
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

TÜRKİYE'DE BAĞLANTILI ARAÇLAR İÇİN KOOPERATİF AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ (K-AUS) ÇERÇEVE MİMARİ ÖNERİSİ

Tuğçe KAYAKÖK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TRAFİK PLANLAMASI VE UYGULAMASI ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2026

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Tuğçe KAYAKÖK

13/01/2026

TÜRKİYE'DE BAĞLANTILI ARAÇLAR İÇİN KOOPERATİF AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ (K-AUS) ÇERÇEVE MİMARİ ÖNERİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Tuğçe KAYAKÖK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2026

ÖZET

Bu tez çalışması, Türkiye'de bağlantılı araçlar için bir Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri (K-AUS) çerçeve mimarisi önerisi sunmayı ve bu yapının ulusal düzeyde verimli bir şekilde uygulanmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Mevcut Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) uygulamalarının büyük ölçüde yerel ihtiyaçlara göre yapılandırılmış olması, kooperatif hizmetlerin uluslararası düzeyde birlikte çalışabilirliğini ve teknik uyumunu sınırlamaktadır. Türkiye Ulusal AUS Mimarisi, ABD'nin ARC-IT referansı temel alınarak tasarlanmış olsa da bağlantılı araçların birlikte çalışabilirliğini sağlayacak bütüncül bir K-AUS çerçeve mimari önerisi ülkemizde henüz bulunmamaktadır. Bu çalışmada söz konusu boşluğu gidermek amacıyla, Türkiye'nin ulusal ve bölgesel ulaşım gereksinimlerini karşılayacak, mevcut AUS mimarisiyle uyumlu ve ARC-IT referans çerçevesine dayalı bir K-AUS çerçeve mimarisi önerilmektedir. Önerilen mimari; fonksiyonel, fiziksel, kurumsal ve haberleşme katmanlarını içeren bir yapı sunarak yol güvenliği, ulaşım verimliliği, sürdürülebilirlik ve seyahat konforunu artırmayı hedeflemektedir. Araştırma kapsamında, öncelikli olarak araç güvenliği, trafik yönetimi, seyahat bilgileri ve kişisel hareketlilik alanlarını kapsayan "Gün 1" (Day 1) hizmet paketlerine odaklanılmış ve sistemin siber güvenliği ile operasyonel sürekliliği için destek hizmetleri önerilmiştir. Elde dilen bulgular, Türkiye'nin ulaşım sektöründe güvenli, akıllı ve sürdürülebilir dijital dönüşümüne yönelik stratejik bir yol haritası sunmakta olup; K-AUS'un yaygınlaşmasıyla karayolu güvenliğinin artırılacağı ve ulaşımdan kaynaklanan çevresel etkilerin azaltılacağı değerlendirilmektedir.

Bilim Kodu : 91124
Anahtar Kelimeler : Bağlantılı araç, otonom hareketlilik, K-AUS, V2X
Sayfa Adedi : 261
Danışman : Doç. Dr. Ebru ARIKAN ÖZTÜRK

COOPERATIVE INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS FOR CONNECTED VEHICLES (C-ITS) IN TÜRKİYE FRAMEWORK ARCHITECTURE PROPOSAL

(M. Sc. Thesis)

Tuğçe KAYAKÖK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2026

ABSTRACT

This thesis aims to propose a Cooperative Intelligent Transportation Systems (C-ITS) framework architecture for connected vehicles in Türkiye and to ensure the efficient implementation of this structure at the national level. The fact that current Intelligent Transportation Systems (ITS) applications are largely configured according to local needs limits the interoperability and technical compatibility of cooperative services at the international level. Although the Türkiye National ITS Architecture was designed based on the US ARC-IT reference, a comprehensive C-ITS framework architecture proposal that would enable the interoperability of connected vehicles does not yet exist in our country. This study proposes a C-ITS framework architecture that addresses the aforementioned gap, meets Türkiye's national and regional transportation needs, is compatible with the existing AUS architecture, and is based on the ARC-IT reference framework. The proposed architecture aims to enhance road safety, transportation efficiency, sustainability, and travel comfort by providing a structure that includes functional, physical, organizational, and communication layers. Within the scope of the research, the focus was primarily on "Day 1" service packages covering vehicle safety, traffic management, travel information, and personal mobility, and support services were recommended for the system's cybersecurity and operational continuity. The findings present a strategic roadmap for Türkiye's safe, smart, and sustainable digital transformation in the transportation sector. It is being evaluated that the widespread adoption of C-ITS will increase road safety and reduce the environmental impact of transportation.

Science Code : 91124
Key Words : Connected vehicles, autonomous mobility, C-ITS, V2X
Page Number : 261
Supervisor : Assoc. Prof. Ebru ARIKAN ÖZTÜRK

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın planlanması, yürütülmesi ve tamamlanması süreçlerinin her aşamasında değerli bilgi birikimi ve deneyimleriyle yol gösteren danışmanım Doç. Dr. Ebru ARIKAN ÖZTÜRK'e sağladığı bilimsel katkılar, yönlendirmeleri ve destekleri için içtenlikle teşekkür ederim.

Yoğun çalışmalarım süresince bana destek veren ve sabır gösteren, motivasyon kaynağım olan annem Nihal KAYAKÖK, babam Mehmet Merih KAYAKÖK ve kardeşim Tuğba KAYAKÖK'e de sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Onların yanımda olması sayesinde zorlu dönemlerimde çalışmamı tamamlayabilmek için gereken yardımı ve moral desteğini buldum.

Çalışmamı daha iyi hale getirebilmem için katkı sunan Özgür TALİH ve Emre ÖZTÜRK'e; yürüttükleri ulusal AUS mimari projesi kapsamında tecrübelerini benimle paylaşan Mehmet KIVILCIM'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELER LİSTESİ x

ŞEKİLLER LİSTESİ xiii

KISALTMALAR xiv

1. GİRİŞ 1

2. KOOPERATİF AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ (K-AUS) 7

2.1. K-AUS İletişim Türleri 9

2.2. K-AUS İletişim Teknolojileri 12

2.2.1. Kısa menzilli iletişim teknolojileri 12

2.2.2. Uzun menzilli iletişim teknolojileri ve hibrit yaklaşım 17

2.2.3. Geleneksel ve diğer kablosuz iletişim teknolojileri 19

2.3. AUS İstasyonları (ITS Stations, ITS-S) 21

2.3.1. İletişim katmanları 23

2.3.2. Çapraz katman varlıkları 25

2.4. K-AUS Temel Bileşenleri 30

2.4.1. Araç içi birimi (on-board unit, OBU) 30

2.4.2. Yol kenarı birimi (road side unit, RSU) 31

2.4.3. Merkezi sistemler (traffic management center, TMC) 32

2.4.4. Kamera ve sensör teknolojileri 35

Sayfa

2.4.5. İnsan-makine arayüzü (human machine interface, HMI)..... 37

2.5. İletişim Mesaj Türleri 38

2.6. K-AUS Uygulamaları ve Hizmetleri 41

2.6.1. C-ITS Platformu'nun belirlediği K-AUS hizmet ve uygulamaları..... 42

2.6.2. C2C-CC'nin belirlediği K-AUS hizmetleri ve uygulamaları..... 44

2.7. Kooperatif, Bağlantılı ve Otonom Hareketlilik (Cooperative, Connected and Automated Mobility, CCAM) 48

3. K-AUS ALANINDA KÜRESEL ÇAPTA YÜRÜTÜLEN UYGULAMALAR VE STRATEJİK YAKLAŞIMLAR..... 51

3.1. K-AUS Kapsamında Araştırma, Geliştirme ve Uygulamalara Katkı Sunan Ortaklık ve Platformlar 51

3.2. Avrupa Ülkelerinde K-AUS Uygulamaları ve Stratejik Yaklaşımlar 53

3.2.1. Fransa 60

3.2.2. Avusturya 63

3.2.3. İtalya..... 66

3.2.4. Almanya 68

3.2.5. Macaristan 71

3.2.6. Çek Cumhuriyeti..... 73

3.3. ABD'de K-AUS Uygulamaları ve Stratejik Yaklaşımlar..... 78

3.4. Asya-Pasifik Ülkeleri'nde K-AUS Uygulamaları ve Stratejik Yaklaşımlar..... 91

3.4.1. Avustralya..... 91

3.4.2. Güney Kore 93

3.4.3. Çin 95

3.5. Türkiye'de K-AUS Uygulamaları ve Stratejik Yaklaşımlar..... 98

4. TÜRKİYE'DE BAĞLANTILI ARAÇLAR İÇİN K-AUS MİMARİ ÖNERİSİ..... 105

Sayfa

4.1. K-AUS Mimarisinin Geliştirilme Süreci 108

4.1.1. Türkiye'ye özgü ihtiyaç analizi 108

4.1.2. Kapsamın tanımlanması 112

4.1.3. Paydaşların belirlenmesi 114

4.2. Türkiye K-AUS Mimarisi 117

4.2.1. Araç güvenliği (Vehicle safety- VS)..... 119

4.2.2. Trafik yönetimi (Traffic management- TM) 197

4.2.3. Seyahat bilgileri ve kişisel hareketlilik (Traveler information and personal mobility- TI)..... 218

4.2.4. Destek (Support- SU)..... 227

4.3. Türkiye'de K-AUS ve Bağlantılı/Otonom Araçlara Yönelik Çalışmalarda Temel Oluşturacak Hukuki Altyapı Düzenleme Önerileri..... 236

5. SONUÇ VE ÖNERİLER 241

KAYNAKLAR..... 245

ÖZGEÇMİŞ..... 260

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. DSRC ve C-V2X PC5 modu arasındaki temel farklar 17

Çizelge 2.2. PC5 ve Uu modu arasındaki temel farklar 17

Çizelge 2.3. ITS-S'te OSI modeline karşılık gelen katmanlar 21

Çizelge 2.4. Gün 1 K-AUS hizmet paketleri 42

Çizelge 2.5. Gün 1,5 K-AUS hizmet paketleri 43

Çizelge 2.6. Gün 1 K-AUS hizmetleri 45

Çizelge 2.7. Gün 2 K-AUS hizmetleri 46

Çizelge 2.8. Gün 3+ K-AUS hizmetleri 46

Çizelge 3.1. ARC-IT hizmet paketleri 79

Çizelge 3.2. İlgili ulusal mevzuatlar 101

Çizelge 4.1. Türkiye K-AUS mimarisi için önerilen öncelikli hizmet paketleri 118

Çizelge 4.2. VS02 hizmet paketi bilgi akışları 122

Çizelge 4.3. VS03 hizmet paketi fiziksel nesneleri 127

Çizelge 4.4. VS03 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri 128

Çizelge 4.5. VS03 hizmet paketi bilgi akışları 128

Çizelge 4.6. VS04 hizmet paketi fiziksel nesneleri 137

Çizelge 4.7. VS04 hizmet paketi fonksiyonel nesneler 138

Çizelge 4.8. VS04 hizmet paketi bilgi akışları 138

Çizelge 4.9. VS05 hizmet paketi fiziksel nesneleri 146

Çizelge 4.10. VS05 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri 146

Çizelge 4.11. VS05 hizmet paketi bilgi akışları 147

Çizelge 4.12. VS07 hizmet paketi fiziksel nesneleri 155

Çizelge 4.13. VS07 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri 156

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.14. VS07 hizmet paketi bilgi akışları 157

Çizelge 4.15. VS08 hizmet paketi fiziksel nesneleri..... 166

Çizelge 4.16. VS08 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri..... 167

Çizelge 4.17. VS08 hizmet paketi bilgi akışları 168

Çizelge 4.18. VS09 hizmet paketi fiziksel nesneleri..... 177

Çizelge 4.19. VS09 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri..... 178

Çizelge 4.20. VS09 hizmet paketi bilgi akışları 179

Çizelge 4.21. VS13 hizmet paketi fiziksel nesneleri..... 187

Çizelge 4.22. VS13 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri..... 188

Çizelge 4.23. VS13 hizmet paketi bilgi akışları 189

Çizelge 4.24. TM alanında Türkiye için önerilen hizmet paketleri 197

Çizelge 4.25. TM02 hizmet paketi fiziksel nesneleri..... 199

Çizelge 4.26. TM02 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri..... 200

Çizelge 4.27. TM02 hizmet paketi bilgi akışları 200

Çizelge 4.28. TM04 hizmet paketi fiziksel nesneleri..... 208

Çizelge 4.29. TM04 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri..... 209

Çizelge 4.30. TM04 hizmet paketi bilgi akışları 210

Çizelge 4.31. TI alanında Türkiye için önerilen hizmeti..... 219

Çizelge 4.32. TI07 hizmet paketi fiziksel nesneleri..... 220

Çizelge 4.33. TI07 hizmet paketi fonksiyonel nesneler..... 221

Çizelge 4.34. TI07 hizmet paketi bilgi akışları..... 221

Çizelge 4.35. SU alanında Türkiye için önerilen hizmet paketi 227

Çizelge 4.36. SU01 hizmet paketi fiziksel nesneleri..... 228

Çizelge 4.37. SU01 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri..... 229

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.38. SU01 hizmet paketi bilgi akışları 229

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Tez içerik akış diyagramı 4

Şekil 2.1. DSRC/ITS-G5'te temel uygulama kullanım senaryoları 15

Şekil 2.2. 5GAA'nın C-V2X çözümü 19

Şekil 2.3. AUS istasyon mimarisi katmanları 22

Şekil 2.4. AUS istasyon mimarisi 23

Şekil 3.1. ABD ARC-IT mimarisinin 4 görünümü 86

Şekil 4.1. V2V temel güvenlik hizmet paketi fiziksel görünümü 124

Şekil 4.2. Durumsal farkındalık hizmet paketi fiziksel görünümü 133

Şekil 4.3. Özel araç uyarısı hizmet paketi fiziksel görünümü 141

Şekil 4.4. Viraj hızı uyarısı hizmet paketi fiziksel görünümü 151

Şekil 4. 5. Yol hava durumu sürücü uyarısı ve ikazı hizmet paketi fiziksel görünümü 162

Şekil 4.6. Kuyruk uyarısı hizmet paketi fiziksel görünümü 173

Şekil 4.7. Azaltılmış hız bölgesi uyarısı hizmet paketi fiziksel görünümü 184

Şekil 4.8. Kavşak güvenlik uyarısı ve çarpışma önleme hizmet paketi fiziksel görünümü 194

Şekil 4.9. Araç tabanlı trafik gözetimi hizmet paketi fiziksel görünümü 204

Şekil 4.10. Bağlantılı araç trafik sinyal sistemi hizmet paketi fiziksel görünümü 216

Şekil 4.11. Araç içi bilgiler hizmet paketi fiziksel görünümü 225

Şekil 4.12. Bağlantılı araç sistemi izleme ve yönetimi hizmet paketi fiziksel görünümü 233

KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
3GPP	3rd Generation Partnership Project (3. Nesil Ortaklık Projesi)
4G	4th Generation (4. Nesil)
5G	5th Generation (5. Nesil)
6G	6th Generation (6. Nesil)
5GAA	5G Automotive Association (5G Otomotiv Birliği)
AB	Avrupa Birliği (European Union, EU)
ABD	Amerika Birleşik Devletleri (The United States of America, U.S.)
ABHS	Araç İçi Bilgi ve Haberleşme Sistemi (In-Vehicle Information and Communication System)
ACC	Adaptive Cruise Control (Adaptif Seyir Kontrolü)
ADAS	Advanced Driving Assistance Systems (Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri)
ARC-IT	The Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation (Kooperatif ve Akıllı Ulaşım için Referans Mimari)
Ar-Ge	Araştırma ve Geliştirme
AUS	Akıllı Ulaşım Sistemleri (Intelligent Transportation Systems, ITS)
BTK	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
BSM	Basic Safety Messages (Temel Güvenlik Mesajları)
BSS	Basic Service Set (Temel Hizmet Seti)
C2C	Center-to-Center (Merkezden Merkeze)
C2C-CC	Car2Car Communication Consortium (Araçtan Araca Haberleşme Konsorsiyumu)
C-ACC	Cooperative Adaptive Cruise Control (Kooperatif Adaptif Hız Kontrolü)
C-V2X	Cellular Vehicle-to-Everything (Hücresel Ağ Üzerinden Araçtan Her Şeye)

Kısaltmalar	Açıklamalar
CAM	Cooperative Awareness Message (Kooperatif Farkındalık Mesajı)
CAN	Controller Area Network (Denetleyici Alan Ağı)
CCAM	Cooperative, Connected and Automated Mobility (Kooperatif, Bağlantılı ve Otonom Hareketlilik)
CCMS	C-ITS Security Credential Management System (K-AUS Güvenlik Kimlik Yönetim Sistemi)
CCRW	Cooperative Collision Risk Warning (Kooperatif Çarpışma Riski Uyarısı)
CCTV	Closed Circuit Television (Kapalı Devre Televizyon)
CPM	Collective Perception Message (Toplu Algı Mesajı)
CPS	Collective Perception Service (Toplu Algı Hizmeti)
CV	Connected Vehicle (Bağlantılı Araç)
ÇŞİDB	Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DENM	Decentralized Environmental Notification Message (Merkezi Olmayan Çevresel Bildirim Mesajı)
DMS	Dynamic Message Sign (Değişken Mesaj İşareti)
DSRC	Dedicated Short Range Communication (Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme)
ECU	Electronic Control Unit (Elektronik Kontrol Ünitesi)
EEBL	Emergency Electronic Brake Light (Acil Durum Fren Lambası)
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ERTICO	European Road Transport Telematics Implementation Coordination (Avrupa Karayolu Taşımacılığı Telematik Uygulama Koordinasyon Örgütü)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü)
EVA	Emergency Vehicle Approaching (Acil Durum Aracı Yaklaşma Uyarısı)
FCW	Forward Collision Warning (Önden Çarpışma Uyarısı)
GLOSA	Green Light Optimal Speed Advisory (Yeşil Işık Optimum Hız Önerisi)
GNSS	Global Navigation Satellite System (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi)

Kısaltmalar	Açıklamalar
GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
HGM	Haberleşme Genel Müdürlüğü
HLN	Hazardous Location Notification (Tehlikeli Konum Bildirimi)
HMI	Human Machine Interface (İnsan Makine Arayüzü)
I2V	Infrastructure-to-Vehicle (Altyapıdan Araca)
ICW	Intersection Collision Warning (Kavşak Güvenlik Uyarısı)
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
IMT	International Mobile Telecommunications (Uluslararası Mobil Telekomünikasyon)
IoT	Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
ITS-G5	Frequency Band for Intelligent Transportation Systems (Akıllı Ulaşım Sistemleri için Frekans Bandı)
ITS-S	Intelligent Transportation System Station (Akıllı Ulaşım Sistemleri İstasyonu)
ITU	International Telecommunication Union (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)
IVIM	Infrastructure to Vehicle Information Message (Altyapıdan Araca Bilgi Mesajı)
IVS	In Vehicle Signage (Araç içi İşaretler)
K-AUS	Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri (Cooperative Intelligent Transportation Systems, C-ITS)
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
LDM	Local Dynamic Map (Yerel Dinamik Harita)
LIDAR	Light Detection and Ranging (Işık Algılama ve Uzaklık Ölçümü)
LTE	Long Term Evolution (Uzun Süreli Gelişim)
MAC	Medium Access Control (Ortam Erişim Kontrolü)
MAPEM	MAP (Topology) Extended Message (Harita Genişletilmiş Mesajı)

Kısaltmalar	Açıklamalar
MCV	Maintenance and Construction Vehicle (Bakım ve İnşaat Aracı)
MMV	Micromobility Vehicle (Mikromobilite Aracı)
NTCIP	National Transportation Communications for Intelligent Transportation System Protocol (Akıllı Ulaşım Sistemi için Ulusal Ulaşım İletişimi Protokolü)
OBU	On-Board Unit (Araç İçi Birim)
OEM	Original Equipment Manufacturer (Orijinal Ekipman Üreticisi)
OSI	Open Systems Interconnection (Açık Sistem Bağlantısı)
PHY	Physical Layer (Fiziksel Katman)
PKI	Public Key Infrastructure (Açık Anahtar Altyapısı)
PVD	Probe Vehicle Data (Araç Verisi Probu)
RSU	Roadside Unit (Yol Kenarı Birimi)
RWIS	Road Weather Information System (Yol Hava Durumu Bilgi Sistemleri)
RWW	Road Works Warning (Yol Çalışması Uyarısı)
SAE	Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Topluluğu)
SigV	Signal Violation/Intersection Safety Warning (Sinyal İhlali)
SpaT	Signal Phase and Timing (Sinyal Faz ve Zaman Bilgisi)
SPaTEM	Signal Phase and Timing Message (Sinyal Fazı ve Zamanlama Mesajı)
SREM	Signal Request Extended Message (Sinyal Talep Genişletilmiş Mesajı)
SSEM	Signal Request Status Extended Message (Sinyal Talep Durumu Genişletilmiş Mesajı)
SSV	Slow or Stationary Vehicle(s) Warning (Yavaş veya Duran Araç Uyarısı)
SU	Support (Destek)
SVW	Slow or Stationary Vehicle Warning (Yavaş veya Duran Araç Uyarısı)
SWD	Shockwave Damping (Şok Dalgası Sönümleme)

Kısaltmalar	Açıklamalar
TI	Traveler İnformation and Personal Mobility (Seyahat Bilgileri ve Kişisel Hareketlilik)
TIC	Transportation Information Center (Ulaşım Bilgi Merkezi)
TJW	Traffic Jam Ahead Warning (İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı)
TM	Traffic Management (Trafik Yönetimi)
TMC	Traffic Management Center (Trafik Yönetim Merkezi)
TSP	Traffic Signal Priority Request By Designated Vehicles (Belirlenmiş Araçlar İçin Trafik Sinyali Öncelik Talebi)
TTG	Time To Green (Yeşile Kalan Süre)
UAB	Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
VMS	Variable Message Signs (Değişken Mesaj İşaretleri)
VRU	Vulnerable Road Users (Savunmasız Yol Kullanıcılar)
VS	Vehicle Safety (Araç Güvenliği)
VSGN	In-vehicle Signage (Araç İçi İşaretler)
VSPD	In-vehicle Speed Limits (Araç İçi Hız Limitleri)
V2G	Vehicle-to-Grid (Araçtan Şebekeye)
V2I	Vehicle-to-Infrastructure (Araçtan Altyapıya)
V2N	Vehicle-to-Network (Araçtan Ağa)
V2P	Vehicle-to-Pedestrian (Araçtan Yayaya)
V2V	Vehicle-to-Vehicle (Araçtan Araca)
V2X	Vehicle-to-Everything (Araçtan Her Şeye)
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments (Araç Ortamları için Kablosuz Erişim)
WAW	Wide-Area Wireless (Geniş Alan Kablosuz İletişimi)
WLAN	Wireless Local Area Network (Kablosuz Yerel Alan Ağı)
WTC	Weather Conditions Warning (Hava Koşulları Uyarısı)

1. GİRİŞ

Günümüzde artan kentleşme, motorlu taşıt sahipliğinin yükselmesi ve ulaşım talebindeki sürekli büyüme; trafik güvenliği, verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından yeni zorluklar ortaya çıkarmaktadır. 2023 yılı itibarıyla Avrupa genelindeki toplam motorlu taşıt sayısı (otomobil, minibüs, otobüs ve kamyon dâhil olmak üzere) yaklaşık 285 milyona ulaşmıştır. Bu rakam, bir önceki yıla kıyasla %1,4 oranında bir artışa işaret etmekte olup Avrupa'da motorlu taşıt sahipliğinin istikrarlı bir şekilde artmaya devam ettiğini göstermektedir (The European Automobile Manufacturers Association, 2025:10). Artan araç sayısı, özellikle büyük kentlerde trafik yoğunluğu, hava kirliliği ve karbon emisyonları gibi çevresel ve yapısal sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu kapsamda Avrupa Birliği (AB) ve üye devletler, sürdürülebilir ulaşım politikaları geliştirme, toplu taşıma sistemlerini güçlendirme ve düşük emisyonlu araçların kullanımını teşvik etme yönünde çeşitli düzenlemeler ve stratejiler benimsemektedir. Türkiye'de ise Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2025 yılı Ekim ayı itibarıyla trafiğe kayıtlı toplam motorlu taşıt sayısı 33,2 milyon olarak kaydedilmiştir. 2023 yılında 28,7 milyon olan toplam taşıt sayısı, 2024 yılında %8,9'luk bir artışla 31,3 milyona çıkmıştır. Bu veriler önceki yıllarla karşılaştırıldığında taşıt sahipliğinde artış olduğunu göstermektedir. Taşıt dağılımının büyük çoğunluğunu otomobiller (%49,1) ve motosikletler (%34,5) oluşturmaktadır (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2025b, 2025a).

Karayolu trafik kazaları küresel sağlık ve kalkınma için ciddi bir sorun olmaya devam etmektedir. 2021'de yaklaşık 1,19 milyon kişi trafik kazalarında hayatını kaybetmiştir. 2019 itibarıyla, trafik kazaları 5-29 yaş grubundaki bireylerin başlıca ölüm nedeni, tüm yaşlarda ise 12. sıradaki ölüm nedenidir. Ölümlerin üçte ikisi 18-59 yaş aralığındaki çalışma çağındaki bireylerde görülmekte ve ciddi sosyal-ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Kazalardan ölenlerin %30'u iki/üç tekerlekli motorlu araç kullanıcıları, %25'i dört tekerlekli araç yolcuları, %21'i yayalar ve %5'i bisikletlilerdir; geri kalan %19 ise ağır vasıta, çok yolculu araç kullanıcıları ve diğer gruplardan oluşmaktadır. Trafik kaynaklı ölümlerin %90'ı düşük ve orta gelirli ülkelerde meydana gelirken, düşük gelirli ülkelerde nüfusa göre ölüm riski en yüksek düzeyde seyretmektedir (World Health Organization, 2023: 1-6).

Türkiye'deki karayolu ağında 2024 yılı boyunca toplam 1,4 milyon trafik kazası meydana gelmiştir. Bu kazaların 266 bin 854 adedi ölümlü yaralanmalı kazalar, 1,1 milyonu ise maddi hasarlı kazalardır. 2024 yılı içerisinde trafik kazalarında 6 bin 351 kişi hayatını kaybetmiş ve 385 bin 117 kişi yaralanmıştır. Bu veriler, ortalama olarak bir günde 17,4 adet ölüm ve 1055,1 adet yaralanmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Ölümlü ve yaralanmalı kazaların büyük kısmı (%85,5) yerleşim yerleri içinde meydana gelirken, ölümlerin %56,4'ü yerleşim yerinde, %43,6'sı ise yerleşim yeri dışında gerçekleşen kazalarda kaydedilmiştir. Trafik kazalarındaki kusurların büyük kısmı sürücü kaynaklıdır ve bu oran %90,1 olarak belirlenmiştir. Yayaların kusurlu olduğu durumlar ise %8,2'lik bir paya sahiptir (TÜİK, 2025b, 2025a).

Geleneksel ulaşım yönetimi yaklaşımları, trafik güvenliği ve verimliliğin artırılması ile sürdürülebilirliğin sağlanması kapsamında ortaya çıkan karmaşık ve dinamik yapıyı etkin biçimde yönetmekte yetersiz kalmakta; bu nedenle bilgi ve iletişim teknolojilerinin entegrasyonuna dayalı akıllı ulaşım çözümleri giderek daha büyük önem kazanmaktadır. Avrupa Komisyonu'nun "Sürdürülebilir ve Akıllı Hareketlilik Stratejisi", ulaşım sistemlerinin dijitalleşme ve otomasyon yoluyla modernizasyonunu hedeflemekte; bu kapsamda bağlantılı, kooperatif ve otonom hareketlilik çözümlerini öncelikli politika alanı olarak tanımlamaktadır. Stratejide çok modlu ulaşımın entegrasyonu, elektronik biletleme, dijital çözümler ve yapay zekâ destekli dijital altyapının geliştirilmesi gibi adımlar öngörülmektedir. Bu dönüşüm, yalnızca bireysel araçların değil, tüm ulaşım sisteminin güvenli, verimli ve sürdürülebilir hâle getirilmesi için K-AUS'un yaygınlaştırılmasını öncelikli bir uygulama alanı olarak öne çıkarmaktadır (European Commission, 2020:13-14).

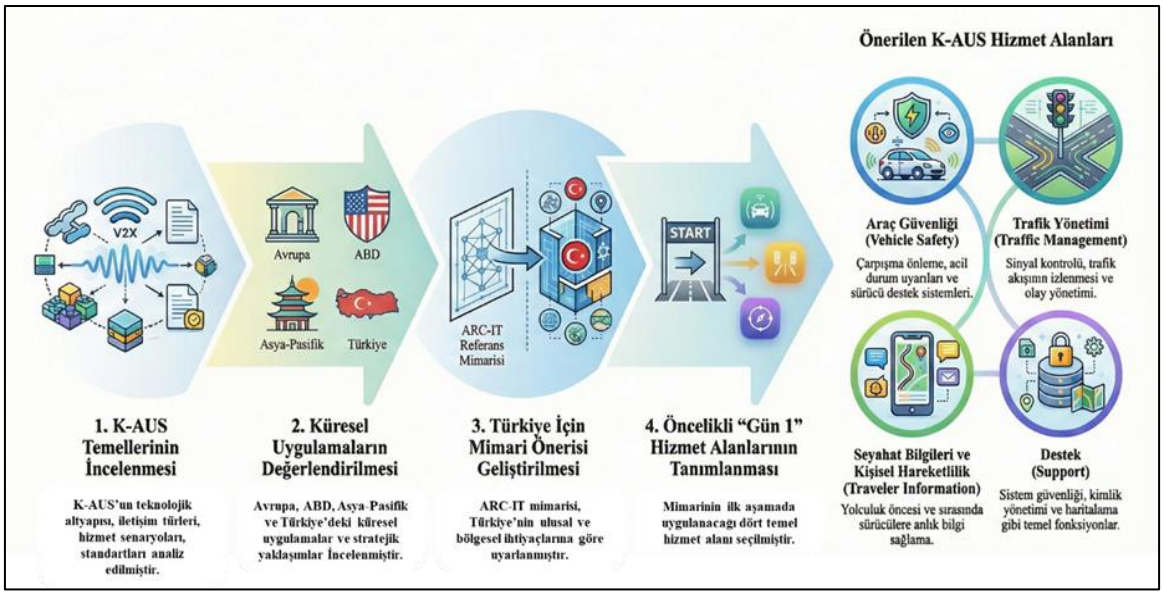
AUS; gelişmiş sensör, bilgisayar, elektronik ve iletişim teknolojilerinin entegre bir biçimde kullanılmasıyla karayolu ulaşımının güvenliğini, verimliliğini, konforunu ve çevresel sürdürülebilirliğini artırmayı hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu sistemler, karayolu ulaşım sistemlerinin daha etkin bir şekilde yönetilmesini sağlamak için birbirleriyle iletişim halindeki sistemler arası veri paylaşımına dayanır. K-AUS ise araçlar, altyapı ve diğer yol kullanıcıları arasında dinamik veri alışverişini mümkün kılarak, daha güvenli ve verimli bir ulaşım ortamı oluşturmayı amaçlar. K-AUS; araçlar, yayalar, bisikletliler ve altyapı unsurları arasındaki bilgi paylaşımını kablosuz iletişim teknolojileri aracılığıyla gerçekleştirir ve bu sayede gerçek zamanlı bilgi akışı sağlanır.

Mevcut AUS uygulamaları, genellikle belirli yerel ihtiyaçlara ve teknik yaklaşımlara odaklandığından, K-AUS hizmetlerinin uluslararası düzeyde ve sınır ötesi entegrasyonunu zorlaştırmaktadır. Bu kapsamda, K-AUS hizmetlerinin geniş ölçekli ve sürdürülebilir bir şekilde yaygınlaştırılabilmesi için ortak bir referans mimarisinin geliştirilmesi gereklidir. Ortak bir K-AUS mimarisi, paydaşlar arasında ortak bir terminoloji, yeniden kullanılabilir yapılar ve yerleşik uygulama çerçeveleri sunarak sistematik bir yaklaşımın benimsenmesini sağlar. Türkiye'de K-AUS'un verimli bir şekilde uygulanabilmesi ve uluslararası düzeyde etkin bir şekilde hizmet sunulabilmesi için birlikte çalışabilirlik ve standardizasyon konuları kritik bir rol oynamaktadır.

Türkiye Ulusal AUS Mimarisi, ABD AUS Mimarisi (ARC-IT, The Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation) referans alınarak tasarlanmış ve bu mimari, Türkiye'nin özel ihtiyaçlarına göre uyarlanmıştır ancak Türkiye'de henüz birlikte çalışabilir bir K-AUS mimarisi çalışması bulunmamaktadır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı [UAB], 2025). Bu durum; standartların yerelleştirilmesi, kurumlar arası veri paylaşımı, frekans yönetimi gibi kritik alanlarda rehberlik sağlayacak bir mimari yapının eksikliğini ortaya koymaktadır. Bu eksiklik, tez çalışmasının çıkış noktasını oluşturmakta olup çalışmada, Türkiye'de bağlantılı araçlar için bir K-AUS çerçeve mimari önerilmektedir. Bu mimari, Türkiye'nin ulusal ve bölgesel düzeydeki çeşitli ulaşım ihtiyaçlarını karşılamayı ve K-AUS hizmetlerinin tutarlı bir biçimde uygulanmasını sağlamayı hedeflemektedir. Çalışmada, K-AUS uygulamalarının planlanması, tanımlanması ve entegrasyonu için gerekli temel bileşenler, fonksiyonlar, arayüzler ve kurumsal ilişkiler, ARC-IT referans alınarak belirlenmiştir. Önerilen mimari, Türkiye'nin ulusal ihtiyaçlarına uygun, sistematik ve ölçeklenebilir bir K-AUS altyapısının oluşturulmasını sağlamayı amaçlamaktadır. ARC-IT referans alınarak oluşturulan Ulusal K-AUS Mimarisi; fonksiyonel, fiziksel, kurumsal ve haberleşme katmanlarını içerecek şekilde yapılandırılmıştır. Bu mimari ile yol güvenliğinin, ulaşım verimliliğinin, sürdürülebilirliğin ve seyahat konforunun artırılması hedeflenmektedir. Ayrıca, kurumsal yapı yaklaşımı; KGM, yerel yönetimler, telekomünikasyon operatörleri ve özel sektör arasındaki rol ve sorumlulukların açık bir şekilde tanımlanmasına olanak sağlayarak çok paydaşlı bir yönetişim modelinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu çalışma, Türkiye'nin ulaşım sektöründe güvenli, akıllı ve sürdürülebilir dijital dönüşümüne yön verecek stratejik bir yol haritası sunmayı amaçlamaktadır.

Bu tez çalışmasında öncelikle K-AUS'un kavramsal, teknik ve operasyonel boyutları kapsamlı bir biçimde ele alınmıştır. Bu çerçevede, K-AUS alanında faaliyet gösteren uluslararası kuruluşların çalışmalarının yanı sıra Avrupa ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri, Asya-Pasifik ülkeleri ve Türkiye'de yürütülen uygulamalar ile benimsenen stratejik yaklaşımlar sistematik olarak incelenmiştir. Ardından ARC-IT referans mimarisinin Türkiye'nin özgün ulaşım gereksinimlerine uyarlanabilir olduğu ve ulusal AUS hedefleriyle tutarlı bir çerçeve sunduğu değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda Türkiye'de bağlantılı araçlar için önerilen K-AUS çerçeve mimarisi ile bu mimari kapsamında tanımlanan hizmet paketleri ayrıntılı biçimde açıklanmıştır.

K-AUS mimarisinin geliştirilme sürecinde, kısa vadede uygulanabilirliği yüksek olan ve "Gün 1" (Day 1) olarak adlandırılan erken aşama hizmetlerine öncelik verilmiştir. Önerilen mimari; araç güvenliği, trafik yönetimi, seyahat bilgileri ve kişisel hareketlilik ile bu sistemlerin operasyonel sürekliliğini sağlayacak destek hizmetleri kapsamında sınırlandırılmıştır. Söz konusu hizmet alanları, K-AUS uygulamalarının Türkiye'nin ulusal gereksinimleriyle uyumlu biçimde tasarlanmasını mümkün kılan temel bileşenleri ve stratejik yönelimleri içermektedir. Tezin içerik akışına ilişkin diyagram Şekil 1.1.'de sunulmuştur.



Şekil 1.1. Tez içerik akış diyagramı

Araştırmanın temel amacı, Türkiye'de bağlantılı araçlar için ARC-IT referans mimarisini esas alarak ulusal düzeyde uygulanabilir bir K-AUS çerçevesi geliştirmek ve bu çerçevenin

etkin biçimde hayata geçirilmesini sağlayacak ilkeleri ortaya koymaktır. Genel amaca ulaşmak üzere, aşağıdaki araştırma sorularına yanıtlar aranmıştır:

- Teknolojik temeller ve standartlar: K-AUS'un teknolojik temelleri, haberleşme türleri (V2X) ve standartları nelerdir; bu sistemlerin omurgasını oluşturan AUS istasyon (ITS-S) referans mimarisinin işlevsel katmanları nasıl yapılandırılmıştır?
- Uluslararası uygulamalar: Dünyadaki öncü bölgelerde (Avrupa, ABD, Asya-Pasifik) yürütülen K-AUS uygulamaları, referans mimariler ve stratejik yaklaşımlar nelerdir; Türkiye'nin mevcut durumu bu küresel gelişmelerle nasıl ilişkilendirilmektedir?
- ARC-IT'nin yerelleştirilmesi: ARC-IT referans mimarisi, Türkiye'nin ulusal ve bölgesel ulaşım ihtiyaçlarına göre nasıl uyarlanabilir?
- Mimari bileşenler: Önerilen K-AUS mimarisinin fonksiyonel, fiziksel, kurumsal ve haberleşme katmanları hangi temel bileşenleri ve arayüzleri içermelidir?
- Hizmet paketlerinin seçimi: Türkiye'nin öncelikli ulaşım gereksinimleri doğrultusunda hangi "Gün 1" (Day 1) hizmet paketleri mimariye entegre edilmelidir?
- Paydaş rolleri: K-AUS ekosisteminin sürdürülebilirliği için KGM, yerel yönetimler, BTK ve özel sektör gibi paydaşlar arasındaki rol, sorumluluk ve kurumsal ilişkiler çok paydaşlı bir yönetişim modeli çerçevesinde nasıl tanımlanmalıdır?
- Hukuki ve düzenleyici çerçeve: Mimarinin sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla Türkiye'de hangi hukuki altyapı düzenlemeleri, sorumluluk rejimleri ve veri gizliliği politikaları hayata geçirilmelidir?

Bu çalışmanın, Türkiye'de ulaşım altyapısının dijital dönüşümüne yön verecek stratejik bir yol haritasının oluşturulmasına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. K-AUS'un yaygın şekilde uygulanması; ulaşım sistemlerini daha entegre, çevre dostu ve kullanıcı odaklı hale getirecek ve ulaşım sektöründe sürdürülebilir, güvenli ve akıllı bir dönüşümün önünü açacaktır. Bu sayede ulaşım altyapısının etkinliği artacak, trafik güvenliği sağlanacak ve çevresel etkiler en aza indirilebilecektir.

2. KOOPERATİF AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ (K-AUS)

Karayolu ulaşımında güvenliği, verimliliği, konforu ve çevresel sürdürülebilirliği artırmayı hedefleyen K-AUS; araçlar ve altyapı arasındaki dinamik veri alışverişini sağlayarak, daha etkili ve güvenli bir ulaşım ortamı yaratmayı amaçlayan sistemler bütünüdür. Bu sistemler; araçlar, yayalar, bisikletliler, altyapı unsurları gibi yol kullanıcıları arasında kablosuz iletişim teknolojileri aracılığıyla gerçek zamanlı bilgi paylaşımını mümkün kılmaktadır (CAR 2 CAR Communication Consortium [C2C-CC], 2022a:7-9, 2022b:8; Ding, Muthuswamy, Vulpen ve Desai, 2024:2-3; European Commission, 2025).

AB politikaları çerçevesinde kullanılan "C-ITS" terimi, kooperatif ulaşım teknolojilerini tanımlamak için benimsenmiştir. Ancak diğer bölgelerde veya farklı paydaşlar arasında aynı kavram genellikle "Araçtan Her Şeye İletişim" (Vehicle-to-Everything, V2X) terimiyle ifade edilmektedir (C2C-CC, 2022a:7-9, 2023a:11-19; Ding vd., 2024). Ülkemizde ise bu sistem "K-AUS" olarak adlandırılmaktadır (T.C. UAB, 2024a:93).

K-AUS'un temelinde; araçlar, sürücüler, altyapı ve trafik yönetim merkezleri arasında iki yönlü ve sürekli bir veri paylaşımı yer almaktadır. Bu sayede, daha önce mümkün olmayan ölçekte bilgi alışverişi ve eylem koordinasyonu sağlanarak trafik güvenliği, verimlilik ve sürüş konforu önemli ölçüde artırılmaktadır. Kooperatif yapı, dijital bağlantı ve iletişim teknolojileriyle desteklenir; araçların ve sürücülerin çevresel farkındalığını genişleterek daha doğru kararlar almalarına yardımcı olunmaktadır. Bu sistem; karayolu kullanıcıları ile trafik yöneticilerinin daha önce erişilemeyen bilgilere dayanarak eylemlerini koordine etmelerine olanak tanımaktadır. Böylece ulaşım ağının bütünsel etkinliği artırılmakta ve güvenli, sürdürülebilir bir hareketlilik ortamı oluşturulmaktadır. Araçlar; örneğin acil frenleme, trafik sıkışıklığı sonu veya yol çalışması gibi potansiyel tehlikeli durumlarda birbirlerini uyarabilir; ayrıca trafik ışıkları ve yol kenarı üniteleri ile iletişim kurarak optimum hız önerileri veya rota tavsiyeleri alabilmektedir. Trafik kontrol merkezleri ile kurulan iki yönlü iletişim sayesinde; buzlanma, kazalar veya yoğunluk artışı gibi olaylar erken tespit edilerek yol kullanıcılarına anlık bilgilendirmeler yapılır; böylece olumsuz etkiler en aza indirilmektedir.

Aşağıda, K-AUS'un sunduğu avantajlar ve sağladığı başlıca katkılar başlıklar halinde açıklanmaktadır (C2C-CC, 2022a:7-9, 2022b:8, 2023a:11-19,2023b:10-39; Ding vd., 2024; European Commission, 2016a:2-12; Walch vd., 2025).

Yol Güvenliğini Artırma:

- K-AUS, araç sensörlerine (kamera, LİDAR, radar vb.) görüş hattı sınırlamalarını aşarak "köşeyi görme" yeteneği kazandırır ve potansiyel tehlikeleri önceden tespit etmeyi mümkün kılmaktadır.
- Acil frenleme, trafik sıkışıklığı sonu, yol çalışmaları veya yaklaşan acil durum araçları gibi riskli durumlarda sürücülere gerçek zamanlı uyarılar göndermektedir.
- İnsan hatasına bağlı kazaların azaltılmasına katkı sağlar ve "Vision Zero" olarak bilinen, trafik kazalarından kaynaklı ölümleri sıfıra indirme hedefi doğrultusunda stratejik bir bileşen oluşturmaktadır.

Trafik Verimliliği ve Sürdürülebilirliği İyileştirme:

- Gerçek zamanlı trafik verilerini kullanarak trafik akışını optimize emekte, tıkanıklığı azaltmakta ve emisyonları düşürmektedir.
- Hava koşullarına veya trafik yoğunluğuna bağlı olarak dinamik hız limitleri ve alternatif rota önerileri sunmaktadır.
- Kooperatif sürüş manevraları (örneğin, platooning / kümelenme) aracılığıyla daha tutarlı ve yoğun bir trafik akışı sağlamaktadır.
- Verimli trafik yönetimi ve sürüş davranışları sayesinde yakıt tüketimi ile karbon salınımını azaltmaktadır.
- Senkronize trafik ışıkları ve alternatif güzergâh önerileri aracılığıyla trafik sıkışıklığını en aza indirmekte ve çevre dostu ulaşımı teşvik etmektedir.

Entegre ve Bağlantılı Ulaşım Ekosistemi:

- Otobüs, tren, otomobil ve bisiklet gibi ulaşım modlarını entegre ederek çok modlu seyahati kesintisiz hale getirmektedir.

- Araçlar, altyapı ve trafik kontrol merkezleri arasındaki veri akışıyla ulaşım sistemini akıllı, bağlantılı ve uyumlu bir yapıya dönüştürmektedir.
- Trafik olaylarının hızlı tespiti ve anlık bilgi paylaşımı sayesinde en uygun rotaların belirlenmesini sağlamaktadır.

Ekonomik Katkılar ve Rekabet Gücü:

- Trafik sıkışıklığından kaynaklanan zaman ve maliyet kayıplarını azaltarak hem bireysel hem de ticari taşımacılıkta verimlilik sağlamaktadır.
- Yeni iş modelleri (örneğin; Bir Hizmet Olarak Hareketlilik (Mobility as a Service, MaaS)) ve sosyal inovasyonların gelişimine zemin hazırlayarak istihdam yaratma ve sanayi rekabet gücünü artırma potansiyeli taşımaktadır.

Koordinasyon, Teknoloji ve Uyum:

- Ülkeler arasında teknolojik ve operasyonel uyum sağlayarak, birlikte çalışabilir sistemlerin oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır.
- Kişisel verilerin korunması ve siber güvenlik ilkeleri doğrultusunda güvenli veri paylaşımı sağlamaktadır.

Otonom Sürüşü Destekleme (Cooperative, Connected and Automated Mobility, CCAM):

- K-AUS, otonom sürüş teknolojilerinin gelişimi için temel bir altyapı oluşturmaktadır.
- Araçların çevresel farkındalığını genişleterek engel tespit aralığını artırmakta ve yüksek seviye otomasyona geçişi kolaylaştırmaktadır.
- İletişim, iş birliği ve otomasyon süreçlerini bütünleştirerek tam otonom ulaşımın önünü açmaktadır.

2.1. K-AUS İletişim Türleri

V2X (Vehicle-to-Everything); Araçtan Her Şeye iletişim, bağlantılı araçlar için kapsamlı algılama yetenekleri sağlamayı amaçlayan bir iletişim teknolojisidir. V2X; araçların çevreleriyle, diğer araçlarla, yol altyapısıyla ve hatta yayalarla iletişim kurmalarını sağlayan

bir sistemdir. V2X; K-AUS kapsamında, kooperatif algılama (cooperative perception) konseptini mümkün kılmaktadır. Böylece, geleneksel trafik yönetim sistemlerinden daha öteye geçerek, aracın çevresini algılaması ve bu algıları başka araçlarla paylaşarak bir nevi ortak bir algılama oluşturulmasını mümkün kılmaktadır. V2X'in sunduğu bu ortak algılama yeteneği; trafik kazalarını azaltmak, trafik akışını optimize etmek ve sürdürülebilir ulaşımı teşvik etmek amacıyla oldukça önemlidir. Bu teknoloji; araçlar ve çevreleri arasındaki bilgi alışverişini sağlayarak, yol güvenliğini ve trafik verimliliğini artırmayı hedefler. Aynı zamanda, daha yüksek seviyeli otonom sürüş teknolojilerinin temelini oluşturan bir yapıtaşını temsil etmektedir (Ahmed vd., 2023; Zhang vd., 2025).

