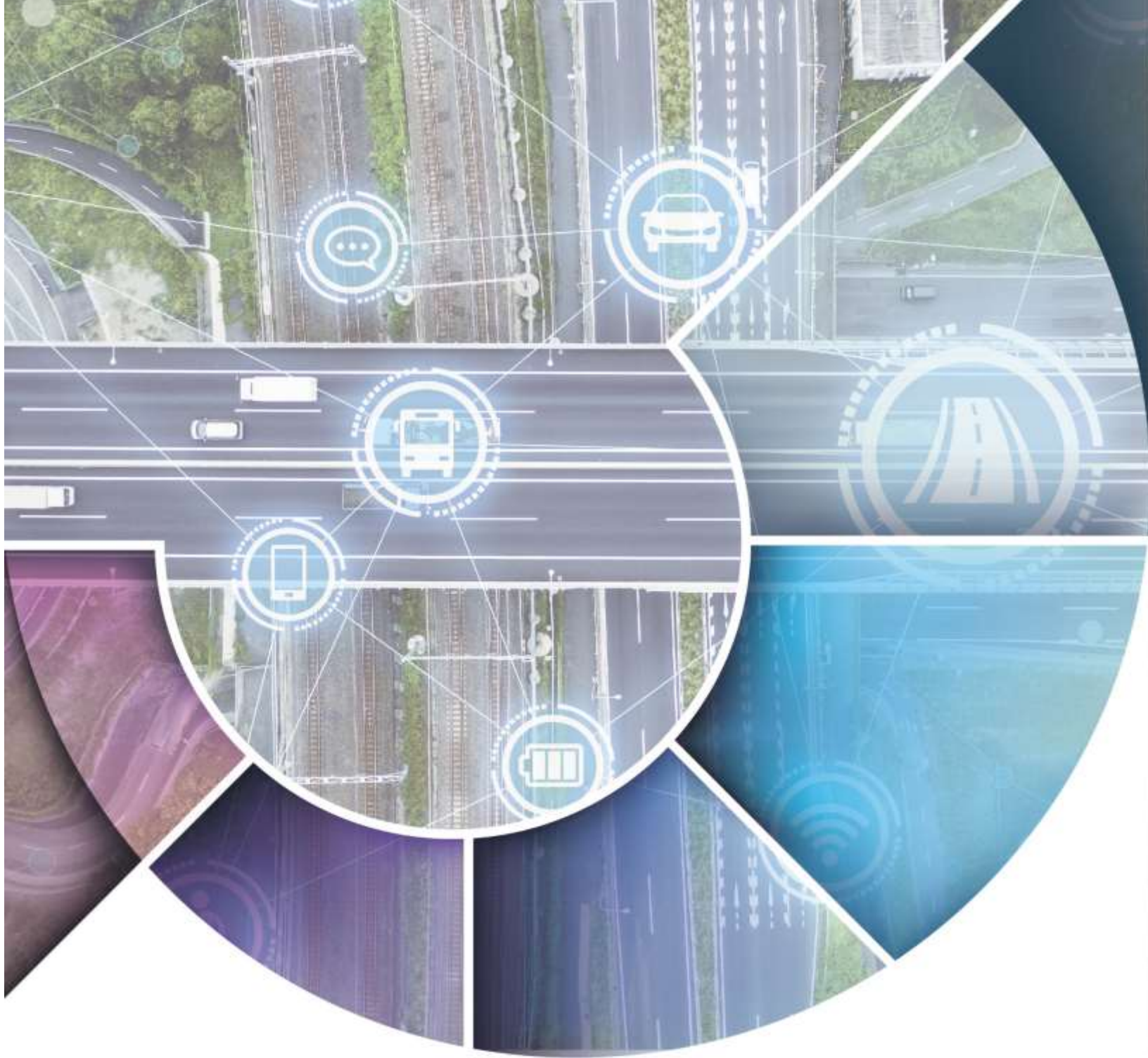
Veitas, V. K., & Delaere, S. (2018). *In-vehicle data recording, storage and access management in autonomous vehicles*. <http://arxiv.org/abs/1806.03243>

Velodyne Lidar. (2021, Mart 26). *Velodyne's Guide to Lidar Wavelengths*. <https://velodynelidar.com/blog/guide-to-lidar-wavelengths/>

Verizon. (2024). *What is 5G Beamforming?* <https://www.verizon.com/business/resources/articles/5g-beamforming-massive-mimo/>

- Visionify. (2021, Aralık 3). *The Power of Infrared Thermal Imaging for People Detection*. <https://visionify.ai/infrared-thermal-imaging-for-people-detection/>
- Wevolver. (2023). *A Deep Dive into the New V2X and Cellular-V2X Architectures Based on 5G*. <https://www.wevolver.com/article/a-deep-dive-into-the-new-v2x-and-cellular-v2x-architectures-based-on-5g>
- Wieker, H., Fünfroeken, M., & Vogt, J. (2013). *The CONVERGE project-A systems network for ITS*. <https://arxiv.org/abs/2102.11135>
- Yamakawa, M. (2013). *Japan's ICT Growth Strategy | Contributing to Domestic Economic Growth and the Global Society* | . [https://www.ituaj.jp/wp-content/uploads/2013/10/nb25-4\\_web-2\\_po-ict.pdf](https://www.ituaj.jp/wp-content/uploads/2013/10/nb25-4_web-2_po-ict.pdf)
- Yang, Q., Wang, L., Xia, W., Wu, Y., & Shen, L. (2014). Development of on-board unit in vehicular ad-hoc network for highways. *2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2014- Proceedings*, 457-462. <https://doi.org/10.1109/ICCVE.2014.7297589>
- 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/>





# K-AUS HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİ RAPORU