V2X iletişimi, 3GPP (3rd Generation Partnership Project) standartlarına göre dört ana gruba ayrılmaktadır (European Telecommunications Standards Institute [ETSI], 2018:22-25):

- V2V (Vehicle-to-Vehicle): Araçtan Araca iletişim; araçların birbirleriyle gerçek zamanlı olarak veri alışverişi yapmalarını sağlayan bir iletişim türüdür. Bu teknoloji, trafik ortamında güvenliğin ve operasyonel verimliliğin artırılmasına katkı sunmak amacıyla anlık bilgi paylaşımına olanak tanımaktadır. Özellikle çarpışmadan kaçınma gibi temel güvenlik uygulamalarında kritik bir rol üstlenen V2V iletişimi, sürücü destek sistemleri ve otonom sürüş teknolojileri için hayati öneme sahiptir. V2V haberleşmesi çoğunlukla yayın (broadcast) temelli bir yapı üzerine kuruludur ve bu kapsamda paylaşılan veriler; araçların konum bilgileri, hızları, hareket durumları, dinamik özellikleri ve diğer niteliksel parametrelerini içermektedir.
- V2I (Vehicle-to-Infrastructure): Araçtan Altyapıya iletişim; araçlar ile yol kenarı birimleri (Roadside Units, RSU'lar), trafik kontrol merkezleri ve diğer ulaşım altyapı bileşenleri arasında gerçekleştirilen veri alışverişidir. Bu iletişim türü trafik akışının optimize edilmesi, yol güvenliğinin artırılması ve genel ulaşım sistemlerinin verimliliğinin yükseltilmesi amacıyla kullanılmaktadır. V2I kapsamında RSU'lar; yol çalışmaları, trafik kazaları, hız limitleri ve benzeri kritik bilgileri DENM (Decentralised Environmental Notification Message) aracılığıyla araçlara ve sürücülere ileterek, sürüş kararlarının daha bilinçli ve güvenli bir şekilde alınmasına katkı sağlamaktadır.
- V2P (Vehicle-to-Pedestrian): Araçtan Yayaya iletişim; araçlar ile mobil cihazları (akıllı telefonlar ve giyilebilir cihazlar) kullanan yayalar ve diğer savunmasız yol kullanıcıları (Vulnerable Road Users, VRU'lar) arasındaki iletişimi ifade eder. Bu iletişim türü, kazaları önlemeyi ve genel yaya güvenliğini artırmayı amaçlar.

- V2N (Vehicle-to-Network): Araçtan Ağa iletişim; araçların 4G veya gelecekte 5G gibi hücresel ağlar üzerinden merkezi sunucular veya bulut tabanlı hizmetlerle gerçekleştirdiği veri alışverişini ifade etmektedir. Bu iletişim türü; küresel trafik durumu, rota planlaması ve yüksek çözünürlüklü harita (HD maps) verilerinin toplanması ve paylaşılması gibi geniş veri kaynaklarına erişim imkânı sağlamaktadır. V2N iletişimi, özellikle kritik olmayan uyarılar ve geniş kapsama alanı gerektiren hizmetlerin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Ahmed vd., 2023; Ben Hamida, Noura ve Znaidi, 2015; Ding vd., 2024; ETSI, 2018:22-25, 2020:8-22; Naeem vd., 2024; Tahir vd., 2022; Zhang vd., 2025).

Yol güvenliğini, trafik verimliliğini, sürücü ve yolcu konforunu artırmayı amaçlayan V2X, ayrıca aşağıdaki iletişim türlerini de içermektedir:

- V2R (Vehicle-to-Roadside): Araçtan Yol Kenarı Altyapısı; araçların yol kenarı sensörleri, trafik ışıkları ve kameralar gibi elemanlarla iletişim kurmasını sağlar. Araçların konum, hız ve yön gibi gerçek zamanlı bilgilerini paylaşarak, yol kenarı altyapısının daha etkin bir şekilde çalışmasını sağlar.
- I2V (Infrastructure-to-Vehicle): Altyapıdan Araca iletişim; V2I iletişiminin ters yönünü ifade etmektedir. Bu tür iletişim, altyapıdan araca doğru iletilen düşük gecikmeli, yüksek hızlı mesajları kapsar. I2V'nin örnek kullanım alanları arasında, sinyalize kavşaklarda kırmızı ışık ihlali uyarıları ve yaya güvenliği mesajları bulunmaktadır. Bu türler, trafik güvenliğini artırmak amacıyla kritik durumlarda sürücülere uyarılar iletmek için kullanılır.
- P2I (Person-to-Infrastructure): Kişiden Altyapıya iletişim; yayaların veya diğer bireylerin altyapı birimleriyle, özellikle RSU veya baz istasyonu gibi altyapı bileşenleriyle kurduğu bağlantıları ifade eder. Bu tür iletişim, V2X tabanlı veri boşaltma (data offloading) senaryolarında önemli bir rol oynamaktadır. P2I, özellikle yayaların güvenliğini artıran uygulamalarda kritik bir iletişim türüdür.
- V2S (Vehicle-to-Server): Araçtan Sunucuya iletişim; araçların merkezi sunucular veya bulut tabanlı hizmetlerle etkileşimde bulunmasını sağlar. Bu tür iletişim, merkezi veri işleme ve yönetimini mümkün kılarak, araçların ve yolların operasyonel verimliliğini artırmayı amaçlar. V2S; araçlardan toplanan verilerin analiz edilmesi, trafik yönetimi, bakım ve diğer hizmetlerin optimize edilmesinde kullanılır.

- V2D (Vehicle-to-Device): Araçtan Cihaza iletişim; V2X ekosisteminde genellikle V2V, V2I ve V2P iletişim türlerini kapsayan geniş çerçeveye dahil edilmeyen, fakat cihazlar arasında iletişimi hedefleyen ayrı bir türdür. Bu tür iletişim, araçların farklı elektronik cihazlarla etkileşimde bulunmasına olanak tanır ve bu cihazların çok yönlülüğünü artırmak amacıyla geliştirilmiştir.
- V2G (Vehicle-to-Grid): Araçtan Şebekeye iletişim; elektrikli araçlar (EV) ile elektrik şebekesi arasındaki bilgi ve güç alışverişini sağlayan bir iletişim türüdür. Bu sistem; enerji kullanımını optimize eder, akıllı şarjı destekler ve gerektiğinde araçların gücünü şebekeye geri besleyerek (feed power back to the grid) şebeke regülasyonuna katkıda bulunur. V2G, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve enerji depolama çözümleri açısından büyük bir öneme sahiptir (Ahmed vd., 2023; Ding vd., 2024; Zhang vd., 2025).

2.2. K-AUS İletişim Teknolojileri

K-AUS kapsamında kullanılan kablosuz iletişim teknolojileri, genellikle kısa menzilli doğrudan iletişim ve uzun menzilli hücresel iletişim olarak iki ana kategoride değerlendirilir.

2.2.1. Kısa menzilli iletişim teknolojileri

Özellikle güvenlik açısından kritik uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır. Bu tür iletişim sistemleri, genellikle 5.9 GHz frekans bandında, yani karayolu ulaşımı için akıllı ulaşım sistemleri kapsamında kullanılan bir bantta çalışmaktadır. Bu bandın tercih edilmesinin başlıca nedeni, sağladığı düşük gecikme süresi ve yüksek veri iletim hızıdır. Kısa menzilli iletişim sistemleri, doğrudan ve hızlı veri iletimi sağlamakta olup iletişim mesafesi genellikle 400 metre civarına kadar çıkmaktadır. Bu, özellikle çarpışma uyarıları ve diğer güvenlik amaçlı uygulamalar için büyük önem taşımaktadır. İletişim mesafesinin kısa olması, sistemin hızlı bir şekilde tepki verebilmesini ve potansiyel tehlikelere karşı anında uyarı gönderebilmesini sağlar. Bu kapsamda 5.9 GHz AUS bandı, yüksek güvenlik gereksinimlerini karşılamak için ideal bir ortam sunmaktadır (Ding vd., 2024).

- Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşmeler (Dedicated Short-Range Communications, DSRC) / IEEE 802.11p ve ITS-G5: Özellikle karayolu ulaşım sistemlerinde, araçlar arasında hızlı ve güvenli veri iletimi sağlamak amacıyla geliştirilen Wi-Fi tabanlı bir

teknoloji olup, ABD'de IEEE 802.11p standardı altında tanımlanmıştır. Avrupa'da ise ITS-G5 adı altında ve ETSI (Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü) standartlarına dayalı olarak uygulanmaktadır. Bu teknoloji, kısa menzilli iletişim imkânı sağlayarak trafik güvenliğinin artırılmasına katkıda bulunmakta ve çarpışma uyarıları gibi kritik durumların hızlı bir şekilde iletilmesine olanak tanımaktadır.

- Standart: DSRC'nin standartlaşmış sürümü, IEEE 802.11p standardına dayanmaktadır. Bu standart, IEEE 802.11-2020 standardının bir uzantısı olarak IEEE 802.11p/WAVE standardı ile geliştirilmiş olup, 5 GHz frekans bandında, araçlar arası iletişim için optimize edilmiştir. Avrupa'daki karşılığı olan ITS-G5, aynı şekilde 5 GHz frekans bandını kullanmakta olup, ad-hoc kısa menzilli araç iletişimleri[1] için bir Avrupa standardıdır. Her iki standardın ortak amacı, düşük gecikme süresi ve yüksek güvenilirlik ile araçlar arasında doğrudan iletişim sağlamaktır (C2C-CC, 2023a:11-19; C-Roads, 2025a:6-16; Ding vd., 2024).
- İletişim Modu: DSRC, Temel Hizmet Setinin (Basic Service Set, BSS) kapsamı dışında (Outside the Context of a BSS, OCB)[2] çalışma modu adı verilen temel bir ad-hoc iletişim modunu uygular. OCB modu, geleneksel yönetim prosedürleri (kanal tarama, kimlik doğrulama, ilişkilendirme vb.) yerine, cihazlar arasında doğrudan ve hızlı veri iletimi yapılabilmesini sağlar. Bu özellik, dinamik trafik koşullarında kritik bilgi aktarımını hızlandırır ve düşük gecikme süresi sağlar (Festag, 2014).
- Erişim Katmanı: DSRC, güvenli ve verimli V2X iletişimi sağlamak amacıyla tasarlanmış bir MAC katmanına[3] sahiptir. Bu katman, kanal erişimini düzenlemek için Çarpışma Önlemeli Taşıyıcı Algılamalı Çoklu Erişim (CSMA/CA)[4] protokolünü kullanır. Bu yöntem, Konuşmadan Önce Dinle (Listen Before Talk, LBT) prensibini izleyerek, tüm cihazların kanal erişiminde eşit fırsatlara sahip

[1] Ad-hoc kısa menzilli araç iletişimi, araçların doğrudan birbirleriyle veya yol kenarındaki cihazlarla kısa mesafede iletişim kurduğu kablosuz bir ağ yapısıdır. Burada sabit bir altyapı (baz istasyonu gibi) gerekmez; araçlar kendi aralarında ağ oluşturur.

[2] OCB çalışma modu; bir cihazın Erişim Noktasına (AP) bağlı olmadan, yani bir Wi-Fi ağı oluşturulmadan doğrudan diğer cihazlarla iletişim kurması durumudur. OCB, hareketli araçlar için son derece düşük gecikmeli (< 1ms) ve yüksek güvenilirlikli iletişim sağlar.

[3] MAC; bir ağ yapısında, hangi ağ öğesinin hangi zaman aralığında ağ ortamına (örneğin kablosuz frekanslara veya kabloya) veri aktarabileceğini belirleyen kritik bir alt katman işlevi görür.

[4] Bu, bir iletişim protokolüdür ve özellikle kablosuz ağlarda kullanılır. Temel işleyiş şekli, cihazların kanala erişmeden önce kanalda başka bir cihazın veri iletip iletmediğini kontrol etmeleridir. Eğer kanal boşsa, cihaz verisini gönderebilir; eğer kanal meşgulse, cihaz bekler. Bu protokolün amacı, birden fazla cihazın aynı anda veri göndermesini engelleyerek, iletişimde çakışmaları önlemektir. CSMA/CA, "Konuşmadan Önce Dinle" (Listen Before Talk- LBT) prensibini izler; yani, bir cihaz veri iletmeye başlamadan önce kanalın boş olup olmadığını dinler.

olmasını sağlar. DSRC, ayrıca Çoklu Kanal İşlemi (MCO)[5] desteği sunar; erişim süresi, Kontrol Kanalı (CCH) ve Hizmet Kanalı (SCH) arasında 50 milisaniyelik aralıklarla bölünerek kanalın etkin kullanımını mümkün kılar. Zaman senkronizasyonu için Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) kullanılarak gevşek asenkron zamanlama[6] uygulanır. DSRC, iletilen mesajların alınıp alınmadığını kontrol etmez, bunun yerine yüksek frekanslı yayın modu ile mesajları ileterek, düşük gecikmeli ve güvenilir iletişimi destekler (C2C-CC, 2023a:11-19; Ding vd., 2024).

- Fiziksel Katman (PHY): DSRC'nin güvenilir kablosuz iletişimini sağlayan temel yapıyı oluşturur. DSRC, 5.9 GHz AUS bandında çalışır ve bu spektrum, her biri 10 MHz genişliğinde yedi kanala ayrılır. Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama (OFDM)[7] tekniği, dinamik ve yoğun trafik koşullarında veri iletimi için kullanılır. DSRC; BPSK (Binary Phase-Shift Keying)[8], QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying)[9], 16-QAM[10] ve 64-QAM[11] modülasyon şemalarını destekler ve ikili evrişimsel kodlama (BCC)[12] kullanır (C2C-CC, 2023a:11-19; Ding vd., 2024).
- Gecikme ve Performans: DSRC, kritik yol senaryoları için özel olarak tasarlanmış bir iletişim protokolüdür ve bu nedenle çok düşük gecikme süresi gereksinimlerini karşılayabilmektedir. Özellikle acil durum ve çarpışma uyarı sistemleri için DSRC, 20 milisaniye gibi düşük bir gecikme süresi standardı sunar. Bu hızlı tepki süresi,

[5] DSRC, çoklu kanal kullanımı için destek sağlar. Bu özellik, farklı kanallar üzerinde veri iletimi yapmayı mümkün kılar. MCO sayesinde, bir cihaz iletişim için iki veya daha fazla kanal kullanabilir. Erişim süresi, Kontrol Kanalı (CCH) ve Hizmet Kanalı (SCH) olmak üzere iki ana kanal arasında 50 milisaniyelik (ms) aralıklarla bölünür. Bu sayede her kanalın verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Kısaca, cihazlar arasında daha fazla veri iletimi yapabilmek için farklı kanallar arasında geçiş yapılır.

[6] Zaman senkronizasyonu, iletişimdeki tüm cihazların aynı zaman diliminde işlem yapmalarını sağlar. Bu, özellikle araçlar arasındaki iletişimde önemlidir. DSRC, zaman senkronizasyonu için GNSS kullanır. GNSS, uydu tabanlı bir sistemdir ve cihazların kesin zaman bilgilerini almasını sağlar. Ancak, DSRC'deki zaman senkronizasyonu gevşek asenkron zamanlama kullanır, yani çok yüksek hassasiyet gerektirmeyen bir senkronizasyon türüdür. Bu da sistemin esnek olmasını, ancak zamanlama hassasiyetinin sınırlı olmasını sağlar.

[7] OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), veriyi birden fazla dar bant genişliğine sahip taşıyıcıya bölerek ileten bir modülasyon tekniğidir. Yoğun ve dinamik trafik koşullarında, örneğin araçlar arasında iletişim kurarken, kanalın etkin kullanımını sağlar ve veri iletimindeki hataları azaltır.

[8] BPSK, düşük veri hızları ve güçlü hata dayanıklılığı gerektiren durumlar için uygundur. Faz kayması kullanarak veri iletimi yapılır, bu sayede veri kaybı riski azalır.

[9] QPSK, daha yüksek veri hızları gerektiren uygulamalarda kullanılır çünkü her bir taşıyıcı sinyali ile iki bitlik veri iletilebilir.

[10] 16-QAM, her taşıyıcıda 4 farklı genlik ve faz kombinasyonu kullanır, bu da her sembolde 4 bitlik veri taşınmasına olanak tanır.

[11] 64-QAM, her taşıyıcıda 6 farklı genlik ve faz kombinasyonu kullanarak, her sembolde 6 bit veri taşır. Bu, daha yüksek veri hızları sağlar, ancak sinyal kalitesinin yüksek olması gerekir çünkü daha fazla hata riski vardır.

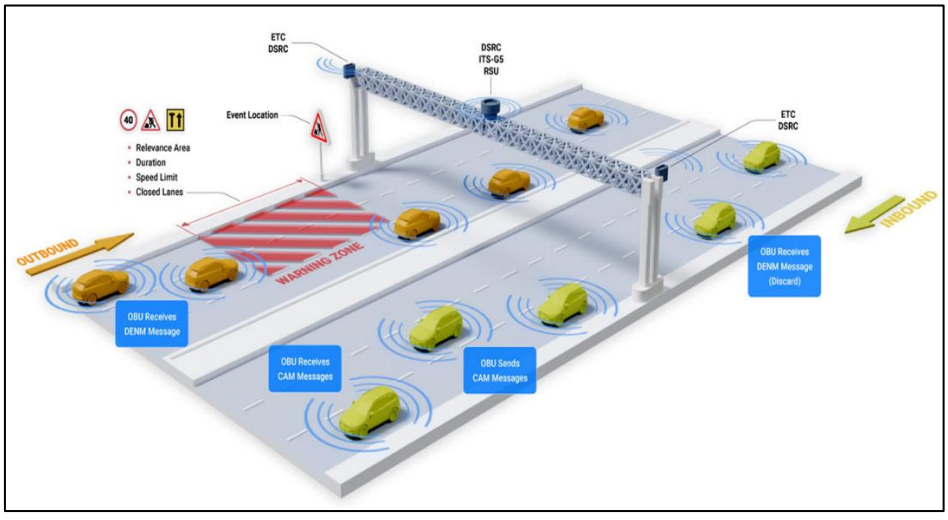
[12] BCC, özellikle düşük sinyal koşullarında ve hataların yaygın olduğu ortamlarda iletişimin güvenilirliğini artırır. Bu teknik, verinin bozulmasını önler ve güvenli bir iletişim sağlar.

sürücülere potansiyel tehlikeler hakkında zamanında uyarılar yapabilme imkânı tanır (Ding vd., 2024).

- Menzil ve Veri Hızı: DSRC, 5.9 GHz[13] AUS frekans bandında çalışmakta olup 6-27 Mb/s arasında değişen yüksek veri hızları sunmaktadır. Bu veri hızları, araçlar arasında gerçek zamanlı veri iletimini mümkün kılacak düzeyde olup menzil açısından 400 metreden 1000 metreye kadar iletişim alanı sağlamaktadır. Bu menzil, çoğu karayolu ve şehir içi trafik senaryoları için yeterli olmakta ve araçların birbirleriyle güvenli bir şekilde iletişim kurmalarını mümkün kılmaktadır(Ding vd., 2024; Dar, Bakhouya, Gaber, Wack ve Lorenz, 2010).

- IEEE 802.11bd Standardı: Mevcut IEEE 802.11p standardının evrimsel bir uzantısı olarak geliştirilmiştir. 2023 yılı itibariyle yayımlanan bu yeni standart, özellikle karayolu iletişim sistemlerinde, veri iletim hızını artırmak ve iletişim güvenilirliğini iyileştirmek amacıyla tasarlanmıştır. IEEE 802.11p standardı, araçlar arası kısa menzilli iletişim için kritik bir teknoloji olmasına karşın, 802.11bd, daha ileri düzeyde performans gereksinimlerini karşılamak için geliştirilmiştir (C2C-CC, 2023a:11-19; Ding vd., 2024).

DSRC/ITS-G5'te temel uygulama kullanım senaryolarına örnekler Şekil 2.1.'de yer almaktadır (Ding vd., 2024).



Şekil 2.1. DSRC/ITS-G5'te temel uygulama kullanım senaryoları

[13] ABD'de 5.850-5.925 GHz aralığında, Avrupa'da ise 5.855-5.925 GHz aralığında faaliyet gösterir.

- Hücresel Şebeke Üzerinden Araç-Her Şey Haberleşmesi (Cellular Vehicle-to-Everything, C-V2X) Teknolojisi: Hücresel ağlar (4G/5G) üzerinden araçların kendi arasındaki ve çevre ile iletişimini sağlamak amacıyla geliştirilen bir iletişim protokolüdür. C-V2X, 3GPP (3rd Generation Partnership Project) tarafından standartlaştırılmış olup hem kısa menzilli doğrudan iletişim hem de ağ tabanlı uzun menzilli iletişim özelliklerini bir arada sunmaktadır. Bu teknolojinin başlıca avantajları, yüksek güvenilirlik, düşük gecikme süreleri ve daha geniş kapsama alanıdır.
    - C-V2X İletim Modları: C-V2X teknolojisi, PC5 (Doğrudan İletişim Modu) ve Uu (Ağ İletişim Modu) olmak üzere iki ana moddan faydalanmaktadır;
        - PC5 modu: Bu modda V2V, V2I ve V2P iletişim doğrudan sağlanır. Bu mod, özellikle düşük gecikme gereksinimleri olan ve zaman kritiği taşıyan uygulamalar için uygundur. PC5 modu hücresel ağlardan bağımsız olarak çalışmakta olup, DSRC gibi 5.9 GHz AUS spektrumunu kullanmaktadır. Bu modda veri iletimi, planlamaya dayalı bir MAC protokolü ile gerçekleştirilmektedir. Bu protokolde, iletimler önceden belirlenmiş zaman dilimlerine göre planlanır ve cihazlara veri iletimi için belirli zaman aralıkları atanır.
        - Uu Modu: Bu modda, V2N iletişim sağlanır. Bu mod, mobil operatörün lisanslı spektrumunda (4G veya 5G gibi) çalışmakta olup, daha geniş kapsama alanı sunar ve ağ tabanlı hizmetlerin kullanılmasına olanak tanır. Uu modu, küresel trafik durumu verilerinin paylaşılması, HD haritalar ve uzaktan kontrol gibi gelişmiş kullanım senaryolarını destekleyerek, C-V2X'in potansiyelini önemli ölçüde artırmaktadır.
    - C-V2X Teknolojisinin Gelişimi: C-V2X'in gelişim süreci, LTE-V2X (4G) ve 5G-V2X (5G NR) olmak üzere iki ana evreyi kapsamaktadır:
        - LTE-V2X (4G): LTE-V2X, 3GPP'nin Sürüm 14 ve Sürüm 15 standartlarına dayalı olarak geliştirilmiştir. Bu evrede, C-V2X teknolojisi daha çok güvenlik mesajlarının değişimi ve temel trafik bilgisi aktarımı üzerine yoğunlaşmıştır. LTE-V2X, özellikle düşük gecikme süresi ve güvenilirlik açısından önemli avantajlar sunmuş ancak daha karmaşık kullanım senaryoları için yetersiz kalmıştır.
        - 5G-V2X (5G NR): 5G-V2X, 3GPP Sürüm 16 ve Sürüm 17 standartları ile geliştirilmiş olup, özellikle otonom sürüş gibi karmaşık ve yüksek verimlilik gerektiren kullanım senaryoları için tasarlanmıştır. 5G-V2X, LTE-V2X'e göre

daha düşük gecikme süreleri, artırılmış veri iletim hızları ve daha yüksek güvenilirlik sunmaktadır. Bununla birlikte, 5G-V2X'in tam ölçekli adaptasyonunun 2029 yılına kadar tamamlanması öngörülmektedir. Bu gelişim, C-V2X teknolojisinin küresel anlamda daha geniş bir şekilde uygulanabilir olmasına olanak tanıyacaktır (Ding vd., 2024).

DSRC ile C-V2X PC5 modu arasındaki temel farklar Çizelge 2.1.'de, C-V2X PC5 ve Uu modu arasındaki temel farklar ise Çizelge 2.2.'de yer almaktadır.

Çizelge 2.1. DSRC ve C-V2X PC5 modu arasındaki temel farklar

Özellik	DSRC	C-V2X PC5
Temel Teknoloji	Wi-Fi tabanlı, 802.11p standardını kullanır.	Hücresel ağ tabanlıdır ve LTE/5G teknolojisini kullanır.
Çalışma Menzili	300-1000 metre aralığında kısa menzile sahiptir.	300-1000 metre aralığında kısa menzile sahiptir. 5G ile menzil genişleyebilir.
Gecikme	1-10 ms arasında düşük gecikmeye sahiptir.	1-10 ms arasında düşük gecikmeye sahiptir; 5G ile gecikme daha da azalabilir.
Veri iletişimi	Kısa mesafede doğrudan araçlar arası iletişim sağlar.	Kısa mesafe, doğrudan araçlar arası iletişim sağlar; 5G ile veri kapasitesi artar.
Kapsama Alanı	Yalnızca yerel iletişim sağlar ve ağ altyapısına ihtiyaç duymaz.	5G ile geniş kapsamlı veri iletimi sağlayabilir.
Gelecekteki Uyumluluk	Mevcut altyapı ile uyumludur.	5G ile uyumludur ve geleceğe dönük esnekliğe sahiptir.

Çizelge 2.2. PC5 ve Uu modu arasındaki temel farklar

Özellik	PC5 Modu	Uu Modu
Hücresel Altyapı	Hücresel altyapıya ihtiyaç duymaz.	Hücresel altyapıya (4G/5G) ihtiyaç duyar.
Mesafe	300-1000 metre aralığında kısa menzile sahiptir.	5G ile şehir çapında uzun menzile sahiptir.
İletişim Türü	Doğrudan araçlar arası iletişim sağlar.	Araçlardan hücresel ağa ve altyapıya iletişim sağlar.
5G'nin Kullanımı	5G'nin hız ve kapasitesinden faydalanmaz.	5G'nin avantajlarını kullanır.
Veri Hızı	Kısa mesafede sınırlı veri kapasitesine sahiptir.	5G ile yüksek veri kapasitesine sahiptir.

2.2.2. Uzun menzilli iletişim teknolojileri ve hibrit yaklaşım

K-AUS kapsamında kısa menzilli iletişim, DSRC/ITS-G5 gibi WAVE tabanlı haberleşme teknolojileri ve C-V2X PC5 gibi hücresel V2X teknolojileri ile sağlanırken; uzun menzilli

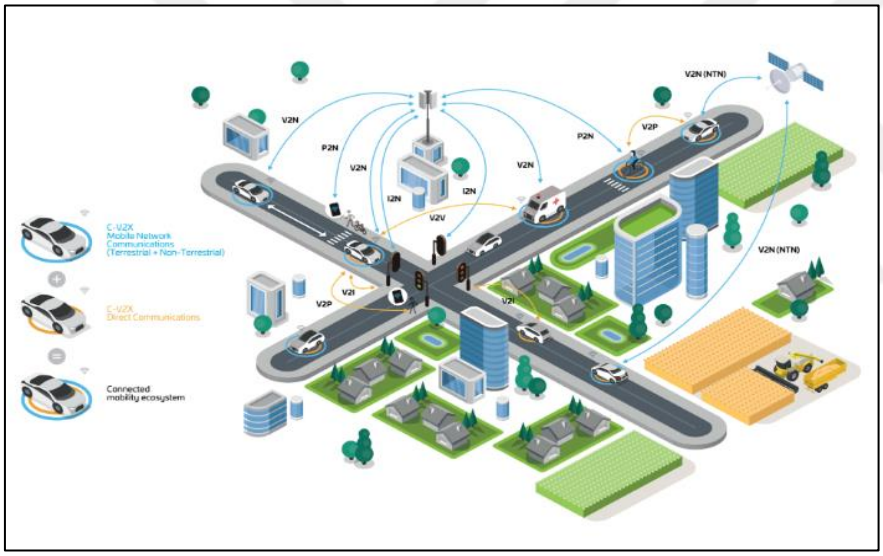
iletişim ise hücresel ağlar üzerinden gerçekleştirilen geniş alan kablosuz (WAW) haberleşme yaklaşımı ile sağlanmaktadır. K-AUS teknolojileri; kısa menzilli iletişimi, geniş alan kapsama ve gelişmiş hizmetlerle birleştiren bir yapıya sahiptir. Bu tür iletişim özellikle V2V, V2I ve V2P etkileşimlerin güvenli ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla uzun menzilli iletişim teknolojileriyle desteklenmektedir. Bu kapsamda, hücresel ağlar (4G LTE ve 5G) ve hibrit iletişim çözümleri, K-AUS için kritik öneme sahiptir.

- Hücresel Ağlar (4G LTE ve 5G): Uzun menzilli iletişim, genellikle hücresel ağ teknolojilerini içermektedir ve özellikle V2N iletişimi için hayati bir rol oynamaktadır.
    - LTE (4G): 4G LTE teknolojisi, geniş veri kaynaklarına erişim sağlayarak, kısa menzilli iletişimin güvenilirliğini ve kapsama alanını artırmaktadır. LTE, özellikle veri iletimi açısından daha yüksek hızlar ve daha geniş kapsama alanı sunarak, araçların trafik durumunu paylaşmalarını ve uzaktan hizmetleri alabilmelerini mümkün kılmaktadır.
    - 5G: 5G teknolojisi, ultra düşük gecikme süreleri ile daha yüksek düzeyde otomasyon gereksinimlerini (örneğin, Otonom Sürüş Seviyesi 4) desteklemek için kritik bir teknoloji haline gelmektedir. 5G, uzaktan müdahale ve düzenli yazılım güncellemeleri gibi uygulamaların etkin bir şekilde çalışabilmesini sağlayarak, otonom sistemlerin güvenli ve kesintisiz işlemesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, 5G'nin kenar bilişimi (edge computing) ile entegrasyonu, gecikmeyi azaltarak kritik güvenlik uygulamaları için kısa menzilli iletişime yakın bir performans elde edilmesine olanak tanımaktadır. Laboratuvar ve saha testleri, 5G Test Ağı (5GTN)'nın LTE ağlarına kıyasla daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur (Tahir vd., 2022; Tahir ve Katz, 2021).
- Hibrit İletişim Çözümleri: K-AUS'ta, kısa menzilli iletişim için kullanılan teknolojiler farklı erişim katmanı teknolojilerini içerdiğinden, bu teknolojilerin birbirleriyle uyumu önemli bir konu olmaktadır. Her iki teknoloji de (DSRC/ITS-G5 ve C-V2X PC5 modu) 5.9 GHz bandında çalışmasına rağmen, farklı erişim katmanları kullandıkları için doğrudan uyumlu değildir. Bu durum, hibrit iletişim çözümleri ile aşılmaya çalışılmaktadır.
    - DSRC-Hücresel Hibrit Yaklaşımı: DSRC standartlarında açıkça tanımlanmamış olmasına rağmen, DSRC tabanlı sistemler genellikle hücresel ağlar (4G/5G) ile birleştirilerek genişletilmiş bilgi kaynaklarına erişim sağlar ve iletişim boşluklarını

doldurur. Bu hibrit yaklaşım, daha geniş kapsama alanları ve güvenilir veri iletimi sunar, böylece DSRC'nin sınırlı kapsama alanı aşılabilir.

- C-V2X Hibrit Yaklaşımı: C-V2X, PC5 ve Uu modlarının sorunsuz entegrasyonunu sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Bu teknoloji; araçların, hücresel kapsama durumu ve iletilecek mesajların türüne bağlı olarak, Uu ve PC5 modları arasında dinamik bir şekilde geçiş yapabilmelerini sağlar (Ahmed vd., 2023). Bu hibrit yapı C-V2X'e esneklik kazandıran bir özellik olup, çeşitli trafik senaryolarına ve ağ koşullarına göre optimize edilebilir (Ding vd., 2024).

C-V2X temel uygulama kullanım senaryolarına örnekler Şekil 2.2.'de yer almaktadır (5G Automotive Association [5GAA], 2025a).



Şekil 2.2. 5GAA'nın C-V2X çözümü

2.2.3. Geleneksel ve diğer kablosuz iletişim teknolojileri

K-AUS teknolojileri, V2X iletişimi için ana teknolojilerin yanı sıra geleneksel ve gelişmekte olan diğer kablosuz iletişim teknolojilerinden de faydalanmaktadır. Bu teknolojiler; farklı menzil, gecikme, veri hızı ve güvenilirlik gereksinimlerini karşılamak için kullanılır ve K-AUS uygulamalarının etkinliğini artırmaktadır.

- WLAN (Wi-Fi): Wi-Fi, IEEE 802.11a/b/g/n standartlarına dayanan bir kablosuz iletişim teknolojisidir. Yüksek veri hızları sunmakta olup, özellikle sabit ve yarı sabit cihazlar

arasında veri iletimi için uygundur. Ancak, Wi-Fi'nin hareketlilik desteği sınırlıdır ve zaman açısından kritik iletişim gereksinimlerine (örneğin, araçlar arası yüksek güvenlikli veri iletimi) yeterince hızlı yanıt verememektedir. Dolayısıyla, bu teknoloji daha çok araç içi uygulamalar ve istasyonlar arası iletişim gibi sabit bağlantılar için kullanılmaktadır (Ben Hamida vd., 2015; Dar vd., 2010).

- Bluetooth: Kısa menzilli bir iletişim teknolojisi olup, yaklaşık 10 metreye kadar etkin bir şekilde veri iletimi gerçekleştirebilir. Bluetooth, düşük enerji tüketimi ile düşük veri hızları (3 Mb/s'ye kadar) sunar. Bu özellikleri, özellikle araç içi nomadik cihazlar (örneğin, telefonlar, müzik çalarlar, navigasyon sistemleri) için kablosuz bağlantı sağlayan bir arayüz olarak kullanılmasını uygun hale getirir. Bluetooth'un sınırlı menzili ve veri hızları, onu sadece araç içindeki düşük yoğunluklu veri iletimleri için ideal kılar(Dar vd., 2010).
- ZigBee: ZigBee, IEEE 802.15.4 standardına dayanan, düşük enerji tüketimi ve güvenilir veri iletimi sunan bir iletişim protokolüdür. Düşük ile orta veri hızlarına sahip olan ZigBee, özellikle sensör tabanlı ve enerji verimli AUS uygulamaları için önerilmektedir. Bu teknoloji, sensör ağı tabanlı uygulamalarda kullanılarak; araç içindeki çevresel veri toplama, yol koşullarını izleme ve enerji yönetimi gibi işlevlerde etkin bir şekilde kullanılabilir (Dar vd., 2010).
- Milimetre Dalga (MMWAVE): MMWAVE teknolojisi, 60-64 GHz frekans bandında çalışarak, kısa mesafelerde çok yüksek veri hızları (multigigabit/s) sunar. Bu, özellikle araç içi bilgi-eğlence sistemleri gibi yüksek veri hızlarına ihtiyaç duyan kısa menzilli V2V iletişim uygulamaları için uygundur. MMWAVE teknolojisi, 802.11bd standardı ile uyumlu olup, 5.9 GHz ve 60 GHz frekans bantlarını destekleyerek, yüksek veri iletimi gereken iletişim senaryolarında önemli avantajlar sunmaktadır (Dar vd., 2010).

Tüm bu kablosuz iletişim teknolojilerinin temel amacı, K-AUS uygulamalarının gereksinim duyduğu çeşitli iletişim ihtiyaçlarını karşılamaktır. Bu teknolojiler; menzil, gecikme, veri hızı ve güvenilirlik gibi kritik parametreleri karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. DSRC/WAVE ve C-V2X teknolojileri özellikle güvenlik ve verimlilik odaklı uygulamalar için en yaygın kullanılan çözümler arasında yer almaktadır. Hücresel ağlar (4G LTE, 5G) ise özellikle V2N, V2I ve I2I (Infrastructure-to-Infrastructure, Altyapıdan Altyapıya) gibi uzun menzilli iletişim gereksinimlerini karşılamak için ideal bir çözüm sunmaktadır. Bu teknolojiler, kısa menzilli iletişimin ötesine geçerek küresel trafik durumu, HD haritalar,

uzaktan müdahale ve araç içi eğlence gibi yüksek veri hacmi gerektiren ancak zaman açısından kritik olmayan uygulamaları desteklemektedir.

Hücresel iletişim (Uu modu), lisanslı spektrumda çalışması ve mevcut hücresel altyapıyı (baz istasyonları) kullanması sayesinde geniş ve yaygın bir kapsama alanı sunmaktadır. Ancak, kritik V2V güvenlik uyarıları için gerekli olan ultra-düşük gecikme süresine ulaşmak, uzun menzilli hücresel iletişim için önemli bir zorluk oluşturmaktadır (Ding vd., 2024; Dar vd., 2010).

2.3. AUS İstasyonları (ITS Stations, ITS-S)

ISO 21217 AUS- İstasyon ve iletişim mimarisi (Intelligent transport systems- Station and communication architecture) ve ETSI EN 302 665 AUS; İletişim Mimarisi (Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture) standartlarında belirtilen istasyon mimarisi; iletişimi, güvenliği ve AUS hizmetleriyle ilgili verileri yönetmek üzere tasarlanmış katmanlı bir yapıyı takip etmektedir.

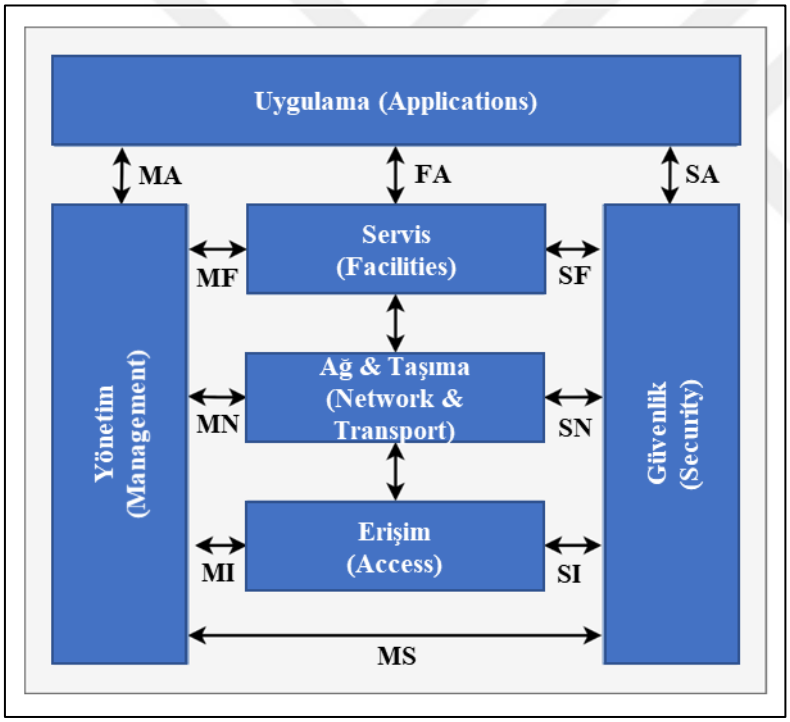
AUS İstasyon Referans Mimarisi (ITS Stations, ITS-S), katmanlı iletişim protokollerini tanımlamak için OSI (Open Systems Interconnection, Açık Sistem Bağlantısı) modelinin temel ilkelerini takip eder ve bu ilkeleri AUS uygulamalarını içerecek şekilde özelleştirir. ISO 21217 standardına göre, AUS istasyon mimarisi, OSI'nin yedi katmanlı yapısına benzer şekilde üç bağımsız iletişim katmanına ayrılmaktadır. Bu katmanlar Çizelge 2.3.'te belirtilmiştir (International Organization for Standardization [ISO], 2020:5-12).

Çizelge 2.3. ITS-S'te OSI modeline karşılık gelen katmanlar

ITS-S Katman Adı	Karşılık Gelen OSI Katmanları	Fonksiyonel Kapsam
Erişim Katmanı (Access Layer / AL)	OSI Katmanları 1 ve 2 (Fiziksel ve Veri Bağlantı Katmanları)	İletişim ortamına fiziksel olarak bağlanan Fiziksel Katmanı (PHY) ve ortama erişimi yöneten Veri Bağlantı Katmanını (DLL) içerir.
Ağ ve Taşıma Katmanı (Networking& Transport Layer)	OSI Katmanları 3 ve 4 (Ağ ve Taşıma Katmanları)	Ağ protokollerini (örneğin GeoNetworking, IPv6, CALM FAST) ve Taşıma protokollerini (örneğin UDP/TCP veya özel ITSC protokollerini) içerir.
Servisler Katmanı (Facilities Layer)	OSI Katmanları 5, 6 ve 7 (Oturum, Sunum ve Uygulama Katmanları)	AUS uygulamalarına destek, bilgi desteği, oturum desteği, veri sunumu ve uygulama protokolü desteği sağlar.

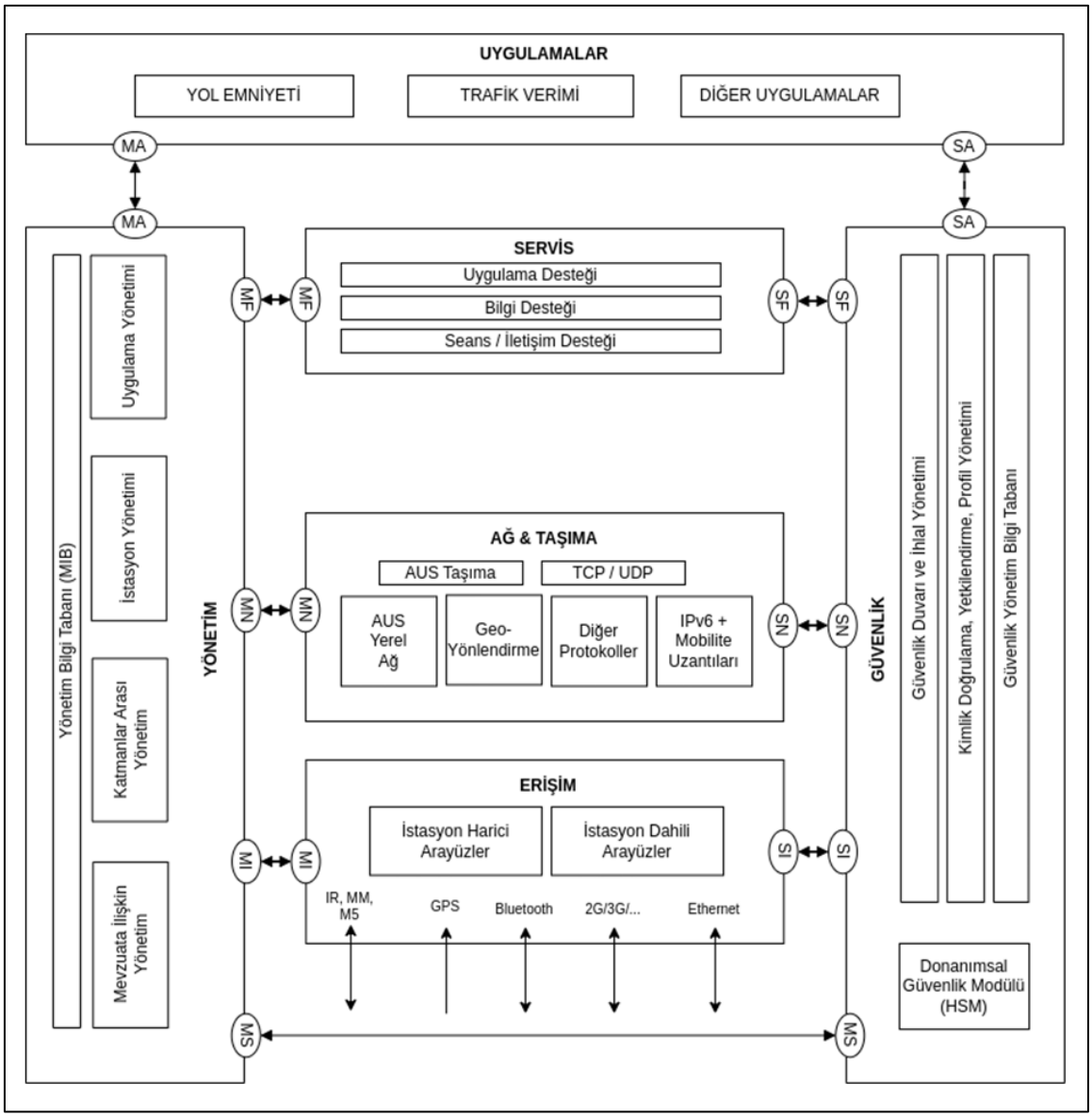
AUS İstasyon Referans Mimarisi; verinin uygulama katmanında üretilmesinden tüm ara katmanlar aracılığıyla işlenip fiziksel ortam üzerinden iletilmesine kadar olan tüm fonksiyonel süreçleri yöneten iletişim katmanları ile tüm katmanlarla etkileşime girerek sistemin bütünsel işleyişini destekleyen, siber güvenlik ve veri doğruluğu başta olmak üzere, katmanlar arası teknik koordinasyon ve yönetim faaliyetlerinin yürütülmesinden sorumlu çapraz katmanlardan oluşmaktadır. AUS istasyon mimarisi, verinin hem yukarıdan aşağıya hem de aşağıdan yukarıya akışını destekleyecek şekilde tasarlanmıştır.

AUS istasyon mimarisini oluşturan yatay katmanlar (İletişim katmanları; erişim, ağ ve taşıma, servisler ve uygulamalar) ile dikey katmanlar (Çapraz katmanlar; yönetim ve güvenlik varlıkları) Şekil 2.3.'te görülmektedir (ETSI, 2010:12-38; ISO, 2020:5-12).



Şekil 2.3. AUS istasyon mimarisi katmanları

Sistemin temel bileşenleri ve katmanlı mimarinin genel görünümü Şekil 2.4.'te yer almaktadır (Ding vd., 2024; ETSI, 2010:12-38; T.C. UAB, 2023b:81).



Şekil 2.4. AUS istasyon mimarisi

2.3.1. İletişim katmanları

AUS istasyon mimarisi iletişim katmanları şunlardır:

- Erişim Katmanı (Access Layer): Erişim Katmanı, OSI modelinin Fiziksel (Katman 1) ve Veri Bağlantı (Katman 2) düzeylerini kapsamaktadır. Bu katman, verinin fiziksel sinyallere dönüştürülerek çeşitli kablosuz ve kablolu erişim teknolojileri ile iletilmesini sağlamaktadır. Desteklenen başlıca erişim teknolojileri aşağıda yer almaktadır:

  - ITS-G5 (IEEE 802.11p): 5 GHz bandında çalışan, kısa menzilli, ad-hoc tabanlı iletişim standardıdır. Avrupa'da güvenli sürüş ve trafik verimliliği uygulamaları için temel teknoloji olarak kullanılmaktadır.
  - 4G/5G Hücresel Ağlar: Geniş kapsama alanı ve yüksek veri hızları sunarak, merkezi sistemlerle IP tabanlı bağlantı sağlamaktadır.
  - Alternatif erişim teknolojileri: Uydu, kızılötesi, milimetre dalga ve GPRS/UMTS gibi teknolojiler, hibrit iletişim mimarisi kapsamında desteklenmektedir (C-Roads, 2025a:6-16, 2025c:7-14; ETSI, 2010:12-38; ISO, 2020:5-12).
- Ağ ve Taşıma Katmanı (Networking&Transport Layer): Bu katman, OSI modelinin Ağ (Katman 3) ve Taşıma (Katman 4) katmanlarını temsil etmektedir. Bu katmanda, ad-hoc (ITS-G5) ve ağa bağlı (LTE/5G) iletişim türlerinin birlikte kullanılabilmesine olanak tanıyan hibrit iletişim modeli uygulanmaktadır. Başlıca protokoller şunlardır:
  - Konumsal Ağ Katmanı Protokolü (GeoNetworking, GN): Ad-hoc ağlarda coğrafi adresleme prensibine dayalı, AUS'a özgü bir ağ protokolüdür.
  - Temel Taşıma Protokolü (Basic Transport Protocol, BTP): GeoNetworking üzerinde çalışan, UDP'ye benzer bağlantısız bir taşıma protokolüdür.
  - IP tabanlı protokoller: IPv6, UDP ve TCP, hücresel veya geniş ağ altyapısı üzerinden IP tabanlı iletişimi mümkün kılmaktadır (Ding vd., 2024; ETSI, 2010:12-38; Festag, 2014; ISO, 2020:5-12).
- Servis Katmanı (Facilities Layer): Bu katman, OSI modelinin Oturum (Katman 5), Sunum (Katman 6) ve Uygulama (Katman 7) katmanlarını temsil etmektedir. Servis katmanı, AUS uygulamalarının çalışmasını destekleyen temel hizmetleri ve veri yönetimini sağlamaktadır. Başlıca hizmetler aşağıda yer almaktadır:
  - Kooperatif Farkındalık Temel Hizmeti (Cooperative Awareness Basic Service): Araç konumu, hızı, yönü gibi bilgileri içeren Kooperatif Farkındalık Mesajları (Cooperative Awareness Message, CAM) üretilmekte ve periyodik olarak paylaşılmaktadır.
  - Merkezi Olmayan Çevresel Bildirim Temel Hizmeti (Decentralized Environmental Notification Basic Service): Olay temelli Çevresel Bildirim Mesajları (Decentralized Environmental Notification Message, DENM) yayılmakta ve tehlike veya olay bildirimlerinin paylaşılması sağlanmaktadır.
  - Toplu Algı Hizmeti (Collective Perception Service- CPS): Araç sensörleri tarafından algılanan nesnelerin paylaşımı, Toplu Algı Mesajları (Collective Perception Messages- CPM) aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

  - Altyapıdan Araca Bilgi Hizmeti (In-Vehicle Information- IVI): Trafik işaretleri ve hız limitleri gibi bilgiler IVI Mesajı (Infrastructure-to-Vehicle Information Message, IVIM) formatında sunulmaktadır.
  - Yerel Dinamik Harita (Local Dynamic Map- LDM): Çevredeki dinamik nesnelerin konumları referans alınarak gerçek zamanlı bir harita oluşturulmaktadır (C-Roads, 2025a:6-16, 2025b:11-20; ETSI, 2010:12-38; ISO, 2020:5-12).
- Uygulama Katmanı (Application Layer): ITS-S uygulamalarının çalıştığı ve kullanıcıya doğrudan hizmetlerin sunulduğu katmandır. Bu katman; yol güvenliği, trafik verimliliği, kooperatif yerel hizmetler ve küresel internet hizmetleri gibi AUS uygulamalarını sürücüye veya diğer sistemlere sunmak için tasarlanmıştır. Diğer araçlardan veya altyapıdan gelen verileri işleyerek sürücüye anlamlı uyarılar veya tavsiyeler (HMI üzerinden) sunulmaktadır. AUS uygulamaları, alt katmanlarda hangi iletişim teknolojisinin (ITS-G5, hücresel ağ vb.) kullanıldığından bağımsız olarak çalışacak şekilde tasarlanır. Örnek uygulamalar arasında şunlar yer alır (C-Roads, 2025a:6-16, 2025c:7-14; ETSI, 2010:12-38):
  - Yol Güvenliği; Acil fren uyarısı, kaza bölgesi bildirimi
  - Trafik Verimliliği; Yeşil ışık hız tavsiyesi (GLOSA), trafik sıkışıklığı uyarısı
  - Diğer Uygulamalar; Bilgi ve eğlence, yakıt istasyonu bilgisi, park asistanı.

2.3.2. Çapraz katman varlıkları

AUS istasyon mimarisi çapraz katman varlıkları şunlardır: (ETSI, 2010:12-38; ISO, 2020:5-12).

- Yönetim Varlığı (Management Entity): AUS istasyon referans mimarisinde, tüm yatay katmanlarla (Uygulama, Tesisler, Ağ ve Taşıma, Erişim) etkileşime giren dikey/çapraz bir katmandır. AUS istasyonundaki iletişim kaynaklarının yönetimi, yapılandırılması ve koordinasyonundan sorumludur. Temel işlevleri şunlardır:
  - İletişim ve Kaynak Yönetimi: Uygulamaların gereksinimlerini ve mevcut iletişim arayüzlerinin durumunu analiz ederek veri akışları için en uygun iletişim profillerinin belirlenmesini, kanal tıkanıklığının önlenmesini ve iletişim sistemlerinin hata izlemesi ile arıza teşhisi ve iyileştirme süreçlerini yönetmektedir.

  - İstasyon ve Uygulama Yönetimi: İstasyon ve uygulamaların kurulumu, yapılandırılması, güncellenmesi ve hata yönetimi sağlanmakta; istasyonun tip ve yetenekleri yönetilmekte ve yönetim bilgi tabanına erişim sağlanmaktadır.
  - Servis ve Bilgi Koordinasyonu: Mevcut AUS servislerinin duyurulması ve keşfi yönetilmekte, komşu istasyonlara ilişkin dinamik bilgiler toplanmakta ve Yerel Dinamik Harita ile etkileşim koordine edilmektedir, ayrıca iletişimin mevzuat ve protokollere uygunluğu temin edilmektedir.
  - Katmanlar Arası Koordinasyon: Aynı istasyon içindeki farklı birimler arasındaki veri değişimi koordine edilmekte ve güvenlik birimi ile etkileşim kurularak kimlik doğrulama, sertifika yönetimi ve profil yönetimi süreçleri desteklenmektedir.
- Güvenlik Varlığı (Security Entity): Bu katman ile OSI protokol yığınına, uygulamalara ve yönetim birimlerine güvenlik hizmetleri sağlanmaktadır. Avrupa'da bu güvenlik altyapısı, Açık Anahtar Altyapısı (Public Key Infrastructure, PKI) tabanlı K-AUS Güvenlik Kimlik Bilgisi Yönetim Sistemi (SCMS) tarafından desteklenmektedir. Bu sistemin merkezi bileşenleri arasında Avrupa Kök Sertifika Otoritesi (ERCA) ve K-AUS İletişim Noktası (CPOC) yer almaktadır. Başlıca güvenlik işlevleri şunlardır:
  - Kimlik ve Sertifika Yönetimi: Kimlik, kriptografik anahtar ve sertifika yönetimi süreçleri yürütülmektedir. PKI ile etkileşim sağlanarak kayıt ve yetkilendirme biletlerinin alınması ve güncellenmesi süreçleri yürütülmektedir.
  - Kimlik doğrulama ve yetkilendirme: İstasyonlar arasında paylaşılan mesajların göndericisinin doğrulanmasını ve mesajların yetkili kaynaklardan geldiğinin teyidi gerçekleştirilmektedir. Sistem işlevlerine veya verilere erişimi kontrol eden yetkilendirme süreçlerinin yürütülmesi sağlanmaktadır.
  - Güvenlik İzleme ve Savunma: Siber saldırıların tespit edilmesi ve önlenmesine yönelik güvenlik duvarı ve saldırı yönetimi işlevleri yürütülmektedir. Kötü niyetli davranışların tespiti ve ilgili sertifikaların iptali süreçleri işletilmektedir.
  - Veri Bütünlüğü ve İmzalama: Mesajların iletim sırasında değiştirilmemesi amacıyla dijital imzaların oluşturulması ve doğrulanması işlemleri yürütülmektedir. Mesaj bütünlüğü ve kaynağın inkâr edilemezliği güvence altına alınmaktadır.
  - Güvenlik Bilgi Tabanı (SIB) ve Donanım Desteği: Tüm güvenlik parametreleri ve durum bilgileri Güvenlik Bilgi Tabanı (SIB) aracılığıyla yönetilmektedir. Donanım Güvenlik Modülleri (HSM) veya Güvenilir Platform Modülleri (TPM) gibi fiziksel güvenlik donanımlarıyla entegrasyon sağlanmaktadır.

- Katmanlar Arası Arayüz Yönetimi: Güvenlik birimi, iletişim yığınının farklı seviyeleriyle özel arayüzler üzerinden etkileşim kurmaktadır: Erişim katmanı için SI, Ağ ve taşıma katmanı için SN, Tesisler katmanı için SF, Uygulamalar için SA, Yönetim birimi için MS arayüzleri.

K-AUS, AUS standartlarının bir alt kümesidir ve AUS uygulamaları arasında bilgi alışverişi ve paylaşımını desteklemek üzere geliştirilmiştir. Bir AUS istasyonunun temel görevi; AUS hizmetlerinin etkin, güvenli ve kesintisiz bir biçimde sunulmasını sağlamaktır. Bu kapsamda AUS istasyonu, güvenli ve güvenilir veri iletimi için gerekli olan mesajların toplanması, depolanması, işlenmesi, alınması ve iletilmesine yönelik işlevleri yerine getiren çeşitli donanım ve yazılım bileşenlerini bünyesinde barındırmaktadır. Söz konusu bileşenler, bilgi alışverişinin sürekliliğini ve bütünlüğünü koruyarak, sistemin genel performansının ve güvenilirliğinin artırılmasına katkıda bulunmaktadır (C-Roads, 2025b:11-20). Bu mimari; aracın üzerindeki birimler (On-Board Unit, OBU), yol kenarı birimleri (Roadside Unit, RSU) ve sunucular gibi AUS hizmetlerini uygulayan her türlü varlığı temsil eden temel unsurlardır.

ITS-S; AUS hizmetlerini uygulayan, yöneten ve iletişim sağlayan işlevsel birim olarak tanımlanır. AUS istasyonunun fiziksel olarak somutlaştırılmış hali AUS İstasyon Birimi (ITS Station Unit- ITS-SU) olarak adlandırılır. Bu birimler tek bir cihazda bütünleşik biçimde veya geniş bir coğrafi alana yayılmış birden fazla AUS İstasyon İletişim Birimi (ITS-SCU) biçiminde uygulanabilir. AUS istasyonları, konumlandırıldıkları ortama ve işlevsel rollerine bağlı olarak dört ana alt sisteme ayrılır (ETSI, 2010:12-38; Festag, 2014):

- Araç AUS İstasyonu (Vehicle ITS Station, V-ITS-S): Hareket halindeki veya park hâlindeki araçlarda (otomobiller, otobüsler, kamyonlar, acil durum araçları vb.) bulunmaktadır. Bu istasyonlar genellikle OBU adı verilen iletişim modülleriyle donatılmıştır ve araç içi veri yolu (CAN Bus) üzerinden bilgi alışverişi yapabilmektedir (Ben Hamida vd., 2015; Ding vd., 2024; ETSI, 2010:12-38; ISO, 2020:5-12).
- Yol Kenarı AUS İstasyonu (Roadside ITS Station, R-ITS-S): Köprüler, trafik direkleri veya kavşaklar gibi sabit altyapı bileşenlerine entegre edilmiş birimlerdir. Bu istasyonlar RSU olarak da adlandırılır. R-ITS-S'ler sabit veya mobil olarak yapılandırılabilir (Ben Hamida vd., 2015; Ding vd., 2024; ETSI, 2010:12-38; ISO, 2020:5-12).

- Merkezi AUS İstasyonu (Central ITS Station): Trafik yönetim merkezleri, veri sunucuları veya bulut tabanlı kontrol platformları gibi merkezi sistemlerde bulunmaktadır. Bu istasyonlar; K-AUS hizmetlerinin yönetimi, verilerin işlenmesi ve karar destek sistemlerinin yürütülmesinden sorumludur (ETSI, 2010:12-38; ISO, 2020:5-12; Tahir vd., 2022).
- Kişisel AUS İstasyonu (Personal ITS Station, P-ITS-S): Akıllı telefonlar, navigasyon cihazları veya kişisel taşınabilir terminaller üzerinde çalışan, kullanıcı odaklı AUS uygulamalarını destekleyen birimlerdir (ETSI, 2010:12-38; Tahir vd., 2022).

AUS istasyonu referans mimarisinin işlevselliği, çeşitli ağlara ve protokollere bağlanmayı veya belirli uygulamaları çalıştırmayı mümkün kılan özel fonksiyonel bileşenler içermektedir. Bu bileşenlerden her biri kendi belirli işlevini yerine getirirken, sistemin bütünsel işleyişini sağlamak amacıyla birbirleriyle entegre çalışmaktadır. Bir AUS istasyonunun fonksiyonel bileşenleri aşağıda yer almaktadır:

- ITS-S Ana Bilgisayarı (ITS-S Host): En azından ITS-S uygulamaları ve bu uygulamaların çalışabilmesi için gerekli olan tüm AUS istasyon referans mimarisinin işlevselliğini kapsamaktadır.
- ITS-S Ağ Geçidi (ITS-S Gateway): OSI protokol yığınlarında 5. ila 7. katmanlar arasında iki farklı protokol yığını arasında bağlantı kurma işlevini sağlamaktadır. Ayrıca, protokol dönüştürme kapasitesine sahip olmalıdır. Tipik olarak, AUS istasyonunun dahili ağı ile tescilli bir ağ arasında bağlantı kurmaktadır.
- ITS-S Yönlendiricisi (ITS-S Router): İki farklı AUS protokol yığını arasında, özellikle OSI modelinin 3. katmanında, veri iletimini sağlamakta ve protokol dönüşümünü yapabilmektedir. Bu bileşen, “Uygulamalar” ve “Tesisler” hariç olmak üzere, temel AUS istasyonu referans mimarisinin işlevselliğini sağlamaktadır.
- ITS-S Sınır Yönlendiricisi (ITS-S Border Router): ITS-S Router ile benzer işlevlere sahiptir. Ancak temel farkı, harici ağlarla ilgili protokol yığınının AUS’un yönetim ve güvenlik prensiplerine uymayabilmesidir. Bu bileşen, AUS istasyonunun dış ağlara (örneğin, İnternet gibi) bağlanmasını sağlamaktadır.
- ITS-S Kesicisi (ITS-S Interceptor): Genel bir terim olup ITS-S Gateway, ITS-S Router veya ITS-S Border Router ile eşdeğer işlevsellik gösterebilmektedir. Ayrıca, AUS

istasyonu-dahili ağını başka bir ağa bağlamak için uygulamaya özgü çözümler de sunabilmektedir.

AUS istasyonları, birbirleriyle veri iletimini ITS-S adı verilen istasyon mimarisi üzerinden çalışan katmanlı bir iletişim yapısı ile gerçekleştirmektedir. Bu yapı, OSI modelinin prensiplerini temel alır ancak akıllı ulaşım uygulamalarının gereksinimlerine uyacak şekilde sadeleştirilmiş ve genişletilmiştir. İletişim süreci, istasyonun fiziksel erişim katmanından başlayarak ağ ve taşıma katmanına, oradan da uygulama işlevlerinin yürütüldüğü servisler katmanına kadar uzanan bir protokol yığını aracılığıyla işlemektedir. İstasyon önce uygun iletişim arayüzü üzerinden kablosuz veya kablolu ağlara erişmekte ardından ağ katmanı protokolleri verinin doğru istasyona yönlendirilmesini sağlamaktadır. Bu yönlendirme, araçlar arasındaki kısa menzilli ad-hoc iletişimlerde GeoNetworking gibi konum temelli protokoller kullanılarak, geniş alan iletişimlerinde ise IPv6 gibi geleneksel ağ protokolleriyle yapılabilmektedir. Verinin taşınması sırasında servisler katmanı, uygulamaların ihtiyaç duyduğu veri türlerini oluşturmakta, kodlamakta ve yorumlamaktadır. Bu katman, güvenlik uyarıları için periyodik CAM mesajları veya olay durumlarında iletilen DENM mesajları gibi standartlaştırılmış veri türlerini kullanmaktadır. Bu mesajlar, istasyonun çevresel durumunu ve olay bilgilerini diğer istasyonlarla paylaşarak hem trafik güvenliğinin hem de kooperatif sürüşün temelini oluşturmaktadır.

İletişim süreci yalnızca veri gönderip almakla sınırlı değildir; aynı zamanda ağ koşullarına uyum sağlamayı da gerektirmektedir. Yönetim bileşeni, mevcut iletişim arayüzleri arasından en uygun olanı belirlemekte, kanal üzerindeki yükü izlemekte ve gerektiğinde mesajlaşma sıklığı veya öncelik parametrelerini değiştirerek tıkanıklığın önlenmesini temin etmektedir. Bunun yanında güvenlik bileşeni, tüm mesajların kimlik doğrulamasını ve yetkilendirmesini sağlamakta, sertifikaları yönetmekte ve kötü niyetli trafiği engelleyerek istasyonların güvenli iletişim kurmasını sağlamaktadır.

AUS istasyonlarının iletişimi, temel olarak hibrit bir yapıda gerçekleştirilmektedir. Bu yapı, istasyonların aynı anda birden fazla iletişim teknolojisini (örneğin; ITS-G5, hücresel 4G/5G veya kablolu ağlar) kullanabilmesine olanak tanımakta ve uygulamaların bu teknolojilerden bağımsız olarak işletilmesine imkân vermektedir. Sonuç olarak, sistem kesintilere karşı dayanıklı, esnek ve verimli bir iletişim altyapısı sunmakta; bu altyapı, AUS istasyonlarının

doğru, güvenli, sürekli ve kooperatif bilgi alışverişi gerçekleştirmesini mümkün kılan temel mekanizmayı oluşturmaktadır.

2.4. K-AUS Temel Bileşenleri

2.4.1. Araç içi birimi (on-board unit, OBU)

OBU, bir araca entegre edilen ve sürücüyü bilgilendirme veya uyarma amacıyla kullanılan bir alt sistemdir. OBU, bir Araç AUS İstasyonu (Vehicular ITS Station) olarak tanımlanan AUS altyapısının temel bileşenlerinden biridir. Bu sistem, araç içi sensörlerden elde edilen verileri işleyerek diğer araçlarla veya RSU'larla iletişim kurmaktadır. OBU, aşağıdaki ana modüllerden oluşmaktadır (Ben Hamida vd., 2015; Mir vd., 2020):

- Kablosuz İletişim Modülleri: Araç ile diğer AUS istasyonları arasında veri iletimini sağlamaktadır.
- Güvenilir Platform Modülü (TPM): Anahtar ve sertifika yönetimi gibi güvenlik işlevlerinden sorumludur.
- Uygulama Birimi: OBU üzerindeki uygulamaların yürütülmesini ve yakındaki diğer AUS birimleriyle iletişim kurulmasını sağlamaktadır.
- Elektronik Kontrol Üniteleri (ECU): Araç dinamiklerine ilişkin (konum, hız, yön, araç boyutu vb.) verileri toplamakta ve OBU ile veri alışverişinde bulunmaktadır.
- GNSS Birimi: OBU'nun doğru konum ve zaman bilgisini elde etmesini sağlamaktadır.
- Araç İçi Ağ (CAN Bus): ECU'lar ve OBU arasında veri aktarımını gerçekleştiren iletişim hattıdır.
- Yönlendiriciler ve Gömülü Bilgisayarlar: Veri akışını yöneten ve iletişim işlevlerini destekleyen donanımlardır.

OBU'lar, orijinal ekipman üreticileri (Original Equipment Manufacturer, OEM) tarafından üretim aşamasında monte edilebileceği gibi, sonradan takılabilen aftermarket cihazlar şeklinde de araca entegre edilebilir. OBU'lar, herhangi bir hücresel ağ altyapısına ihtiyaç duymadan IEEE 802.11p standardına dayalı ITS-G5 protokolünü kullanarak çevredeki diğer birimlerle doğrudan haberlebilmektedir. OBU'lar ayrıca 3GPP standartları (LTE ve 5G) üzerinden çalışan C-V2X teknolojilerini kullanarak hem baz istasyonları üzerinden (V2N)

geniş alan iletişimi sağlayabilmekte hem de PC5 arayüzü üzerinden araçların, baz istasyonu olmasa bile doğrudan haberleşmesine imkân tanıyabilmektedir.

Modern OBU tasarımları genellikle hem kısa mesafe (ITS-G5 veya C-V2X) hem de uzun mesafe (LTE/5G) iletişim arayüzlerini bir arada bulundurur. Sistem, verinin önceliğine ve kapsama alanına bağlı olarak en uygun iletişim kanalını otomatik olarak seçmektedir (C2C-CC, 2023a:11-19; C-Roads, 2021b:11-13, 2025a:6-16, 2025c:7-14; ISO, 2020:5-12).

2.4.2. Yol kenarı birimi (road side unit, RSU)

RSU; genellikle yol kenarlarında, direklerde veya köprü ayaklarında konumlandırılmış; V2X uygulamalarını destekleyen ve V2X uygulamalarını destekleyen diğer birimlerle mesaj alışverişinde bulunabilen sabit birimlerdir (C-Roads, 2025c:7-14; ETSI, 2010:12-38; Karkhanis vd., 2018). K-AUS standartlarında RSU, Yol Kenarı AUS İstasyonu (R-ITS-S) olarak sınıflandırılan bir AUS İstasyonu türünü temsil eder (ETSI, 2010:12-38).

RSU'lar; araçlar, yol kenarı altyapısı, trafik kontrol sistemleri ve diğer trafik varlıkları arasında kablosuz iletişim bağlantıları kurarak, bu unsurların birbirleriyle etkileşim içinde çalışmasını sağlamaktadır. 3GPP standartlarında tanımlanan C-V2X çerçevesinde, RSU; V2X uygulama mantığını bir eNB (baz istasyonu) veya kullanıcı ekipmanı işlevselliği ile bütünleştiren mantıksal bir varlık olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda RSU hem ağ tabanlı iletişim altyapısı hem de yerel V2X uygulamaları arasında bir köprü görevi görerek K-AUS mimarisinde merkezi bir bileşen konumundadır (Ding vd., 2024; ETSI, 2018:22-25, 2020:8-22).

RSU'lar, yol kenarındaki sistemler (örneğin; indüktif döngüler, değişken mesaj işaretleri-VMS) ile araçlar, yayalar ve diğer yol kullanıcıları arasındaki iletişimi desteklemektedir (Ben Hamida vd., 2015; Tahir vd., 2022). RSU'lar, araçlarla doğrudan ve düşük gecikmeli iletişim sağlamak amacıyla genellikle 5.9 GHz AUS bandında çalışan kısa menzilli kablosuz iletişim teknolojilerini kullanmaktadır. Bu kapsamda, DSRC/ITS-G5 teknolojileri ile birlikte C-V2X PC5 modu öne çıkan iletişim protokolleri arasında yer almaktadır. DSRC tabanlı sistemler tipik olarak yaklaşık 400 metre menzil aralığında çalışmakta olup, kısa menzilli iletişim performansı genellikle 300 ile 500 m aralığında en yüksek düzeyde gerçekleşmektedir. Bu kısa menzilli haberleşme yapısı, V2V ve V2I iletişim senaryolarında

hızlı veri alışverişi ve düşük gecikme süresi avantajı sağlamaktadır(C-Roads, 2025c:7-14; Ding vd., 2024).

Konum ve zamanlama açısından değerlendirildiğinde, RSU'lar genellikle sabit istasyonlar (statik konum) olarak konumlandırıldıkları için, bulundukları noktanın koordinatlarını yüksek doğrulukla belirleyebilmektedirler. Bu yüksek doğruluklu konum bilgisi, RSU tarafından yayınlanan mesajlarda kullanılarak araçlara daha hassas konum referansları sunulmakta ve sistem genelinde senkronizasyonun sağlanmasına katkıda bulunulmaktadır (C-Roads, 2025c:7-14).

RSU'ların temel amacı, trafik güvenliğini, verimliliğini ve sürüş konforunu artırmak için araçlara ve diğer AUS İstasyonlarına altyapı tabanlı bilgi sağlamaktır. Başlıca fonksiyonlar şunlardır (C2C-CC, 2019:31-36; C-Roads, 2021b:11-13, 2025c:7-14, 2025d:24-253; Festag, 2014; Dar vd., 2010; Tahir vd., 2022; Zhang vd., 2025):

- V2I/I2V İletişimini Kolaylaştırma: RSU, V2I ve I2V iletişim için temel arayüzü sağlamaktadır.
- Röle/Köprü Görevi: RSU, araçlar arasında iletişim kurulmasını sağlamakta veya çok atlamalı (multi-hop) iletişimi destekleyerek V2I ve V2I2V (Vehicle-to-Infrastructure-to-Vehicle) senaryolarında röle görevini üstlenmektedir.
- Veri Toplama: RSU'lar, geçen araçlardan (PVD- Probe Vehicle Data) yol koşulları ve trafik bilgisi gibi verileri toplayabilmekte ve bu bilgileri ilgili araçlara veya merkezi sistemlere iletebilmektedir.
- Algılama Verisi Paylaşımı: RSU'lar, kendi sensörleri ve kameralarıyla elde ettiği çevresel verileri CPM aracılığıyla çevrelerindeki araçlarla paylaşabilmektedir.

2.4.3. Merkezi sistemler (traffic management center, TMC)

K-AUS mimarisinde merkezi sistemler, sabit altyapı bileşenleri arasında yer almakta olup genellikle kamu otoriteleri tarafından yönetilmektedir. Bu sistemler, Trafik Yönetim Merkezi (TMC) veya Merkezi AUS İstasyonu (Central ITS Station, C-ITS-S) olarak adlandırılmaktadır.

AUS istasyonu referans mimarisinde Merkezi Sistemler, tüm trafik ağını ve ulaşım kaynaklarını izleyen, kontrol eden ve koordine eden ana yönetim birimleridir. Temel işlevleri arasında; yol kenarı altyapısı ile bireysel kullanıcı uygulamalarını birbirine bağlayan bir arka ofis sistemi olarak tüm şehrin, yol operatörünün veya ulusal otoyol ağının AUS servislerini yönetmek yer almaktadır (C-Roads, 2025d:24-253; ETSI, 2010:12-38; Karkhanis vd., 2018; Tahir vd., 2022).

K-AUS ekosisteminde merkezi sistemler; veri toplama, analiz etme, hizmet sunumu ve trafik yönetimi gibi işlevleri yerine getirerek sistemin bütüncül çalışmasını sağlamaktadır. Bu kapsamda merkezi sistemlerin temel fonksiyonları iki ana başlıkta incelenebilir (Ben Hamida vd., 2015; C2C-CC, 2019:31-36, 2021:5-20; C-Roads, 2025d:24-253; Mir vd., 2020; Tahir vd., 2022):

- Veri Toplama ve İşleme: Merkezi sistemler, V2I ve V2N iletişim süreçlerinde merkezi bir veri işleme ve yönetim platformu görevi üstlenmektedir.
    - Trafik Gözetleme ve Veri Yönetimi: TMC sensör sistemleri ve CCTV gibi gözetleme ekipmanlarını uzaktan izleyerek; hız, hacim ve doluluk gibi trafik verilerini toplamakta, analiz etmekte ve depolamaktadır.
    - Probe Araç Verilerinin (PVD) Toplanması: Araçlardan elde edilen hareketli araç verileri (PVD), RSU'lar aracılığıyla alınmakta ve trafik durumunun analiz edilmesi amacıyla TMC'lere iletilmektedir.
    - Veri Yönetimi: Merkezi sunucular, farklı araçlardan ve altyapı bileşenlerinden toplanan verileri diğer trafik merkezleriyle ve servis sağlayıcılarla paylaşarak sistemler arası veri bütünlüğünü korumaktadır.
    - Kaynak Yönetimi ve Koordinasyon: Küçük trafik kazalarından büyük felaketlere kadar geniş bir yelpazedeki olaylara müdahale etmek için ulaşım kaynaklarını yönetmekte ve ilgili kurumların (acil servisler, yol operatörleri vb.) birbiriyle uyumlu çalışmasını sağlamaktadır.
    - Trafik Akışı ve Stratejik Kontrol: TMC toplanan verileri kullanarak etkin trafik yönetimi stratejileri ve tahmin modelleri geliştirmektedir. Trafik ışığı fazlarını optimize edebilmekte, dinamik hız limitlerini yönetebilmekte ve sürücülere trafik yoğunluğuna göre akıllı yönlendirme ve alternatif güzergahlar önerebilmektedir.

  - Altyapı İzleme ve Bakım: Yol kenarı ünitelerinin (RSU) ve diğer saha ekipmanlarının operasyonel durumlarını izlemekte, arıza verilerini toplamakta ve bu cihazların uzaktan kontrolünü gerçekleştirmektedir.
- Uygulama ve Hizmet Sunumu (I2V / N2V): TMC, K-AUS senaryolarına ilişkin bilgileri üretmekte, işlemekte ve dağıtmaktadır.
  - Kritik Uyarıların Üretilmesi: TMC'ler; kaza, trafik sıkışıklığı, yol çalışması veya olumsuz hava koşulları gibi durumları tespit edip doğrulayarak, bu bilgileri araçlara ve sürücülere uyarı mesajı (DENM) veya yol bilgisi (IVIM) olarak iletebilirler.
  - Yol Durumu Bilgilendirmesi: TMC, mevcut trafik koşullarını değerlendirerek sürücülere kazalar, tıkanıklıklar veya yol bakım çalışmaları hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu bilgiler genellikle RSU'lar üzerinden sürücülere iletilmekte ve gerektiğinde alternatif güzergâh önerileri sunulmaktadır.
  - Rota ve Hız Danışmanlığı: TMC tarafından işlenen veriler, sürücülere önerilen güzergâhlar, hız limitleri ve trafik yoğunlukları hakkında bilgilendirme yapılmasını sağlamaktadır.

Merkezi sistemler, genellikle uzun menzilli iletişim teknolojileri kullanarak araçlarla ve RSU'larla bağlantı kurar (C-Roads, 2022b:14-17, 2025a:6-16; Ding vd., 2024; Tahir vd., 2022):

- Uzun Menzilli İletişim: K-AUS yapısında uzun menzilli iletişim, yakın çevre dışındaki bilgi akışını sağlamak amacıyla kritik öneme sahiptir. Bu iletişim genellikle hücresel ağ teknolojileri (ör. LTE, 4G, 5G) aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.
- V2N İletişimi: Merkezi sistemler, C-V2X Uu modu üzerinden hücresel ağlar aracılığıyla V2N iletişimini desteklemektedir. Bu iletişim türü; küresel trafik durumu yönetimi, trafik önceliklendirme talepleri ve güzergâh keşfi gibi uygulamaların gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır.
- Arka Uç (Back-End) Bağlantısı: RSU'lar, hücresel veya IP tabanlı uzun menzilli iletişim kanalları aracılığıyla TMC'ye bağlanmaktadır. Bu bağlantı genellikle DATEX II standardı14 kullanılarak farklı altyapı operatörleri ve paydaşlar arasında veri alışverişini desteklemektedir.

[14] DATEX II: Avrupa standardı (CEN/TC278) kapsamında geliştirilen bir veri değişim protokolüdür; trafik yönetimi ve bilgi sistemleri arasında merkezi veri paylaşımını, Ulusal Erişim Noktaları entegrasyonunu ve standart veri modellemeyi mümkün kılmaktadır.

- Hibrit İletişim: TMC'ler, uzun menzilli hücresel ağları (örneğin 5G) kullanarak K-AUS'u uç bilişim (edge computing) altyapılarıyla bütünleştirebilir. Bu yöntem, gecikme sürelerini en aza indirmeyi hedefleyen STEP (Smart Traffic Edge Platform)15 benzeri çözümlerin uygulanmasına olanak tanımaktadır.

2.4.4. Kamera ve sensör teknolojileri

K-AUS uygulamaları yalnızca gelişmiş iletişim teknolojilerine değil, aynı zamanda araçlara ve yol kenarı altyapısına gömülü sensör ve kamera teknolojilerine de dayanmaktadır. Bu kapsamda sensörler, araçların "görüş hattı" (Line-of-Sight, LOS) sınırlamalarını aşmalarına olanak sağlayarak "köşe arkasını görme" (view-around-the-corner) kabiliyetini desteklemektedir (C-Roads, 2022b:14-17; Ding vd., 2024).

- Araç Üzeri Sensörler: K-AUS ekosistemine entegre edilmiş araçlar; çevresel verileri toplamak, sürüş kararlarını optimize etmek ve bu verileri ağ genelinde paylaşmak amacıyla çeşitli sensör dizileri ile donatılmıştır. Bu sensörler, genel olarak çevresel algılama sensörleri ve konum-durum sensörleri olmak üzere iki ana grupta incelenebilir (Ben Hamida vd., 2015; C-Roads, 2022b:14-17, 2025d:24-253; Ding vd., 2024; Tahir vd., 2022; Yu vd., 2022; Zhang vd., 2025).
    - Çevresel Algılama Sensörleri: Otonom ve bağlantılı araçlar, çevrelerini algılamak ve güvenli sürüş kararları almak için kamera, LiDAR ve radar gibi sensörleri kullanmaktadır.
        - Kameralar: K-AUS veri kümelerinde kameralar; üç boyutlu nesne tespiti, nesne takibi ve görsel odometri gibi görevlerde temel sensörlerden biridir. Ayrıca nesne sınıflandırma, trafik yoğunluğu analizi ve yaya tespiti gibi işlevleri desteklemektedir.
        - LiDAR (Light Detection and Ranging): Çevreyi algılamak için lazer ışınlarını kullanan temel bir dış sensör teknolojisidir. Araçların çevrelerindeki nesnelerin varlığını ve konumunu yüksek hassasiyetle belirlemesini sağlamaktadır. Nesne sınıflandırması, yüksek açısal çözünürlük ve mesafe ölçümü konularında

[15] STEP (Smart Traffic Edge Platform), uç bilişim (edge computing) altyapısını kullanarak trafik verilerini yerel olarak işleyen ve gecikme sürelerini minimize eden bir platformdur. Bu sayede trafik yönetimi ve akıllı ulaşım sistemlerinde hızlı veri işleme, anlık karar alma ve daha verimli trafik akışı sağlanabilmektedir.

oldukça başarılıdır. Bu sayede yayalar, hayvanlar ve yoldaki engeller gibi tehlikeleri gerçek zamanlı olarak tespit edebilmektedir.

- Radar: Yakın ve uzak menzildeki nesnelerin varlığını, konumunu ve hızını tespit etmek için kullanılan temel bir çevresel algılama teknolojisidir. Radar, her türlü hava koşulunda (yağmur, sis vb.) çalışabilme yeteneği ile kamera ve LİDAR gibi diğer sensörlerden ayrılmaktadır.

- Konum ve Durum Sensörleri
  - GNSS: Dünya genelinde konumlandırma, navigasyon ve hassas zamanlama hizmetleri sunan uydu tabanlı altyapıların genel adıdır. Araçların coğrafi konumlarını belirlemeleri ve tüm sistem bileşenleri arasında ortak bir zaman senkronizasyonu oluşturmaları için kritik bir teknolojidir. GNSS; Amerika Birleşik Devletleri'nin GPS ve AB'nin Galileo sistemlerini kapsamaktadır. Bu sistemler, dünya yörüngesindeki uydulardan gelen sinyalleri kullanarak OBU'ların kesin konum ve hız bilgilerini elde etmesini sağlar.
  - CAN Bus (Controller Area Network): Araçların içine entegre edilmiş, mikrodenetleyicilerin ve cihazların (sensörler, aktüatörler vb.) bir ana bilgisayara ihtiyaç duymadan birbirleriyle haberleşmesini sağlayan bir araç içi iletişim protokolüdür. Araç içindeki çeşitli parçaların (motor, silecekler, farlar, ABS, ESC vb.) durumlarını izlemek ve kontrol etmek için merkezi bir ortam sunmaktadır. Araçtaki farklı ECU'lar bu hat üzerinden veri alışverişi yapmaktadır. OBU'lar CAN bus hattı; aracın hız, fren durumu, direksiyon açısı ve konumu gibi kritik verileri toplamakta ve güvenlik mesajları ve kooperatif farkındalık mesajları oluşturmak için kullanmaktadır.
  - Diğer Kablosuz/IoT Sensörleri: Ultra Geniş Bant (UWB) çarpışma risklerinin bildirilmesi ve hassas konumlandırma; milimetre dalga (mmWave) teknolojisi, araçların kendi sensörlerinden (Lidar, radar, kamera) elde ettikleri büyük boyutlardaki ham verilerin birbirleriyle ve altyapıyla gerçek zamanlı, yüksek hızda paylaşılması; Bluetooth Düşük Enerji (Bluetooth Low Energy, BLE) ise araç içi ünitelerin kablolu bağlantıya ihtiyaç duymadan diğer çevre birimleriyle haberleşmesi amacıyla kullanılmaktadır.

- Yol Kenarı (Altyapı) Sensörleri: RSU'lar ve TMC'ler; çevresel verilerin toplanması, analiz edilmesi ve bu bilgilerin K-AUS mesajları aracılığıyla araçlara iletilmesi görevini üstlenmektedir (Ahmed vd., 2023; C-Roads, 2025d:24-253; Ding vd., 2024; Tahir vd., 2022; Tahir ve Katz, 2021).

- Çevresel Algılama ve Trafik Kontrol Sensörleri
  - Kameralar (CCTV/Gözetim): Yol operatörleri tarafından olay tespiti (örneğin kaza, tıkanıklık) ve trafik akışı analizi için kullanılmaktadır.
  - LiDAR ve Radar Tabanlı Algılama Sistemleri: Genellikle yol üzerindeki baş üstü levha direklerine, direklere veya stratejik yüksek noktalara monte edilen bu sensörler; kavşaklar, tünel girişleri ve keskin virajlar gibi görüş açısının kısıtlı olduğu yerlerde engelleri ve VRU'ları algılayabilmektedir.
  - Trafik Döngüleri (Traffic Loops): Trafik yoğunluğu, tıkanıklık veya olay tespiti için temel veri kaynağıdır. Ancak bu sensörler, konumsal doğruluk bakımından sınırlı olabilmektedir.
- Meteorolojik Sensörler (Road Weather Stations, RWS): RSU'lar; yol yüzeyi sıcaklığı, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve görüş mesafesi gibi parametreleri ölçen sensörlerle donatılabilmektedir. Bu veriler, sürücülere veya araç sistemlerine, görünürlüğü düşük veya kaygan yüzey gibi tehlikeli koşullar hakkında uyarılar göndermek için kullanılmaktadır.

- Toplu Algılama (Collective Perception, CP): K-AUS; araçlar ve altyapı birimleri arasında sensör verilerini doğrudan veya işlenmiş biçimde paylaşarak, araç üzeri sensörlerin görüş hattı kısıtlamalarını ortadan kaldırmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle karmaşık trafik ortamlarında çevresel farkındalığı önemli ölçüde artırmaktadır. Araçlar veya RSU'lar tarafından algılanan nesnelerin konum, hız, mesafe, sınıf ve boyut gibi bilgileri CPM aracılığıyla çevredeki araçlarla paylaşılabilmektedir (C2C-CC, 2019:31-36; C-Roads, 2025b:11-20, 2025c:7-14, 2025d:24-253; Ding vd., 2024; ETSI, 2020:8-22).

2.4.5. İnsan-makine arayüzü (human machine interface, HMI)

HMI, otonom araçlar ve K-AUS kapsamında araç içi sensörlerden, diğer araçlardan veya yol kenarı altyapısından elde edilen verilerin sürücüye anlamlı uyarılar, tavsiyeler veya bilgiler şeklinde sunulmasını sağlamaktadır. K-AUS uygulamalarında HMI'nın önemi aşağıdaki birkaç temel noktada ön plana çıkmaktadır.

- Durumsal Farkındalık: HMI, sürücünün doğrudan görüş alanı dışında gerçekleşen olayları fark etmesini sağlayarak, çevresine dair eksiksiz ve doğru bir zihinsel model

oluşturmasına katkı sağlamaktadır. Örneğin, bir virajın arkasında meydana gelen bir kaza veya yaklaşan acil durum araçları, HMI aracılığıyla sürücüye aktarılabilmektedir.

- Güvenlik ve Gerçek Zamanlı Uyarılar: K-AUS'un temel amaçlarından biri olan yol güvenliğinin artırılması, yalnızca sürücüye zamanında ve etkili uyarılar ile sağlanabilecektir. HMI; acil frenleme gerektiren durumlar, yol çalışmaları, trafik sıkışıklıkları veya kırmızı ışık ihlali riski gibi kritik olaylarda sürücüyü bilgilendirerek kaza riskini azaltmaktadır.
- Sistem Şeffaflığı ve Güven: Özellikle otonom veya yarı otonom sürüş modlarında, aracın algıladığı durumları, planladığı eylemleri ve karar alma gerekçelerini sürücüye sunmak, sistemin şeffaflığını artırmakta ve sürücünün güvenini pekiştirmektedir. Örneğin, bir şerit değişikliği kararının neden alındığının açıklanması, sürücünün belirsizlikten kaynaklanan kaygısını azaltmaktadır.
- Kullanıcı Kabulü ve Konfor: K-AUS uygulamalarının yaygın biçimde benimsenmesi, kullanıcıların bu sistemleri kabul etmesine bağlıdır. HMI üzerinden sunulan kişiselleştirilmiş hizmetler, yakıt tasarrufu önerileri veya akıllı rota rehberliği gibi katma değerli bilgiler, sürücü deneyimini iyileştirerek teknolojilerin kabulünü ve benimsenmesini desteklemektedir (Debernard, Chauvin, Pokam ve Langlois, 2016; Sambeek vd., 2015:60-125; Vieira vd., 2023).

2.5. İletişim Mesaj Türleri

K-AUS kapsamında kullanılan mesaj türleri; araçların kendi aralarında, altyapıyla ve diğer yol kullanıcıları ile güvenli ve verimli bir biçimde iletişim kurmasını sağlamak için temel bir rol oynamaktadır. Bu iletişim, ETSI tarafından tanımlanan standartlar çerçevesinde yürütülmekte olup ETSI AUS istasyon mimarisindeki Servis Katmanı içerisinde tanımlanan mesaj yapıları üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda tanımlanan başlıca K-AUS mesaj türleri; Kooperatif Farkındalık Mesajı (Cooperative Awareness Message, CAM), Merkezi Olmayan Çevresel Bildirim Mesajı (Decentralized Environmental Notification Message, DENM), Altyapıdan Araca Bilgi Mesajı (Infrastructure to Vehicle Information Message, IVIM), Sinyal Faz ve Zamanlama Genişletilmiş Mesajı (Signal Phase and Timing Message, SPATEM), Harita Genişletilmiş Mesajı (Map Message, MAPEM), Toplu Algı Mesajı (Collective Perception Message, CPM) ve Sinyal Talep Genişletilmiş Mesajı (Signal Request Extended Message, SREM) ile Sinyal Talep Durumu Genişletilmiş Mesajı (Signal Request Status Extended Message, SSEM) şeklinde sınıflandırılmaktadır. Aşağıda bu mesaj

türleri, işlevleri ve kullanım alanları açısından detaylandırılmıştır (Ben Hamida vd., 2015; C2C-CC, 2019:31-36, 2023a:11-19; C-Roads, 2025a:6-16, 2025b:11-20; Ding vd., 2024; ETSI, 2010:12-38; Festag, 2014; Botte, Pariota, D'Acierno ve Bifulco, 2018).

- CAM: Bir K-AUS istasyonunun (araç veya RSU) varlığı, konumu ve dinamik durumu hakkında bilgi paylaşmak üzere kullanılan temel mesaj türüdür. CAM'ler, sistemdeki tüm istasyonların karşılıklı farkındalığını artırarak çevresel algının güçlenmesine hizmet etmektedir.
    - İletim özellikleri: CAM'ler periyodik olarak yayınlanmakta olup, iletim sıklığı aracın dinamik durumuna ve kanal yüküne bağlı olarak değişmektedir. Tipik olarak 1 Hz ile 10 Hz aralığında yayınlanmaktadır.
    - Mesaj Yapısı: CAM; AUS Protokol Veri Birimi (Intelligent Transportation Systems Protocol Data Unit, ITS PDU); zorunlu Temel Konteyner (Basic Container), zorunlu Yüksek Frekans Konteyneri (High Frequency Container) ve isteğe bağlı Düşük Frekans Konteyneri (Low Frequency Container) ile Özel Araç Konteynerlerinden (Special Vehicle Containers) oluşmaktadır. İçerik olarak gönderici istasyonun konum, hız, yön, ivme ve araç türü gibi dinamik bilgilerini içermektedir.
    - Kullanım Alanları: CAM'ler, araçların çevresindeki diğer araç ve altyapı birimlerini tanımasını sağlayarak temel güvenlik uygulamalarına altyapı oluşturur. Genellikle bir kez iletilmesi gereken veri paketlerinde tek sıçramalı (single hop) iletişim için kullanılmaktadır. CAM mesajları, "Gün 1" olarak tanımlanan ilk nesil K-AUS uygulamalarının (örneğin, acil fren uyarısı, kavşak çarpışma uyarısı) temel bileşenini oluşturmaktadır.
- DENM: Yol kullanıcılarını tehlikeli olay veya durumlar hakkında bilgilendirmek amacıyla tasarlanmış olaya dayalı bir mesaj türüdür. Bu mesajlar, sürücülere ve araç sistemlerine çevredeki tehlikeler hakkında erken uyarıları sağlamaktadır.
    - İletim Özellikleri: DENM'ler, bir olayın algılanmasıyla tetiklenir ve olay devam ettiği sürece tekrarlı olarak yayınlanmaktadır. İletim, olayın etkilediği alanı kapsayacak biçimde çok sıçramalı (multi-hop) yayılım ile sağlanabilmektedir.
    - Mesaj Türleri: DENM'ler dört alt türde tanımlanmıştır; yeni DENM, güncelleme DENM, iptal DENM, olumsuzlama DENM (C-Roads profillerine göre olumsuzlama (negation) DENM kullanılmamaktadır.).

  - Mesaj Yapısı: DENM; zorunlu Yönetim Konteyneri (Management Container), Durum Konteyneri (Situation Container), Konum Konteyneri (Location Container) ve isteğe bağlı A La Carte Konteynerinden oluşmaktadır. Yönetim konteyneri, olayın kimliğini (action identifier), tespit zamanını ve olay konumunu içermektedir.
  - Kullanım Alanları: DENM'ler; kaza alanı bildirimi, ileride trafik sıkışıklığı uyarısı, duran/yavaş araç bildirimi, yol çalışması uyarısı, ters yön sürücüsü uyarısı gibi birçok "Gün 1" güvenlik uygulamasında kullanılmaktadır.
- IVIM: Altyapı bileşenleri (örneğin; RSU veya trafik yönetim merkezleri) tarafından araçlara trafik işaretleri, yol geometrisi, güzergâh bilgileri ve sürüş kuralları hakkında bilgi iletmek için kullanılmaktadır.
  - Mesaj Türleri: IVIM mesajları da DENM'lere benzer şekilde dört alt türden oluşur: yeni, güncelleme, iptal ve olumsuzlama IVIM. Ancak, olumsuzlama IVIM uygulamada kullanılmamaktadır.
  - Kullanım Alanları:
    - Araç İçi İşaretleme (In-Vehicle Signage- IVS): Trafik işaretlerinin (örneğin hız limiti, serbest metin) araç ekranında gösterilmesi.
    - Otonom Araç Rehberliği (Automated Vehicle Guidance- AVG): Otonom araçlar için trafik kuralları ve şerit rehberliği.
    - Navigasyon Rehberliği (Navigation Guidance- NG): Akıllı güzergâh planlama ve seyahat süresi tahmini.
- SPATEM ve MAPEM Mesajları
  - MAPEM: Kavşaklar ve yol topolojisi hakkında detaylı bilgi sağlanmaktadır. Şerit tanımları, bağlantılar ve geometrik ilişkiler MAPEM içerisinde kodlanmaktadır.
  - SPATEM: Trafik sinyal kontrolörlerinin faz durumu, süre tahmini ve önceliklendirme bilgilerini içermektedir.
  - Kullanım Alanları: SPATEM ve MAPEM genellikle sinyalize kavşak hizmetleri kapsamında birlikte kullanılmaktadır. Örneğin; Yeşil Işık Optimum Hız Tavsiyesi uygulamasında bu iki mesaj birlikte çalışarak sürücülere en uygun seyir hızını önermektedir.
- CPM: Bir AUS istasyonunun çevresinde algıladığı nesneleri diğer AUS istasyonları ile paylaşmasına olanak tanımaktadır. Bu sayede araçlar, kendi algılama menzilleri dışındaki nesneler hakkında da bilgi sahibi olabilmektedir.

  - Mesaj Yapısı: CPM; Algılayıcı Bilgi Konteyneri (Sensor Information Container), Algılanan Nesne Konteyneri (Perceived Object Container) ve Algılama Bölgesi Konteyneri (Detection Area Container) gibi bileşenleri içermektedir.
  - İletim Özellikleri: Yeni nesnelerin tespiti veya mevcut nesnelerin konum, hız ya da yön bilgilerinde değişiklik olduğunda, bu veriler belirli aralıklarla (yarı periyodik) yayınlanmaktadır.
- SREM ve SSEM: Bu mesaj türleri, özellikle özel veya acil durum araçlarının sinyalize kavşaklarda öncelik talep etmesi veya bu talebin durumunu bildirmesi amacıyla kullanılmaktadır.
  - SREM: Araç tarafından öncelik talebinin iletilmesi.
  - SSEM: Trafik kontrolörünün bu talebe ilişkin yanıt ve durum bilgisini iletmesi.
  - Bu mesajlar, Acil Durum Aracı Önceliği uygulamalarında etkin rol oynamaktadır.
- Diğer Mesaj Türleri
  - Temel Güvenlik Mesajları (Basic Safety Message, BSM): ABD'deki DSRC/WAVE sistemlerinde tanımlanan temel güvenlik mesajıdır (SAE J2735). Bir aracın konum, hız ve yön bilgileri saniyede yaklaşık 10 kez yayınlanmaktadır. ETSI CAM mesajlarına benzer bir işlevi bulunmaktadır.
  - MCM (Maneuver Coordination Message): Henüz geliştirme aşamasında olan bir mesaj türüdür. Araçlar arasında manevra koordinasyonu sağlamak amacıyla gelecekteki K-AUS hizmetlerinde (Gün 2 ve Gün 3 uygulamaları) kullanılması planlanmaktadır.

2.6. K-AUS Uygulamaları ve Hizmetleri

K-AUS hizmetlerinin belirlenmesi, Avrupa Komisyonu'nun C-ITS Platformu aracılığıyla Avrupa genelinde uyumlu, birlikte çalışabilir ve güvenli sistemlerinin geliştirilmesine yönelik öncelikli kullanım senaryoları ve yol haritalarının tanımlanması ile başlamıştır. Bu çerçeve, Amsterdam Grubu (AG) ve C2C-CC gibi endüstriyel ve altyapı odaklı ittifaklar tarafından stratejik yaklaşımlar ve uygulama planlarına dönüştürülmektedir. Son aşamada ise tanımlanan hizmetlerin teknik standartları ve mesaj setleri ETSI, CEN ve ISO gibi standartlaştırma kuruluşları tarafından geliştirilmekte; bu standartların saha uygulamaları ve birlikte çalışabilirlik testleri C-Roads Platformu tarafından koordine edilmektedir.

2.6.1. C-ITS Platformu'nun belirlediği K-AUS hizmet ve uygulamaları

C-ITS Platformu; Avrupa Komisyonu tarafından, Avrupa genelinde K-AUS hizmetlerinin yaygınlaştırılmasına yönelik ortak bir vizyon oluşturmak amacıyla kurulmuştur. Platform, bu vizyonu desteklemek ve birlikte çalışabilir bir K-AUS ekosisteminin temellerini atmak üzere kamu kurumları, sanayi temsilcileri, araştırma kuruluşları ve standart geliştirme örgütleri gibi çeşitli paydaşları bir araya getirmektedir.
C-ITS Platformu'nun öncelikli hedeflerinden biri; Avrupa genelinde güvenli, verimli ve çevre dostu bir karayolu taşımacılığı sistemine geçişi desteklemektir. Bu kapsamda, Platform bünyesinde oluşturulan çalışma grupları aracılığıyla teknik, düzenleyici ve ekonomik boyutlarda değerlendirmeler yapılmaktadır. Özellikle Maliyet-Fayda Analizi Çalışma Grubu (Working Group 1- WG1), farklı K-AUS uygulama senaryolarının ekonomik etkilerini analiz etmek üzere önemli katkılar sağlamıştır.

WG1 kapsamında yürütülen çalışmalar sonucunda, çeşitli uygulama senaryolarını değerlendirmek amacıyla K-AUS hizmet paketleri (service bundles) tanımlanmıştır. Bu hizmetler, uygulama önceliği ve olgunluk düzeyine göre "Day 1" (Gün 1-Hemen Dağıtım) ve "Day 1.5" (Gün 2-Gelişmiş Dağıtım) kategorileri altında sınıflandırılmıştır (European Commission, 2016b:11-201; European Parliement, 2020:36-39; Botte vd., 2018).

- Gün 1 Hizmetleri: Gün 1 kategorisinde yer alan hizmetler; ağırlıklı olarak güvenlik odaklı olup K-AUS'un ilk aşamada uygulanması öngörülen temel hizmetlerini temsil etmektedir. Bu hizmetler, sürücü davranışlarını destekleyerek farkındalığı artırmayı, kazaları önlemeyi, trafik akışını optimize etmeyi ve trafik güvenliğini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Gün 1 hizmet paketleri ve uygulama örnekleri Çizelge 2.4.'te yer almaktadır (European Commission, 2016b:11-201).

Çizelge 2.4. Gün 1 K-AUS hizmet paketleri

Paket Adı	Odak Noktası ve Açıklaması	İçerdiği Önemli Uygulamalar
Paket 1 (Bundle 1)	V2V, ITS-G5 Tabanlı Güvenlik Hizmetleri.	Acil Durum Fren Lambası (EEBL), Acil Durum Aracı Yaklaşma Uyarısı (EVA), Yavaş veya Duran Araç Uyarısı (SSV/SVW), İleride Trafik Sıkışıklığı Uyarısı (TJW), Tehlikeli Konum Bildirimi (HLN).

Çizelge 2.4. (devam) Gün 1 K-AUS hizmet paketleri

Paket Adı	Odak Noktası ve Açıklaması	İçerdiği Önemli Uygulamalar
Paket 2 (Bundle 2)	V2I, Otoyol Odaklı Hizmetler.	Araç İçi İşaretler (VSGN), Araç İçi Hız Limitleri (VSPD), Araç Verisi Probu (PVD), Şok Dalgası Sönümleme (SWD), Yol Çalışması Uyarısı (RWW), Hava Koşulları Uyarısı (WTC).
Paket 3 (Bundle 3)	V2I, Kentsel Alan Odaklı Hizmetler.	Yeşil Işık Optimal Hız Tavsiyesi /Yeşile Kalan Süre (GLOSA / TTG), Sinyal İhlali / Kavşak Güvenlik Uyarısı (SigV / ICW), Belirlenmiş Araçlar İçin Trafik Sinyali Öncelik Talebi (TSP).

- Gün 1,5 Hizmetleri: Gün 1.5 kategorisinde yer alan hizmetler, Gün 1 uygulamalarının üzerine inşa edilmekte olup; daha yüksek düzeyde operasyonel verimlilik, trafik yönetimi ve kullanıcı konforu sağlamayı hedeflemektedir. Bu kapsamda geliştirilen hizmetler, özellikle şehir içi trafik yönetimi, lojistik operasyonların optimizasyonu ve hassas yol kullanıcılarının korunması gibi alanlarda önemli faydalar sağlamaktadır. Gün 1,5 hizmet paketleri ve uygulama örnekleri Çizelge 2.5.'te yer almaktadır (European Commission, 2016b:11-201).

Çizelge 2.5. Gün 1,5 K-AUS hizmet paketleri

Paket Adı	Odak Noktası ve Açıklaması	İçerdiği Önemli Uygulamalar
Paket 4 (Bundle 4)	V2I, Park Bilgileri.	Cadde Dışı Park Bilgileri (PInfo), Cadde Üzeri Park Yönetimi (PMang), Park Et ve Devam Et Bilgileri (Park&Ride), Alternatif Yakıtlı Araçlar İçin Yakıt/Şarj Bilgileri (iFuel).
Paket 5 (Bundle 5)	V2I, Trafik ve Diğer Bilgiler.	Trafik Bilgileri ve Akıllı Rotalama (SmartR).
Paket 6 (Bundle 6)	Yük Taşımacılığına Özgü Hizmetler.	Yükleme bölgesi yönetimi (LZM), Bölge erişim kontrol yönetimi (Zone access control management).
Paket 7 (Bundle 7)	V2X, Kentsel Alanlar.	Savunmasız Yol Kullanıcısı Koruması (VRU),
Paket 8 (Bundle 8)	V2V	Kooperatif çarpışma riski uyarısı (CCRW), Motosiklet yaklaşıyor göstergesi (MCA).
Paket 9 (Bundle 9)	V2I	Yanlış yönde sürüş uyarısı (WWD).

2.6.2. C2C-CC'nin belirlediği K-AUS hizmetleri ve uygulamaları

C2C-CC, Avrupa'da K-AUS uygulamalarının ilk aşamalarının belirlenmesi ve sonraki inovasyon evrelerinin planlanmasında öncü bir rol üstlenmiştir. Konsorsiyum, V2X iletişim teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması sürecinde Avrupa genelinde koordinasyon, standardizasyon ve birlikte çalışabilirlik hedeflerini desteklemektedir.

C2C-CC tarafından geliştirilen K-AUS Yol Haritası, V2X tabanlı iletişimin aşamalı biçimde gelişimini öngören bir dağıtım stratejisi sunmaktadır. Bu strateji, "Day 1 (Gün 1)", "Day 2 (Gün 2)" ve "Day 3+ (Gün 3+)" (veya "Day N") olarak adlandırılan üç ana aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalı yapı, araç otomasyon düzeylerinin kademeli artışına ve V2X donanımlı araçların pazardaki yaygınlık oranına bağlı olarak şekillenmektedir.

C2C-CC, söz konusu hizmetleri ve uygulamaları geliştirirken, ETSI ve CEN gibi kuruluşlarla yakın iş birliği içinde çalışmıştır. Bu iş birliği; teknik birlikte çalışabilirlik, mesaj formatlarının standardizasyonu ve Avrupa genelinde tutarlı bir K-AUS ekosisteminin oluşturulmasını mümkün kılmıştır (C2C-CC, 2019:31-36; European Commission, 2016b:11-201; European Parliement, 2020:36-39; Festag, 2014; Botte vd., 2018).

Aşağıda, C2C-CC tarafından tanımlanan üç ana dağıtım aşaması (Gün 1, Gün 2, Gün 3+) ve bu aşamalara ait temel K-AUS uygulamaları özetlenmiştir.

- Gün 1- Farkındalık Odaklı Sürüş (Status Data): Gün 1 aşaması, "durum verisine dayalı farkındalık sürüşü" kavramı üzerine kuruludur. Bu aşamada araçlar ve yol altyapısı, hem kendi dinamik durumlarına (örneğin hız, yön, konum, frenleme) hem de çevresel koşullara (örneğin tehlikeli hava veya yol durumu) ilişkin bilgileri diğer yol kullanıcılarıyla paylaşmaktadır. Bu dönemde temel iletişim mesajları CAM ve DENM olup, bu mesajlar sürücü farkındalığını artırmak ve tehlikeli durumlara karşı erken uyarı sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Gün 1 uygulamaları ağırlıklı olarak güvenlik odaklıdır ve sürücülere beklenmedik durumlarda tepki verebilmeleri için ek zaman kazandırmayı hedeflemektedir. C2C-CC tarafından geliştirilen Gün 1 K-AUS hizmetleri Çizelge 2.6.'da yer almaktadır (C2C-CC, 2019:31-36).

Çizelge 2.6. Gün 1 K-AUS hizmetleri

K-AUS Hizmeti	Uygulama Tanımı / Kapsam	İletişim Türü
Acil Durum Elektronik Fren Lambası (EEBL)	Öndeki araç sert fren yaptığında, arkadaki sürücüleri uyarmayı amaçlamaktadır.	V2V
Acil Durum Aracı Yaklaşma Uyarısı (EVA)	Sürücüleri, siren sesi veya ışık çubuğu görünmeden önce yaklaşan acil durum araçları hakkında bilgilendirmektedir.	V2V
Yavaş veya Duran Araç Uyarısı (SSV/SVW)	Yavaşlayan veya kaza/arıza nedeniyle duran araçlar hakkında diğer sürücüleri uyarmaktadır.	V2V / I2V
Trafik Sıkışıklığı Uyarısı (TJW)	İlerideki trafik sıkışıklığına ilişkin uyarı sağlamaktadır.	V2V / I2V
Tehlikeli Konum Bildirimi (HLN)	Kaygan zemin, keskin viraj gibi tehlikeli yol koşulları hakkında çevredeki araçları bilgilendirmektedir.	V2V / I2V
Araç İçi İşaretler (IVS / VSGN)	Yol kenarı ünitelerinden alınan dinamik trafik işaretleri veya kısıtlamalar hakkında bilgi vermektedir.	I2V
Araç İçi Hız Limitleri (VSPD)	Güncel hız limitleri araç içinde görüntülenmektedir.	I2V
Yol Çalışmaları Uyarısı (RWW)	Sürücüleri mevcut veya planlanan yol çalışmaları hakkında bilgilendirmektedir.	I2V
Sinyal İhlali / Kavşak Güvenliği Uyarısı (SigV / ICW)	Sürücüleri kırmızı ışık ihlali riski konusunda uyarmaktadır.	V2I
Yeşil Işık Optimum Hız Tavsiyesi / Yeşile Kalan Süre (GLOSA / TTG)	Kavşaklardan durmadan geçiş için optimal hız tavsiyesi sağlamaktadır.	V2I
Trafik Sinyali Öncelik Talebi (TSP)	Acil durum veya toplu taşıma araçları için trafik ışığı önceliği sağlamaktadır.	V2I
Şok Dalgalarını Sönümleme (SWD)	Trafikte ani yavaşlamalardan kaynaklı dalgaları azaltmaktadır.	V2I
Hava Koşulları Uyarısı (WTC)	Tehlikeli veya değişen hava koşulları hakkında bilgi sağlamaktadır.	V2I / V2V
Araç Verisi Toplama (PVD)	Araçlardan elde edilen veriler, trafik yönetimi ve bakım çalışmaları için toplanmaktadır.	V2I

- Gün 2 Aşaması- Algılamaya Dayalı Sürüş (Sensor Data): Gün 2 aşaması, V2X iletişim sisteminin sensör verileriyle genişletilmesini temsil etmektedir. Bu aşamada araçlar ve RSU'lar, yerleşik sensörler (kamera, radar, lidar vb.) aracılığıyla algılanan nesnelere ilişkin bilgileri paylaşmaktadır. Bu sayede araçlar, kendi sensör menzili dışında kalan engelleri veya nesneleri (örneğin kavşak arkasındaki yayalar, bisikletliler) algılayabilmektedir. Bu aşamanın temel yeniliği, CPM adı verilen mesaj türünün tanıtılmasıdır. Gün 2 döneminde CAM ve DENM mesajları da ek veri alanlarıyla genişletilerek daha gelişmiş uygulamalara temel oluşturur. C2C-CC tarafından geliştirilen Gün 2 K-AUS hizmetleri Çizelge 2.7.'de yer almaktadır (C2C-CC, 2019:31-36).

Çizelge 2.7. Gün 2 K-AUS hizmetleri

K-AUS Hizmeti	Uygulama Tanımı / Kapsam	İletişim Türü
Kooperatif Adaptif Hız Kontrolü (C-ACC)	V2X verilerini kullanarak öndeki araç ve trafik dinamiklerine göre hız kontrolü optimize edilmektedir.	V2V / I2V
Kooperatif Çarpışma Riski Uyarısı (CCRW)	Sollama veya kavşak girişlerinde çarpışma riskini azaltmaktadır.	V2V
Motosiklet Yaklaşma Göstergesi (MCA)	Motosikletlerle diğer araçlar arasındaki çarpışma risklerini azaltmak için erken uyarı sağlamaktadır.	V2V
Savunmasız Yol Kullanıcısı Koruması (VRUP)	Yayalar ve bisikletliler gibi hassas yol kullanıcılarının varlığı konusunda uyarı vermektedir.	V2X (V2V / I2V)
Kooperatif Birleşme Desteği (CM)	Şerit birleşimi veya daralma alanlarında araçların kooperatif olarak katılımını desteklemektedir.	V2V

- Gün 3+ Aşaması- Kooperatif Sürüş (Intention and Coordination Data): Day 3+ aşaması, yüksek düzeyde otomasyona sahip araçların (Seviye 3-4) trafiğe entegrasyonunu desteklemektedir. Bu aşamada, araçlar yalnızca durum veya algılama bilgisi paylaşmakla kalmaz, aynı zamanda niyetlerini ve planlanan yörüngelerini diğer araçlarla koordineli bir biçimde paylaşabilmektedir. Böylece, araçlar arasında kooperatif manevra planlaması ve çarpışma önleyici koordinasyon mümkün hale gelmektedir. C2C-CC tarafından geliştirilen Gün 3+ K-AUS hizmetleri Çizelge 2.8.'de yer almaktadır (C2C-CC, 2019:31-36).

Çizelge 2.8. Gün 3+ K-AUS hizmetleri

K-AUS Hizmeti	Uygulama Tanımı / Kapsam	İletişim Türü
Kooperatif Birleşme Desteği (CM)	Şerit birleşimi esnasında araçların konum ve niyet bilgilerini paylaşarak manevrayı birlikte planlamasını sağlamaktadır.	V2V / I2V
Kooperatif Şerit Değişimi (CLC)	Şerit değişimi sırasında araçların birbirleriyle koordineli şekilde manevra yürütmesini sağlamaktadır.	V2V
Gelişmiş C-ACC (Platooning)	Araç dizilerinin (platoon) otomatik boylaması ve yanal kontrolünü sağlamaktadır.	V2V
Yol Kullanım Alanı Rezervasyonu (TDAR)	Bir aracın belirli bir yol kesimini işgal etme niyetini diğer araçlara önceden bildirmektedir.	V2V
Gelişmiş Savunmasız Yol Kullanıcısı Koruması (IVRUP)	Yayaların veya bisikletlilerin aktif K-AUS iletişim modülleriyle tehlikeli durumlarda diğer araçları uyarmasını sağlamaktadır.	P2V
Otonom Platooning (Kamyon Dizisi)	Kamyonların otoyolda otomatik konvoy düzeninde seyretmesini sağlamaktadır.	V2V
Kontrol Geçişi Bildirimi (ToCN)	Otomatik sürüş modundan manuel sürüşe geçiş durumunu diğer araçlara bildirmektedir.	V2V

Bu hizmetler, sürücülere ve diğer yol kullanıcılarına kritik trafik bilgilerini gerçek zamanlı olarak ileterek, potansiyel tehlikelerin önceden fark edilmesini ve gerekli önlemlerin alınmasını mümkün kılar. Bu kapsamda Karayolu güvenliği ile ilgili asgari evrensel trafik bilgi hizmetinin kapsayacağı olaylar veya koşullar AB Tüzüğünün 3. paragrafına göre aşağıdaki kategorilerden en az birinden oluşmalıdır (European Union, 2023a:1-9; TISA, 2025:7-19):

- Geçici kaygan yol (temporary slippery road): Yol yüzeyinin çeşitli etkenler sonucunda (örneğin yağ, kimyasal maddeler, buz veya su birikintileri) geçici olarak kayganlaşması durumu söz konusu olabilir. Bu tür uyarılar, sürücülerin mevcut yol koşullarına uygun şekilde hızlarını ve araç yönlerini ayarlamalarını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.
- Yolda hayvan/insan/engel/çöp (animal, people, obstacles, debris on the road): Yol üzerinde tehlike oluşturabilecek hayvanların, insanların, çeşitli engellerin (örneğin düşmüş mobilyalar) veya enkazın bulunması durumunu ifade etmektedir. Bu bilgilendirme, sürücülere olası tehlikelere karşı önceden uyarı sağlayarak trafik güvenliğini artırmayı ve olası kazaların meydana gelme riskini azaltmayı amaçlamaktadır.
- Korunmasız kaza alanı (unprotected accident area): Kaza mahallinin henüz güvenlik altına alınmamış olması ve bu alanın yaklaşan trafik için potansiyel bir tehlike oluşturması durumunu ifade etmektedir. Bu uyarı, sürücülerin yaklaşmakta oldukları kaza bölgeleri hakkında önceden bilgilendirilmesini sağlayarak genel trafik güvenliğini artırmayı ve ikincil kazaların önlenmesini amaçlamaktadır.
- Kısa süreli yol çalışmaları (short-term road works): Yol düzenini veya sürüş kurallarını etkileyebilecek nitelikteki geçici ya da kısa süreli yol yapım, bakım ve onarım çalışmalarını ifade etmektedir. Bu uyarılar, sürücülerin yaklaşmakta olan yol çalışmaları ve olası kısıtlamalar hakkında önceden bilgilendirilmesini sağlayarak trafik akışının güvenli ve düzenli bir şekilde sürdürülmesini temin etmeyi ve çarpışma riskini azaltmayı amaçlamaktadır.
- Yanlış yöne giden sürücü (wrong-way driver): Aracın, otoyol veya çift şeritli karayolu gibi yüksek hızlı ulaşım ağlarında ters yönde seyretmesi durumunu ifade etmektedir. Bu uyarı hizmetinin temel amacı hem ters yönde ilerleyen aracı hem de karşı yönden gelen sürücüleri olası çarpışma riskine karşı önceden bilgilendirerek trafik güvenliğini artırmaktır.

- Yönetilmeyen yol tıkanıklığı (unmanaged blockage of a road): Yolun tamamının (yalnızca bir şerit değil) kontrolsüz bir biçimde trafiğe kapanması ve araç geçişine olanak vermemesi durumunu ifade etmektedir. Bu durum; kaya düşmesi, sel, büyük çaplı trafik kazası veya benzeri nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Söz konusu uyarının temel amacı, sürücülerin güzergâhlarını önceden değiştirerek trafik akışının güvenli ve verimli bir şekilde yönlendirilmesini sağlamaktır.
- Azalmış görüş mesafesi: Görüşü önemli ölçüde kısıtlayan hava koşulları veya çevresel faktörlerin bulunması durumudur
- Olağanüstü hava koşulları: Görüş mesafesini önemli ölçüde kısıtlayan sis, yoğun yağış, kar, duman veya toz gibi hava koşulları ya da diğer çevresel faktörlerin bulunması durumunu ifade etmektedir. Bu tür koşullar, sürücülerin çevresel farkındalığını azaltarak trafik güvenliğini olumsuz yönde etkileyebileceğinden, ilgili uyarılar sürücülerin dikkat düzeyini artırmayı ve kazaların önlenmesini amaçlamaktadır.

2.7. Kooperatif, Bağlantılı ve Otonom Hareketlilik (Cooperative, Connected and Automated Mobility, CCAM)

CCAM, araçların hem birbirleriyle hem de yol altyapısıyla kablosuz haberleşme kurabildiği (bağlantılı/kooperatif) ve sürüş görevlerini gelişmiş sensörler ile yapay zekâ temelli sistemler aracılığıyla kısmen veya tamamen üstlenebildiği (otonom) yeni nesil bir ulaşım sistemidir. CCAM'in temel amacı; yol güvenliğini artırmak, sürücülerin doğru ve zamanında kararlar almasını desteklemek, trafik koşullarına uyumu güçlendirmek ve potansiyel riskleri en aza indirmektir. Bunun yanında, trafik akışının verimliliğini yükseltmek ve eko-sürüş gibi araç içi teknolojiler aracılığıyla çevre dostu ulaşım biçimlerini teşvik etmek de önemli hedefler arasındadır. CCAM sistemleri, kooperatif ve otonom sürüş yeteneklerini desteklemek amacıyla çeşitli teknolojik bileşenlerin bütünleşik şekilde kullanımına dayanır.

- Bağlantılı Hareketlilik (Connected): Araçlar; V2V, V2I, V2P ve V2N ile V2X haberleşme teknolojileri üzerinden sürekli ve çift yönlü veri alışverişi gerçekleştirmektedir.
- Kooperatif Hareketlilik (Cooperative): Sistem, yalnızca veri paylaşımıyla sınırlı kalmayarak araçların ve altyapı unsurlarının manevra niyetlerini, planlanan yörüngelerini ve algı verilerini paylaşmasına olanak tanımaktadır. Bu sayede trafik akışı, bireysel kararlar yerine ortaklaşa ve koordineli bir biçimde yönetilmektedir.

- Otonom Hareketlilik (Automated): Sürüş görevlerinin, SAE tarafından tanımlanan 0 (otomasyon yok) ile 5 (tam otomasyon) seviyeleri arasında, belirli ölçülerde veya tamamen teknik sistemler tarafından devralınmasını ifade etmektedir.
- Bazı çalışmalarda elektromobilite ve uzaktan kontrollü araçlar da kapsam dâhilinde değerlendirilmektedir.

CCAM teknolojileri, üç aşamalı bir işlevsel zincir çerçevesinde çalışmaktadır:

- Algılama: Araçlar, lidar, radar ve kamera gibi gelişmiş sensörler aracılığıyla çevrelerini algılamaktadır. Bu yerel algı verileri, bağlantı teknolojileri sayesinde paylaşılır ve böylece görüş hattı ötesindeki durumları (örneğin viraj arkası veya gizli tehlikeler) kapsayan kolektif bir algı oluşturulur.
- Karar Verme: Yapay zekâ ve ileri algoritmalar, toplanan büyük ölçekli verileri analiz ederek yörünge planlaması yapmakta, potansiyel riskleri öngörmekte ve kooperatif hareketlilik için gerekli koordinasyon kararlarını üretmektedir.
- Uygulama: Alınan kararlar doğrultusunda aracın hız, yönlendirme ve fren sistemleri kontrol edilerek güvenli, konforlu ve verimli bir sürüş sağlanmaktadır.

CCAM sistemlerinin temel hedefleri ve öngörülen kazanımları şu şekilde özetlenebilir:

- Trafik Güvenliği: İnsan kaynaklı hataların azaltılması yoluyla trafik kazalarının ve can kayıplarının en aza indirilmesi, uzun vadede ise “Vision Zero” hedeflerine ulaşılması.
- Verimlilik ve Kapasite Artışı: Araçlar arası güvenli takip mesafelerinin azaltılması (örneğin kamyon konvoyları- platooning) sayesinde yol kapasitesinin ve trafik akışının optimize edilmesi.
- Sürdürülebilirlik: Gereksiz hızlanma ve frenlemelerin azaltılması (örneğin Yeşil Işık Hız Önerisi- GLOSA uygulamaları) yoluyla yakıt tüketiminin ve karbon emisyonlarının düşürülmesi.
- Erişilebilirlik: Yaşlılar, engelliler ve sürücü belgesi bulunmayan bireyler için bireysel hareketlilik olanaklarının genişletilmesi (Botte vd., 2019; Eshetu, Valilai ve Wicaksono, 2024; European Commission, 2016b:11-201; European Parliement, 2020:36-39).

3. K-AUS ALANINDA KÜRESEL ÇAPTA YÜRÜTÜLEN UYGULAMALAR VE STRATEJİK YAKLAŞIMLAR

K-AUS kapsamında araştırma, geliştirme ve uygulamalara katkı sunan ortaklık ve platformlar ile küresel ölçekte 2015-2025 yılları arasında yürütülen K-AUS uygulamaları ve bu alana ilişkin politika belgeleri, hukuki düzenlemeler ve stratejik yaklaşımlar bu bölümde incelenmektedir.

3.1. K-AUS Kapsamında Araştırma, Geliştirme ve Uygulamalara Katkı Sunan Ortaklık ve Platformlar

K-AUS alanındaki küresel ve bölgesel paydaşlar; araştırma, standart belirleme, uygulama, uyumlaştırma ve politika savunuculuğu gibi çeşitli yollarla K-AUS'un gelişimine önemli katkılar sunmaktadır. Küresel düzeyde, K-AUS teknolojilerinin uyumluluğunu ve gelişimini sağlamak amacıyla birçok kilit konsorsiyum ve standart geliştirme kuruluşu faaliyet göstermektedir. Bu kuruluşlar arasında 5G Otomotiv Derneği (5GAA), 5G'nin düşük gecikme süresi ve yüksek hız özelliklerinden yararlanarak küresel standartların belirlenmesi ve pilot projelerin desteklenmesine yönelik çalışmalar yapmaktadır (5GAA, 2025a). Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO), ISO/TC 204 teknik komitesi aracılığıyla, AUS, K-AUS, bağlantılı araçlar ve otonom araçlara yönelik uluslararası standartlaştırma çalışmalarını yürütmektedir (ISO, 1992, 2025:2-4). 3. Nesil Ortaklık Projesi (3GPP), hücresel telekomünikasyon teknolojileri için sistem tanımları sunarak V2X teknolojileri aracılığıyla bağlantılı ve otonom araç ekosistemlerinin gelişimini desteklemektedir (3GPP, 2025). Otomotiv Mühendisleri Derneği (SAE), V2X iletişimi için güvenlik ve birlikte çalışabilirliği merkeze alarak, uluslararası kuruluşlarla iş birliği içerisinde standartlar geliştirmektedir(Society of Automotive Engineers [SAE], 2025). Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE), K-AUS bileşenlerinin küresel ölçekte uyumlu, güvenilir ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla güvenli veri iletimi, kimlik doğrulama ve sertifika yönetimi gibi alanlarda standartlar belirlemektedir (IEEE, 2025). Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU), kablosuz haberleşmede kullanılan frekans bantlarının uluslararası düzeyde planlanması ve AUS için standartların oluşturulması yoluyla bağlantılı ve otonom araç teknolojilerinin küresel uyumluluğuna katkı sağlamaktadır (ITU, 2025).

Avrupa bölgesinde ise, K-AUS teknolojilerinin yaygınlaştırılmasında rol oynayan çeşitli konsorsiyumlar ve platformlar mevcuttur. Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (ETSI), TC ITS Teknik Komitesi aracılığıyla, AUS, bağlantılı araçlar ve otonom araçlar alanında standartlar belirlemekte ve bu alandaki arayüzler ile çok modlu ulaşım sistemleri arasındaki birlikte çalışabilirliği geliştirmektedir (ETSI, 2025). Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN), CEN/TC 278 Teknik Komitesi aracılığıyla, özellikle araç veri paylaşımı ve V2I/I2V iletişimi için teknik çerçeveler geliştirmektedir (CEN, 2025). C-Roads Platformu, AB üye devletleri ve yol işletmecileri tarafından kurulmuş olup, K-AUS hizmetlerinin sınır ötesi ve uyumlu bir şekilde uygulanmasını sağlamak amacıyla ortak şartnameler ve iletişim profilleri geliştirmekte ve hibrit iletişim modellerine odaklanmaktadır (C-Roads, 2022b:14-17). C2C-CC, Avrupa genelinde K-AUS teknolojilerinin uyumlu dağıtımını teşvik etmekte ve uygulamaları Gün 1 (Farkındalık Sürüşü), Gün 2 (Algılama Sürüşü) ve Gün 3+ (Kooperatif Sürüş) aşamalarına ayırmaktadır (C2C-CC, 2019:31-36). Amsterdam Group (AG), ulusal yol otoriteleri, ücretli yol işletmecileri, şehir temsilcileri ve otomotiv sanayisini bir araya getirerek, K-AUS dağıtımında yatırım önceliklerini dengelemeyi amaçlamaktadır (EU EIP, 2021:14; European Commission, 2016b:11-201). ERTICO-ITS Europe, akıllı hareketlilik ve otonom sürüş teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik projeler yürütmekte ve Avrupa genelinde akıllı ve güvenli hareketlilik çözümlerinin yaygınlaştırılmasını desteklemektedir (ERTICO, 2023; ERTICO- ITS Europe, 2025). POLIS, sürdürülebilir hareketlilik alanında şehir ve bölgeleri bir araya getiren bir ağ olarak yerel uygulamalar ve K-AUS projelerinin geliştirilmesini teşvik etmektedir (POLIS, 2018). DATEX II, karayolu trafiği ve seyahat bilgileri alanında veri paylaşımını standartlaştıran bir platform olup, V2V ve V2I iletişimi için veri entegrasyonunu mümkün kılmaktadır (DATEX II, 2025). Avrupa Ulusal Erişim Noktası Koordinasyon Örgütü (NAPCORE), Avrupa genelinde hareketlilik veri platformlarını koordine ve standardize ederek K-AUS hizmetleri için veri paylaşımını kolaylaştırmaktadır (napcore, 2025).

Diğer bölgesel paydaşlar arasında ise ABD Ulaştırma Bakanlığı (U.S. DOT) ITS Joint Program Office (ITS JPO), ulusal düzeyde AUS'un araştırılmasını, geliştirilmesini ve uygulanmasını koordine etmektedir (Intelligent Transportation Systems Joint Program Office [ITS JPO], 2025). iMOVE Australia, otonom ve bağlantılı araç teknolojilerinin entegrasyonu, güvenlik ve HD haritalama alanlarında çalışmalar yürütmektedir (Department of Transport and Main Roads, 2023:1-2; Desai vd., 2024:2-3; (Milford, Garg ve Mount,

2019:11-12; Hausler ve Milford, 2021:1, 2025a; Queensland Government, 2020) . ITS Korea (Güney Kore), AUS alanında standart belirleme, sertifikasyon ve performans değerlendirme süreçlerini yürütmekte ve uluslararası pazarlarda teknolojilerin yaygınlaşmasını sağlamaktadır (ITS Korea, 2025). Çin'deki Sanayi ve Bilgi Teknolojileri Bakanlığı (MIIT), 5G+ Endüstriyel İnternet girişimi ile 5G baz istasyonları aracılığıyla bağlantılı ve otonom araçların K-AUS uygulamaları için kritik veri ve iletişim altyapısını sağlamaktadır (Ministry of Industry and Information Technology [MIIT], 2025).

3.2. Avrupa Ülkelerinde K-AUS Uygulamaları ve Stratejik Yaklaşımlar

AB, K-AUS alanında kapsamlı bir politika yaklaşımı benimsemekte ve bu alandaki sistemlerin geliştirilmesi ve uygulanması için çeşitli yapılar ve platformlar oluşturmaktadır. Avrupa Komisyonu; K-AUS'un yaygınlaşması için üye devletler, özel sektör ve yerel otoritelerle iş birliği yaparak teknik standartların uyumunu sağlamakta ve Horizon Europe gibi programlarla yenilikçi projelere mali destek sunmaktadır. Ayrıca çeşitli platform ve ortaklıklarla Ar-Ge ve kamu-özel sektör iş birliklerini teşvik etmektedir.

FRAME Mimarisi (European ITS Framework Architecture, Avrupa AUS Çerçeve Mimarisi), AB sınırları içerisinde entegre ve birlikte çalışabilir AUS teknolojilerinin etkin biçimde uygulanabilmesi için gerekli çerçeveyi sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. İlk olarak KAREN Projesi kapsamında oluşturulan bu mimari, Ekim 2000 tarihinde yayımlanmıştır. Mimari'nin temel hedefi; AUS uygulamalarının planlanması sürecine sistematik bir yapı kazandırmak, birden fazla sistemin eşzamanlı olarak hayata geçirilmesi durumunda entegrasyonu kolaylaştırmak ve sınır ötesi dâhil olmak üzere sistemler arası birlikte çalışabilirliği temin etmektir. Bu mimari, hemen hemen tüm AUS uygulamalarına ve hizmetlerine yönelik üst düzey gereksinimleri ve işlevsellikleri kapsamaktadır (FRAME, 2023; FRAME NEXT, 2018:6-9, 2023). Mimari, AUS'un farklı boyutlarını değerlendirebilmek amacıyla çeşitli "görünümler" ve "katmanlar" aracılığıyla yapılandırılmıştır. FRAME'in temel özellikleri aşağıda açıklanmıştır:

- Fonksiyonel Görünüm (Functional View): Bir AUS hizmetinin sağlanabilmesi için sistemin "ne yapması gerektiğini" tanımlamakta; ancak bunu gerçekleştirirken herhangi bir teknik çözümü veya teknolojiyi zorunlu kılmamaktadır. Kullanıcı ihtiyaçlarına

dayalı olarak geliştirilen bu görünüm, fonksiyonel gereksinimleri dokuz ana alan altında sınıflandırmaktadır (FRAME, 2023):

  - Elektronik Ücret Toplama Tesisleri Sağlama (Provide Electronic Payment Facilities)
  - Güvenlik ve Acil Durum Tesisleri Sağlama (Provide Safety and Emergency Facilities)
  - Trafiği Yönetme (Manage Traffic)
  - Toplu Taşıma Operasyonlarını Yönetme (Manage Public Transport Operations)
  - Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri Sağlama (Provide Advanced Driver Assistance Systems)
  - Gezgin Yolculuk Yardımı Sağlama (Provide Traveler Journey Assistance)
  - Kanun Uygulama Desteği Sağlama (Provide Support for Law Enforcement)
  - Yük ve Filo Operasyonlarını Yönetme (Manage Freight and Fleet Operations)
  - Kooperatif Sistemler Desteği Sağlama (Provide Support for Cooperative Systems)

- Kullanıcı İhtiyaçları (User Needs): AUS hizmetlerinin hangi işlevleri yerine getirmesi gerektiğini tanımlayan gereksinimler bütünüdür. Süreç, paydaşların beklentilerinin "Paydaş İstekleri" biçiminde toplanmasıyla başlamakta; bu istekler daha sonra "Kullanıcı İhtiyaçları"na dönüştürülmektedir. Kullanıcı ihtiyaçları, belirli bir hizmetin desteklenmesi için gerekli işlevselliğe işaret eder ve fonksiyonel görünümle doğrudan ilişkilidir.
- Fiziksel Görünüm (Physical View): AUS işlevselliğini sağlayan fiziksel sistemleri ve cihazları ile bunlar arasındaki iletişim bağlantılarını tanımlamaktadır. Fiziksel yapı, alt sistemler ve bunların bileşeni olan modüllerden oluşmaktadır. Alt sistemler hem birbirleriyle hem de dış sistemlerle olan etkileşimlerini fiziksel veri akışları üzerinden gerçekleştirir:
  - Dahili veri akışları: Alt sistemler/modüller arasında gerçekleşen veri iletişimidir.
  - Harici veri akışları: Alt sistemler/modüller ile sonlandırıcılar (aktörler, kullanıcılar vb.) arasında gerçekleşen iletişimdir.
- Haberleşme Görünümü (Communications View): Fiziksel görünümde tanımlanan nesneler arasındaki veri alışverişini tanımlamaktadır. Her bir veri akışı için teknik parametreler belirlenir: veri türü, mesaj başına maksimum boyut (bayt), gecikme süreleri, mesaj gönderim aralıkları, aktarım modları, veri hızları ve mesaj yoğunlukları, uygulanan iletişim standartları. K-AUS kapsamında, bu görünüm DENM, CAM, IVIM, SPaT/MAP gibi mesaj türlerini temel almaktadır.

- Organizasyonel Görünüm (Organisational View): AUS hizmetlerinin hangi kuruluşlar tarafından sağlanacağını, nasıl işletileceğini ve yönetimsel yapılarını tanımlamaktadır. Ayrıca; değer yaratma zinciri, süreç adımları ve rol tanımları, organizasyonel sorumluluklar, gerekli beceriler ve davranışsal beklentiler gibi konular bu görünüm altında ele alınmaktadır.
- Emniyet ve Güvenlik Görünümü (Safety&Security View): AUS kapsamında ortaya çıkabilecek riskleri sistematik bir biçimde değerlendirmekte; bu kapsamda, sistem bileşenlerinin hatalı çalışmasından kaynaklanan sistem emniyeti, HMI'nin yol kullanıcılarının dikkatini dağıtarak güvenliği tehlikeye atma ihtimali üzerinden HMI emniyeti ve araçların trafik ortamındaki yanlış yönetimi veya sürücü davranışlarından doğabilecek trafik emniyeti gibi üç temel emniyet boyutunu dikkate almaktadır. Güvenlik boyutu ise, yetkisiz veri erişimi (özellikle kişisel verilere yönelik) ile hizmet reddi veya hizmetin kasıtlı olarak değiştirilmesi gibi siber tehdit ve saldırıları kapsamaktadır.

FRAME Mimarisi; metodoloji, mimari ve araçlar olmak üzere üç temel bileşeni kapsayan bütüncül bir yapıdır. Bu bileşenler AUS için kapsamlı, esnek ve sürdürülebilir bir çerçeve sunmaktadır. AB'nin 2010/40/EU sayılı AUS Direktifi ve bu direktifi güncelleyen 2023/2661 sayılı düzenleme, K-AUS ekosisteminin geliştirilmesini destekleyen bir dizi öncelikli alan ve temel eylem tanımlamaktadır. FRAME Mimarisi, AB'nin AUS Direktifi tarafından belirlenen öncelikli alanlara yönelik uygulama ve referans mimari desteği sunmaktadır.

K-AUS kapsamında AB'nin doğrudan taraf olduğu ya da politikalarını şekillendiren temel belge ve anlaşmalar ile AB tarafından yayımlanan başlıca direktifler ve strateji belgeleri şunlardır:

Viyana Sözleşmesi (Vienna Convention): Ozon tabakasını korumayı amaçlayan 1985 tarihli bir çerçeve sözleşmesidir. Bağlayıcı hedefler içermez, ancak bilimsel araştırma, zararlı faaliyetlere karşı önlemler ve teknoloji transferini teşvik eder. 1993'te 105 ülke tarafından onaylanmış ve Montreal Protokolü'nün temelini atmıştır. (United Nations, 1985).

Montreal Protokolü (Montreal Protocol): 1987'de kabul edilip 1989'da yürürlüğe giren, ozon tabakasını incelten maddelerin kullanımını sınırlayan bir anlaşmadır. Bilimsel verilere

dayalı olarak sıkça güncellenmiş ve 2016'daki Kigali Değişikliği ile HFC'ler gibi yüksek ısınma potansiyeline sahip maddeler de kontrol altına alınmıştır. Protokol, ozon tabakasının korunması ve iklim değişikliğiyle mücadelede büyük başarılar elde etmiş, küresel çevre politikalarına model olmuştur (United Nations, 1987).

BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UN Framework Convention on Climate Change): 1992 Rio Zirvesi'nde kabul edilerek küresel iklim değişikliğiyle mücadelede uluslararası iş birliğini düzenleyen bir anlaşmadır. Temel amacı, atmosferdeki sera gazı birikimlerini iklim sistemi üzerinde tehlikeli etkiler yaratmayacak seviyelere indirmektir. Yükümlülükler, ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre belirlenir. Ek-I ülkeleri, sera gazı emisyonlarını azaltma yükümlülüğüne sahipken, Ek-II ülkeleri gelişmekte olan ülkelere finansal ve teknolojik destek sağlamak ve emisyon azaltımı yapmak zorundadır. Ek listelerinde yer almayan ülkeler ise daha esnek raporlama yükümlülüklerine tabidir. Tüm taraflar, iş birliği yapma ve raporlama yükümlülüklerini yerine getirme sorumluluğuna sahiptir (United Nations, 1992).

Kyoto Protokolü (Kyoto Protocol): 1997'de kabul edilip 2005'te yürürlüğe giren, iklim değişikliğiyle mücadelede ilk somut uluslararası adımdır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne dayanan protokol, sanayileşmiş ve geçiş ekonomisine sahip ülkeleri, sera gazı emisyonlarını sınırlamak ve azaltmak için bağlayıcı hedefler koymaya zorlamaktadır (United Nations, 1997).

Paris Anlaşması (Paris Agreement): 2015'te kabul edilen ve küresel iklim değişikliğiyle mücadelede hukuken bağlayıcı olan bir antlaşmadır. Amacı, küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 1,5°C altında tutmak ve sera gazı emisyonlarını azaltmaktır. Anlaşma, tüm ülkeleri, gelişmiş ve gelişmekte olanlar dahil, Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkılar (NDC'ler) aracılığıyla emisyon azaltımına dâhil eder (United Nations, 2015).

Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal): AB'nin 2050'ye kadar net sıfır sera gazı emisyonu hedeflediği ve ekonomik büyümeyi kaynak kullanımından ayrıştırmayı amaçlayan bir dönüşüm planıdır. Bu mutabakat, sürdürülebilir kalkınma ve adil geçişi ön planda tutarak, tüm sektörlerde (enerji, ulaştırma, sanayi, tarım) sürdürülebilir çözümler geliştirmeyi hedefler. 2030'a kadar emisyonların %50-55 azaltılması planlanmaktadır. Ulaştırma sektörü, AB emisyonlarının büyük bir kısmını oluşturduğundan, 2050'ye kadar

%90 oranında emisyon azaltımı hedeflenmektedir. Bu hedef için dijitalleşme, sıfır ve düşük emisyonlu araçlar ve akıllı trafik yönetimi ön planda tutulmaktadır (European Commission, 2019:4-5).

Otonom Hareketliliğe Giden Yolda: Geleceğin Hareketliliği için Bir AB Stratejisi (On The Road To Automated Mobility: An EU Strategy For Mobility Of The Future): Strateji; güvenli, verimli ve kapsayıcı bir ulaşım sistemi oluşturmayı amaçlamakta, aynı zamanda adil bir geçişin sağlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu kapsamda; araştırma ve yenilik faaliyetlerinin desteklenmesi, özel sektör katılımının artırılması ve düzenleyici araçların geliştirilmesi temel hedefler arasındadır. Horizon Europe ve CCAM Ortaklığı gibi girişimlerle AB çapında iş birliği teşvik edilmekte, otonom araçlar için yeni güvenlik gereksinimleri belirlenmektedir. Ayrıca, Galileo Hizmetleri aracılığıyla hassas navigasyon sağlanmakta ve Veri Yasası ile Çip Yasası gibi yasal düzenlemelerle araç verilerinin kullanılabilirliği artırılmaktadır. 5G altyapısı ile otonom araçlar arasındaki iletişim güçlendirilmektedir. Strateji, Avrupa'nın dijitalleşme ve otomasyon alanındaki liderliğini pekiştirmeyi amaçlamaktadır (European Commission, 2018:2-5, 2024a).

2010/40/EU Sayılı Avrupa Parlamentosu ve AB Konseyi Direktifi-Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Karayolu Ulaşımı Alanında Kullanılması ve Diğer Ulaşım Modları ile Arayüzlere İlişkin Çerçeve: Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 7 Temmuz 2010 tarihli bu Direktifi, AB genelinde AUS'un tutarlı ve koordineli bir biçimde geliştirilmesi ve uygulanmasına yönelik bir çerçeve oluşturmaktadır. Direktifin temel amacı; artan yol trafiği, enerji tüketimi ve çevresel sorunlara yönelik çözümler geliştirmek üzere bilgi ve iletişim teknolojilerinin karayolu taşımacılığına entegrasyonunu sağlamaktır. Direktif dört öncelikli alan belirlemektedir:

- I. Yol, trafik ve seyahat verilerinin etkin kullanımı
- II. Trafik ve yük yönetimine yönelik AUS hizmetlerinin sürekliliği
- III. AUS tabanlı yol güvenliği ve emniyet uygulamaları
- IV. Araçların ulaştırma altyapısıyla bağlantılı hale getirilmesi.

AB'nin AUS'a ilişkin direktifinde belirtilen ve K-AUS'a yönelik çalışmalar çerçevesinde geliştirilecek spesifikasyonlar ve standartlar, IV numaralı öncelikli alan kapsamında

değerlendirilmektedir. Bu kapsamda araç içi platforma farklı AUS uygulamalarının entegrasyonu için; mevcut veya geliştirilmesi planlanan uygulamaların işlevsel gereksinimlerinin kapsamlı bir şekilde tanımlanmalı, altyapı sistemleriyle uyumlu işlevsellikler belirlenmeli ve açık sistem mimarisi çerçevesinde arayüzlerin tanımlanması sağlanmalıdır. Gelecekteki AUS uygulamalarının "tak ve çalıştır" prensibiyle entegrasyonunun sağlanması ve belirlenen mimarilerin yaygın kabulü için uygun bir standardizasyon sürecinin uygulanması da önemlidir. Ayrıca, kooperatif sistemlerin geliştirilmesi ve uygulanması kapsamında araçlar, yol altyapıları ve bunlar arasındaki veri alışverişini kolaylaştıracak teknolojik çözümler tanımlanmalı, veri ve bilgilere güvenli erişim sağlanmalıdır. Araç ve altyapı arasında veri alışverişi için standart mesaj formatları belirlenmeli, uluslararası düzeyde standardizasyon süreçleri işletilme ve bu iletişimi destekleyecek altyapı geliştirilmelidir (European Union, 2010:1-4).

Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Karayolu Ulaşımı Alanında Kullanılması ve Diğer Ulaşım Modları ile Ara Yüzlere İlişkin Çerçeve Hakkında 2010/40/AB Sayılı Direktifi Değiştiren Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 22 Kasım 2023 Tarihli ve 2023/2661/AB Sayılı Direktifi: Karayolu taşımacılığı ile diğer ulaşım modları arasındaki arayüzlerde AUS'un dağıtımına yönelik bir çerçeve oluşturan 2010/40/AB sayılı Direktifi'nin yerini almayı ve bu alandaki düzenlemeleri güncellemeyi amaçlamaktadır. Yeni Direktif, Avrupa ulaşım sisteminin daha verimli, güvenli, sürdürülebilir, akıllı ve dirençli bir hareketlilik yapısına ulaşmasını destekleyen "Sürdürülebilir ve Akıllı Hareketlilik Stratejisi" ile uyum içerisindedir. Bu doğrultuda belge, AUS uygulamalarının Avrupa genelinde sorunsuz bir şekilde entegre edilmesini teminen; özellikle veri kullanılabilirliği, veri erişilebilirliği ve "Hizmet Olarak AUS (ITS as a Service)" yaklaşımı çerçevesinde hizmet sunumu için yeni ve güncellenmiş düzenlemeleri ana hatlarıyla ortaya koymaktadır. Ayrıca Direktif; veri toplama ve dağıtım süreçleri, gizlilik ve kişisel verilerin korunması, siber güvenlik önlemleri ile AB genelinde teknik standartların oluşturulması ve sistemler arası birlikte çalışabilirliğin sağlanmasına yönelik hükümleri de detaylı bir şekilde düzenlemektedir. Bu Direktif çerçevesinde, AUS hizmetlerinin farklı yönlerini kapsayan dört ana öncelikli alan belirlenmiştir:

- I. Bilgiye dayalı hareketlilik ve seyahat hizmetlerine yönelik AUS uygulamaları,
- II. Seyahat, ulaşım ve trafik yönetimi alanlarında AUS hizmetleri,
- III. Yol güvenliği ve trafik emniyetine yönelik AUS çözümleri,

- IV. Kooperatif, bağlantılı ve otonom hareketlilik için AUS hizmetleri.

AB'nin AUS'a ilişkin 2023/2661/AB Sayılı Direktifinde tanımlanan ve K-AUS'a yönelik teknik düzenlemeleri, hizmet yapılarını ve güvenlik mekanizmalarını kapsayan spesifikasyonlar ve standartlar IV numaralı öncelikli alan kapsamında değerlendirilmektedir. Bu çerçevede, özellikle CCAM sistemlerini desteklemek amacıyla K-AUS'un gelişimi ve uygulanması için alınması gereken teknik ve yapısal önlemler ele alınmaktadır. Veri alışverişinin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi, araçlar ile altyapı arasındaki kesintisiz iletişimin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, verilerin ve bilgilerin erişilebilirliği garanti altına alınmalı ve ortak bir mesaj formatı benimsenmelidir. Güvenli ve tutarlı veri aktarımının sağlanabilmesi için iletişim altyapısının özellikleri açıkça tanımlanmalı ve sistemin sürdürülebilirliğini temin etmek amacıyla standardizasyon süreçleri uygulanmalıdır. Ayrıca; K-AUS'un güvenli bir şekilde işletilmesi için, açık anahtar sertifikaları ve güvenlik politikaları gibi önlemler belirlenmelidir. Sertifika politika otoritesi, güven listesi yöneticisi ve iletişim noktası gibi rolleri tanımlanmalı ve bu süreçlerin Avrupa Komisyonu tarafından koordine edilmesi sağlanmalıdır. Güvenlik modeli açık anahtar altyapısı (PKI) üzerinden yönetilmelidir ve Avrupa'daki güvenilir kök sertifika otoriteleriyle ortak bir güven listesi oluşturulmalıdır (European Union, 2023a:1-9).

Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin motorlu taşıtlar ve römorkları ile bu araçlar için tasarlanmış sistemler, bileşenler ve ayrı teknik birimler için genel güvenlikleri ve araç yolcularının ve savunmasız yol kullanıcılarının korunmasına ilişkin tip onayı gereklilikleri hakkında, (AB) 27 Kasım 2019 tarihli ve 2019/2144 Sayılı Tüzük: Motorlu taşıtlar ve römorklar ile bu araçlara ait sistemler, bileşenler ve teknik birimler için güvenlik gerekliliklerini belirleyen temel mevzuattır. Bu yönetmelik, karayolu trafik kazalarının büyük bir kısmının insan hatasından kaynaklandığına dair verilerden hareketle, otonom ve gelişmiş sürücü destek sistemlerinin kazaları azaltma potansiyelini vurgulamaktadır. Bu nedenle, otonom araçların yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır (European Union, 2019:5).
Tam Otonom Araçların Otonom Sürüş Sistemi (ADS) Tip Onayı İçin Tek Tip Prosedürler ve Teknik Özellikler Açısından Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin (AB) 2019/2144 Sayılı Yönetmeliğinin Uygulanmasına İlişkin Kurallar Koyan 5 Ağustos 2022 Tarihli ve (AB) 2022/1426 Sayılı Komisyon Uygulama Tüzüğü: Otonom araçların Avrupa karayollarında güvenli bir şekilde işletilmesi için teknik ve idari gereklilikleri belirlemektedir. Bu Tüzük, 2019/2144 sayılı Yönetmelik uyarınca, otomatik sürüş

sistemlerinin tip onayı ve denetimi ile ilgili ayrıntılı kurallar ortaya koymaktadır. Tüzüğün ana hedefleri, otonom araçların güvenli, uyumlu ve denetlenebilir bir şekilde çalışmasını sağlamaktır (European Union, 2022:2).

Sürdürülebilir ve Akıllı Hareketlilik Stratejisi (Sustainable&Smart Mobility Strategy): AB'nin ulaşım sektörüne yönelik uzun vadeli vizyonunu ve stratejik hedeflerini kapsamlı bir şekilde ortaya koyan bu belgede; özellikle Avrupa ulaşım sisteminin iklim nötrlüğüne ulaşması, sürdürülebilirliğin artırılması ve dijital dönüşümün hızlandırılması doğrultusunda atılması gereken adımlara odaklanılmaktadır. Bu kapsamda, söz konusu amaçlara ulaşmak için belirlenen üç temel odak noktası:

- Sıfır emisyonlu araçların yaygınlaştırılması,
- Sürdürülebilir ulaşım alternatiflerinin teşvik edilmesi,
- Kullanıcıların bu dönüşüme aktif katılımını sağlayacak teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi.

Avrupa'nın ulaşım sisteminin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak amacıyla dijitalleşme ve otomasyon stratejileri ön planda yer almaktadır. Bu kapsamda; CCAM teknolojilerinin fırsatları, araştırma ve inovasyon faaliyetleriyle değerlendirilecek ve Horizon Europe programı çerçevesinde desteklenecek projeler aracılığıyla ilerleme sağlanacaktır. Bu strateji ile, ulaşımın etkinliği artırılacak, sürdürülebilirlik ve güvenlik hedeflerine ulaşılması sağlanacaktır. Ayrıca AB; dijital altyapı ve 5G bağlantısı sayesinde, kıtanın ana ulaşım koridorlarında kesintisiz bir iletişim altyapısı oluşturmayı planlamaktadır. Bu doğrultuda, drone'lar, otonom araçlar ve hidrojen uçakları gibi yeni nesil ulaşım teknolojilerinin geliştirilmesi ve doğrulanması için gerekli koşullar oluşturulacaktır. Yapay zekâ ise, tüm ulaşım modlarında otomasyonu mümkün kılacak temel bir teknoloji olarak Horizon Europe ve Digital Europe programları aracılığıyla desteklenecek ve teşvik edilecektir (European Commission, 2021).

3.2.1. Fransa

Fransa'da otonom ve bağlantılı karayolu taşımacılığına yönelik çeşitli strateji ve düzenlemeler, bu teknolojilerin güvenli ve etkin bir şekilde uygulanmasını amaçlamaktadır. Otonom ve Bağlantılı Karayolu Taşımacılığı Stratejisi (Stratégie du transport routier

automatisé et connecté), veri paylaşımını artırmayı ve trafik güvenliğini iyileştirmeyi hedeflemektedir. Bu strateji, otonom araçların karayolu trafiğine katılımını sağlamak için gerekli yasal çerçeveyi oluşturmaktadır. Otonom Yol Hareketliliğinin Geliştirilmesine Yönelik Fransa Stratejisi 2020-2022 ise Fransa'nın Avrupa'daki liderliğini pekiştirmeyi amaçlamakta, güvenlik doğrulama yöntemlerini geliştirmekte ve otonom araç sistemlerinin veri erişimini düzenlemektedir (European Union, 2023d:1-26; Ministère chargé des Transports, 2021, 2023, 2025). Şubat 2023'te yayımlanan Otonom ve Bağlantılı Karayolu Hareketliliği Ulusal Stratejisi 2022-2025 Güncellemesi; bağlantılı hareketliliği kapsayan bir yaklaşım benimsemekte ve Fransa'yı toplu taşıma ve paylaşımlı ulaşımda lider konuma getirmeyi hedeflemektedir (European Union, 2023d:1-26; Ministère chargé des Transports, 2023:7-8). Nisan 2025'te yayımlanan Otonom ve Bağlantılı Karayolu Hareketliliği: Ulusal Strateji Güncellemesi, 2025-2027 dönemi için deney rejiminden dağıtım rejimine geçişin ve dağıtımların ölçeğini büyütmenin önemini vurgulamakta ve güvenlik doğrulama süreçlerini iyileştirmeyi önermektedir (Ministère chargé des Transports, 2025:3-4). Hareketliliğin Yönlendirilmesi Kanunu (La loi d'orientation des mobilités, LOM); 2019'da yürürlüğe girmiş; ulaşım erişimini artırmayı, çevre dostu çözümleri teşvik etmeyi amaçlayan bir düzenlemedir. Bu yasa, ulaşım verilerinin açık bir şekilde paylaşılmasını, engelli erişilebilirliğine dair verilerin açıklanmasını ve otonom araçların kamu yollarındaki faaliyetlerini düzenlemektedir (Republique Française, 2019:9-11). İklim Değişikliği ile Mücadele Etmek ve Etkilerine Karşı Direnç Oluşturmak için Kanun (Loi Climat et Résilience, LOIS); çevresel dayanıklılığı artırmaya yönelik olarak düşük emisyonlu bölgeler ve sürdürülebilir ulaşım çözümlerini teşvik etmektedir (Republique Française, 2021:23-32).

Çeşitli kararnameler ise otonom ve bağlantılı taşımacılıkla ilgili veri erişimini ve sorumluluk rejimlerini düzenler. Décret n° 2020-1753: Ulaşım Verilerinde Eşikler ve Uygunluk Düzenlemeleri; hareketlilik verilerinin kullanım eşiklerini belirlemekte ve bu eşikler aşıldığında veri sağlayıcılara mali karşılık ödenmesini öngörmektedir. Bu düzenleme, veri paylaşımının sürdürülebilirliğini sağlamayı amaçlamaktadır. Ordonnance n° 2021-443: Sürücüsüz araçların cezai sorumluluk rejimi ve kullanım koşulları; Fransa'da otonom ve bağlantılı karayolu taşımacılığının düzenlenmesini sağlayan bir çerçeve sunmaktadır. Bu düzenlemenin uygulamaya geçirilmesine ilişkin detayları Décret n° 2021-873 sunmaktadır. Ordonnance n° 2021-442: Araç Verilerine Erişim; Fransa'da otonom ve bağlantılı karayolu taşımacılığında araçlar ile yol altyapısı arasında veri paylaşımını kurumsallaştırmayı ve kolaylaştırmayı amaçlamaktadır. Bu düzenleme, Décret n° 2023-644 ile uygulanmaya

konulmuş olup özellikle olay tespiti, altyapı gözlemi ve trafik akışı verilerinin detayları açıklanmaktadır. Décret n° 2024-1063: Otomatik Karayolu Yük Taşımacılığına İlişkin Uygulama Kararnamesi; Fransa'da otonom ve bağlantılı araçlarla gerçekleştirilen karayolu yük taşımacılığının kamuya açık yollarda kullanımına ilişkin düzenlemeleri belirlemektedir (DGITM, 2023; European Union, 2023d:1-26; Ministère chargé des Transports, 2020:8, 2025:3-4).

Fransa'nın K-AUS alanındaki stratejik çalışmaları; SCOOP@F adlı ulusal pilot proje ile başlatılmış ve bu temel üzerinde geliştirilen C-Roads France (C-Roads 1), InterCor, InDiD (C-Roads 2) AB destekli projeleriyle devam etmiştir (Ministère de la Transition écologique, 2021). 2014 yılında başlayan ve 2019'da tamamlanan SCOOP@F Projesi: Fransa'nın K-AUS Alanındaki Öncü Girişimi ile Fransa'nın teknik kapasitesinin artırılması ve Avrupa genelinde uyumlu K-AUS uygulamalarının yaygınlaştırılması hedeflenmiştir. 2.000 kilometrelik bir yol ağı üzerinde 3.000 araç test edilmiştir. Proje; yol güvenliği, dinamik trafik yönetimi ve çevrim içi veri toplama gibi işlevleri içermektedir. Bu projenin ikinci aşaması, SCOOP@F Part 2, AB'nin CEF programı kapsamında finansman desteği almıştır (C-Roads, 2021a:6-34, 2021d, 2024:7-102; European Union, 2023d:1-26). InterCor Projesi; Fransa, Belçika, Hollanda ve Birleşik Krallık arasında gerçekleştirilen bir sınır ötesi iş birliği projesidir. 2016'da başlayan vr 2020'de tamamlanan proje ile farklı ülkelerdeki K-AUS altyapıları arasında kesintisiz birlikte çalışabilirlik sağlanması amaçlanmıştır. Proje kapsamında yol çalışması uyarıları, trafik yönetimi, kargo taşımacılığı optimizasyonu ve kamyon park bilgileri gibi çeşitli K-AUS senaryoları test edilmiştir (C-Roads, 2021a:6-34, 2021d, 2024). C-Roads France; 2016-2021 yılları arasında Fransa Ulaştırma Bakanlığı koordinasyonunda yürütülmüş ve SCOOP@F projesinin çıktıları üzerine inşa edilmiştir. Proje, Avrupa C-Roads Platformu tarafından belirlenen teknik ve operasyonel standartlara uygun K-AUS hizmetlerini pilot uygulamalarla test etmiştir. Proje kapsamında trafik ışığı optimizasyonu ve dinamik hız limitleri gibi hizmetler geliştirilmiştir. C-Roads France, Avrupa'nın TEN-T Çekirdek Ağı üzerinde kritik trafik noktalarında, kaza yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde ve kentsel bağlantılarda geliştirilen genişletilmiş test sahalarında gerçekleştirilen bir projedir. Proje, Fransa genelinde dört ana ve bir alt pilot bölgede uygulanmıştır. Bu bölgelerde, tehlike uyarıları, park ve ride bilgileri, şantiye uyarıları gibi çeşitli K-AUS hizmetleri test edilmiştir (C-Roads, 2021a: 6-34, 2021d, 2024:7-102; Ministère de la Transition écologique, 2021). InDiD Projesi (C-Roads 2); SCOOP@F, InterCor ve C-Roads France projelerinin devamıdır. InDiD, kentsel ulaşım ve otonom

araçlar gibi yeni kullanım senaryolarına odaklanmıştır. 2023 yılı itibarıyla Fransa'nın güney ve doğu bölgelerinde çeşitli K-AUS senaryoları test edilmiştir. Uygulanan K-AUS senaryoları arasında araç verisi toplama, yol çalışması uyarıları, dinamik hız bilgisi, tehlikeli konum bildirimleri ve trafik yönlendirme yer almaktadır (C-Roads, 2021d:24-253, 2021a:6-34, 2024:7-102; European Union, 2023d:1-26). SCALE Projesi; 2023 yılında başlatılan büyük ölçekli bir projedir ve Avrupa genelinde K-AUS teknolojilerinin yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Proje kapsamında Fransa'da çeşitli pilot sahalar oluşturulmuş, her biri farklı ulaşım zorluklarını ele alarak K-AUS uygulamalarının entegrasyonu test edilmiştir. Bu pilot sahalar, özellikle yayalar, bisikletliler, kentsel ve kırsal hareketlilik, lojistik ve ağır trafik yönetimi, yol tünelleri güvenliği gibi alanlarda yenilikçi çözümler sunmayı hedeflemektedir. Fransa, İspanya, İtalya ve Avusturya'da pilot sahalar üzerinden test edilen SCALE; özellikle yol güvenliği, trafik yönetimi ve seyahat koşullarını iyileştirmeyi amaçlamaktadır (European Union, 2023d:1-26; SCALE, 2025a, 2025b). Açık Anahtar Altyapısı (Public Key Infrastructure, PKI); K-AUS projelerinin güvenliğini sağlamak amacıyla, araçlar ve yol altyapısı arasında güvenli bilgi alışverişi için PKI altyapısı geliştirilmiştir. Bu sistem, mesajların özel anahtar ile imzalanmasını ve alıcı tarafından doğrulanmasını sağlamaktadır. Fransa, 2020'de ulusal bir kök otorite kurmuş ve yerel kontrol sağlamak için bu sistemi sürdürülebilir kılmayı hedeflemiştir (DGITM, 2024; European Union, 2023d:1-26).

3.2.2. Avusturya

Avusturya, bağlantılı ve otonom araç teknolojileri ile K-AUS alanında çok sayıda kamu kurumu, kuruluş ve ortaklık aracılığıyla kapsamlı çalışmalar yürütmektedir. IVS-Gesetz (BGBL 38-2013); 2010/40/EU Direktifi'ne dayalı olarak 2013'te yürürlüğe giren ve 2017'de güncellenen AUS Yasası (IVSG), Avusturya'da AUS'un geliştirilmesi ve uygulanması için yasal bir çerçeve oluşturmaktadır. Yasa; ulaşım verilerinin etkin şekilde toplanması, işlenmesi ve paylaşılmasını düzenlerken, sistemler arası uyumluluğu sağlamayı hedeflemektedir (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2013:1-3). Mobilite Ana Planı 2030 (Mobilitätsmasterplan 2030); Paris İklim Anlaşması hedeflerine ulaşmak için ulaşım sektöründe kapsamlı bir dönüşüm öngörmektedir. Plan, 2040 yılına kadar iklim nötrlüğüne ulaşmayı hedefleyerek; trafik azaltma, ulaşım modlarını kaydırma ve verimlilik artışı sağlama ilkelerine dayanmaktadır. Karbon emisyonlarını düşürmek için teknolojik yenilikler, yasal düzenlemeler ve ekonomik teşvikler öngörülürken, Avrupa

düzeyinde iş birliği vurgulanmaktadır (Federal Ministry Republic of Austria, 2021:8-15). Hareketlilikte Dijital Dönüşüm Eylem Planı (Aktionsplan Digitale Transformation in der Mobilität, AP-DTM); 2022'de yayımlanarak sürdürülebilir bir hareketlilik sistemi için dijital dönüşümün yol haritasını sunmaktadır. Bu plan, 2030 Mobilite Ana Planı'nı destekleyerek, 2040 yılına kadar iklim hedeflerine ulaşmak için dijital hizmetler ve teknolojiler kullanmayı hedeflemektedir. AP-DTM; kooperatif, bağlantılı ve otonom araçlar gibi yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesini ve entegrasyonunu teşvik etmektedir (Federal Ministry Republic of Austria, 2022:11). 2021 yılında Federal İklim Eylemi, Çevre, Enerji, Hareketlilik, İnovasyon ve Teknoloji Bakanlığı (BMK) bünyesinde kurulan Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Dijital Dönüşüm Özel Birimi (Stabsstelle), hareketlilik alanındaki dijital dönüşüm sürecini etkin bir şekilde desteklemeyi amaçlamaktadır. Bu birim, ulaşım sistemlerinde gerekli yapısal geçişi koordine ederek, dijital ve otonom hareketlilik hizmetlerinin geliştirilmesini ve uygulanmasını sağlamaktadır (European Union, 2023b:1-41).

AB tarafından finanse edilen SCALE projesi, Avusturya'nın Graz kentinde pilot olarak uygulanmaktadır. Proje, toplu taşıma araçlarına öncelik vererek trafik ışıklarını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Adaptif trafik ışıkları, tahmine dayalı analizler ve gerçek zamanlı verilerle, trafik yoğunluğuna göre sinyalizasyon süreleri dinamik olarak ayarlanır. Hedefler arasında trafik akışını iyileştirmek, toplu taşıma hızını artırmak, sera gazı emisyonlarını düşürmek ve sürdürülebilir hareketliliği teşvik etmek yer almaktadır. Graz'da şu an için 165 sinyalize kavşak ve 300 toplu taşıma aracı bu sistemle entegre edilmiştir (SCALE, 2025b). COOPERS Projesi, Avusturya merkezli AustriaTech tarafından 2006 yılında başlatılan ve AB destekli ilk K-AUS projesidir. Projenin temel odak noktaları arasında; sürücülere gerçek zamanlı ve bağlama özgü trafik bilgileri sağlanması, veri alışverişinde sürekliliğin ve güvenilirliğin sağlanmasına dair araştırmalar yapılması ve ilk nesil kooperatif hizmetlerin geliştirilip test edilmesi yer almaktadır. COOPERS, özellikle V2I iletişim sistemleri alanında AB düzeyinde öncü bir proje olarak kabul edilmekte olup; trafik yönetimi verileri, proje kapsamında geliştirilen K-AUS hizmetlerinin temel bileşenlerinden biri olmuştur (bmvit, 2016:7-8). C-Road Austria Projeleri (C-Roads Austria, C-Roads Austria 2, C-Roads Austria 3), Avusturya'da K-AUS altyapısının kademeli olarak kurulması, operasyonel hale getirilmesi ve özellikle kentsel kullanım durumlarının genişletilmesi amacıyla ardışık ve bütüncül bir strateji çerçevesinde yürütülen birbirini tamamlayıcı projelerdir. Bu projeler AB'nin CEF fonları tarafından ortak finanse edilmektedir (austriatech, 2025; C-Roads,

2021c, 2024:7-102; X4ITS, 2025). C-Roads Austria'nın ilk aşaması olan C-Roads Austria Projesi (2016-2021) ile Avusturya otoyol ağında hibrit bir K-AUS altyapısının oluşturulması hedeflenmiştir. Bu proje kapsamında, kısa menzilli ITS-G5 iletişimi ile uzun menzilli hücresel iletişimi birleştiren bir sistem kurulmuştur. Gün 1 hizmetleri olarak yol çalışması uyarısı, tehlikeli konum bildirimi ve araç içi işaretleme gibi hizmetler sunulmuştur. Pilot alanlar; Viyana, Graz, Linz ve Salzburg gibi otoyol güzergahlarını kapsamaktadır. İkinci aşama olan C-Roads Austria 2 Projesi (2019-2023)'nde ilk aşamanın operasyonel yaygınlaştırılması sürdürülmüş, kentsel alanlarda ITS-G5 teknolojisinin uygulanmasına öncelik verilmiştir. Graz, Salzburg ve Viyana şehirlerinde; özellikle toplu taşıma önceliği, sinyalize kavşaklar ve tehlikeli konum bildirimleri gibi kentsel kullanım senaryoları geliştirilmiştir. Bu kapsamda, Graz'da toplu taşıma araçlarına ve diğer kritik hizmet araçlarına öncelik tanıyan sistemler devreye alınmıştır. C-Roads Austria 3 Projesi (2022-2025), K-AUS'un kritik yol ağına ve kentsel alanlara dağıtımını devam ettirmektedir. Graz ve Klagenfurt şehirlerinde toplu taşıma önceliği ve trafik ışığı sistemlerinin güncellenmesi gibi yeni kullanım senaryoları uygulanmaktadır. Bu projede ayrıca, otonom servis araçlarının test edilmesi için K-AUS altyapısı üzerinden testler yapılmaktadır. X4ITS Projesi (2023-2027), Orta ve Doğu Avrupa'daki Trans-Avrupa Ulaşım Ağı (TEN-T) koridorlarını güçlendirmeye odaklanmaktadır. Bu proje, sınır ötesi iş birliği ve çapraz-modal çözümler geliştirilmesi amacıyla Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Macaristan, Hırvatistan, Romanya ve Slovenya'yı kapsayan bir iş birliği alanı yaratmaktadır. Proje kapsamında, şehirlerde K-AUS uygulamalarının hayata geçirilmesi ve toplu taşıma önceliklendirmesi gibi hizmetler ön plana çıkmaktadır (C-Roads, 2021a:6-34, 2021c, 2024:7-102). C-ITS Kullanıcı Forumu, şehirler arasında bilgi paylaşımını teşvik ederek K-AUS teknolojilerine ilgiyi artırmaktadır. Avusturya Otomobil, Motosiklet ve Touring Kulübü (ÖAMTC)'nin C2X İletişimi ile Yol Yardımı projesi, arıza yardım araçlarıyla arkadaki trafiğe uyarı mesajları göndererek kazaları önlemeyi hedeflemektedir. ALP.Lab'ın Periscope Projesi, kör noktalarda bulunan yaya ve bisikletlileri tespit eden sensörlerle sürücülere uyarı iletmektedir. Avrupa SRTI Ekosistemi: Güvenlikle İlgili Trafik Verileri; trafik güvenliğini artırmak için güvenlik verilerinin paylaşılmasını teşvik ederken, Symul8 Projesi de trafik yönetimi için simülasyon modelleri geliştirmiştir. Digitrans Test Sahası, otonom araçların test edilmesi için önemli bir test sahasıdır ve eVAN test aracı, 5G/K-AUS teknolojisi ile araç-altyapı iletişimi sağlayarak ulaşım çözümleri sunmaktadır. ASFINAG'ın IMIS ve VMIS 2.0 projeleri ise trafik yönetimi ve olay yönetimi sistemlerini geliştirerek verimliliği artırmakta, emisyonları azaltan ve güvenliği artıran teknolojiler sunmaktadır. Viyana'daki Trafik Yönetimi 2.0 projesi,

kavşaklarda emisyonları azaltarak güvenliği artırmayı amaçlamaktadır. Bu projeler, Avusturya'nın trafik sistemlerini daha akıllı, güvenli ve sürdürülebilir hale getirmeye yönelik önemli adımlar atmaktadır (European Union, 2023b:1-41).

3.2.3. İtalya

İtalya'daki AUS, K-AUS, bağlantılı araçlar ve otonom araçlara ilişkin çalışmalar Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı (MIT) öncülüğünde; çeşitli kamu kurumları, özel sektör kuruluşları ve araştırma enstitülerinin katılımıyla yürütülmektedir. 28/2/2018 tarihli 70 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı; karayolu altyapılarında akıllı yollar, bağlantılı sürüş ve otonom sürüş çözümlerinin test edilmesine yönelik uygulama esaslarını belirleyen önemli bir yasal düzenlemeyi ortaya koymaktadır. Kararname, akıllı yollar olarak adlandırılan altyapıların dijital dönüşümle uyumlu hale getirilmesini, yol güvenliği ve trafik yönetimi sistemlerinin geliştirilmesini amaçlamaktadır (Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, 2018:11).

İtalya, Avrupa C-Roads Platformu'na aktif bir üye olarak; yol güvenliğini artırma, trafik verimliliğini iyileştirme ve otonom sürüş altyapısını hazırlama amacıyla K-AUS projeleri yürütmektedir. Bu projeler, ITS-G5 ve hücresel ağları birleştiren hibrit iletişim teknolojilerini desteklemektedir. 2020-2022 yıllarında, MIT'ye bağlı Karayolu Güvenliği ve Taşımacılığı Genel Müdürlüğü, veri alışverişi altyapısı kurarak K-AUS'un gelişimini desteklemiştir. İtalya AB Tüzükleri çerçevesinde; konum arama, güzergahlar, tarifeler gibi verileri ücretsiz sunmakta ve NeTEx ile SIRI protokollerini kullanarak birlikte çalışabilirlik sağlamaktadır. Sürdürülebilir Hareketlilik Departmanı ve Karayolu Güvenliği Bilgileri Koordinasyon Merkezi (CCISS), otoyollarda gerçek zamanlı trafik verisi sunarak yol güvenliği bilgilerini kamuya ücretsiz sağlamaktadır. Ayrıca, güvenli park alanları ve ağır vasıta park yerleri hakkında da bilgi sunulmakta, bu alanda yol işletmecileriyle iş birliği yapılmaktadır. C-Roads Italy (2017–2021), kamyon platooning ve otonom sürüş senaryolarına odaklanarak A22, A4, A28 ve A57 otoyollarında 368 km'lik alanda pilot uygulamalar gerçekleştirmiştir; 300.000 km kamyon platooning ve 2.500 km binek araç pilot sürüşleri yapılmış, Avusturya, Belçika ve Fransa ile sınır ötesi testler uygulanmıştır. C-Roads Italy 2 (2018–2023), Torino, Verona ve Trento şehirlerinde Gün 1 ve Gün 1.5 K-AUS hizmetlerini test etmiş; GLOSA, trafik ışığı önceliği, sinyal ihlali tespiti, otopark yönetimi ve akıllı rota önerileri gibi hizmetler, kısa menzilli ITS-G5 ve hücresel ağ entegrasyonuyla uygulanmıştır. Pilot uygulamalar Brescia-Padova otoyolu ve Trento'daki 13 kavşakta

gerçekleştirilmiş, 1.150 park alanında yönetim hizmeti uygulanmıştır (European Union, 2023g:1-29). C-Roads Italy 3 (2020-2023) SCAN-MED ve MEDITERRANEAN koridorlarında ulusal karayolu ağının kapsamını genişleterek; Brenner, A1, A4 otoyolları ve Roma şehir içi yollarında yol çalışması uyarısı, kaza riski yüksek bölge uyarısı, araç içi sabit trafik işaretleri, hava koşulları tehlike uyarısı ve trafik durumu bildirimi gibi K-AUS hizmetlerini entegre etmiş ve sınır ötesi çalışabilirlik sağlamıştır. Roma Servizi Mobilità tarafından geliştirilen K-AUS platformu ile kısa ve uzun menzilli iletişim desteklenmiştir. Tüm projeler; yol güvenliğini artırmak, trafik verimliliğini iyileştirmek ve enerji tüketimini azaltmak amacıyla K-AUS teknolojilerinin uygulanabilirliğini ve etkinliğini göstermektedir (C-Roads, 2021a:6-34, 2023a, 2024:7-102). NAPCORE (National Access Point Coordination Organisation for Europe); 2021'de başlatılan ve Avrupa genelindeki Ulusal Erişim Noktaları (NAP) arasındaki koordinasyonu sağlamayı hedefleyen bir projedir. Avrupa'nın CEF programı tarafından finanse edilen proje, İtalya'nın liderliğinde veri değişimini kolaylaştırmak için DATEX II, TN-ITS, NeTEx ve SIRI standartlarıyla uyum çalışmaları yürütmektedir. Ayrıca, NAPCORE'un sürdürülebilir bir yönetim yapısına kavuşması için uzun vadeli bir strateji geliştirilmiştir. Proje, K-AUS uygulamaları için kritik bir altyapı oluşturmaktadır (European Union, 2023g:1-29). DATA4PT (Data for Public Transport); Avrupa'daki üye devletlerine Transmodel, NeTEx ve SIRI gibi toplu taşıma veri standartlarını geliştirmeleri ve uygulamaları konusunda destek sunmayı amaçlayan bir projedir. Projenin nihai hedefi, kentsel düğüm noktaları ile TEN-T arasındaki birlikte çalışabilirliği sağlamaktır. İtalya'nın Piedmont Bölgesi ile iş birliği yaparak, NeTEx protokolünün İtalya'ya özgü bir profilinin oluşturulması sağlanmıştır. Toplu taşıma verilerinin standardizasyonu, çok modlu seyahat bilgi sistemleri ve MaaS çözümlerinin geliştirilmesinde kritik bir rol oynamakta ve bağlantılı hareketlilik hizmetlerini doğrudan desteklemektedir (European Union, 2023g:1-29). FENIX (European FEderated Network of Information eXchange in Logistics); AB ulaşım koridorlarında dijital bilgi sistemlerinin geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını amaçlayan bir projedir. Lojistik paydaşları arasında veri alışverişini sağlayan federatif platformlar oluşturulmuş ve bulut tabanlı bilişim ile uydu navigasyonu kullanılarak rota ve teslimat optimizasyonu yapılmıştır. İtalya'daki pilot uygulamalar, Trieste, Cenova, La Spezia limanları ve Milano Malpensa Havalimanı'nda gerçekleştirilmiş; intermodal taşımacılık, karbon salımı azaltımı, araç takibi ve park yeri rezervasyonu gibi çözümler test edilmiştir. FENIX, bağlantılı araçlarla lojistik optimizasyonu desteklemektedir (European Union, 2023g:1-29). SCALE Projesi; AB tarafından finanse edilen ve AUS ile K-AUS teknolojilerinin İtalya'daki kentsel alanlar ve

otoyollar üzerinde test edilmesini amaçlayan bir araştırma projesidir. Proje; Trento, Torino, Verona şehirleri ve A4 Brescia-Padova otoyolunda uygulanmaktadır. Kentsel alanlarda toplu taşıma, trafik yönetimi, otopark sistemleri ve yayaların korunmasına yönelik yenilikçi çözümler geliştirilirken, otoyollarda trafik akışı ve güvenlik artırılmaktadır. SCALE, ITS-G5 ve 4G hibrit iletişim teknolojileri ile ulaşım verimliliği ve güvenliğini artırmayı hedeflemektedir (SCALE, 2025a, 2025b). X4ITS Projesi; Orta ve Doğu Avrupa'da sınır ötesi trafiği iyileştirmeyi amaçlayan bir AUS girişimidir. TEN-T koridorları boyunca bağlantılı bir AUS yol ağı geliştirmeyi hedeflemektedir. X4ITS, kablosuz veri alışverişi ile sınır ötesi ulaşımı iyileştirirken, CEF programı kapsamında finansal destek almıştır. Proje, Avusturya, Çekya, Hırvatistan, Macaristan, Romanya ve Slovenya ile yürütülmektedir (connected automated driving, 2020; C-Roads, 2023a; European Commission, 2023).

3.2.4. Almanya

Almanya, otonom ve bağlantılı araç teknolojilerini kullanarak; karayolu taşımacılığını güvenli, verimli ve çevre dostu hale getirmeyi amaçlamaktadır. Karayolu Trafik Kanunu ile Zorunlu Sigorta Kanunu'nda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun-Otonom Sürüş Yasası (Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes-Gesetz zum autonomen Fahren), 2021'de Almanya'da yürürlüğe girmiş ve otonom ve bağlantılı sürüş teknolojilerinin hızla gelişen yapısına uyum sağlamak için oluşturulmuştur. Yasanın amacı, otonom sürüş teknolojilerinin teknik, hukuki ve organizasyonel gerekliliklerini net bir şekilde tanımlayarak belirsizlikleri ortadan kaldırmaktır (Bundesrat, 2021:1-6; Deutscher Bundestag, 2021; Federal Ministry of Transport, 2020). Karayolları Trafik Kanunu (Straßenverkehrsgesetz, StVG) otonom ve yüksek derecede otomatikleştirilmiş araçların kullanımını düzenleyen bu yasa; otonom araçların teknik gereksinimlerini, sürücü yükümlülüklerini ve güvenlik önlemlerini belirlemektedir (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2003). Almanya'nın Motorlu Taşıt Sahipleri için Zorunlu Sigorta Yasası (Gesetz über die Pflichtversicherung für Kraftfahrzeughalter,Pflichtversicherungsgesetz- PflVG);, otonom araçların trafik kazalarına karışması durumunda, söz konusu fonksiyonların denetimini üstlenen ya da denetlemekle yükümlü olan teknik gözetim personelinin sorumluluğunun sigorta tarafından karşılanmasını sağlamaktadır. Yasa, "aracın kullanımı" kavramını geniş bir çerçevede tanımlamakta olup, bu tanım otonom araçları da içermektedir. Ayrıca, sigorta sisteminin işlevsiz olduğu durumlar için tazminat fonları öngörülmüş ve otonom araçların

karıştığı trafik kazalarında sigorta kapsamı dışı kalan durumlar için bu fonların devreye girmesi sağlanmıştır (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2024b). Otonom Taşıtların Onaylanması ve İşletilmesine İlişkin Yönetmelik (Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung-AFGBV); otonom araçların onaylanması, test edilmesi ve kamuya açık yollarda işletilmesi için ayrıntılı düzenlemeler getirmektedir. 2022'de yürürlüğe giren ve 2023'te güncellenen bu yönetmelik, araç üreticileri ve sahiplerine güvenlik, veri mahremiyeti ve teknik uygunluk gibi alanlarda yükümlülükler sunmaktadır (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2022). Gelecek Otonom Sürüşte Federal Hükümetin Karayolu Trafiğinde Otonom Sürüş Stratejisi'nde özellikle kamu toplu taşıma ve yük taşımacılığı alanlarında otonom araçların kullanımının yaygınlaştırılması planlanmaktadır. Otonom sürüşün trafik güvenliğini artırma, kırsal bölgelerde ulaşımı iyileştirme ve yaşam kalitesini yükseltme potansiyeli vurgulanmaktadır. Bakanlık; 2026 yılına kadar otonom sürüşün test aşamasından düzenli işletim aşamasına geçmesini, 2028 yılına kadar otoyol ağı odaklı dünyanın en büyük sürekli otonom araç işletim alanını kurmayı ve 2030 yılına kadar otonom sürüşü türler arası bağlantılı bir hareketlilik sistemine entegre etmeyi planlamaktadır (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2024). Almanya Federal Hükümeti tarafından Kasım 2017'de yayımlanan Almanya'nın Otonom ve Bağlantılı Sürüş Stratejisinin Uygulanmasına İlişkin Rapor'da, bu alandaki küresel liderliğini güçlendirmeyi hedefleyen kapsamlı bir eylem planı sunulmaktadır. Strateji, Almanya'da otonom sürüş sistemlerinin yol güvenliğini artırma, ulaşım verimliliğini sağlama ve emisyonları azaltma gibi stratejik hedeflerine ulaşabilmesi için gerekli adımları belirlemektedir (Die Bundersregierung, 2017). Otonom ve Bağlantılı Sürüş Etik Komisyonu (Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren)**,** 30 Eylül 2016'da çalışmalarına başlayan Komisyonun amacı; otonom ve bağlantılı araç teknolojilerinin etik yönlerini değerlendirmektir. Komisyon, otonom ve bağlantılı sürüş teknolojilerine yönelik etik ilkeleri belirlemek için çalışmalarını beş ana konu üzerinde yoğunlaştırmıştır: kaçınılmaz hasar durumları, veri güvenliği ve ekonomisi, insan-makine etkileşimi, etik değerlendirmeler ve yazılım altyapılarının sorumlulukları (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017a:6-30). Alman Federal Hükümeti tarafından, otonom ve bağlantılı sürüş sistemlerine ilişkin Etik Komisyonu'nun bulgularına yanıt olarak Federal Hükümetin Otonom ve Bağlantılı Sürüş Etik Komisyonu Raporuna İlişkin Eylem Planı (Sürüş Bilgisayarları için Etik Kurallar) hazırlanmıştır. Etik Komisyonu; insan onuru, yol güvenliği, bireysel haklar ve veri koruması gibi temel değerlere odaklanarak, otonom sürüş sistemlerinin geliştirilmesinde dikkate alınması gereken 20 ilke

belirlemiştir. Komisyonun önerdiği temel ilkeler arasında, kazaların kaçınılmaz olduğu durumlarda sistemlerin insan yaşamına öncelik verecek şekilde programlanması gerektiği yer alırken, kişisel özelliklere dayalı ayrımcılığın (yaş, cinsiyet, etnik köken gibi) kesinlikle kabul edilmemesi gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca, veri güvenliği ve bireysel mahremiyetin korunması da önemli bir tema olarak öne çıkmaktadır (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017b:2-4).

C-Roads Germany (CRG)-Faz 1 (Şubat 2016-Aralık 2021); Almanya'da Hessen ve Aşağı Saksonya eyaletlerinde, sekiz farklı K-AUS hizmetinin geliştirilip test edildiği bir pilot projedir. Avrupa çapında yürütülen C-Roads iş birliği çerçevesinde, ETSI ITS-G5 standardına dayalı kısa menzilli iletişim teknolojileri kullanılarak otoyollarda K-AUS hizmetlerinin uygulanması hedeflenmiştir. Hessen Eyaleti'nde 280 km'lik otoyol ağına K-AUS altyapısı kurulmuş ve yedi yeni hizmet devreye alınmıştır: RWW, MVW, EVA, TJW, SWD, GLOSA ve PVD. Aşağı Saksonya bölgesinde ise A2 otoyolu üzerinde üç yeni K-AUS hizmeti devreye alınmış ve RSU'lar, Trafik Yönetim Merkezi ile entegre edilmiştir. Bu pilot uygulama, 22 km'lik otoyol kesiminde aktif olarak uygulanmış ve MVW, IVI/IVS ve PVD hizmetleri sunulmuştur (C-Roads, 2021a:6-34, 2023c, 2024:7-102). C-Roads Germany-Urban Nodes (CRG-UN)-Faz 2 (Ocak 2019- Aralık 2024); Hamburg, Hessen/Kassel ve Dresden şehirlerinde kentsel K-AUS hizmetlerinin kapsamını genişletmeyi ve yeni hizmetleri uygulamayı hedefleyen bir projedir. Proje, kentsel alanlarda Gün 1 ve Gün 1,5 seviyesindeki K-AUS hizmetlerinin uygulanması ve standartlaştırılmasına odaklanmaktadır. Hamburg'da, yoğun şehir içi arterlerde K-AUS hizmetleri uygulanmış ve trafik ışıkları ile kavşak kontrol sistemleri I2V ve V2I iletişimini destekleyecek şekilde modernize edilmiştir. Proje, 38 km'lik bir yol ağı üzerinde GLOSA, PVD ve VRU hizmetlerini içermektedir. Ayrıca, TSP hizmeti Hamburg Büyükşehir Belediyesi tarafından uygulanmaktadır. Hessen/Kassel bölgesinde, "Test Alanı Almanya" ve "Kassel Dijital Test Alanı" kapsamında, Gün 1 ve Gün 1,5 hizmetleri uygulanmaktadır. Kassel'deki projede, 21 km'lik bir yol ağı üzerinde RWW, EVA, GLOSA, TSP, PVD ve bağlantılı navigasyon hizmetleri sunulmaktadır. Dresden'de, şehir içi yollar ve ana erişim arterlerinde K-AUS hizmetleri uygulanmakta ve trafik sinyalizasyon sistemleri V2I iletişimini destekleyecek şekilde uyarlanmıştır. Dresden'deki hizmetler arasında PVD, GLOSA, TSP, EVA ve VRU yer almaktadır (C-Roads, 2021a:6-34, 2023c, 2024:7-102). C-Roads Germany-Faz 3 (CRG-3) (Ocak 2025- Mart 2028); Ocak 2025 ile Mart 2028 tarihleri arasında uygulanacaktır. Bu faz kapsamında, Hamburg, Kassel ve Dresden'deki mevcut kentsel pilot bölgelerde K-AUS

hizmetlerinin daha da genişletilmesi ve geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, proje kapsamına Kaiserslautern, Frankfurt am Main ve Hannover olmak üzere üç yeni pilot bölge dâhil edilmiştir (C-Roads, 2021a:6-34, 2023c, 2024:7-102). Senkronize Mobilite 2023 (Synchrone Mobilität 2023), Almanya'nın Saksonya eyaletinde kentsel ölçekte kapsamlı bir K-AUS altyapısı oluşturarak otonom ve bağlantılı sürüş teknolojilerinin kente entegrasyonunun desteklenmesi amaçlanmıştır. Girişim kapsamında V2X tabanlı iletişim altyapısının güçlendirilmesi, otonom sürüş fonksiyonlarının test edileceği alanların kurulması, özel araçlar ve toplu taşımada otomatikleştirilmiş sürüşün geliştirilmesi ve kooperatif sürüş manevralarına yönelik yeni kentsel uygulamaların tasarlanması hedeflenmiştir (European Union, 2023e:1-26). Ulusal Erişim Noktası (National Access Point-NAP) / Mobilithek; Almanya'da trafik ve hareketlilik verilerine merkezi ve standartlaştırılmış erişim sağlamak amacıyla, eski Ulusal Erişim Noktası olan MDM'nin yerine geliştirilmiş bir veri platformudur. AB'nin AUS Direktifi doğrultusunda tasarlanan platform, kamu ve özel sektöre ait veri sağlayıcıları arasında kapsamlı bir veri alışverişi sunarak özellikle dinamik trafik verilerinin sürekli ve güvenilir biçimde erişilebilir olmasını sağlamaktadır (European Union, 2023e:1-26). Son Kullanıcı İçin Ek Ücret Olmadan Güvenlikle İlgili Trafik Bilgileri- Yol Güvenliği İçin Veri Girişimi (Sicherheitsrelevante Verkehrsinformationen ohne zusätzliches Entgelt für den Endnutzer-Data For Road Safety); araçlardan üretilen verilerin güvenlikle ilişkili trafik bilgilerine dönüştürülmesini ve bu bilgilerin son kullanıcılara ücretsiz olarak sunulmasını hedefleyen uzun vadeli bir Avrupa iş birliğidir. Girişim kapsamında, araç içi sistemlerden toplanan veriler işlenerek trafik uyarı mesajlarına dönüştürülmekte ve bu mesajlar NAP üzerinden kullanıcı hizmetlerine entegre edilmektedir (European Union, 2023e:1-26).

3.2.5. Macaristan

Macaristan'da K-AUS, bağlantılı araçlar ve otonom araç teknolojilerinin geliştirilmesinde kamu kurumları, araştırma enstitüleri ve özel sektör arasında yenilikçi çözümler üretmeyi ve teknolojilerin güvenli bir şekilde entegrasyonunu sağlamayı amaçlayan güçlü bir iş birliği bulunmaktadır. Macaristan Yapay Zeka Stratejisi 2020-2030; yapay zeka ve otomasyon teknolojileri aracılığıyla daha verimli ve sürdürülebilir bir ulaşım sistemi oluşturmayı hedeflemektedir. Strateji, 2030 yılına kadar ülkeyi otonom araç geliştirme ve testinde Avrupa'nın önde gelen merkezi haline getirmeyi amaçlamaktadır (Innovációs és Technológiai Miniszter, 2020:14-15).

C-Roads Hungary; Macaristan'daki K-AUS uygulamaları, ulusal yol güvenliği stratejisiyle uyumlu şekilde yürütülmektedir. 2012-2021'de otoyollardaki ölümcül kazaların %87 artması, AUS'un önemini artırmıştır. K-AUS uygulamaları 2015'te CROCODILE projesi kapsamında M1 otoyolunun 136 km'lik bölümünde başlamış ve C-Roads Platformu çerçevesinde geliştirilmiştir. M1 ve M7 otoyolları ile Győr kentsel alanında hibrit iletişim altyapısı kurulmuş; sabit ve mobil RSU'lar ile test OBU'ları devreye alınmıştır. Győr'de kavşaklarda trafik ışığı kontrol sistemleri, TTG ve GLOSA bilgileri sürücülere sağlanmış, kavşak güvenliği artırılmıştır. 2023 sonu itibarıyla sistem 405 km yol ve 10 kavşağı kapsayacak şekilde genişletilmiş ve TEN-T haritası güncellenmiştir. C-Roads 2 Macaristan ve Gelecek Planları; Macaristan, mevcut K-AUS uygulamalarının devamı olarak C-Roads 2 Macaristan hibe programını başlatmıştır. Program, Győr'deki pilot projeden edinilen deneyimleri kullanarak Zalaegerszeg'deki Otonom Araç Test Pisti Zala (Autonomous Vehicle Test Track Zala-APZ) ile bağlantılı kentsel bir test ortamı oluşturmayı hedeflemektedir. "ZalaZone" bölgesi, kasaba ve test pistini kapsayacak şekilde tasarlanmakta ve otonom araç testlerine hazır hale getirilmektedir. Testler, Gün 1 ve Gün 1,5 K-AUS hizmetlerini kapsayacak; gerektiğinde Gün 2 hizmetlerine yükseltme imkânı sunacaktır. Sınır ötesi iş birliği çerçevesinde Avusturya, Slovenya ve Macaristan arasında test güzergahları planlanmakta; büyükşehirler ve TEN-T koridorları üzerinde K-AUS hizmetlerinin test edilmesi hedeflenmektedir. Toplu taşıma ve acil durum araçları için önceliklendirme senaryoları ile VRU için özel kavşaklar da planlanmıştır (C-Roads, 2021a:6-34, 2021e, 2024:7-102). CROCODILE 3.0_HU Projesi (2022), HD harita spesifikasyonlarının geliştirilmesi ve 3D nokta bulutları ile vektör haritaların kullanılmasıyla otonom sürüş teknolojilerinin yaygınlaştırılması için temel veriler sağlamıştır. Kompleks AUS Ekosistemine Dayalı İnovasyon Projesi (2023-2026) ise, elektrikli hareketlilik gibi yeni ulaşım biçimlerinin yaygınlaşmasıyla, mesafe bazlı elektronik yol kullanım ücretlendirme sistemine geçişi hedeflemekte ve gelecekteki teknolojik düzenlemelere uygun dijital plaka çözümlerini değerlendirmektedir. HiDALGO Projesi (2018-2022), Győr şehrinde trafik yoğunluğu ve hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik dijital ikiz modelleri oluşturulmuş ve trafik akışı ile hava kirliliği simülasyonları yapılarak, akıllı trafik yönetimi stratejilerine önemli katkılar sunulmuştur. Akıllı Araç Testlerini Destekleyen Altyapı Çalıştayı (2022), otomotiv endüstrisinin ihtiyaçları ve araç-altyapı iletişimi üzerine yapılan araştırmalarla, akıllı taşımacılıkla ilgili altyapı bileşenlerinin geliştirilmesi desteklenmiştir. Bireysel Yolculukları Destekleyen Mobil Uygulama (2018-2023), yol kullanıcılarını

tehlikeler hakkında önceden bilgilendirerek kaza risklerini azaltmayı amaçlayan bir platform sunmakta olup K-AUS veri altyapısıyla entegrasyonu planlanmaktadır. SITRAFFIC Scala Trafik Kontrol Merkezi Geliştirme-II. Aşama (2020), Budapeşte Trafik Yönetim Merkezi'nin K-AUS kapasitesini artırarak dinamik trafik verilerinin araçlara iletilmesi sağlanmış ve şehir içi trafik yönetiminde dijital dönüşüm gerçekleştirilmiştir. İşletme İletişim Altyapısı Geliştirmeleri-Üzemi Hírközlő Berendezések Projeleri, otoyol ve ana yol ağlarındaki operasyonel iletişim altyapısını modernize ederek, bağlantılı ve otonom araçların trafik yönetim sistemleriyle etkin veri alışverişi yapabilmesini sağlamaktadır. Bu projeler, Macaristan'ın dijital ulaşım ekosisteminin geliştirilmesine ve otonom araç teknolojilerinin entegrasyonuna önemli katkılar sunmaktadır (European Union, 2023f:1-108). ZalaZONE Test Merkezi; Macaristan'ın Zalaegerszeg kentinde 250 hektarlık alanda kurulu, otonom, bağlantılı ve K-AUS sistemleri için Ar-Ge ve test altyapısı sağlayan bir otomotiv test merkezidir. ADAS ve otonom sürüş sistemlerinin geliştirilmesi için kapsamlı test alanları sunan merkez, akıllı şehir, otoyol ve kırsal yol modülleri, 5G hücresel sistemler ve V2X iletişimi testleri için uygun altyapıya sahiptir. Scenario-in-the-Loop (ScIL) yöntemiyle sanal ve fiziksel testlerin entegre edilmesine olanak tanıyan ZalaZONE, dijital ikiz altyapısı ve yüksek hızlı pistleriyle, otonom ve bağlantılı araçların gelişimine önemli katkılar sunmaktadır. Avrupa'daki ileri düzey hareketlilik sistemlerinde etkin bir rol oynamaktadır (AVL, 2022:5-25, 2025).

3.2.6. Çek Cumhuriyeti

Çek Cumhuriyeti, K-AUS çalışmalarını Ulaştırma Bakanlığı koordinasyonunda yürüterek, uluslararası projelere katılım, ulaşım altyapısının modernizasyonu ve verimli veri alışverişi ile otonom araç ve AUS'un entegrasyonunu desteklemektedir, aynı zamanda komşu ülkelerle iş birliğiyle uluslararası AUS entegrasyonunu güçlendirmektedir. Çek Cumhuriyeti'nin 2021-2027 dönemi Ulaştırma Politikası, 2050 vizyonu doğrultusunda AUS, K-AUS, bağlantılı ve otonom araç teknolojilerinin entegrasyonunu önceliklendirerek ulaşım altyapısını modernize etmeyi hedeflemektedir. Politikalar, telematik sistemler ve veri odaklı çözümler aracılığıyla trafik güvenliğini artırmayı, akışı optimize etmeyi ve enerji verimliliğini yükseltmeyi öngörmektedir (Ministerstvo dopravy, 2021b:72-75). Çek Cumhuriyeti'nin 2021-2030 Karayolu Trafik Güvenliği Stratejisi; Çek Cumhuriyeti'nde K-AUS, yol güvenliğini artırmak ve trafik kazalarını azaltmak amacıyla stratejik bir öncelik olarak ele alınmakta olup; sürücülere gerçek zamanlı bilgi ve uyarı mesajları sunarak

özellikle olumsuz hava koşulları veya dikkatsizlikten kaynaklanan kazaların önlenmesine katkı sağlamaktadır (Czech Republic Ministry of Transport, 2021:27-28). Akıllı Ulaşım Sistemleri Geliştirme Stratejisi 2021-2027 ve 2050'ye Yönelik Vizyonu, AUS ve K-AUS'un geliştirilmesi, otonom ve bağlantılı araçların entegrasyonu için kapsamlı bir yol haritası sunmaktadır. Strateji; araştırma ve geliştirme bulgularının uygulanması, sürdürülebilir ve yenilikçi hareketlilik çözümlerinin desteklenmesi, ulaşım verilerinin güvenilir ve zamanında paylaşımı, trafik akışlarının aktif yönetimi, ulusal ve uluslararası birlikte çalışabilirlik, altyapının dijitalleşmesi ve dayanıklılığın artırılması gibi önlemleri içermektedir (Ministerstvo dopravy, 2020:30-48). Akıllı Ulaşım Sistemleri Geliştirme Stratejisi 2022-2024 Eylem Planı (AP ITS 2022+), 2021-2027 Stratejisi'nin bir uygulama belgesi olarak, AUS ve K-AUS projelerinin fikirden uygulamaya kadar tüm aşamalarında etkin yönetim ve denetimi sağlamayı amaçlamaktadır. Plan çerçevesinde, Ulaştırma Bakanlığı bünyesindeki AUS Koordinasyon Konseyi (KR-ITS) öncülüğünde kamu kurumları ve diğer paydaşlar arasında koordinasyon sağlanmakta ve projelerin şeffaf biçimde izlenmesi mümkün hâle getirilmektedir. AUS ve K-AUS'un ulusal ve uluslararası standartlara uygun olarak geliştirilmesi, kullanıcıların bulundukları coğrafi konumdan bağımsız şekilde kesintisiz bilgi ve ulaşım hizmeti alabilmesini güvence altına almaktadır (Ministerstvo dopravy, 2021a:3-11). Çek Cumhuriyeti Ulaştırma Bakanlığı'nın 2025'e kadar Otonom Hareketlilik Planı ve 2030'a Yönelik Vizyon Belgesi, ülkenin otonom ulaşıma geçiş sürecini sistematik olarak düzenlemekte ve trafik güvenliğini artırırken ulaşım sistemlerinin optimizasyonunu hedeflemektedir. Plan; mevzuat geliştirme, standartlaşma, araştırma-geliştirme, eğitim ve toplumsal farkındalık ile ileri trafik teknolojilerinin entegrasyonunu kapsamakta, siber güvenlik ve veri koruma gibi kritik konulara odaklanmaktadır (Ministerstvo dopravy, 2024:5-52). Otonom Hareketlilik Gelişimi Vizyonu yalnızca teknolojik bir perspektifle otonom hareketliliği ele almakla kalmayıp, ulaşım sisteminin bütünsel karmaşıklığını göz önünde bulundurarak uluslararası, bölgesel, kentsel ve sınır ötesi düzeylerdeki çok katmanlı bağlantılar çerçevesinde kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır (Ministerstvo dopravy, 2017:28). Çek Cumhuriyeti'nde SAE Otomasyon Seviyesi 3 ve Üzeri Araçların Hizmete Alınması ve Bunların Çalışmasının Sağlanmasıyla İlgili Bireysel Yasal Kurumların ve İlgili Hususların Değiştirilmesine İlişkin Teklif'te; mevcut yasal çerçevenin otonom araçların güvenli ve yasal olarak işletilmesini sağlayacak şekilde uyarlanmasına odaklanmaktadır. Mevcut düzenlemeler yalnızca test amaçlı kullanıma izin verirken, önerilen değişiklikler kısmi ve tam otonom araçların karayolunda güvenli biçimde çalışmasını temin etmeyi amaçlamaktadır (Ministerstvo dopravy, 2022:78-94). Çek Cumhuriyeti'nde Otomotiv

Endüstrisinin Geleceğine İlişkin Eylem Planı, ülkenin elektromobilite, otonom sürüş ve dijitalleşme gibi küresel trendlere uyum sağlamasını ve rekabet gücünü artırmasını hedeflemektedir. Eylem planı; otonom sürüş altyapısı, dijitalleşme, yasal çerçeve, Ar-Ge ve eğitim alanlarında kapsamlı adımlar atarak Çek otomotiv sektörünün teknolojik dönüşümünü ve uluslararası rekabet gücünü güçlendirmeyi amaçlamaktadır (Český automobilový průmysl, 2017:17-36).

C-Roads Czech Republic; 2021-2027 Ulusal AUS Dağıtım Stratejisi kapsamında K-AUS'un trafik güvenliğini artırma, trafik yoğunluğunu azaltma ve yol taşımacılığının çevresel ve ekonomik performansını iyileştirme hedeflerine odaklanmaktadır. K-AUS projesi 2016'da başlamış, 2021'de tamamlanmış olmasına rağmen çalışmalar 2025 itibariyle devam etmektedir. 2021 sonu itibarıyla temel bileşenler faaliyete geçirilmiş ve 2022 başında canlı operasyonlar başlatılmıştır. Ülke; K-AUS uygulamalarında Brno, Ostrava ve Pilsen gibi şehirlerde aktif sistemler kurarken, Hradec Králové, Mladá Boleslav ve Karlovy Vary gibi şehirlerde yeni altyapılar geliştirmiştir. Avrupa'da ilk kez tramvaylar ve hemzemin geçit sinyalizasyon sistemleri K-AUS ile entegre edilmiştir. Otoyol altyapısında yaklaşık 230 km'lik alan ITS-G5 teknolojisi ile kaplanmış, D1, D5, D11 ve D52 otoyolları ana K-AUS koridorları olarak belirlenmiş ve 360 km'den fazla K-AUS ekipmanı devreye alınmıştır. Sistem, ITS-G5 ve LTE/5G teknolojilerini hibrit şekilde kullanmakta ve açık bir mimari ile farklı hizmet sağlayıcılarını bağlayabilmektedir. Kent düzeyinde Brno'da toplu taşıma, itfaiye ve kurtarma araçları ile şehir yol operatörlerini kapsayan karmaşık bir K-AUS altyapısı kurulmuş, farklı üreticilerin teknolojileri uyumlu hale getirilmiştir. Ostrava ve Pilsen'de toplu taşıma araçlarının entegrasyonunda demiryolu düzenlemelerinden kaynaklanan zorluklar aşılmıştır. Şehirlerde 25'ten fazla kavşak K-AUS altyapısı ile donatılmış, Pardubice ve Ústí nad Labem'deki demiryolu hemzemin geçitleri sürücülere durum bilgisi aktararak güvenliği artırmıştır. K-AUS; sürücülere yol çalışmaları, yavaş veya duran araçlar, tehlikeli bölgeler ve yaklaşan acil durum araçları hakkında güvenli uyarılar sunmakta, toplu taşıma önceliği ve sinyalize kavşak yönetimi ile trafik akışını optimize etmektedir (C-Roads, 2021a:6-34, 2023b:11-13, 2024:7-102). CROCODILE Projesi; AB'nin 2010/40/EU sayılı AUS Direktifi kapsamında trafik verilerinin sağlanması ve sınır ötesi paylaşımının uyumlaştırılmasına odaklanmaktadır. Çek Cumhuriyeti, Ulaştırma Bakanlığı ve Karayolları ve Otoyollar İdaresi (ŘSD) aracılığıyla yedi üye devletle birlikte veri alışverişi gerçekleştirilmiştir. Ulusal Trafik Bilgi Merkezi (NDIC), sınır bölgeleri dahil güncel trafik bilgilerini DATEX II formatında sunarak trafik akışını ve yol güvenliğini

artırmıştır. Projenin üçüncü fazı (CROCODILE 3) 2022 sonunda tamamlanmış olup, Avrupa'nın gelecekteki ulaşım zorlukları için çok paydaşlı iş birliklerinin önemine dikkat çekilmektedir (European Union, 2023c:1-44). URSA Czech Republic Projesi, ağır vasıta sürücülerine yüksek kaliteli, gerçek zamanlı park yeri bilgisi sunmayı amaçlamaktadır. Bu proje, Baltský-Adriyatik Koridoru'ndaki D1 otoyolunda pilot olarak uygulanmış ve ÇESMAD BOHEMIA ile iş birliği yapılmıştır. TEN-T Karayolu Ağı Üzerinde K-AUS Genişletme Projesi, 615 km'lik ek alanda K-AUS hizmetlerinin uygulanmasını hedeflemektedir. Proje; D0, D1, D2, D5, D8, D10 ve D11 otoyollarını kapsamakta, mevcut altyapıya entegre edilen K-AUS bileşenleri ile iletişim ve enerji sistemlerinin güçlendirilmesi hedeflenmektedir. K-AUS Merkezi Öğelerinin Tedariki Projesi, bir entegrasyon platformu ve güvenlik katmanının oluşturulmasını amaçlamaktadır. Bu platform, merkezî K-AUS istasyonları arasında veri alışverişini sağlayarak, verilerin yol kenarı ve araç içi istasyonlara iletilmesini sağlamakta, güvenlik katmanı ise veri iletimini güvenli hale getirmektedir. NAPCORE Projesi, CROCODILE projelerinin devamı niteliğinde olup, AB'nin 2010/40/EU sayılı AUS Direktifi'ne uygun olarak ulaşım altyapısı, güvenlik, trafik ve seyahat verilerinin ulusal erişim noktaları üzerinden paylaşılmasını sağlamaktadır. Bu proje, ulusal ve Avrupa düzeyinde koordinasyon mekanizmaları kurarak, Çek Cumhuriyeti'nin Ulusal Erişim Noktası olan Ulusal Trafik Bilgi Merkezi (NDIC)'nin modernizasyonunu desteklemektedir (European Union, 2023c:1-44). BaSIC Projesi; Çek Cumhuriyeti'nde K-AUS uygulamalarının hayata geçirilmesi için teknik ve operasyonel önlemleri belirlemeyi ve uygulanabilirliğini test etmeyi amaçlamaktadır. Prag çevresindeki D0 otoyolunda yapılan pilot uygulamada V2V ve V2I iletişimi test edilmiş, değişken trafik işaretlerinden alınan bilgiler araç içi ekranlarda sürücülere iletilmiş ve acil durum araçlarının geçişi hakkında bilgilendirme sağlanmıştır (Ministerstvo dopravy, 2017:28). NDIC ve JSDI Sistemlerinin Yeni İşlevselliklerinin Geliştirilmesi Projesi; Proje, kısmen veya tamamen otonom araçların etkin çalışmasını sağlamak amacıyla NDIC ve Birleşik Trafik Bilgi Sistemi'nin (JSDI) ileri düzey işlevlerle güçlendirilmesini hedeflemektedir. Bu kapsamda uzamsal veri kullanımı, V2I, üçüncü taraf merkezi sistemlerle entegrasyon ve MaaS çözümleri sağlanacaktır (Český automobilový průmysl, 2017:17-36; European Union, 2023c:1-44). Gerçek Trafik Ortamlarında Otonom Araç Test Alanlarının Geliştirilmesi Projesi (A1); Projenin amacı, kısmen veya tamamen otonom araçların farklı trafik koşullarında test edilmesine imkân tanıyacak kapsamlı bir altyapı oluşturmak ve belirli pilot projeleri hayata geçirmektir. Kapalı Ortamda Otonom Araç Test Alanlarının Geliştirilmesi Projesi (A2); Çek Cumhuriyeti ve Orta Avrupa'da eksikliği hissedilen otonom binek ve yük

araçları için özel bir test alanı inşa edilecektir. Bu alan, geliştirme sürecinin erken aşamalarında araç ve bileşen testlerine imkân tanıyacak ve ülkenin Ar-Ge kapasitesini güçlendirecektir. Açık Veri ve Dijital Hizmetler Geliştirme Desteği (D2); Hareketlilik ve otonom sürüş teknolojilerini desteklemek amacıyla, kamu ve özel sektör arasında etkin veri paylaşımı sağlanacaktır. Bu kapsamda, kamuya ait temel veri kümeleri-hareketlilik, ekonomi, bölgesel kalkınma, frekans spektrumu ile statik ve dinamik trafik verileri-tanımlanarak açık veri formatında erişime sunulacaktır. İnovasyon Dostu Ortamın Geliştirilmesi (D3); Otomotiv sektöründe Ar-Ge faaliyetlerini desteklemek amacıyla yenilikçi bir test ortamı oluşturulacaktır. Bu ortam, e-mobilite, bağlantılılık, dijital hareketlilik hizmetleri, çevresel etki, araç içi ve siber güvenlik, sanal gerçeklik uygulamaları ve HMI gibi alanları kapsayacaktır (Český automobilový průmysl, 2017:17-36). Elektromobilite ve Otonom Sistemlere Yönelik Eğitim ve Farkındalık Faaliyetleri (P4); Elektromobilite ve otonom sistemlere dair kamu kurumları nezdinde farkındalık oluşturmak ve bu alanlardaki stratejik hedeflere destek sağlamak amaçlanmaktadır. Sınır Ötesi Mekansal Verilerin Uyumluluğunun Artırılması; NDIC tarafından yönetilen trafik verilerinin, sınır ötesi kullanımda da etkin ve doğru bir biçimde işlenmesini sağlamak amacıyla, yerelleştirme sistemleri (ör. OpenLR, TMC) arasında dönüşüm sağlayan yazılım modüllerinin geliştirilmesidir. Trafik İşaretleri Veritabanının Güncellenmesi; yol üzerindeki dikey ve yatay trafik işaretlerine ilişkin kapsamlı, doğru ve güncel bilgileri içeren merkezi bir veri tabanının oluşturulmasıdır (European Union, 2023c:1-44). Yasal ve Düzenleyici Çerçeveye Yönelik Öneriler; sürücü, üretici, altyapı ve iletişim sağlayıcılar arasındaki sorumlulukların net olarak belirlenmesi, K-AUS bileşenlerinin hukuki statüsünün tanımlanması, araçlar arası ve araç-altyapı iletişim verilerinin güvenli ve anonim bir şekilde işlenmesi, saklanması ve paylaşılması gerekmektedir. Ayrıca, araçlar ve altyapılar için uluslararası siber güvenlik standartlarına uygun sertifikasyon süreçlerinin ulusal mevzuata entegrasyonu, otonom araçların uzaktan kontrolünde "operatör" ve "teknik gözetim" rollerinin belirlenmesi ve test, sertifikasyon ile iletişim altyapılarını kapsayan entegre bir bilgi sisteminin kurulması önem arz etmektedir (Ministerstvo dopravy, 2022:78-94). Çek-Slovak Sınır Ötesi Otonom Araç Test Projesi; Brno ile Bratislava arasındaki D2 otoyolunda, otonom sürüşe sahip araçların sınır ötesi koşullarda test edilmesine yönelik fizibilite çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Araştırma, Geliştirme ve İnovasyon Desteği; otonom hareketliliğe yönelik Ar-Ge faaliyetlerini desteklemek amacıyla, mevcut finansman araçlarının uyarlanması veya yeni destek mekanizmalarının oluşturulması gerekmektedir. Bu sayede, Çek Cumhuriyeti'nin rekabet gücü artırılarak, yabancı yatırımcılar için cazip bir

inovasyon merkezi hâline gelmesi hedeflenmektedir (Ministerstvo dopravy, 2017:28). Ulaştırma Altyapısının Dijital Katmanının Oluşturulması; Fiziksel ulaşım altyapısının dijital bir ikizinin oluşturulması ve kamu yönetiminin tüm birimlerine statik ve dinamik altyapı verilerine erişim sağlanması planlanmaktadır. Bu sayede; planlama, analiz ve otonom sistem entegrasyonu süreçleri kolaylaştırılacaktır (Ministerstvo dopravy, 2020:30-48).

3.3. ABD'de K-AUS Uygulamaları ve Stratejik Yaklaşımlar

ABD bağlantılı ve otonom araçlar ile K-AUS alanındaki çalışmalarını, ağırlıklı olarak ABD Ulaştırma Bakanlığı (U.S. Department of Transportation, U.S. DOT) liderliğinde; federal ve yerel kurumlar, özel sektör ve akademik kuruluşlar arasındaki iş birliğiyle yönlendirmekte ve bu teknolojilerin güvenli entegrasyonu ile inovasyonunu desteklemektedir.

Ulusal AUS Mimarisi (National ITS Architecture); ABD, Ulusal AUS Mimarisi'ni 1993'te geliştirmeye başlamış olup, amacı ulaşım sistemlerinin etkinliğini artırmak ve teknolojilerin entegrasyonunu kolaylaştırmaktır. Bu mimari, ülke genelindeki hareketliliği daha verimli hale getirmeyi hedeflemektedir (U.S. Department of Transportation [U.S. DOT], 2007:1-2). Ulusal AUS Mimarisi, 1993 yılından bu yana ABD'de AUS uygulamalarının gelişimine paralel olarak sürekli geliştirilmiştir. İlk olarak 1996 yılında, 29 kullanıcı hizmetini kapsayacak şekilde yayımlanan mimari, izleyen yıllarda bu sayının 33'e çıkarılmasıyla genişletilmiştir. Gelişen teknolojiler, saha deneyimleri ve paydaş geri bildirimleri doğrultusunda düzenli olarak güncellenen mimari, zaman içinde hem teknik standartlarla uyumlu kalmış hem de uygulayıcılar için gerçekçi ve kabul görmüş bir çerçeve sunmuştur. Bağlantılı araç teknolojilerinin yaygınlaşması ile CVRIA (Connected Vehicle Reference Implementation Architecture, Bağlantılı Araçlar Referans Uygulama Mimarisi); U.S. DOT tarafından, bağlantılı araç teknolojilerinin entegrasyonu ve standardizasyonunu sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu mimari, araçların birbirleriyle, yol kenarı altyapılarıyla, trafik yönetim merkezleriyle ve gezginlerin mobil cihazlarıyla etkili bir şekilde iletişim kurabilmesini mümkün kılarak, bağlantılı araç teknolojilerinin etkinliğini artırmayı hedeflemektedir.

ARC-IT (Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation, Kooperatif ve Akıllı Ulaşım Sistemleri İçin Referans Mimarisi); AUS'un planlanması, tanımlanması ve entegrasyonu için ortak çerçeve sunan kapsamlı bir referans mimaridir. İlk olarak 1996

yılında Ulusal AUS Mimarisi adıyla oluşturulan bu mimari, Ulusal AUS Mimarisi Versiyon 7.1 (National ITS Architecture Version 7.1) ile CVRIA Versiyon 2.2 mimarisinin entegrasyonu sonucunda oluşturulmuştur. Teknoloji alanındaki gelişmeler ve yeni akıllı ulaşım hizmetlerinin gereksinimlerini karşılamak üzere düzenli aralıklarla güncellenmektedir. ARC-IT, bir referans mimarisi olması nedeniyle belirli bir uygulamayı zorunlu kılmamakta; bunun yerine, farklı kaygı ve önceliklere sahip planlayıcılar ile mühendisler için ortak bir dil temelinde sistem tasarımı ve uygulaması gerçekleştirmeye olanak tanıyan ortak bir zemin sunmaktadır. Bu mimari, çok çeşitli paydaşların sahip olduğu teknik, operasyonel ve kurumsal endişeleri ele alan kapsamlı unsurlar içermektedir.

ARC-IT'nin Mimari menüsü, mimari kapsamındaki tüm içeriklere erişim sağlayan bağlantıları sunmakta ve mimarinin genel yapısını açıklamaktadır. Bu menü, kullanıcıların mimariyi sistematik bir şekilde keşfetmelerine imkân tanıyan hizmet paketleri, görünümler, metodoloji ve güvenlik bileşenlerini içermektedir:

- Hizmet Paketleri (Service Packages): Belirli bir ulaşım hizmetine (örneğin, trafik sinyali kontrolü) odaklanan mimari bileşenlerini temsil eder. Hizmet paketleri, ARC-IT içeriğine erişim için en kolay ve işlevsel başlangıç noktalarından biridir. Her hizmet paketi, ilgili hizmeti sunan çeşitli fiziksel nesneleri (sistemler ve cihazlar), fonksiyonel öğeleri ve bu bileşenler arasındaki bilgi akışlarını bütüncül bir şekilde bir araya getirir. Çizelge 3.1., hizmet alanlarına göre gruplandırılmış hizmet paketlerinin tam bir listesini içermektedir (ARC-IT, 2025a).

Çizelge 3.1. ARC-IT hizmet paketleri

Alan	Kod	Hizmet
Ticari Araç Operasyonları	CVO01	Taşıyıcı Operasyonları ve Filo Yönetimi
	CVO02	Yük İdaresi
	CVO03	Elektronik Gümrükleme
	CVO04	CV İdari İşlemleri
	CVO05	Ticari Araç Park Yeri
	CVO06	Yük Sinyal Önceliği
	CVO07	Yol Kenarı CVO Güvenliği
	CVO08	Akıllı Yol Kenarı ve Sanal WIM
	CVO09	Yük Taşımacılığına Özel Dinamik Seyahat Planlaması
	CVO10	Yük Taşıyıcıları için Yol Hava Durumu Bilgileri
	CVO11	Yük Taşımacılığı Optimizasyonu

Çizelge 3.1. (devam) ARC-IT hizmet paketleri

Alan	Kod	Hizmet
Ticari Araç Operasyonları	CVO12	Tehlikeli Madde Yönetimi
	CVO13	Yol Kenarı Tehlikeli Madde Güvenlik Tespiti ve Azaltılması
	CVO14	CV Sürücü Güvenlik Kimlik Doğrulaması
	CVO15	Filo ve Yük Güvenliği
	CVO16	Elektronik Sürücü Kayıtları
	CVO17	Akıllı Erişim Programı
	CVO18	Akıllı Erişim Programı - Kilo İzleme
	CVO19	Akıllı Hız Uyumluluğu
	CVO20	Uluslararası Sınır Kaydı
	CVO21	Uluslararası Sınır Elektronik İzni
	CVO22	Uluslararası Sınır Koordinasyonu
Veri Yönetimi	DM01	ITS Veri Ambarı (Uygulamalar)
	DM02	Performans İzleme (Uygulamalar)
Bakım ve İnşaat	MC01	Bakım ve İnşaat Araç ve Ekipman Takibi
	MC02	Bakım ve İnşaat Araç Bakımı
	MC03	Yol Otomatize Tedavisi
	MC04	Kış Bakımı
	MC05	Yol Bakımı ve İnşaatı
	MC06	Çalışma Alanı Yönetimi
	MC07	Çalışma Alanı Güvenlik İzleme
	MC08	Bakım ve İnşaat Faaliyet Koordinasyonu
	MC09	Altyapı İzleme
	MC10	Varlık Takibi (Uygulamalar)
	MC11	Bakım ve İnşaat Sinyal Önceliği
	MC12	Tek Yön Konvoy Sürüşü
Otopark Yönetimi	PM01	Otopark Alanı Yönetimi (Uygulamalar)
	PM02	Akıllı Park Et ve Bin Sistemi (Uygulamalar)
	PM03	Otopark Elektronik Ödeme (Uygulamalar)
	PM04	Bölgesel Park Yönetimi
	PM05	Park Yeri Rezervasyonları
	PM06	Yükleme Bölgesi Yönetimi
Kamu Güvenliği	PS01	Acil Çağrı Alma ve Gönderme
	PS02	Acil Müdahale
	PS03	Acil Durum Araç Ön Alımı (Uygulamalar)
	PS04	Mayday Bildirimi
	PS05	Araç Acil Durum Müdahalesi
	PS06	Acil Durum Müdahalecileri İçin Olay Yeri Varış Öncesi Sahneleme Kılavuzu
	PS07	Olay Yeri Güvenlik İzleme
	PS08	Yol Hizmet Devriyeleri
	PS09	Ulaştırma Altyapısı Koruma
	PS10	Geniş Alan Uyarısı
	PS11	Erken Uyarı Sistemi

Çizelge 3.1. (devam) ARC-IT hizmet paketleri

Alan	Kod	Hizmet
Kamu Güvenliği	PS12	Afet Müdahalesi ve Kurtarma
	PS13	Tahliye ve Yeniden Giriş Yönetimi
	PS14	Felaket Yolcusu Bilgileri
	PS15	Çalınan Araç Kurtarma
Toplu Taşıma	PT01	Transit Araç Takibi
	PT02	Transit Sabit Rota Operasyonları
	PT03	Dinamik Transit Operasyonları
	PT04	Transit Ücret Toplama Yönetimi
	PT05	Transit Güvenliği
	PT06	Transit Filo Yönetimi
	PT07	Transit Yolcu Sayımı
	PT08	Transit Yolcu Bilgileri
	PT09	Transit Sinyal Önceliği (Uygulamalar)
	PT10	Aralıklı Otobüs Şeritleri (Uygulamalar)
	PT11	Transit Yaya İşareti
	PT12	Transit Araç Durma/Durdurma Uyarıları
	PT13	Bir Transit Aracının Önünde Sağa Dönen Araç
	PT14	Çok Modlu Koordinasyon
	PT15	Transit Durdurma Talebi
	PT16	Görme Engelliler İçin Rota Kimliği
	PT17	Transit Bağlantı Koruması
Sürdürülebilir Seyahat	ST01	Emisyon İzleme
	ST02	Eko-Trafik Sinyal Zamanlaması
	ST03	Eko-Trafik Ölçümü
	ST04	Yol kenarı aydınlatması
	ST05	Elektrikli Şarj İstasyonları Yönetimi
	ST06	HOV/HOT Şerit Yönetimi
	ST07	Eko-Şerit Yönetimi
	ST08	Sinyalize Kavşaklarda Eko-Yaklaşım ve Ayrılış (Uygulamalar)
	ST09	Bağlantılı Eko-Sürüş
	ST10	Düşük Emisyon Bölgesi Yönetimi
Destek	SU01	Bağlantılı Araç Sistemi İzleme ve Yönetimi
	SU02	Çekirdek Yetkilendirme
	SU03	Veri Dağıtımı
	SU04	Harita Yönetimi
	SU05	Yer ve Zaman
	SU06	Nesne Kaydı ve Keşfi
	SU07	ITS İletişimleri
	SU08	Güvenlik ve Kimlik Bilgileri Yönetimi
	SU09	Cihaz Sertifikasyonu ve Kaydı
	SU10	Merkez Bakımı
	SU11	Saha Ekipmanı Bakımı

Çizelge 3.1. (devam) ARC-IT hizmet paketleri

Alan	Kod	Hizmet
Destek	SU12	Araç Bakımı
	SU13	Personel Cihaz Bakımı
	SU14	Uzaktan Erişim
	SU15	Savunmasız Yol Kullanıcısı Cihaz Geçiş Desteği
Seyahat Bilgileri ve Kişisel Hareketlilik	TI01	Yayın Gezgini Bilgileri (Uygulamalar)
	TI02	Kişiselleştirilmiş Gezgin Bilgileri
	TI03	Yol Rehberliği
	TI04	Gezi Planlaması ve Ödeme
	TI05	Entegre Çok Modlu Elektronik Ödeme (Uygulamalar)
	TI06	Paylaşımlı Kullanım Hareketliliği ve Dinamik Yolculuk Paylaşımı (Uygulamalar)
	TI07	Araç İçi Tabelalar
	TI08	Kişisel Yol Bulma
	TI09	Seyahat Hizmetleri Bilgi ve Rezervasyon
Trafik Yönetimi	TM01	Altyapı Tabanlı Trafik Gözetimi (Uygulamalar)
	TM02	Araç Tabanlı Trafik Gözetimi (Uygulamalar)
	TM03	Trafik Sinyal Kontrolü (Uygulamalar)
	TM04	Bağlantılı Araç Trafik Sinyal Sistemi (Uygulamalar)
	TM05	Trafik Ölçümü
	TM06	Trafik Bilgi Dağıtımı (Uygulamalar)
	TM07	Bölgesel Trafik Yönetimi
	TM08	Trafik Olay Yönetim Sistemi
	TM09	Entegre Karar Desteği ve Talep Yönetimi
	TM10	Elektronik Ücret Toplama
	TM11	Yol Kullanım Şarjı
	TM12	Dinamik Yol Uyarısı
	TM13	Standart Demiryolu Geçidi
	TM14	Gelişmiş Demiryolu Geçidi
	TM15	Demiryolu İşletme Koordinasyonu
	TM16	Geri Dönüştürülebilir Şerit Yönetimi
	TM17	Hız Uyarısı ve Uygulaması
	TM18	Çekme Köprü Yönetimi
	TM19	Yol Kapatma Yönetimi
	TM20	Değişken Hız Sınırları
	TM21	Hız Uyumlaştırması
	TM22	Dinamik Şerit Yönetimi ve Omuz Kullanımı
	TM23	Sınır Yönetim Sistemleri
	TM24	Tünel Yönetimi
	TM25	Yanlış Yön Araç Algılama ve Uyarısı
	TM26	Sinyal Uygulaması
Araç Güvenliği	VS01	Otonom Araç Güvenlik Sistemleri
	VS02	V2V Temel Güvenlik
	VS03	Durumsal Farkındalık

Çizelge 3.1. (devam) ARC-IT hizmet paketleri

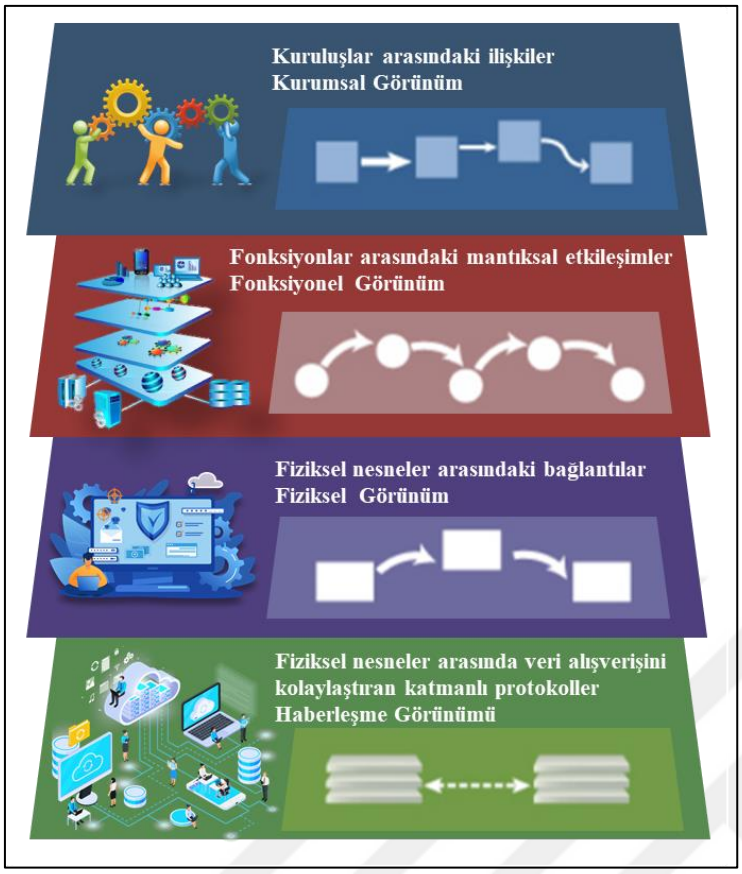
Alan	Kod	Hizmet
Araç Güvenliği	VS04	Özel Araç Uyarısı (Uygulamalar)
	VS05	Viraj Hız Uyarısı
	VS06	Dur İşareti Boşluk Yardımı
	VS07	Yol Hava Durumu Motorist Uyarısı ve İkazı
	VS08	Kuyruk Uyarısı (Uygulamalar)
	VS09	Azaltılmış Hız Bölgesi Uyarısı / Şerit Kapatma (Uygulamalar)
	VS10	Sınırlı Şerit Uyarıları
	VS11	Büyük Araç Uyarısı
	VS12	Savunmasız Yol Kullanıcılarının Güvenliği
	VS13	Kavşak Güvenlik Uyarısı ve Çarpışma Önleme
	VS14	Kooperatif Uyarlamalı Seyir Kontrolü
	VS15	Altyapı Geliştirilmiş Kooperatif Uyarlamalı Seyir Kontrolü
	VS16	Manevra Koordinasyonu
	VS17	Otomatik Araç Operasyonları
	VS18	Elektronik Trafik Mevzuatının Yönetimi (METR)
	VS19	Savunmasız Yol Kullanıcısı Kümelenmesi
Hava Durumu	WX01	Hava Durumu Veri Toplama (Uygulamalar)
	WX02	Hava Durumu Bilgilerinin İşlenmesi ve Dağıtımı
	WX03	Nokta Hava Etkisi Uyarısı
	WX04	Yol Mikro Tahmini

- Görünümler (Views): ARC-IT, mimariyi farklı perspektiflerden anlamayı sağlayan dört temel görünüm etrafında yapılandırılmıştır. Bu yaklaşım, "Software, systems and enterprise- Architecture description (Yazılım, sistemler ve kurumsal yapı- Mimari açıklaması)" standardı olan ISO/IEC/IEEE 42010:2022'ye dayanmaktadır. Söz konusu standart, paydaşların gereksinim ve kaygılarının eksiksiz şekilde karşılandığı bütüncül bir ortamın tanımlanması sürecini içermektedir (ARC-IT, 2022:1-7). Kullanıcılara mimarinin farklı yönlerine özgü içerikler sunulmaktadır. Örneğin, belirli bir bilgi akışı ya da iletişim profili araştırılıyorsa, ilgili fiziksel veya iletişimsel bileşenlere bu bölüm üzerinden ulaşılabilir. Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi ARC-IT 4 Görünümden oluşmaktadır (ARC-IT, 2022:1-7):
    - Kurumsal Görünüm (Enterprise View): Kuruluşlar arasındaki ilişkileri ve bu kuruluşların AUS hizmetlerinde üstlendikleri rollerin tanımını yapmaktadır. Bu bakış açısı, sistemin genel organizasyonel ve işlevsel yapısını ele almaktadır. ARC-IT çerçevesinde, Kurumsal Görünüm'ün temel yapı taşları bilgi alışverişi, sistem yönetimi ve işletilmesi için etkileşime giren kurumsal nesnelerden oluşmaktadır. Kurumsal nesneler arasındaki ilişkiler, AUS hizmetlerini uygulamak ve sunmak

amacıyla, ortak hedeflere ulaşmayı sağlayan anlaşmalar ya da sözleşmelere dayalı koordinasyon biçimlerinde düzenlenmektedir. Kurumsal nesneler ile kaynaklar (fiziksel nesneler de dahil) arasındaki ilişkiler; nesnenin sahiplenme, işletme, geliştirme, kurma veya bakımını üstlenmesiyle tanımlanan roller aracılığıyla ifade edilmektedir. Kurumsal Görünüm, aynı zamanda mimarinin teknik katmanlarını destekleyen politikalar, finansal teşvikler, çalışma düzenlemeleri ve yargısal yapıyı da dikkate almaktadır. Bu yapı, AUS sistemlerinin kimler tarafından uygulanacağı ve bu uygulayıcıların hangi rollerle sorumlu olacakları konusunda temel bir çerçeve sunmaktadır. Edinme, bakım, kurulum, işletme, sertifikasyon, politika belirleme veya kullanıcı rolü üstlenen paydaşlar, "Ulaşımla ilgili kullanıcı hizmetlerini sağlamak kimlerin sorumluluğundadır?" ya da "AUS hizmetlerinin, uygulamalarının ve cihazlarının kurulum, işletim ve bakımından kimler sorumludur?" gibi sorulara yanıt arayabilmektedirler. Kurumsal Görünüm'ün anahtar bileşenleri, kurumsal nesneler arasındaki etkileşimleri düzenleyerek, AUS hizmetlerinin etkin ve verimli bir şekilde uygulanmasını sağlamaya yöneliktir.

- Fonksiyonel Görünüm (Functional View): Sistem gereksinimlerini karşılayan soyut fonksiyonel öğeleri ve bu öğelerin mantıksal etkileşimlerini tanımlar. Bu etkileşimler, veri akışlarını ifade eder ve ARC-IT çerçevesinde, hiyerarşik olarak düzenlenmiş bir süreçler kümesi şeklinde tasvir edilmiştir. Fonksiyonel Görünüm, sistemin "ne yaptığı"yla ilgilenirken, Fiziksel ve İletişim Görünümleri ise bu işlevlerin "nasıl yapıldığı"na odaklanır. Fonksiyonel Görünüm, Hatley/Pirbhai yaklaşımına dayanan ve işlevsel unsurlar arasındaki veri akışlarını göstermek amacıyla, Yourdon-Demarco Veri Akışı Diyagramları (DFD'ler) içeren bir yapısal analiz metodolojisiyle modellenmiştir. Bu görünüm, Ulusal AUS Mimarisi'nin Mantıksal Mimarisini bir başlangıç noktası olarak almaktadır. Proje geliştirme sürecinde yer alan paydaşlar, "Belirli bir hizmeti uygulamak için hangi verilere ihtiyaç vardır?" ya da "Bu hizmetin uygulanabilmesi için hangi işlevsellik gereklidir?" gibi soruları bu görünüm üzerinden yanıtlayabilirler. Fonksiyonel Görünüm'ün anahtar bileşenleri arasında hizmet paketinin ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olan işlev veya faaliyetleri tanımlayan Süreç, en alt düzey süreçlerin metinsel tanımını içeren Süreç Spesifikasyonu (p-spec), süreçler arasındaki veya bir süreç ile harici fiziksel nesne arasındaki veri alışverişini temsil eden Veri Akışları ve mimari sınırın ötesindeki sistemleri temsil eden harici fiziksel nesne olarak tanımlanan Sonlandırıcı (Terminator) yer almaktadır.

- Fiziksel Görünüm (Physical View): Fiziksel nesneleri (sistemler ve cihazlar) ve bu nesnelerin gerçekleştirdiği fonksiyonel görevleri tanımlar. Ayrıca, bu fiziksel nesneler arasındaki üst düzey arayüzleri ve etkileşimleri ortaya koymaktadır. Bu görünüm, AUS tarafından desteklenen ulaşım sistemlerini ve bu sistemler arasındaki bilgi alışverişini tanımlamaktadır. Mimari, AUS hizmet paketlerini desteklemek amacıyla etkileşime giren ve bilgi alışverişinde bulunan entegre Fiziksel Nesneler (alt sistemler ve sonlandırıcılar) kümesi olarak tasvir edilmiştir. Fiziksel görünüm, tasarıma daha yakın bir mühendislik perspektifi sunmakta ve doğrudan Haberleşme Görünümü'ne temel oluşturmaktadır. Fiziksel Nesneler; uygulamalar, içerdikleri işlevler ve diğer fiziksel nesnelerle olan arayüzler temelinde tanımlanır ve bu nesneler beş ana sınıfa ayrılır: Merkez, Saha, Destek, Kişisel ve Araç. Fonksiyonel Nesneler, fiziksel görünümdeki fiziksel nesnelerin yapı taşları olup, belirli bir hizmet paketini desteklemek üzere gerekli işlevsellik ve arayüzleri tanımlamaktadır. Bu görünüm, tüm paydaşlar için bilgilendirici nitelik taşımakta ve "Belirli bir hizmetin sunumunda hangi fiziksel varlıklar yer alır?" ya da "Farklı fiziksel bileşenler arasında hangi arayüzler gereklidir?" gibi sorulara yanıt aramaya olanak tanımaktadır.
- Haberleşme Görünümü (Communications View): Fiziksel Görünüm'de tanımlanan bir kaynak ve hedef arasındaki bilgi akışının uygulanabilmesi için gerekli olan protokol yığınlarını tanımlamaktadır. Bu protokol yığınları, "çözümler" olarak adlandırılmakta olup, çeşitli endüstri standartlarına dayanmaktadır. Haberleşme Görünümü, fiziksel nesneler arasındaki bilgi akışlarını desteklemek amacıyla, protokol seçiminde bir çerçeve sunmaktadır. Seçilen protokollerin birlikte çalışabilirlik, performans, işlevsellik, güvenlik ve çevresel gereksinimler gibi kriterleri karşılaması, aynı zamanda operasyonel zorluklara da yanıt verebilmesi beklenmektedir. ARC-IT çerçevesinde yer alan Haberleşme Modeli, daha önceki çalışmalardan türetilmiş olup OSI Modeli, AUS İstasyon Mimarisi (ISO 21217), NTCIP Çerçevesi ve İnternet Protokol Paketi gibi standartları temel almaktadır. Bu model, OSI katmanlarını belirli protokol eşleşmeleriyle gruplayarak, gerçek sistem dağıtımlarına uyumlu hale getirmektedir. Modelde tanımlanan temel katmanlar; AUS Uygulama Varlığı, Tesisler Katmanı, TransNet Katmanı, Erişim Katmanı ve Yönetim ile Güvenlik katmanlarıdır.



Şekil 3.1. ABD ARC-IT mimarisinin 4 görünümü

- Metodoloji (Methodology): Mimari; nasıl yapılandırıldığını, hangi ilkeler doğrultusunda inşa edildiğini ve içerikteki öğelerin birbirleriyle nasıl ilişkilendirildiğini ayrıntılı bir şekilde açıklamaktadır. ARC-IT; önceki mimariler olan CVRIA ve Ulusal AUS Mimarisi gibi referans çalışmalardan yararlanarak, mimari kavramların geliştirilmesinde doğrudan paydaş katılımı ve dolaylı olarak yayımlanmış AUS ile ilgili belgelerin incelenmesi yoluyla sağlanan girdilerden faydalanmaktadır. Mimari hem mevcut AUS uygulamaları hem de erken aşamadaki K-AUS ve bağlantılı araç uygulama konseptleri için ortak bir dil ve referans noktası oluşturmayı hedeflemektedir. Bu kapsamda ARC-IT, bir referans mimari olarak bölgesel ve yerel uygulamalara temel teşkil etmektedir. Uygulayıcıların, öncelikle kendi ilgi alanlarına yönelik uzun vadeli vizyonlarını tanımlayan bölgesel bir mimari geliştirmeleri, ardından bu bölgesel mimari kapsamında projeleri belirlemeleri ve nihayetinde ayrıntılı proje sistem mimarileri oluşturarak mimariyi kendi ihtiyaçlarına uygun şekilde uyarlamaları beklenmektedir. ARC-IT'nin ilişkili araç seti, bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesini sağlayan çeşitli araçlar sunmaktadır. Bu araçlar arasında:

  - RAD-IT: Bölgesel mimarilerin geliştirilmesi ve proje mimarilerinin tanımlanması işlevlerini yerine getiren bir araçtır.
  - SET-IT: Tanımlanan projeleri temel alarak tasarım düzeyinde çıktıların (eserlerin) oluşturulmasını mümkün kılan bir araçtır.
- Güvenlik (Security): Mimari kapsamında güvenliğin nasıl ele alındığını tanımlamakta ve sistem genelinde uygulanan güvenlik yaklaşımlarına dair mimarinin ilgili bölümlerine yönlendirici bağlantılar sunulmaktadır. Güvenlik endişeleri, ulaşım bilgileri ve altyapısının korunmasına odaklanmaktadır. AUS mimarisinde güvenlik, iki temel şekilde ele alınmaktadır:
  - AUS'un Güvenliğini Sağlamak ("Securing ITS"): AUS'un bir bilgi sistemi olarak güvenilir, dayanıklı ve ihtiyaç duyulduğunda erişilebilir olması amacıyla korunması gerekmektedir. Bu güvenlik yaklaşımı, tüm fiziksel varlıklar ve bilgi akışları için geçerlidir; ayrıca tüm kurumsal varlıkları etkileyerek iletişim profillerinin yapısını ve içeriklerini şekillendirmektedir. Örneğin; bir toplu taşıma gözetim sisteminde kameraların yalnızca kontrol merkezi tarafından yönetilmesi, kolayca devre dışı bırakılmasının engellenmesi ve hassas görüntülerin yetkisiz erişimden korunması, "Securing ITS" kapsamında değerlendirilmektedir.
  - AUS Güvenlik Alanları ("ITS Security Areas"): AUS, ulaşım sistemlerinin güvenliğini artırmak amacıyla çeşitli güvenlik alanlarında kullanılabilir. Sekiz ana güvenlik alanı, AUS'un kara ulaşım sistemlerine yönelik tehditleri tespit etme, bu tehditlere yanıt verme ve bunlardan kurtulma stratejilerini tanımlamaktadır. Örneğin, toplu taşıma gözetim sistemleri, "Toplu Taşıma Güvenliği" alanında tanımlanan caydırıcı ve müdahale aracı olarak görev yapmaktadır.

Bölgesel AUS Mimarisi: Bölgesel AUS Mimarisi, AUS uygulamalarının planlı ve sürdürülebilir bir şekilde hayata geçirilmesi için kritik bir rol oynayan, bölgesel ölçekli bir çerçevedir. Bu mimari, AUS projelerinin veya proje kümelerinin uygulanması için kurumlar arası iş birliğini ve teknik entegrasyonu tesis etmektedir. Temel amacı; AUS çözümlerinin planlanması, geliştirilmesi ve uygulanması süreçlerinde düzenliliği, koordinasyonu ve sistematik belgelemeyi sağlayarak bölgesel düzeyde entegrasyonu gerçekleştirmektir. Bölgesel AUS Mimarileri, eyalet Ulaştırma Bakanlıkları (DOT), Metropoliten Planlama Kuruluşları (MPO) veya Hükümet Konseyleri (COG) gibi yetkili kurumlar tarafından, bir bölge, ilçe veya eyalet ölçeğinde geliştirilebilir ve sürdürülebilir. ABD federal yönetmelikleri (23 CFR 940) uyarınca, Otoyol Güven Fonu ile finanse edilen tüm AUS

projelerinin ARC-IT'ye uyumlu olması zorunludur. Bölgesel mimari, ARC-IT'nin yerel koşullar, paydaş ihtiyaçları ve bölgesel yatırımlar doğrultusunda uyarlanmasıyla oluşturulur. Bölgesel AUS Mimarisi, sistem entegrasyonunu sağlamak ve projelerin tutarlılık içinde ilerlemesini desteklemek amacıyla bir dizi temel bileşenden oluşmaktadır. Aşağıda sıralanan bu bileşenler, AUS mimarisine bütünsel bir perspektif kazandırarak planlama, uygulama ve işletme süreçlerinin uyumlu şekilde yürütülmesine olanak tanımaktadır:

- Mimari Kapsam: AUS mimarisinin geliştirildiği bölgeyi tanımlamaktadır. Kapsam, üç boyutta ele alınır: coğrafi alan (örneğin metropol alanı, ilçe veya eyalet), zaman ufku (örneğin 10 veya 20 yıllık periyot) ve kapsanan hizmet türleri. Bu bileşen, mimarinin diğer tüm unsurları için bağlamsal çerçeveyi oluşturur.
- Paydaşlar: Bölgedeki AUS sistemlerinin sahibi, işletmecisi, sürdürücüsü ya da kullanıcısı olan kamu kurumları, özel sektör kuruluşları ve ilgili diğer tüzel kişilerden oluşmaktadır. Paydaş katılımı, mimarinin etkinliği açısından kritik önemdedir ve envanter, kurumlar arası anlaşmalar, roller ve sorumluluklar gibi diğer bileşenlerle doğrudan ilişkilidir.
- Planlama Hedefleri, Amaçları ve Stratejileri ile Bağlantı: AUS mimarisinin, bölgenin ulaşım planlama hedefleriyle tutarlı olması beklenmektedir. Bu bileşen, AUS hizmetlerinin, belirlenen ulaşım hedeflerine nasıl katkı sağlayacağını ortaya koymakta ve sistemin stratejik planlamaya entegrasyonunu sağlamaktadır.
- AUS Elemanları Envanteri: AUS hizmetlerinin sunumunda rol alan sistemler, cihazlar ve ekipmanlar ile bu elemanlara veri sağlayan veya onlardan veri alan AUS dışı bileşenleri kapsamaktadır. Envanter, bilgi alışverişi süreçlerini ve sistem gereksinimlerini yapılandırmak için temel bir bileşendir.
- Bölgesel AUS Hizmetleri: Bölgesel hedef ve amaçlara ulaşmak için AUS elemanları kullanılarak sunulan ulaşım hizmetlerini ifade etmektedir. Bu hizmetler, ARC-IT çerçevesinde tanımlanan hizmet paketleri aracılığıyla mimariye entegre edilmektedir.
- Kullanıcı İhtiyaçları: AUS sisteminin, belirli bir hedefe ulaşmak ya da ulaşım sorununun çözümüne katkı sağlamak amacıyla gerçekleştirmesi beklenen işlevlerdir. Kullanıcı ihtiyaçları, sistem gereksinimlerinin belirlenmesinde başlangıç noktası olarak işlev görmektedir ve hizmet paketleriyle doğrudan ilişkilidir.
- Operasyonel Konsept (Paydaşların Rol ve Sorumlulukları): Ulaşım sisteminin farklı bileşenlerini geliştiren, işleten, sürdüren veya yöneten paydaşların rollerini

tanımlamaktadır. Bu bileşen, bölgesel düzeyde entegrasyon fırsatlarının ilk kez belgelendiği ve paydaş iş birliğinin ayrıntılı biçimde ele alındığı aşamadır.

- Sistem Fonksiyonları ve Gereksinimleri: AUS elemanlarının tanımlanan hizmetleri gerçekleştirebilmesi için gerekli olan işlevlerin yüksek düzeyli tanımlarıdır. Sistemden ne yapılması gerektiği bekleniyorsa, bu bileşen onu açıklamaktadır. Özellikle bölgesel entegrasyonu destekleyen üst düzey işlevsellikler vurgulanmaktadır.
- Hizmetleri Destekleyen Sistem Arayüzleri: AUS elemanları arasındaki elektronik bilgi alışverişini tanımlamaktadır. Bu arayüzler, iki düzeyde incelenir: ara bağlantılar (iletişim yolları) ve bilgi akışları (aktarılacak bilgilerin genel tanımı).
- İletişim ve Cihaz Standartları: AUS elemanları arasında birlikte çalışabilirliği sağlamak amacıyla uygulanan teknik standartlardır. Bu standartlar, öncelikli olarak sistem arayüzleri için tanımlansa da fiziksel AUS bileşenleri için de belirlenebilir.
- Kurumlararası Anlaşmalar: Yargı yetkileri arasında bilgi paylaşımı ve operasyonel koordinasyonu sağlamak üzere, paydaşlar arasında yapılması gereken resmi anlaşmaları içermektedir. Bu anlaşmalar; işletme, finansman, bakım ve veri paylaşımı gibi konuları kapsayabilir.
- Bölgesel AUS Projelerinin Sıralaması: Bölgesel ulaşım sistemine katkıda bulunacak AUS projeleri arasındaki önceliklendirme ve uygulama sırasını belirlemektedir. Bu bileşen, projeler arası bağımlılıkları ortaya koyarak stratejik planlamayı desteklemektedir.

5.9 GHz bandının yeniden düzenlenmesi ve C-V2X teknolojisine geçiş; ABD Federal İletişim Komisyonu (FCC), 2020-2024 yılları arasında 5.9 GHz bandını yeniden düzenlemiştir. Başlangıçta DSRC tabanlı araç iletişimi için ayrılan bu bandın, gelişen teknolojilere ve lisanssız spektrum talebine uyum sağlamak amacıyla yapılandırılması kararlaştırılmıştır. Bandın alt 45 MHz'lik kısmı lisanssız genişbant uygulamalarına ayrılmış, üst 30 MHz'lik bölüm ise araç güvenliği ve C-V2X iletişimi için kullanılmaya devam etmiştir. DSRC'den C-V2X teknolojisine geçiş zorunlu hale getirilmiştir ve DSRC operasyonları iki yıl içinde sonlandırılacaktır. C-V2X, OBU ile RSU arasında hücresel tabanlı iletişim sağlamaktadır ve kanal erişimi öncelik sırasına göre belirlenmiştir. RSU'lar, coğrafi lisanslarla faaliyet gösterecek ve NTIA onayı gerektiren bölgelerde koordinasyon şartları uygulanacaktır. Teknik olarak, RSU'lar için EIRP limiti 33 dBm ve anten yüksekliği 8 metreyle sınırlıdır. Ayrıca, bant dışı emisyon limitleri belirlenmiş ve parazit riskini

azaltacak önlemler alınmıştır. Bu düzenlemeler, daha verimli spektrum kullanımı ve modern bir araç iletişim altyapısı oluşturmayı hedeflemektedir (U.S. Federal Communications Commission, 2004:1-5, 2019:1-14, 2024:1-106). Otonom Araç Teknolojilerinde Amerikan Liderliğini Sağlama: Otonom Araçlar 4.0 (AV 4.0); ABD otonom araçların karayolu güvenliğini artırma, ekonomik büyümeyi teşvik etme ve hareketliliği geliştirme hedefiyle liderlik sağlamayı amaçlamaktadır. Otonom Araçlar 4.0 (AV 4.0) raporu; güvenlik, siber güvenlik ve altyapı geliştirme alanlarında ABD Hükümeti'nin faaliyetlerini özetlemektedir. U.S. DOT, otonom araçların güvenli entegrasyonunu sağlamak için rehberlik belgeleri yayımlamış ve hibe programları başlatmıştır. Ayrıca, yaşlılar ve engelliler için erişilebilirlik sağlamak amacıyla araştırma girişimleri yapılmıştır. 5G ve V2X teknolojileriyle güvenli ulaşım çözümleri geliştirilmekte ve 5.9 GHz güvenlik bandı bu amaçla kullanılmaktadır. Kooperatif Sürüş Otomasyonu (CARMA) araçların ve altyapıların daha güvenli ve verimli bir şekilde iş birliği yapmasını teşvik etmektedir. NIST ve U.S. DOT güvenlik çerçeveleri geliştirerek, bağlantılı ve otonom araçların güvenliğini sağlamayı hedeflemektedir (U.S. DOT, 2020:26-41). Otonom Araçlar Kapsamlı Planı (Automated Vehicles Comprehensive Plan)'nda; U.S. DOT, otonom araçlar ve bağlantılı araç teknolojilerinin güvenli entegrasyonunu sağlamak için kapsamlı bir strateji geliştirmiştir. Bu strateji, ulaşım sistemini dönüştürme potansiyeli taşıyan bu teknolojilerin güvenli ve verimli şekilde uygulanmasını hedeflemektedir. U.S. DOT, ADS teknolojilerinin entegrasyonunu sağlamak için Federal Motorlu Araç Güvenlik Standartları'nda (FMVSS) düzenlemeler yaparak, ADS'ye özgü yeni araç tasarımlarına yönelik engelleri kaldırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, ADS güvenliğini değerlendirecek bir çerçeve oluşturulması için çalışmalar yürütülmektedir (U.S. DOT, 2021:1-25). ABD Ulaştırma Bakanlığı Akıllı Ulaşım Sistemleri Ortak Program Ofisi (Intelligent Transportation Systems Joint Program Office, ITS JPO), 2020–2025 Stratejik Planı; ulusal ulaşım sistemine yenilikçi teknolojilerin entegrasyonunu sağlayarak güvenliği, hareketliliği ve verimliliği artırmayı amaçlamaktadır. Bu strateji, otomasyon, bağlantılı araçlar ve K-AUS teknolojilerini temel odak alanları olarak belirlemiştir (ITS JPO, 2025). Bağlantılı Araç Pilot Dağıtım Programı (Connected Vehicle Pilot Deployment Program); U.S. DOT tarafından başlatılan, bağlantılı araç teknolojilerinin yaygınlaştırılması ve V2X iletişiminin benimsenmesini teşvik etmeyi amaçlayan pilot projelerden oluşmaktadır. Program, üç aşamada gerçekleştirilmiştir: ilk aşamada, bağlantılı sistemlerin hızlı dağıtımı için planlar oluşturulmuş, ikinci aşamada araç içi sistemler, mobil cihazlar ve yol kenarı altyapıları entegre edilmiştir. Son aşamada ise, test edilen sistemler operasyonel hale getirilmiş ve güvenlik ile çevresel etkiler değerlendirilmiştir. Wyoming, New York ve

Tampa pilot bölgelerinde, bağlantılı araç sistemleri çeşitli uygulamalarla test edilmiştir. Wyoming, olumsuz hava koşullarına karşı ticari araçlar için çözümler sunmuş, New York, kentsel trafik güvenliğini artırmış, Tampa ise trafik akışını iyileştirmiştir. Bu projeler, teknik zorluklarla karşılaşmış, ancak başarılı birlikte çalışabilirlik testleri sistemlerin uyumluluğu kanıtlanmıştır. Bağlantılı araç teknolojileri güvenlik, hareketlilik ve çevresel etkiler açısından faydalar sağlamış, otonom araçların entegrasyonuna zemin hazırlamıştır. Bu çalışmalar gelecekte trafik kazalarını azaltma, yol güvenliğini artırma ve çevresel etkileri minimize etme hedeflerine katkı sağlayacaktır (U.S. DOT, 2024:1-16).

3.4. Asya-Pasifik Ülkeleri'nde K-AUS Uygulamaları ve Stratejik Yaklaşımlar

3.4.1. Avustralya

Avustralya'da K-AUS, bağlantılı araçlar ve otonom araç teknolojileri; devlet kurumları, üniversiteler, araştırma merkezleri ve özel sektör iş birlikleri ile yürütülmekte olup altyapı geliştirmek, düzenleyici çerçeve oluşturmak ve teknoloji inovasyonunu teşvik etmek amacıyla Queensland Ulaştırma ve Ana Yollar Departmanı (TMR), iMOVE Australia ve diğer ilgili kurumlar önemli roller üstlenmektedir. AUS Master Planı 2022-2030 (Intelligent Transport Systems (ITS) Master Plan 2022-2030), Batı Avustralya'da bağlantılı ve otonom araç teknolojilerinin entegrasyonunu hedeflemektedir. Gelecek Araç Teknolojisi programı çerçevesinde, bu araçların yol ağında test edilmesi, sayılarının artırılması ve etkilerinin değerlendirilmesi planlanmaktadır (Main Roads Western Australia, 2025b:5). Avustralya Ulusal Karayolu Taşımacılığı Teknoloji Stratejisi (National Road Transport Technology Strategy); güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir ulaşım sistemi oluşturmayı amaçlamakta ve CAV'lerin yaygınlaştırılmasını teşvik etmektedir (Infrastructure and Transport Ministers, 2025b:5-7). 2024-2027 Ulusal Bağlantılı ve Otonom Araçlar (CAV) Eylem Planı (2024–27 National Connected and Automated Vehicle (CAV) Action Plan), araç bağlantılılık ve otomasyonunu ilerleterek otonom araçların ticari yayılımını, K-AUS teknolojilerinin entegrasyonunu ve veri paylaşımını desteklemeyi hedeflemektedir (Infrastructure and Transport Ministers, 2025a:6-7). Yeni Güney Galler (NSW) Bağlantılı ve Otonom Araç (CAV) Hazırlık Stratejisi (NSW Connected and Automated Vehicle (CAV) Readiness Strategy), eyaletin ulaşım sistemini geleceğe hazırlamak için CAV teknolojilerinin entegrasyonunu hızlandırmayı amaçlamaktadır. CAV'lerin güvenli ve verimli kullanımını

sağlamak için test projeleri, altyapı geliştirme ve eğitim programları önermektedir (Transport for NSW, 2022:10-31).

Avustralya'da K-AUS, bağlantılı araçlar ve otonom araçlar alanlarında yürütülen projeler, çoğunlukla iMOVE Cooperative Research Centres (CRC) programı kapsamında finanse edilmekte olup Avustralya Hükümeti tarafından da desteklenmektedir (Ding vd., 2024; ITS Australia, 2020:5-7; iMOVE, 2025b). Ipswich Bağlantılı Araç Pilot Projesi (ICVP); K-AUS teknolojilerinin araçlar, altyapı ve ulaşım yönetim sistemleriyle gerçek zamanlı iletişimini test eden bir denemedir. 2020-2021 yıllarında 355 gönüllü katılımcı ile gerçekleştirilen proje; trafik güvenliğini artırmayı, kamu farkındalığını yükseltmeyi ve kurumsal kapasiteyi güçlendirmeyi hedeflemiştir. Testlerde, K-AUS teknolojilerinin hız azaltma ve acil durumlara daha uygun tepki verme gibi olumlu sonuçlar verdiği, ayrıca trafik kazalarını önemli ölçüde azaltabileceği görülmüştür (Department of Transport and Main Roads, 2022a:1-2, 2022b:1-10; iMOVE, 2025c; Larue vd., 2022a:5-6; 2022b:5-13). Telstra, Ericsson ve Lexus Ortaklığındaki C-V2X Denemesi; 2020 yılında gerçekleştirilmiş olup, C-V2X teknolojisinin güvenlik işlevlerini değerlendirmiştir. Bu deneme, özellikle "Hayat Kurtaran Kullanım Senaryoları" üzerinde odaklanmıştır (Ding vd., 2024). K-AUS Teknolojilerinin Hızlandırılması ve Uygulanması (Accelerating the Uptake of C-ITS Technologies in Australia); karayolu güvenliği ve verimliliğini artırma potansiyeli incelenmiş ve K-AUS teknolojilerinin, kazaların %80'ini engelleyebileceği gösterilmiştir. Ancak, kullanıcı kabulü ve altyapı yatırımları gibi zorluklar bulunmaktadır (Ding vd., 2024; iMOVE, 2025b; ITS Australia, 2020:5-7; iMOVE, 2025c). Ulusal Dağıtım İçin Hangi K-AUS Teknolojileri? (Proje 1-066 What C-ITS Technologies for National Deployment in Australia?); Avustralya'nın K-AUS teknolojilerini ulusal düzeyde nasıl dağıtacağına dair stratejik rehberlik sunmuş ve DSRC ile C-V2X teknolojilerinin değerlendirilmesine odaklanmıştır (Ding vd., 2024). Kooperatif ve Yüksek Otonom Sürüş (CHAD) Güvenlik Çalışması (iMOVE Projesi 1-008); K-AUS teknolojilerinin otonom araçların güvenlik ve çevresel farkındalık üzerindeki katkılarını incelemiş, K-AUS mesajlarının sürüş güvenliğini artırdığına dair bulgular elde edilmiştir (Hussain vd., 2023:14; Department of Transport and Main Roads, 2023:1-2). Yol Altyapısı Hazırlık Çalışması / Otonom Araçların Yol Altyapısıyla Şimdi ve Gelecekte Nasıl Etkileşeceği (P1-007); otonom araçların mevcut yol altyapısı ile etkileşimini analiz ederek, altyapı iyileştirmeleri gerekliliğini ortaya koymuştur (Milford vd., 2019:11-12 ; iMOVE, 2025c; Queensland Government, 2020). K-AUS Pilot Güvenlik Kimlik Bilgisi Yönetim Sistemi (C-ITS Pilot Security Credential Management

System, SCMS) (iMOVE proje 1-005); araçlar ve altyapı arasındaki güvenli iletişim altyapısını geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu sistem, Avrupa'daki benzer sistemlerle uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır (Ding vd., 2024; iMOVE, 2018). Motosiklet Güvenliği İçin K-AUS Pilotu (Proje 1-068 Motorcyclist safety: Connected motorcycle pilot); motosikletlerin güvenliğini artırmaya yönelik gelişmiş uyarı sistemlerini test etmiş, K-AUS teknolojilerinin kazaları önemli ölçüde azaltabileceği belirlenmiştir (Desai vd., 2024:2-3; Ding vd., 2024; iMOVE, 2023, 2025b, 2025c). Batı Avustralya'da; akıllı otoyol teknolojileri, gerçek zamanlı trafik yönetimi, yapay zeka ve K-AUS uygulamalarını mevcut altyapıya entegre ederek yol ağında maksimum verimlilik sağlamayı ve trafik güvenliğini önemli ölçüde artırmayı hedefleyen kapsamlı projeler yürütülmektedir (Main Roads Western Australia, 2025a:24-25).

3.4.2. Güney Kore

Güney Kore, AUS ve K-AUS konusunda küresel bir liderdir. Bu alandaki çalışmalar kamu kurumları, yerel yönetimler, akademik kurumlar, sivil toplum kuruluşları ve özel sektörün iş birliğiyle yürütülmektedir. AUS Master Planı 2030, dijital yol altyapısı ve otonom sistemlerin entegrasyonuna odaklanarak K-AUS (V2X ve I2X) teknolojileriyle trafik güvenliğini artırmayı amaçlamaktadır. Bu çerçevede dijital altyapı kurulumu, otonom sürüş iletişim sistemleri ve araç içi terminallerin yaygınlaştırılması planlanmaktadır (Ministry of Land Infrastructure and Transport [MOLIT], 2021:41-138). Güney Kore'nin Üçüncü Akıllı Şehir Kapsamlı Planı (2019-2023); otonom araçlar ve bağlantılı hareketlilik çözümlerini önceliklendirerek akıllı şehirlerde yenilikçi ulaşım sistemleri geliştirmeyi hedeflemiştir (MOLIT, 2019:16-17). Güney Kore'nin Dördüncü Akıllı Şehir Kapsamlı Planı (2024-2028) (Taslak) kapsamında; otonom araçlar ve K-AUS'un dijital dönüşümdeki rolünü güçlendirecek altyapı ve test alanları kurmayı planlamaktadır (MOLIT, 2024:34-42). Hareketlilik İnovasyon Yol Haritası (Mobility Innovation Roadmap), 2030'a kadar Lv4 otonom sürüşün ticarileştirilmesi ve K-AUS altyapısının tüm ülke yollarında yaygınlaştırılmasını hedeflemektedir (MOLIT, 2022:11-20).

K-AUS Pilot Projesi; Güney Kore, K-AUS teknolojisini "30 yıl boyunca sıfır trafik kazası" hedefiyle benimsemiş ve bu doğrultuda bir K-AUS Master Planı oluşturmuştur. 2014-2017 yılları arasında, Daejeon ve Sejong şehirleri arasında 87,8 km'lik bir güzergâhta gerçekleştirilen pilot proje, sistemin teknolojik geçerliliğini ve uygulanabilirliğini test

etmeyi amaçlamıştır. Proje kapsamında 15 güvenlik hizmeti geliştirilmiş, altyapı tesis edilip OBU dağıtımları yapılmıştır. Ayrıca, büyük veri teknolojileri kullanılarak Ulaşım Yönetim Merkezi üzerinden veri toplama ve sürücülere bilgi sağlama süreçleri desteklenmiştir. K-AUS Master Planı; OBU, RSU, WAVE iletişim protokolü ve TMC gibi bileşenlerle trafik güvenliği ve verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. Bu altyapı, sürücülere çeşitli güvenlik uyarıları (örneğin, yol durumu, kavşak ihlali, okul otobüsü uyarıları) sunarak, trafik kazalarını azaltmayı ve güvenli sürüşü teşvik etmeyi amaçlamaktadır.(MOLIT, 2017).

Seoul TOPIS (Seoul Transport Operation and Information Service); Seul'de trafik güvenliğini artırmak ve trafik kazalarını önlemek için gerçek zamanlı trafik durumu ve yol bilgisi sağlayan bir sistemdir. Otonom sürüş ve araçlar arası iletişimi desteklemekte, böylece araçlar, altyapı ve diğer araçlar arasında sürekli bilgi alışverişi yapılmaktadır (Seoul TOPIS, 2020). Autonomous A2Z, Güney Kore'nin önde gelen otonom araç üreticilerinden biri olup, ülke genelindeki 15 pilot bölgeden 13'ünde (%90) aktif operasyonlar yürütmektedir. Bu projeler genellikle yolcu taşımacılığına yönelik mekik (shuttle) servisleri şeklinde uygulanmaktadır. Öne çıkan projeler arasında; Incheon Uluslararası Havalimanı'nda Solati araçlarıyla yolcu taşımacılığı, Chungcheong Bölgesi'nde Apollo 900 araçlarıyla Hızlı Otobüs Transit (BRT) servisi, Chungnam Naepo Yeni Şehir'nde G80 araçlarıyla devriye ve gözetleme, Mokpo Akıllı Şehir'inde Apollo 900 araçlarıyla yolcu taşımacılığı, Ulsan Akıllı Şehir'inde Elec City Town araçlarıyla mekik servisi, Hadong-gun'da Apollo 900 araçlarıyla yolcu servisi ve Seul'de BS110 EV araçlarıyla güzergâh tabanlı toplu taşıma hizmeti bulunmaktadır. Bu projeler, otonom araçların günlük yaşamda entegrasyonu ve test edilmesi açısından önemli adımlar atılmasını sağlamaktadır (Automated Driving Industry Development Council, 2025:15-83).

Kakao Hareketlilik Platformu Projeleri; Kakao T platformu üzerinden Seul'de otonom sürüş hizmetleri sunmaktadır. 2025 itibarıyla gece yarısı otonom sürüş hizmeti ve talep üzerine ulaşım gibi projelerle, Sejong, Daegu, ve Gangnam gibi şehirlerde de çeşitli otonom ulaşım projeleri gerçekleştirilmiştir. K-AUS Altyapısı ve Veri Paylaşım Projeleri: Seul Örneği; Seul, otonom sürüşü desteklemek için gelişmiş bir K-AUS altyapısı kurmuştur. Sangam Pilot Bölgesi'nde kör nokta uyarıları ve trafik sinyali verileri ultra hızlı iletilmektedir. Ayrıca, Seul'deki 2.468 trafik sinyali verisinin %45,9'u özel sektöre açılacaktır. V2X Güvenlik Sertifikasyon Sistemleri; Güvenli V2X iletişimi için Kore, güvenlik sertifikasyon sistemleri kurmuş ve LTE-V2X pilot projeleri gerçekleştirilmiştir. Otonom Sürüş Yönetimi

ve Kontrol Merkezi Projeleri; Seul, Sangam S-Plex Center'da otonom araç yönetimi için sanal simülasyonlar ve yapay zekâ destekli kontrol sistemleri geliştirmektedir (Automated Driving Industry Development Council, 2025:15-83). Yerel Akıllı Şehir Planlaması; Güney Kore'deki çeşitli şehirlerde yerel akıllı şehir planlaması kapsamında otonom sürüş ve K-AUS altyapısı projeleri yürütülmektedir. Bu projeler arasında Asan şehrinde Seviye 4 otonom sürüş ticarileştirme ve akıllı otopark sistemleri, Cheongju şehrinde Seviye 3 otonom elektrikli BRT otobüsleri yer almaktadır. Daejeon şehrinde akıllı otopark ve otonom sürüş ticarileştirme projeleri yürütülürken, Busan şehrinde K-AUS altyapısı ve otonom mekik otobüs hizmeti sunulmaktadır. Seul şehrinde ise otonom araç deneme bölgeleri ve güvenlik devriyesi projeleri gerçekleştirilmekte, Daegu şehrinde yapay zekâ tabanlı trafik yönetimi ve 5G tabanlı otonom araç geliştirilmesi yapılmaktadır. Ulsan, Gwangju ve Hwaseong şehirlerinde otonom sürüş taksi işletmeciliği, test ortamları ve toplu taşıma projeleri uygulanmaktadır. Yeosu ve Namyangju'da otonom mekik otobüsü ve DRT hizmetleri test edilmektedir. Pyeongtaek'da otonom sürüş robot otoparkları ve AI tabanlı duyarlı trafik sinyal sistemleri uygulanırken Sacheon'da otonom sürüş otobüs hizmetleri ve turizm odaklı UAM sistemlerinin kurulması hedeflenmektedir (Yanggu-gun, 2022:104-118).

3.4.3. Çin

Çin'de K-AUS, bağlantılı araçlar ve otonom araçlar alanındaki gelişmeler, C-V2X teknolojisi etrafında şekillenen geniş bir inovasyon ekosistemine dayanmaktadır. Bu ekosistem devlet kurumları, özel sektör, sivil toplum kuruluşları ve akademik kurumları kapsayan çok paydaşlı bir yapıyı benimsemektedir. Çin'in Akıllı Otomobil İnovasyon Geliştirme Stratejisi kapsamında; akıllı otomobilleri sadece ulaşım araçları değil, aynı zamanda akıllı hareketlilik alanları olarak tanımlamaktadır. 2025 yılı için belirlenen stratejik hedefler, teknoloji ve sistem gelişimi, L3 ve L4 seviyelerinde otonom araç üretimi, akıllı ulaşım sistemlerinin entegrasyonu ve LTE-V2X ile 5G-V2X ağlarının geliştirilmesi olarak sıralanmıştır. 2035-2050 dönemi için ise "Çin Standardı Akıllı Otomobil" sisteminin tam olarak olgunlaşması hedeflenmektedir.

Çin'in K-AUS ve C-V2X çalışmaları, "İnsan-Araç-Yol-Bulut" koordinasyonu ve akıllı altyapı üzerine odaklanmaktadır. 5G-V2X, NB-IoT ve araç içi kablosuz iletişimle akıllı altyapılar kurulacak, akıllı yol altyapısı yüksek hassasiyetli konumlandırma ve birleşik haritalarla desteklenecektir. Veri platformları; araç, altyapı ve trafik verilerini entegre

edecektir. Otonom araç teknolojileri için Ar-Ge ve test süreçleri geliştirilecektir. Hukuki düzenlemeler ve teknik standartlar, güvenlik ve iletişim protokollerini kapsayacaktır.

Ulaştırma Bakanlığı (MOT) ile Bilim ve Teknoloji Bakanlığı (MOST) tarafından ortaklaşa hazırlanan "Ulaştırma Alanında Bilim ve Teknoloji Yenilikleri için Orta ve Uzun Vadeli Gelişim Planı Taslağı (2021-2035)", ulaşım alanındaki teknolojik dönüşüme ilişkin hedefleri ve öncelikli Ar-Ge görevlerini kapsamlı bir şekilde ortaya koymaktadır. MIIT ise, "Ulusal V2X Endüstri Standardı Sistem İnşa Kılavuzu" ve "V2X Endüstrisi Gelişim Eylem Planı" gibi temel belgeler aracılığıyla, C-V2X teknolojisinin geliştirilmesini ve ticarileştirilmesini aktif olarak desteklemektedir. Bu kapsamda trafik güvenliğinin artırılması, kentsel altyapının dijital dönüşümü ve akıllı bağlantılı araçların yol erişimi ve seyahat senaryolarına entegrasyonu gibi çeşitli alanlarda önemli düzenleyici adımlar atılmıştır (5GAA, 2022b:9-15, 2025b).

C-V2X teknolojisinin gelişimi; araçlar, yollar, yayalar, uç birimler ve servis platformları arasında çok paydaşlı bir iş birliğine dönüşmüştür. Bu süreçte, çeşitli standart geliştirme kuruluşları önemli rol oynamaktadır. IMT-2020 (5G) Tanıtım Grubu'nun C-V2X Çalışma Grubu, LTE-V2X ve 5G tabanlı çözümler geliştirmekte ve C-V2X ekosistemini inşa etmeye yönelik çalışmalar yapmaktadır. Çin İletişim Standardizasyon Birliği (CCSA), C-V2X standartlarının revizyonu üzerinde çalışmakta, V2X standartları ise CCSA'nın TC10 V2X alt grubu tarafından yönetilmektedir. Ulusal Otomotiv Standardizasyon Teknik Komitesi (NTCAS: SC34), akıllı araçlar için 70 standart yayımlamış, 2023'te LTE-V2X iletişimini kapsayan bir standart yayınlamıştır. Ayrıca, C-SAE ve CAICV, C-V2X teknolojilerinin gelişimini hızlandırmak amacıyla "Akıllı ve Bağlantılı Yakınsama Geliştirme Yol Haritası"nı hazırlamıştır. Çin AUS Endüstri İttifakı ise, AUS'a yönelik standartlar geliştirerek uluslararası iş birlikleri sağlamaktadır (5GAA, 2022c:16-17, 2025b).

Ulusal Bağlantılı Araç (CV) Pilot Alanları: Çin, 7 ulusal bağlantılı araç pilot alanı kurarak, yeni nesil ulaşım altyapıları ve akıllı bağlantılı araçlar için etkileşimli uygulamaların gelişimini desteklemektedir. Wuxi, LTE-V2X uygulamaları ve otonom araç testleriyle inovasyona öncülük ederken, Tianjin'in Xiqing Bölgesi, 100'den fazla senaryoyu test etmekte ve güvenlik protokollerine odaklanmaktadır. Changsha, Baidu robotaksi uygulamaları ve akıllı trafik yönetimini test etmektedir. Chongqing'in Liangjiang Bölgesi, akıllı araç entegrasyonu ve otomatik sürüş testlerini yürütöektedir. Deqing'de trafik

yönetimi ve kırmızı ışık ihlali uyarıları test edilirken, Xiangyang “tek ağ, çoklu bölge” modeliyle geniş bir test altyapısı kurmaktadır. Liuzhou ise, kentsel C-V2X iletişim ağı ve bulut tabanlı trafik yönetimi platformu geliştirmeyi hedeflemektedir. CV Gösterim Alanları ve Akıllı Şehir ile ICV Gelişiminin Koordineli Pilot Şehirleri; Çin’de, 17 bağlantılı araç alanı ve 16 akıllı şehir altyapısı ile Akıllı Bağlantılı Araçlar (ICV) gelişimini koordineli olarak yürütülen pilot şehirler belirlenmiştir. Şanghay Uluslararası Otomobil Şehri (SIAC), dijital ikiz simülasyon laboratuvarları, test alanları, C-V2X ağı ve bulut tabanlı platformlar gibi ileri teknoloji altyapıları ile büyük ölçekli robotaksi ve otonom araç programlarına ev sahipliği yapmaktadır. 800’ün üzerinde akıllı araç ile ICVSC dijital ikiz platformu aracılığıyla araç, yol ve şehir verileri analiz edilmektedir. Bu projeler, bağlantılı araçlar ve akıllı şehirler arasındaki etkileşimi güçlendirmeyi amaçlamaktadır. Araç-Yol-Bulut Entegrasyonu Pilot Şehirleri (2024-2026): Ocak 2024 itibarıyla Çin, 2024-2026 yılları arasında Araç-Yol-Bulut Entegrasyonu konulu pilot projeleri başlatmak üzere 20 şehir belirlemiştir. Bu projeler akıllı toplu taşıma, otomatik park sistemleri, otonom teslimat araçları ve akıllı ulaşım altyapılarını kapsayacaktır. Özellikle otobüs güzergahlarında otonom sürüş modunun işletilmesi hedeflenmektedir. Pilot şehirlerde, 5G altyapısı ve C-V2X terminalleri ile donatılmış araçlar kullanılacak, L2 ve üzeri otomatik sürüş özellikli yeni araçların entegrasyonu teşvik edilecektir. Katmanlar Arası Testler ve Doğrulamalar Serisi: Çin Akıllı ve Bağlantılı Araçlar Endüstrisi İnovasyon İttifakı (CAICV) ve IMT-2020 (5G) Tanıtım Grubu, 2018-2024 yılları arasında, C-V2X uygulamalarının gerçek yol koşullarında doğrulanmasına yönelik büyük ölçekli birlikte çalışabilirlik testleri düzenlemiştir. 2018 yılında, çip seti, terminaller ve OEM’lerin uyumlu çalışabilirliğini doğrulamak amacıyla V2X uygulama gösterimleri gerçekleştirilmiştir. 2019 yılı itibariyle, LTE-V2X güvenlik mekanizmalarının doğrulaması yapılmış ve sahte hız sınırı, trafik ışığı bilgisi gibi potansiyel güvenlik tehditlerine karşı savunma mekanizmaları test edilmiştir. Ayrıca, kırmızı ışık ihlali uyarısı ve yeşil ışık optimizasyonu gibi fonksiyonları içeren dört katmanlı birlikte çalışabilirlik uygulama gösterimi gerçekleştirilmiştir. 2020’de, C-V2X’in büyük ölçekli çalışma kapasitesi ve iletişim performansı (paket kaybı, verimlilik, iletim gecikmesi) doğrulanmış ve yüksek hassasiyetli haritalar ile konumlandırma uygulamaları desteklenmiştir. 2021 yılında, Şanghay, Suzhou ve Wuxi şehirleri arasında eyaletler arası C-V2X bağlantı uygulamaları test edilerek iletişim performansı analiz edilmiştir. 2022’de ise Tianjin’de yapılan güvenlik doğrulama faaliyetlerinde, güvenli iletişim protokolleri ve sertifikalandırma süreçleri kapsamlı bir şekilde test edilmiştir. Bu testler, C-V2X teknolojilerinin güvenliğini ve birlikte çalışabilirliğini sağlamak amacıyla önemli bir rol

oynamış ve bu alandaki ilerlemeleri pekiştirmiştir. Pekin 2022 Kış Olimpiyatları'nda C-V2X Uygulaması; 2022 Pekin Kış Olimpiyatları esnasında, Shougang Park'ta China Unicom tarafından 5G C-V2X tabanlı insansız araçlarla meşale taşıma operasyonları gerçekleştirilmiştir (5GAA, 2022a:7-19, 2025c:20-25).

3.5. Türkiye'de K-AUS Uygulamaları ve Stratejik Yaklaşımlar

Son yıllarda Türkiye'de hareketlilik sektörü dijitalleşme, elektrifikasyon, bağlantılı araç teknolojileri ve otonom sürüş sistemleriyle önemli bir dönüşüm sürecine girmiştir. Bu dönüşüm ulaşımın güvenliği, verimliliği ve sürdürülebilirliğini artırmak için yenilikçi çözümler geliştirilmesini gerektirmektedir. Türkiye'de kamu kurumları, özel sektör, üniversiteler ve sivil toplum kuruluşları arasında güçlü bir iş birliği ekosistemi kurulmuştur.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028) Türkiye'deki ulaşım ve hareketlilik alanında önemli hedefler belirlemektedir. Ulaştırma sektöründe, seyahat emniyeti ve güvenliğini artırmak, ulaşım verimliliğini yükseltmek amacıyla akıllı yollar, bağlantılı ve otonom sürüş sistemleri gibi teknolojilerin yaygın kullanımı hedeflenmektedir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2024:139-215). 2053 Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı'nda AUS'un geliştirilmesi kapsamında yer alan eylemler, Türkiye'nin ulaşım altyapısının geleceğini şekillendirecek önemli adımları içermektedir. Bu eylemler arasında, Türkiye'nin ihtiyaçlarına uygun, milli teknolojileri ve ulusal standartları ön plana çıkaran bir AUS mimarisinin oluşturulması yer almaktadır. Ayrıca, bu mimarinin ulusal strateji ve politikalarla uyumlu bir şekilde geliştirilmesi ve uygulama alanlarının genişletilmesi hedeflenmektedir (T.C. UAB, 2023a:74). T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB) Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı çerçevesinde gerçekleştirilen önemli çalışmalar arasında, ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesi ve yayılması yer almaktadır. Bu amaçla 2021 yılında "Uydu Destekli Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Otomasyon Projesi" protokolü imzalanmış, projenin kapsamı genişletilerek uydu üzerinden çalışan bir network mimarisi oluşturulmuş ve AUS standartları belirlenmiştir. Ayrıca, ABD'nin ARC-IT AUS mimarisi referans alınarak Türkiye'ye özgü ulusal AUS mimarisi tasarlanmış ve çeşitli ulaşım alanlarında 50 hizmet paketi oluşturulmuştur. Yerel yönetimler için geliştirilmiş olan "Akıllı Ulaşım için Bölgesel Mimari Yazılımı" ile belediyelerin kendi AUS altyapılarını tasarlamaları sağlanmıştır. Projede ayrıca uydu yer sistemleri için gerekli uç cihazları

geliştirilmiş ve ulusal AUS platformu oluşturulmuştur. (T.C. UAB, 2025). Geliştirilen AUS teknolojilerinin nihai ürünlere dönüşümünü hızlandırmak amacıyla K-AUS test ve uygulama koridoru kurulmasına yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Bu koridorda, V2X haberleşme teknolojileri ile trafik güvenliği, yakıt tasarrufu ve çevresel etkilerin azaltılması hedeflenmektedir. KGM tarafından İstanbul Havalimanı ile Hasdal arasında yaklaşık 30 kilometrelik bir güzergâhta bu koridor kurulmaktadır. Bir diğer önemli proje, araç içi bilgi ve haberleşme sistemlerinin teknik gerekliliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. UAB HGM ve Marmara Üniversitesi iş birliğiyle yürütülen projede, ABHS'ye yönelik mevcut durum analizi yapılmış ve veri toplama ile iletim modelleri hazırlanmıştır. Türkiye'nin uzun dönem AUS hedefleri arasında, mevcut altyapının geliştirilmesi ve K-AUS altyapılarının yaygınlaştırılması, araç içi bilgi sistemlerinin yerli üretim kapasitesinin artırılması, otonom sürüşe uygun altyapı hazırlıkları ve otonom araç test merkezlerinin kurulması yer almaktadır. Bu hedeflere ulaşmak için, UAB HGM ve Boğaziçi Üniversitesi iş birliğiyle otonom araç teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Bu projede, Türkiye'nin mevcut K-AUS durumu değerlendirilmiş, uluslararası düzeydeki K-AUS çalışmaları incelenmiş ve Türkiye'ye yönelik ihtiyaçlara göre test senaryoları ve standartlar önerilmiştir. Tüm bu çalışmalar, Türkiye'nin ulaşım altyapısını dijitalleştirme, akıllı ulaşım çözümleri sunma ve otonom araç teknolojilerine uyum sağlama hedefleri doğrultusunda devam etmektedir (T.C. UAB, 2020:44-76). T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritası bağlantılı, otonom ve paylaşımlı araçların geliştirilmesini hedeflemektedir. Bu kapsamda, altyapı yatırımları yapılacak ve Mobilite Yazılım ve Donanım Geliştirme Merkezi kurulacak, veri işleme ve test simülatörleri oluşturulacaktır. Otonom araçların 2025'te Seviye 4, 2030'da ise Seviye 5 üretimi için çalışmalar yapılacaktır. Ayrıca, yerli üretim teşvik edilecek, yasal düzenlemelerle araç güvenliği ve veri paylaşımı sağlanacaktır (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı [STB], 2022a:157-175). T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Ulusal Teknoloji Girişimciliği Stratejisi ve Eylem Planı'nda hızla gelişen teknolojilerin yeni sektörler yaratma potansiyeli vurgulanmaktadır. Hareketlilik sektörü; elektrifikasyon, yapay zekâ destekli otonom sürüş ve yüksek bağlantılılık gibi teknolojilerle geleceğin altyapısını şekillendirecek önemli bir alandır. TEKNOFEST, otonom araç teknolojilerinin gelişimini teşvik etmekte ve gençlerin bu alana ilgisini artırmaktadır. Bilişim Vadisi, Türkiye'nin hareketlilik ve bağlantı teknolojileri için stratejik bir merkez olup, bu alanda güçlü bir altyapı sunmaktadır (T.C. STB, 2022b:68-93, 2022c:12-14). T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı 2030 Sanayi ve Teknoloji Stratejisi'nde, otonom ve bağlantılı araç teknolojileri için güçlü bir ekosistem oluşturmayı hedeflemektedir.

5G/6G altyapısı, yerli sensörler, yazılımlar ve navigasyon sistemleri öncelikli konulardır. Türkiye, elektrikli ve otonom araç üretiminde Avrupa'da lider olmayı planlamaktadır. Özellikle TOGG gibi yerli üreticilere destek verilecek, Ar-Ge yatırımları artırılacak ve akıllı şarj altyapısı gibi projeler teşvik edilecektir (T.C. STB, 2025:40-82). T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2024-2028 Yılı Stratejik Planı'nda Orta vadeli programda yer alan ilgili politika ve tedbirler arasında **"**Yapay zekâ, otonom sistemler, bulut bilişim ve büyük veri analitiği gibi dijital teknolojilerin yanı sıra yeşil teknolojilerin kullanımı yaygınlaştırılacaktır" politikası yer almaktadır (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇŞİDB], 2024:45). T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı akıllı ulaşım bileşenlerinin olgunluğunu artırmayı hedeflemektedir. Bu kapsamda, düşük karbonlu, enerji verimli araçlar, elektrikli ve hibrit taşıtlar, otonom araçlar gibi teknolojilerle verimlilik artırılacak ve çevresel etkiler azaltılacaktır. Araç paylaşım sistemleri, toplu taşıma çözümleri ve trafik yönetim uygulamaları da bu hedefe katkı sağlayacaktır (T.C. ÇŞİDB, 2019:187-193). Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu 2024-2028 Stratejik Planı'nda, K-AUS altyapılarının geliştirilmesine yönelik üç ana stratejik amaç belirlemiştir. İlk olarak, genişbant altyapısının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir; bu, Türkiye'de fiber altyapının güçlendirilerek dijital dönüşümün hızlandırılmasını, kırsal ve dezavantajlı bölgelerde dijital eşitsizliklerin azaltılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. İkinci olarak, yeni teknolojilerin ve yerli üretimin teşvik edilmesi; böylece özellikle 5G ve gelecekteki teknolojilerin yerli tasarımcılar tarafından geliştirilmesi ile ulusal güvenlik ve ekonomik büyüme desteklenecektir. Son olarak, haberleşme sistemlerinin güvenliği ve ulusal siber güvenliğin sağlanması hedeflenmektedir. Bu strateji, siber tehditlere karşı savunma mekanizmalarını güçlendirmeyi ve güvenli veri merkezlerinin kurulmasını içerir (T.C. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu [BTK], 2024:108-118).

K-AUS'un standardizasyonu, mevzuat uyumu ve teknolojik gelişmelerine küresel ölçekte entegre olmak amacıyla Türkiye, birçok uluslararası kuruluşla iş birliği yapmaktadır. Avrupa'da AUS politikalarının geliştirilmesinde önemli rol oynayan ERTICO-ITS Europe, Türkiye'nin 2012 yılından beri üyesi olduğu bir kuruluştur. Bu yapı altında düzenlenen projelere ve kongrelere aktif katılım sağlanmaktadır. Ayrıca, Avrupa genelinde K-AUS hizmetlerinin test edilmesi ve uyumlaştırılması amacıyla oluşturulan C-Roads Platformu'na "ilişkili üye" olarak dahil olunmuştur. Türkiye, K-AUS standartlarının yayımlandığı CEN ve ETSI gibi kuruluşlara TSE aracılığıyla katkı sağlamaktadır. Küresel ölçekte standart

belirleyici olan ISO'nun TC 204 teknik komitesi kapsamında da Türkiye'nin katılımı, yine TSE üzerinden yürütülmektedir. Türkiye, Avrupa Posta ve Telekomünikasyon İdareleri Konferansı (CEPT) üyesi olarak telekomünikasyon ve frekans yönetimi alanlarında Avrupa düzeyindeki düzenleyici çalışmalara katkı sağlamaktadır. Bu kapsamda, V2X haberleşme frekansları gibi konular CEPT bünyesindeki çalışmalar aracılığıyla ele alınmaktadır. Teknik standartların geliştirilmesi tarafında ise ETSI çalışmaları önem taşımakta olup, Türkiye'den kurumlar ETSI üyelikleri üzerinden V2X ve mobil haberleşme teknolojilerine yönelik standart geliştirme faaliyetlerine katılım sağlayabilmektedir. Mobil haberleşme standartlarını belirleyen 3GPP platformunda ise Türkiye, doğrudan bir ülke temsiliyle değil, ETSI üzerinden dolaylı olarak yer almaktadır.

Türkiye çevrenin korunması ve iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında uluslararası anlaşmalara taraf olmuştur. 19 Aralık 1991'de Montreal Protokolü'ne taraf olarak, ozon tabakasının korunması ve sera gazı emisyonlarının azaltılması hedeflerine katkı sağlamıştır (United Nations, 1987). BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne 1992'de taraf olmuştur ve iklim değişikliğiyle mücadelede önemli adımlar atmaktadır (United Nations, 1992). Kyoto Protokolü'ne 26 Ağustos 2009 tarihinde katılan Türkiye, bu protokol kapsamında sayısal emisyon azaltım taahhüdü bulunmamakla birlikte, 2017'de Doha Değişikliği'ni onaylamıştır (United Nations, 1997). Paris Anlaşması'na 10 Kasım 2021'de resmen taraf olmuş ve 2053 için net sıfır emisyon hedefini belirlemiştir (United Nations, 2015).

Türkiye'de K-AUS, bağlantılı araçlar ve otonom araçlara ilişkin mevzuatlar Çizelge 3.2.'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. İlgili ulusal mevzuatlar

Mevzuat	Amaç ve Kapsam
Enerji Verimliliği Kanunu (Kanun No 5627) (T.C. Resmî Gazete, 2007)	Yurt içinde üretilen araçların yakıt tüketim değerlerinin düşürülmesi, araçlara yönelik verimlilik standartlarının yükseltilmesi, toplu taşımacılığın teşvik edilmesi, trafik yönetim sistemlerinin iyileştirilmesi ve alternatif enerji kaynaklarının kullanımının özendirilmesi için uygulamalar gerçekleştirilir.
5809 Sayılı Elektronik Haberleşme Kanunu (T.C. Resmî Gazete, 2008)	Elektronik haberleşme hizmetlerinin yürütülmesi; altyapı ve şebeke tesisinin kurulması, işletilmesi; elektronik haberleşme cihaz ve sistemlerinin üretimi, ithalatı, satışı ve kurulması gibi faaliyetler düzenlenmektedir. Ayrıca frekans spektrumunun planlanması ve tahsisi gibi strateji ve politikalar belirlenmektedir.

Çizelge 3.2. (devam) İlgili ulusal mevzuatlar

Mevzuat	Amaç ve Kapsam
6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (T.C. Resmî Gazete, 2016)	Otonom araçlarda yer alan ve veri toplayan sensör ve GPS gibi teknolojiler kişisel veri olarak KVKK kapsamında korunmaktadır.
Ulaşımda Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik (T.C. UAB, 2019)	Ulaşımda enerji verimliliğini artırmaya yönelik stratejiler ile toplu taşımacılığın yaygınlaştırılması, AUS'un etkin uygulanması ve sürdürülebilir ulaşım altyapılarının geliştirilmesi hedeflenmektedir. Yönetmelik, AUS bileşenlerinin entegrasyonu için ulusal bir mimari oluşturulmasını ve kamu iş birliğini sağlamayı esas almaktadır.
Frekans Tahsisinden Muaf Telsiz Cihaz ve Sistemleri Hakkında Yönetmelik (FTM Yönetmeliği) (T.C. BTK, 2018, 2022)	Yönetmelik çerçevesinde, BTK tarafından yayımlanan "Frekans Tahsisinden Muaf Telsiz Cihaz ve Sistemlerine İlişkin Teknik Ölçütler" belgesi, belirli telsiz cihaz ve sistemlerinin telsiz ruhsatnamesi, telsiz kurma ve kullanma izni ile frekans tahsis ve tescil işlemlerinden muafiyetine ilişkin usul ve esasları belirlemektedir. Yönetmelikte yer alan Ulaştırma ve Trafik Telematik Sistemleri (TTT), AUS alanında kullanılan telsiz cihazlarını kapsamaktadır. Özel amaçlı telsiz sistemlerinden biri olan TTT sistemleri; V2V, V2I ve V2X haberleşme senaryoları çerçevesinde hizmet vermekte olup, bu yönüyle K-AUS teknolojilerinin temelini oluşturan iletişim amaç ve hedefleriyle doğrudan örtüşmektedir. TTT sistemlerine ilişkin teknik ölçütler, Tablo 5'te detaylı olarak tanımlanmıştır. Bu ölçütler; cihazların çalışabileceği frekans bantlarını, maksimum çıkış güçlerini, spektrum erişimini, referans standartları ve ilave kullanım kısıtlamalarını içermektedir.
Motorlu Araçlar ve Römorkları ile Bunlar için Tasarlanan Aksam, Sistem ve Ayrı Teknik Ünitelerin Genel Güvenliği ve Korunmasız Karayolu Kullanıcılarının ve Yolcuların Korunması ile İlgili Tip Onayı Yönetmeliği (AB/2019/2144) (T.C. STB, 2020)	Motorlu araçlar ve römorklar için güvenlik, yakıt verimliliği ve CO_2 emisyonlarına yönelik teknik gereklilikler belirlenmekte, yenilikçi teknolojilerin zorunlu kullanımı öngörülmektedir. Otonom araçlar için sürücüsüz veya sınırlı müdahale ile çalışan araçların güvenlik önlemleri, çevresel algılama sistemleri ve veri kaydı gereklilikleri düzenlenmiştir. Ayrıca, otonom araçlardan elde edilen verilerin kişisel veri olarak korunması gerektiği vurgulanmaktadır. Temel amaç, kullanıcı ve yol güvenliğini sağlamak ve otonom araçların güvenli kullanımını mümkün kılmaktır.
Tam Otonom Araçların Otonom Sürüş Sistemine İlişkin Motorlu Araçların Tip Onayı Hakkında Yönetmelik (AB/2022/1426) (T.C. STB, 2024).	M ve N kategorisindeki motorlu araçların otonom sürüş sistemlerine ilişkin tip onayı kapsamında uygulanacak özel test prosedürlerini ve teknik gereklilikleri belirlenmektedir. İnsan veya eşya taşımacılığı amacıyla tasarlanmış tam otonom araçlar, sabit güzergâh üzerinde hareket eden araçlar ve otonom park sistemlerine sahip araçlar bu kapsamda değerlendirilmektedir. AB mevzuatıyla uyumlu şekilde hazırlanan Yönetmelik, ADS'nin tasarımı, geliştirilmesi, üretimi, sahada kullanımı ve hizmetten çıkarılması dâhil olmak üzere tüm süreci düzenlemektedir. Ayrıca, operasyonel tasarım alanı, dinamik sürüş görevi ve minimum risk manevrası gibi otonom sürüş teknolojilerine özgü temel kavramların tanımlarına da yer verilmektedir. Yönetmeliğin temel amacı, otonom araçların güvenli şekilde çalışmasını temin etmek ve bu araçların piyasaya arzına ilişkin idari ve teknik çerçeveyi oluşturmaktır.

Türkiye'de K-AUS, bağlantılı araçlar ve otonom araçlar alanlarında çeşitli kurum, kuruluş, üniversite ve özel sektör bünyesinde proje çalışmaları yürütülmektedir. KGM tarafından yürütülen "Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemlerine Yönelik Merkezi Yazılım Platformu Geliştirilmesi Projesi" kapsamında İstanbul Havalimanı-Hasdal yolunda 30-40 kilometre

uzunluğunda K-AUS test ve uygulama koridoru çalışmaları yürütülmektedir. Proje ile trafik güvenliğinin artırılması, trafik akışının verimli yönetilmesi ve çevresel kazançların sağlanması hedeflenmektedir. Koridor boyunca F/O kablo, RSU, kameralar, meteoroloji istasyonları, değişken mesaj işareti kurulacak olup elde edilen bilgilerin Yönetim Merkezine aktarılarak işlenmesi ve yol kullanıcıları ile paylaşılması sağlanacaktır. Projede 5G teknolojisi ve yeni nesil haberleşme altyapıları test edilirken; LİDAR, radar ve plaka tanıma gibi teknolojilerle sürücülere uyarılar iletilmektedir. Trafik durumu, ani yavaşlama/durma, yabancı nesne, kaza durumu ve beklenen/beklenmeyen durumların kullanıcılar ile anlık paylaşıldığı bir K-AUS ekosistemi planlanmıştır (AA Haber, 2024; Karayolları Genel Müdürlüğü, 2024a:32-114, 2024b:8-16; T.C. UAB, 2023b:160-167).

OPİNA Projesi, İstanbul Okan Üniversitesi öncülüğünde kurulmuş, Türkiye'nin ilk otonom araç geliştirme ve test platformudur. AB ve Türkiye tarafından finanse edilen proje, otonom sürüş ve ADAS uygulamaları için açık inovasyon ekosistemi sunmaktadır. ROS/ROS2, AUTOSAR gibi modern yazılım mimarileri ve ISO güvenlik standartlarına uyum sağlanmıştır. Test altyapısı yazılım, donanım ve sürücü seviyelerinde test edilmekte olup, bu amaçla HIL (Hardware-in-the-Loop), SIL (Software-in-the-Loop) ve DIL (Driver-in-the-Loop) tabanlı sistemlerle desteklenmekte; ayrıca radar, LİDAR ve yapay zekâ simülasyonları kullanılmaktadır. OPİNA, girişimcilik programları ve yüksek lisans eğitimleri sunarak otonom araç teknolojileri konusunda Türkiye'de yenilikçi çözümler geliştirmektedir (OPINA, 2025).

Marmara Üniversitesi bünyesindeki VeNIT Lab; otonom araçlar, bağlantılı araçlar ve V2X haberleşmesi alanlarında önemli çalışmalar yürütmektedir. Dragos Kampüsü'nde kurulan K-AUS altyapısı, V2X sistemlerinin geliştirilmesi ve test edilmesi için donatılmış bir saha ortamı sunmaktadır. Bu altyapı; akıllı kavşaklar, araç içi iletişim bileşenleri ve çeşitli bağlantılı araç uygulamalarını desteklemektedir. Ayrıca, çarpışma riski uyarısı ve yeşil ışık optimum hız bildirimleri gibi uygulamalar da geliştirilmiştir. VeNIT Lab, bağlantılı araçlar için dijital ikiz platformu vTRIx'i geliştirerek V2X haberleşmesi için sanal ve gerçek saha testleri yapmaktadır. Otonom araçlar için simülasyon ve modelleme platformları da mevcuttur. Ayrıca, görüntü işleme ve uç bilişim teknikleriyle hassas yol kullanıcılarının tespiti ve otonom sürüş desteği sağlanmaktadır. VeNIT Lab, AB ve ulusal projelerde aktif rol alarak; akıllı kavşaklar, V2X güvenlik testleri ve 5G tabanlı sistemler gibi projeler geliştirmektedir. Ayrıca, UAB ile iş birliği yaparak araç içi haberleşme sistemlerinin teknik

özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar yürütmektedir (T.C. UAB, 2023a:74; Venit Laboratuvarı, 2025).

Ford Otomotiv Sanayi A.Ş. (Ford Otosan), Ford Motor Company'nin küresel mühendislik merkezi olarak, otonom araçlar ve bağlantılı araç teknolojileri üzerine önemli Ar-Ge çalışmaları yürütmektedir. Şirket Sancaktepe, Gölcük ve Eskişehir'deki merkezlerinde ağır ticari araçlar ve otonom sürüş sistemleri geliştirmektedir. Ford Otosan'ın geliştirdiği F-Vision Konsept Kamyonu, Seviye 4 otonom sürüş kabiliyetine sahip ilk prototiptir. Bu araç, çevreyle sürekli iletişim kurarak insan odaklı bir deneyim sunmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, Seviye 4 Otoyol Pilotu teknolojisi, sürücüsüz lojistik operasyonlarını mümkün kılmak için geliştirilmiş ve Eskişehir test pistinde test edilmiştir. Otonom Konvoy Teknolojisi (Platooning), şehirlerarası taşımacılıkta yakıt tasarrufu ve güvenliği artırmayı hedefleyen bir diğer projedir. F-MAX kamyonlarında kullanılan bu teknoloji, sürücüsüz ve birbirine bağlı kamyonların V2V haberleşmesi ile hareket etmesini sağlamaktadır. Ford Otosan; 5G-MOBIX projesi kapsamında 5G-V2X ürünlerinin saha gösterimini yapmıştır. Ayrıca, Teleoperasyon sistemleri ve sınırlı alanlarda otonom araç uygulamaları üzerine çalışmalar sürdürülmektedir. Ford Otosan AB projelerinde de aktif rol alarak; otonom araçlar, akıllı sistemler ve emisyon optimizasyonu gibi alanlarda yenilikçi çözümler geliştirmektedir. Bu projeler, dünya çapında daha güvenli ve verimli taşımacılık sistemlerinin kurulmasına katkı sağlamaktadır (Ford Otosan, 2020; T.C. UAB, 2023b:160-167, 2023c:47-55, 2024b:61).

4. TÜRKİYE'DE BAĞLANTILI ARAÇLAR İÇİN K-AUS MİMARİ ÖNERİSİ

K-AUS mimarisi; bağlantılı araçlar, yol altyapısı, trafik kontrol merkezleri ve diğer ulaşım bileşenleri arasında gerçek zamanlı veri alışverişini sağlayan; standartlaşmış, birlikte çalışabilir ve çok katmanlı bir iletişim ve yönetim çerçevesidir.

Mevcut ve geliştirilen AUS mimarilerinden farklı olarak K-AUS için bir referans mimarisine duyulan ihtiyaç, mevcut mimarilerin çeşitli sınırlamalarının olması ve K-AUS hizmetlerinin yaygın, sınır ötesi ve tutarlı bir şekilde uygulanması gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Mevcut AUS mimarileri genellikle belirli yerel ihtiyaçlara ve teknik yaklaşımlara odaklanmakta olup, bu da hizmetlerin uluslararası düzeyde entegrasyonunu zorlaştırmaktadır. K-AUS ise dinamik ve çok yönlü bir yapıya sahip olup, özellikle farklı coğrafi bölgelerdeki trafik ve ulaşım sorunlarına esnek çözümler sunmayı hedeflemektedir. Bu nedenle, K-AUS hizmetlerinin etkin bir şekilde uygulanabilmesi ve daha geniş bir coğrafyada tutarlı bir biçimde yaygınlaştırılabilmesi için, tüm paydaşlar arasında ortak bir referans mimarisinin oluşturulması gerekmektedir.

Mevcut K-AUS çözümleri, her ülkenin veya bölgenin kendi öncelikli trafik sorunlarına, teknik ihtiyaçlarına ve teknolojik önceliklerine göre özelleşmiş yaklaşımlar sunmaktadır. Avrupa genelinde çalışmalar, sınır ötesi uyumluluğu merkeze alırken her ülke kendi yerel sorununa eğilmektedir. Avusturya; şehir içi trafik sıkışıklığını azaltmak ve toplu taşıma verimliliğini artırmaya öncelik vermektedir. Bu doğrultuda, özellikle Graz ve Klagenfurt gibi şehirlerde toplu taşıma önceliği ve adaptif trafik ışığı sistemleri üzerinden çözümler sunarak seyahat sürelerini kısaltmayı ve emisyonları düşürmeyi hedeflemektedir. İtalya; kentsel alanlarda sinyalizasyon yönetimi ve otopark sorunlarına yoğunlaşırken, otoyollarda ağır vasıta taşımacılığını (kamyon platooning) optimize etmeye odaklanmıştır. Torino ve Verona gibi kentlerde yeşil ışık hız tavsiyesi (GLOSA) ve otopark bilgilendirme sistemleri ile trafik akışını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Almanya hem otoyol güvenliğini artırmayı hem de kentsel "düğüm noktalarındaki" akışı iyileştirmeyi hedeflemektedir. Acil durum araçlarının geçiş önceliği (EVA) ve yol çalışması uyarıları (RWW) gibi güvenlik odaklı hizmetlerin yanı sıra, dünyada otonom sürüş etik ilkelerini yasal çerçeveye oturtan öncü bir yaklaşım sergilemektedir. Fransa; yol güvenliğini artırmak amacıyla tehlikeli konumların anlık bildirimi ve dinamik trafik yönetimine odaklanmıştır. Ayrıca Belçika ve Hollanda gibi

komşu ülkelerle sınır ötesi birlikte çalışabilirlik testlerine öncülük ederek Avrupa içi kesintisiz ulaşımı desteklemektedir. Çek Cumhuriyeti; diğer Avrupa ülkelerinden farklı olarak, tramvaylar ve demiryolu hemzemin geçitlerinin karayolu trafiğiyle entegrasyonuna özel bir teknik yaklaşım sunmaktadır. Bu sayede raylı sistem-araç çatışmalarından kaynaklanan kaza risklerini azaltmayı hedeflemektedir. Macaristan: Yüksek kaza oranları nedeniyle ulusal stratejisini yol güvenliği üzerine kurmuştur. Otonom araçların test edilmesi için kurduğu ZalaZONE gibi devasa altyapılarla, araçların karmaşık trafik senaryolarına uyumunu teknik bir öncelik haline getirmiştir. Asya-Pasifik ülkelerinde ise entegrasyon ve otomasyon alanında yoğunlaşan çalışmalar yürütülmektedir. Güney Kore; "30 yıl boyunca sıfır trafik kazası" vizyonuyla, özellikle okul bölgesi ve okul otobüsü güvenliği gibi toplumsal hassasiyeti yüksek alanlarda uyarı sistemlerine odaklanmıştır. Ayrıca, 2030 yılına kadar Seviye 4 otonom sürüşü ticarileştirmek için tüm ülke yollarını kapsayan devasa bir dijital altyapı ağı kurmaktadır. Çin; "İnsan-Araç-Yol-Bulut" koordinasyonuna dayalı bütünleşik bir strateji izlemektedir. 5G-V2X teknolojisiyle akıllı altyapılar kurarak, büyük şehirlerde insansız araç operasyonları ve dijital ikiz simülasyonları üzerinden trafik yönetimi yapmaktadır. Avustralya; Kazaların %80'ini engelleme hedefiyle, özellikle motosiklet güvenliği ve savunmasız yol kullanıcılarını korumaya yönelik gelişmiş K-AUS pilotları yürütmektedir. ABD, teknik altyapıda radikal bir değişiklik yaparak DSRC teknolojisinden vazgeçmiş ve tamamen C-V2X teknolojisine geçişi zorunlu kılmıştır. Bölgesel bazda; Wyoming'de olumsuz hava koşullarında ticari araç güvenliği, Tampa'da ise trafik akışı optimizasyonu gibi yerel ihtiyaçlara göre özelleşmiş devasa pilot bölgeler oluşturmuştur. Türkiye, özellikle İstanbul gibi metropollerdeki yoğun trafik sıkışıklığı ve kaza kara noktalarıyla mücadele etmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, ABD'nin ARC-IT mimarisini referans alarak kendi Ulusal AUS Mimarisini oluşturmakta; 5G, LİDAR ve radar entegrasyonuyla yerli yazılım ve donanım kapasitesini geliştirmeye odaklanmaktadır. Bu farklı yaklaşımlar, ülkelerin kendi özel ihtiyaçlarına göre geçici ve proje bazlı çerçeveler kullanmasına neden olmakta, bu durum ise K-AUS hizmetlerinin uluslararası düzeyde entegrasyonunu ve sınır ötesi adaptasyonunu zorlaştırmaktadır.

K-AUS'un en temel zorluğu, farklı üreticilerin araçlarının ve farklı ülkelerin altyapılarının birbirleriyle uyumlu bir şekilde iletişim kurabilmesidir. FRAME ve ARC-IT mimarileri, bu tür sistemlerin aynı dili konuşmasını sağlayarak; standart mesaj formatları, güvenlik protokolleri gibi unsurlarda uyum sağlamaktadır. Avrupa ülkeleri, K-AUS hizmetlerinin sınır ötesi uyumunu ve birlikte çalışabilirliğini sağlamak amacıyla C-Roads Platformu

altında bir araya gelmiştir. Avrupa'nın kendi sınır ötesi uyumluluğu için geliştirdiği referans mimarilere benzer şekilde, Amerika da tüm eyalet ve bölgelerdeki projelerin birbiriyle konuşabilmesini sağlamak adına ARC-IT mimarisini rehber olarak kullanmaktadır. Hem Avrupa hem de ABD mimarileri araç, yol kenarı, merkez ve kişisel sistemleri kapsayan ve ISO 21217 standardı tarafından tanımlanan AUS İstasyonu referans mimarisi (ITS-S) konseptini temel yapı taşı olarak kabul etmekte ve her iki bölge de mimarilerini ISO 14813-5:2020 gibi uluslararası standartlarla uyumlu hale getirerek küresel bir "ortak dil" oluşturmaya çalışmaktadır. Her iki yaklaşım da yol güvenliği ve trafik verimliliği uygulamaları için 5.9 GHz frekans bandını temel almaktadır. Avrupa'da periyodik durum bilgisi için CAM ve olay tetiklemeli uyarılar için DENM kullanılırken; ABD'de bu işlevlerin çoğu BSM üzerinden yürütülmektedir. Avrupa'da C-ITS Platformu ve C-Roads gibi oluşumlar, hizmetleri yaygınlaşma önceliğine göre "Gün 1" ve "Gün 1.5" olarak gruplandırmaktadır. Ancak ARC-IT, hizmetleri teknolojik olgunluktan ziyade fonksiyonel alanlara göre paketler halinde sunmaktadır.

K-AUS hizmetlerinin geniş ölçekli ve sürdürülebilir şekilde yaygınlaştırılabilmesi için, ortak bir referans mimarisinin geliştirilmesi kritik bir gereklilik arz etmektedir. Referans mimariler; paydaşlar arasında ortak bir terminoloji, yeniden kullanılabilir yapılar ve yerleşik uygulama çerçeveleri sağlayarak sistematik bir yaklaşım oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Bu da hizmetlerin daha hızlı ve verimli bir şekilde uygulanmasını, geliştirilmesini ve ölçeklenmesini sağlamaktadır.

Türkiye'de ulusal bir K-AUS mimarisi oluşturulması, sadece yerel çözümlerin entegrasyonunu değil, aynı zamanda küresel düzeydeki diğer ülkelerle uyumlu, sürdürülebilir ve birlikte çalışabilir sistemlerin oluşturulmasına olanak sağlayacaktır. Böyle bir mimari, Türkiye'nin mevcut K-AUS çözümlerini daha geniş bir çerçeveye yerleştirerek, yerel ihtiyaçlarla global standartları uyumlu hale getirecek ve uluslararası düzeydeki K-AUS hizmetlerine katılımı mümkün kılacaktır.

Türkiye'de geliştirilen ulusal AUS mimarisi çalışmaları UAB tarafından yürütülmekte olup, ABD'nin ARC-IT mimari çerçevesi temel alınmıştır. Bu kapsamda ABD'nin ARC-IT mimarisi temel alınarak Türkiye'nin ulusal ihtiyaçlarına uygun, K-AUS paydaşları (araç üreticileri, yol işletmecileri, teknoloji sağlayıcılar) için ortak bir çerçeve mimari önerisi sunulmaktadır.

4.1. K-AUS Mimarisinin Geliştirilme Süreci

4.1.1. Türkiye'ye özgü ihtiyaç analizi

Referans mimari, ülkenin K-AUS projelerinin başarıyla uygulanabilmesi için bir rehber ve koordinasyon aracı olarak kritik bir rol oynamaktadır. Bu mimari, ulusal strateji ile uyumlu olmasının yanı sıra uluslararası standartlarla paralel bir şekilde tasarlanmalıdır. Böylece, Türkiye'nin ulusal ve uluslararası ulaşım ağına entegrasyonu mümkün olabilecektir.
K-AUS mimarisinin benimsenmesinin ardındaki temel itici güç; ulaşım sorunlarına yenilikçi çözümler sunmak ve toplumsal faydalar sağlamaktır. Bu kapsamda, K-AUS uygulamaları ve mimarisinin Türkiye'de fayda sağlayabileceği alanlara yönelik ihtiyaç analizi aşağıda sıralanmıştır (Ben Hamida vd., 2015; C-Roads, 2021a:6-34; Karkhanis vd., 2023; European Commission, 2016b:11-201; Jesty ve Frötscher, 2021; T.C. UAB, 2025; U.S. DOT, 2007:1-2):

Toplumsal ve ekonomik faydalar açısından ihtiyaç analizi:

- Güvenlik ve Emniyet: K-AUS, yol güvenliğini önemli ölçüde artırma potansiyeline sahiptir. Bu sistemler, trafik kazalarını önlemeye veya kazaların ciddiyetini azaltmaya yönelik çeşitli hizmetler sunmaktadır (örneğin; tehlikeli konum uyarıları, kavşak güvenliği, araç içi hız limitleri vb.). U.S. DOT; V2V ve V2I teknolojilerinin, kusursuz araç kazalarını %80 oranında azaltacağı öngörüsünde bulunmaktadır. Türkiye, özellikle büyük şehirlerde ve yoğun trafik hatlarında sıkça yaşanan trafik kazalarıyla mücadele etmektedir. K-AUS'un sunduğu tehlikeli konum uyarıları, kavşak güvenliği ve araç içi hız limitleri gibi teknolojiler, kazaların önlenmesinde ve kazaların etkilerinin azaltılmasında önemli bir rol oynayabilir.
- Trafik Verimliliği ve Sıkışıklığın Azaltılması: K-AUS; trafik sıkışıklığı sorunlarının çözülmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Akıllı yönlendirme, trafik ışığı optimizasyonu ve park yeri bilgisi gibi hizmetlerle, ortalama hızın artırılması ve tıkanıklıkların azaltılması sağlanabilir. Bu da ulaşım verimliliğini optimize ederek seyahat sürelerini kısaltmaktadır. Türkiye'de trafik sıkışıklığı özellikle İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük şehirlerde büyük bir sorun teşkil etmektedir. K-AUS'un sunduğu akıllı yönlendirme ve trafik ışığı optimizasyonu gibi teknolojiler, sıkışıklığı azaltmak ve trafik akışını hızlandırmak için etkili çözümler sunabilir.

- Çevresel ve Enerji Verimliliği: K-AUS, Avrupa Komisyonu'nun enerji tüketimi ve emisyonların azaltılması hedeflerine ulaşmada önemli bir araçtır. Daha akıcı bir trafik akışı sağlanarak enerji verimliliği artırılabilir, bu da çevresel etkileri azaltmaktadır. 2053 yılına kadar karbon nötr bir ekonomi hedefleyen Türkiye için ulaşım sektörü bu hedefte önemli bir paya sahiptir. Trafik akışının optimize edilmesi, gereksiz dur-kalkların önüne geçilmesi ve daha verimli bir sürüş sağlanması; enerji tüketimini ve emisyonları önemli ölçüde azaltabilir.
- Ekonomik Fayda: Avrupa düzeyinde yapılan maliyet-fayda analizleri, K-AUS dağıtımının ekonomik açıdan oldukça faydalı olduğunu ve yüksek fayda-maliyet oranları sağladığını ortaya koymuştur. AB düzeyinde, 2030 yılı itibarıyla K-AUS uygulamalarından beklenen toplam faydaların yıllık yaklaşık 15 milyar € seviyelerine ulaşması beklenirken, toplam maliyetlerin 2,5 milyar € civarında olması öngörülmektedir. Türkiye'de de K-AUS uygulamalarının trafik sıkışıklığı ve yol kazaları gibi ekonomik kayıplara yol açan sorunlara çözüm önerileri sunarak trafik verimliliğini artırması ve iş gücü kayıplarını, yakıt tüketimini ve diğer dolaylı maliyetleri azaltması beklenmektedir.

Mimari ve koordinasyon gerekliliği açısından ihtiyaç analizi:

- Dağıtımın Parçalanmasını ve Gecikmesini Önleme: Standartlaştırma ve birlikte çalışabilirlik konularında yaşanan yetersizlikler, K-AUS'un Avrupa'daki yaygın dağıtımını engelleyen temel sorunlardan biridir. K-AUS mimarisi, bu parçalanmış yapıyı ortadan kaldırmayı ve dağıtım sürecini hızlandırarak hızlı geri dönüşler sağlamayı amaçlamaktadır. Türkiye'de, özellikle altyapı ve teknoloji entegrasyonu konusunda bazı bölgesel farklılıklar ve altyapı yetersizlikleri görülmektedir. Örneğin, şehirlerarası karayolları ile şehir içi ulaşım sistemlerinin uyumlu hale getirilmesi, K-AUS'un etkili dağıtımını hızlandıracaktır. Türkiye'de K-AUS'un etkin bir şekilde uygulanabilmesi için, ulusal düzeyde standartların ve birlikte çalışabilirliğin sağlanması da önemlidir.
- Paydaşların Koordinasyonu: K-AUS; karar vericiler ve uygulayıcılar, otomotiv endüstrisi, telekomünikasyon sektörü, yol işletmecileri, yol otoriteleri ve kullanıcılar gibi çok sayıda paydaş arasında önemli yatırımlar ve koordinasyon gerektiren bir sistemdir. Ortak bir K-AUS mimarisi; bu paydaşların rollerini, sorumluluklarını ve

sistemler arasındaki teknik entegrasyonu belirlemek için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır.

- Güvenlik ve Gizlilik: K-AUS ortamında sürekli büyük miktarlarda veri alışverişi yapılmaktadır. Bu nedenle, iletişimin güvenliğinin sağlanması ve kullanıcı gizliliği konusunda alınacak tedbirler kritik öneme sahiptir. Avrupa'da, K-AUS istasyonları için güvenli veri alışverişi sağlamak amacıyla tek bir güven alanı (single trust domain) oluşturulmuştur ve bu alan, PKI sistemi ile desteklenmektedir. Türkiye'nin de bu alanda siber güvenlik ve uyumluluk gereksinimlerini karşılayacak düzenlemeleri hayata geçirmesi gereklidir.
- Sınır Ötesi Uygulama ve Hizmet Uyumluluğu: K-AUS hizmetleri, sadece ulusal veya bölgesel düzeyde tasarlanmamalıdır. Türkiye, Avrupa ile olan ulaşım bağlantıları ve karayolu geçişleri göz önüne alındığında, araçların ve sürücülerin Avrupa çapında seyahat ederken yeni sistemlerle uyumlu bir şekilde etkileşime girmesi sağlanmalıdır. Bu bağlamda, K-AUS'un sınır ötesi uyumluluğu hem Türkiye'nin ulusal hedefleri hem de AB'nin birlikte çalışabilirlik hedefleri doğrultusunda öncelikli bir konu olarak öne çıkmaktadır.
- Ortak Standartların Teşviki: Türkiye'de K-AUS projelerinin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için, araç üreticileri ve yol operatörleri gibi sektördeki farklı tedarikçilerin geliştirdiği sistemlerin birbirleriyle uyumlu olmasını sağlayacak bir çerçeve gereklidir. K-AUS referans mimarisi, bileşen arayüzleri ile ilgili ortak standartları destekleyerek, sektörün farklı paydaşları arasında uyumluluğun sağlanmasına olanak tanımaktadır.
- Teknik Detaylarda Uyumluluğun Sağlanması: AB bünyesinde kabul edilen Gün 1 K-AUS hizmetlerinin teknik gereklilikleri ve sistem iletişim profilleri, K-AUS hizmetlerinin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için uluslararası uyumu sağlamak adına temel bir standart seti sunmaktadır. Türkiye, bu standartları benimseyerek K-AUS hizmetlerini etkin bir şekilde hayata geçirebilir. Bu yalnızca ulusal düzeyde değil, aynı zamanda uluslararası düzeyde de Türkiye K-AUS uygulamalarının tanınmasını ve kabul edilmesini sağlayacaktır.

Artan karmaşıklığın yönetimi ve sistem gelişimi:

- Sistem Karmaşıklığının Azaltılması: Türkiye'de K-AUS uygulamalarının arttığı göz önüne alındığında, farklı trafik koşullarında uygulanabilir ve kabul edilebilir bir metodolojiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu metodoloji, sistemin sürdürülebilirliğini ve verimliliğini sağlamak için önemlidir.
- Yeni Teknolojiler ve Fonksiyonlara Uyum: K-AUS mimarisi, gelişen teknolojilerle (örneğin, araçların yol ağıyla ilgili dinamik durum verileri toplaması) ve yeni işlevlerle uyumlu olacak şekilde tasarlanmalıdır. Türkiye'nin, gelecekteki teknolojik gelişmelere ayak uydurabilmesi için esnek bir altyapıya ihtiyacı vardır.
- Otomasyona Giden Yol: Türkiye'nin otonom ulaşım teknolojilerini etkin bir şekilde entegre edebilmesi için, K-AUS altyapısı önemli bir rol üstlenmektedir. Bu sistemler, kısmen veya tamamen otonom araçların gelişimine katkı sağlayan temel unsurlar olacaktır.
- Ortak Bir Çerçevenin Sunulması: Türkiye, K-AUS hizmetlerinin yaygınlaştırılmasını hızlandırmak için, farklı ülkelerdeki paydaşların projelerini başarıyla uygulayabilmelerine olanak tanıyacak açık, anlaşılır ve güçlü bir çerçeve sunulacaktır.

Güvenlik, emniyet ve güven alanı kurulumu:

- Yol Emniyeti ve Ulaşım Verimliliğinin Artırılması: K-AUS'un sağlayacağı faydalar arasında gelişmiş yol emniyeti, ulaşım verimliliği, emisyonların azaltılması ve seyahat konforunun artırılması yer almaktadır.
- Bilgi Güvenliği ve Kullanıcı Gizliliği: K-AUS sürekli olarak büyük miktarda veri değişimi gerçekleştirdiği için, veri doğruluğu ve güvenliği hayati öneme sahiptir. Türkiye, bu verilerin güvenli bir şekilde işlenmesi ve kullanıcı gizliliğinin korunması için gerekli altyapıyı oluşturmalıdır.
- Tek Güven Alanı (Single Trust Domain): K-AUS mimarisi, tüm katılımcılar için bir güven alanı gereksinimi doğurur. Bu, PKI ve EU CCMS gibi güvenlik unsurlarının K-AUS altyapısına dahil edilmesini zorunlu kılmaktadır. Türkiye, bu güven altyapısının kurulmasını sağlamak için gerekli adımları atmalıdır.
- Sertifika ve Güven Yönetimi: Türkiye'de K-AUS kapsamında güvenli iletişim sağlamak için PKI sistemleri ile sertifika yönetiminin doğru bir şekilde entegre edilmesi gerekmektedir. Bu sistem, K-AUS istasyonlarının düzenli ve güvenli çalışmasını garanti altına alacaktır.

Kurumsal iş birliği ve geliştirme süreçlerinin desteklenmesi:

- Paydaş Katılımının Sağlanması: K-AUS projelerinde kullanıcılar, operatörler, dağıtıcılar, araç üreticileri ve servis sağlayıcıları gibi geniş bir paydaş yelpazesi bulunmaktadır.
- Kamu-Özel Sektör İş Birliği: Kamu ve özel sektör paydaşlarının uyumlu bir şekilde çalışabilmesi için referans mimari, her iki tarafın ihtiyaçlarına hitap edecek şekilde tasarlanmalıdır.
- Sistem Mühendisliği Desteği: K-AUS projelerinin başarısı, sistem mühendisliği analizlerine dayanmaktadır. Türkiye'deki K-AUS projelerinde proje risklerini, maliyet aşımını ve süre uzamalarını en aza indirmek için doğru ve güvenilir başlangıç verileri sağlanmalıdır.

4.1.2. Kapsamın tanımlanması

Çalışmada, ARC-IT metodolojisi doğrultusunda, Türkiye'de oluşturulacak bir K-AUS mimarisi, üç temel boyut olan coğrafi alan, zaman ufku ve hizmet kapsamı üzerinden yapılandırılmıştır. Bu unsurlar, entegre bir K-AUS mimarisinin geliştirilmesi ve projelerin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için rehberlik sağlamaktadır.

Coğrafi Alan: Başlangıç aşamasında, en yüksek fayda sağlayabilecek alanlara odaklanılmıştır. Bu kapsamda, özellikle yoğun kentsel alanlarda (İstanbul, Ankara, İzmir gibi büyük şehirler) yaşanan trafik yönetimi ve ulaşım güvenliği sorunları dikkate alınarak, bu alanlarda uygun hizmetlerin uygulanması hedeflenmiştir. Ayrıca, otoyol ortamları gibi trafik akışının daha tekdüze olduğu ve yüksek hızların söz konusu olduğu bölgelerde, "Gün 1" hizmetleri için uygun altyapıların oluşturulmasına öncelik verilmiştir.

Zaman Ufku: K-AUS mimarisi, sadece mevcut K-AUS projeleriyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda gelecekteki projeleri de kapsayacak şekilde uzun vadeli bir planlama çerçevesinde geliştirilmiştir. Bu kapsamda, Türkiye'deki K-AUS mimarisi için 5, 10 ve 20 yıllık planlama dönemleri öngörülmektedir. Kısa vadeli hedefler (0-5 yıl); K-AUS altyapısının kurumsal, teknik ve hukuki temellerinin oluşturulması amaçlanmaktadır. Ulusal K-AUS mimarisi, ARC-IT referans çerçevesi esas alınarak tasarlanmalı ve ilgili tüm paydaşların katılımı ile resmiyet kazanmalıdır. K-AUS "Gün 1" hizmetleri ve uluslararası standartlar ulusal

mevzuatla uyumlaştırılmalı; yerli yazılım ve donanım geliştirme kapasitesini artırmak amacıyla test ve doğrulama altyapılarını içeren merkezler kurulmalıdır. Ayrıca, K-AUS test koridorları ve düşük riskli pilot uygulamalar hayata geçirilerek mevcut sistemlerinin envanteri çıkarılmalı ve temel güvenlik ile trafik yönetim hizmetleri tanımlanmalıdır. Orta vadeli hedefler (5-10 yıl); pilot uygulamalardan elde edilen çıktılar doğrultusunda K-AUS altyapısının coğrafi ve işlevsel kapsamının genişletilmesi hedeflenmektedir. Otoyol ağlarında yaygınlaştırma sağlanmalı; ITS-G5 ve hücresel haberleşme teknolojilerinin birlikte kullanıldığı hibrit bir yapı tesis edilmelidir. Trafik verimliliğini artırmaya yönelik "Gün 1.5" ve "Gün 2" seviyesindeki gelişmiş K-AUS hizmetleri devreye alınmalı, MaaS çözümleri ile entegrasyon güçlendirilmelidir. Bu süreçte güvenli veri paylaşımını destekleyecek NAP, siber güvenlik ve PKI altyapıları oluşturulmalı; projeler arası uyum etkin biçimde yönetilmelidir. Uzun vadeli hedefler (10+ yıl); K-AUS altyapısının, tam entegre ve sürdürülebilir bir CCAM ekosistemine dönüşmesi öngörülmektedir. Seviye 4/5 otonom sürüş sistemlerini destekleyecek kesintisiz V2X haberleşme altyapısı ülke genelinde tesis edilmeli; yapay zekâ ve dijital ikiz uygulamaları ile trafik yönetimi ve planlama süreçleri ileri düzeye taşınmalıdır. Mimarinin gelişen teknolojilerle düzenli olarak güncellenmesi, sistemin siber güvenliği, veri gizliliği ve afetlere karşı dayanıklılığı ulusal ölçekte sağlanmalıdır. Bu çerçevede Türkiye'nin hareketlilik teknolojileri alanındaki uluslararası rekabet gücünün artırılması ve ihracat kapasitesinin geliştirilmesi temel stratejik hedefler arasında yer almalıdır.

Hizmet Kapsamı: K-AUS mimari çerçevesinin temelini, sağlanacak hizmetlerin genel kategorileri oluşturur. Türkiye'de K-AUS mimarisinin hizmet kapsamı, Gün 1 hizmetleri ile başlamakta olup bu hizmetler daha sonra gelişen ihtiyaçlara ve teknolojik gelişmelere göre genişletilecektir. Gün 1 hizmetleri, yol güvenliği ve trafik akışının yönetimi gibi temel hizmetleri kapsar. Türkiye'de bu hizmetlerin kapsamı, özellikle güvenliğe dayalı V2V ve V2I hizmetlerine yoğunlaşacaktır. Ayrıca yol kenarı altyapıları, trafik yönetimi sistemleri ve veri paylaşımı gibi alanlar da ön planda tutulacaktır. Bu kapsamda özellikle kentsel alanlarda trafik güvenliğini artırmaya yönelik, otoyol koridorlarında ise verimli trafik yönetimi için örnek senaryolar oluşturulmuştur.

4.1.3. Paydaşların belirlenmesi

K-AUS projelerinin başarısı, çok sayıda paydaşın katılımına bağlıdır. Bu paydaşlar, Türkiye'deki K-AUS çerçeve mimarisinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu paydaşlar; karayolu idareleri, toplu taşıma operatörleri, kamu kurumları, özel sektör (OEM'ler, servis sağlayıcılar) ve yol kullanıcıları gibi K-AUS unsurlarına sahip olan, işleten veya arayüz oluşturan tüm kurumları kapsamaktadır.

Paydaşlar, ARC-IT'nin Kurumsal Görünüm bileşeninde tanımlanan roller, sorumluluklar ve ilişkiler doğrultusunda belirlenmiştir. Bu paydaşlar arasında KGM, UAB, emniyet birimleri, yerel yönetimler, özel sektör aktörleri ve diğer ilgili organizasyonlar yer alır. Paydaş analizi, mimarinin uyumlu ve etkili bir şekilde geliştirilmesi için kritik öneme sahiptir. Türkiye'deki K-AUS çerçevesi için temel paydaş kategorileri şu şekilde sıralanabilir:

Kamu sektörü ve düzenleyici kurumlar:

- Ulusal ulaştırma otoriteleri-UAB: Türkiye'deki ulaşım sistemlerinin genel strateji ve politikalarını belirlerken K-AUS teknolojilerinin ulusal düzeyde yaygınlaşmasını ve bu teknolojilerin ülke genelindeki ulaşım altyapısına entegrasyonunu desteklemeye yönelik çalışmalar yürütmektedir.
- Ulusal ulaştırma otoriteleri-KGM: Türkiye'deki otoyollar ve ana yolların yönetimi, yol güvenliği, trafik düzenlemeleri ve modern ulaşım sistemlerinin entegrasyonu konularında görev almaktadır. K-AUS projelerinde, özellikle RSU ve trafik yönetim sistemlerinin kurulumu ile entegrasyonunu sağlamakla yükümlüdür.
- Düzenleyici kurumlar (spektrum ve haberleşme)-BTK: Sistemlerin etkin çalışmasını ve uluslararası uyumluluğu sağlamak üzere, radyo frekansı spektrumunun düzenlenmesi ve K-AUS uygulamalarını etkileyebilecek haberleşme standartlarının belirlenmesi kapsamında çalışmalar yürütmektedir.
- Teknoloji ve sanayi koordinasyonu- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı: K-AUS ekosisteminde teknoloji geliştirme, standartlara uyum, ticarileştirme ve endüstriyel üretimin sağlanması açısından kilit bir paydaş olarak yer almaktadır.
- Araştırma, geliştirme ve test altyapısı- TÜBİTAK: Ulusal araştırma ve teknoloji geliştirme otoritesi olarak K-AUS teknolojilerinin geliştirilmesi ve test edilmesinden

sorumludur. V2X haberleşme ve güvenlik teknolojilerinin geliştirilmesi, test ve simülasyon altyapısının sağlanması ve paydaş koordinasyonu çalışmalarını yürütmektedir.

- Trafik güvenliği, acil durum yönetimi ve kamu düzeni-İç İşleri Bakanlığı: Ülke genelinde trafik güvenliği, acil durum yönetimi ve kamu düzeninin sağlanmasından sorumludur. K-AUS projelerinde kaza ve acil durum bildirim sistemlerinin entegrasyonu, emniyet güçleri ile RSU ve sensörlerin koordinasyonu ile veri gizliliği politikalarının uygulanmasını sağlamaktadır.
- Acil sağlık hizmetleri, olay yönetimi ve ambulans koordinasyonu- Sağlık Bakanlığı: Ülke genelinde acil sağlık hizmetlerinin yürütülmesi, ambulans operasyonlarının yönetimi ve olay yerindeki tıbbi müdahalenin koordinasyonundan sorumludur. Türkiye K-AUS mimarisinde kaza ve acil durum bildirimlerinin 112 acil sağlık sistemine entegrasyonu, ambulansların RSU'lar ve trafik yönetim merkezleriyle gerçek zamanlı iletişimi, kritik olay verilerinin paylaşımı ve tıbbi bilgi güvenliği politikalarının uygulanmasını sağlamaktadır.
- Emniyet ve acil durum hizmetleri: Polis, itfaiye, acil sağlık hizmetleri gibi kamu hizmetleri, K-AUS'un güvenlik boyutunda önemli bir paydaş rolü üstlenmektedir.
- Sürdürülebilirlik ve çevresel etki yönetimi-ÇŞİDB: Sürdürülebilir şehirleşme, hava kalitesi ve çevresel etki yönetiminden sorumludur. K-AUS projelerinde, trafik yönetim sistemleri ile hava kalitesi sensörlerinin entegrasyonu, sürdürülebilir hareketlilik hedeflerinin mimariye dahil edilmesi ve karbon emisyonlarının izlenmesini sağlamaktadır.
- Mali ve finansman kuruluşları-Hazine ve Maliye Bakanlığı/ Kalkınma Ajansları: K-AUS'un toplumsal faydaları (sağlık harcamaları, üretkenlik) nedeniyle dolaylı fayda sağlama ve özel sektör yatırımlarını teşvik ederek, ekonomik büyüme ve sürdürülebilir kalkınmayı desteklemektedir.
- Yerel yönetimler ve kent ulaşım otoriteleri: Kentsel K-AUS hizmetlerinin uygulanması, yol kenarı altyapısına yatırım yapılması, kent içi trafik yönetim sistemlerinin entegrasyonu kapsamında çalışmalar yürütmektedir.
- Kentsel toplu taşıma operatörü (EGO, İETT, ESHOT vb.): Büyükşehir Belediyelerine bağlı olarak şehir içi toplu taşıma hizmetlerini yürüten, geniş araç filolarını yöneten ve akıllı ulaşım/filo yönetim sistemleri aracılığıyla operasyonel veri üreten kurumlardır. K-AUS kapsamında; V2I iletişimi, sinyal önceliği, gerçek zamanlı yolcu bilgilendirme ve

trafik yönetimi entegrasyonu gibi uygulamalarda kritik operasyonel paydaş ve veri sağlayıcı rolünü üstlenmektedir.

Özel sektör ve sanayi:

- Otomotiv üreticileri (OEM'ler): K-AUS uygulamalarına yönelik araç içi donanım ve yazılım sistemlerinin geliştirilmesinde öncülük etmektedir.
- Ekipman ve sistem tedarikçileri: Donanım (OBU, RSU), yazılım ve arka ofis sistemleri tedarikçileri bu süreçte kritik bir rol oynamaktadır.
- İletişim sağlayıcılar: Hücresel ağ operatörleri ve telekomünikasyon sağlayıcıları, K-AUS'un sağlıklı çalışabilmesi için gerekli iletişim altyapısını sunmaktadır.
- Bilgi hizmet sağlayıcıları: Trafik, hava durumu ve navigasyon bilgilerini sağlayan hizmet sağlayıcıları, K-AUS uygulamalarına entegre olacak veriyi temin etmektedir.

Diğer önemli paydaşlar:

- Standart kurumları ve uzman kuruluşlar-TSE: AUS ve K-AUS uygulamalarının başarılı bir şekilde koordine edilebilmesi için standartların geliştirilmesi ve uygulanmasında rol üstlenmektedir.
- Akademik kurumlar ve araştırma merkezleri: AUS ve K-AUS teknolojileri konusunda akademik katkıda bulunmaktadır.
- Mesleki ve sivil toplum kuruluşları: AUS Türkiye gibi dernekler ve kullanıcı grupları, sektörün gelişimine yönelik katkıda bulunmaktadır.
- Yol kullanıcıları (son kullanıcılar): Özel araç sürücüleri, toplu taşıma kullanıcıları, VRU'lar K-AUS'un hedef kitlesidir.

Türkiye'de başarılı bir K-AUS mimarisi geliştirilmesi, yalnızca teknik altyapı ve teknolojik entegrasyonla sınırlı kalmamalıdır. Bu süreç, Avrupa'daki K-AUS platformlarının (örneğin C-Roads ve C2C-CC) teknik standartları ile kooperatif yaklaşımlarını dikkate alarak, paydaşların etkin katılımını ve koordinasyonunu gerektirmektedir. ARC-IT'nin yapılandırılmış metodolojisi, hizmet paketleri ve görünümler aracılığıyla, tüm paydaşlar arasındaki iş birliğini sağlamayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda Türkiye'deki K-AUS mimarisi, yerel ve ulusal paydaşlar arasında güçlü bir iş birliği ve koordinasyon gerektiren

bir süreçtir. Bu sürecin başarılı bir şekilde yönetilmesi hem teknolojik hem de operasyonel açıdan sürdürülebilir, etkin ve güvenli bir ulaşım sistemi kurulmasına katkı sağlayacaktır.

4.2. Türkiye K-AUS Mimarisi

Türkiye için geliştirilecek K-AUS mimarisi, ARC-IT yapısına uygun hizmet paketlerinin seçimi ve ülke koşullarına uygun alt hizmetlerin belirlenmesiyle şekillendirmiştir. Bu kapsamda, AB C-ITS Platformu tarafından tanımlanan "Gün 1" hizmetleri ve temel altyapı gereksinimleri, Türkiye açısından başlangıç aşamasında öncelikli olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye'de K-AUS mimarisi için başlangıç olarak seçilen ARC-IT temel hizmet alanları aşağıda yer almaktadır:

- Araç Güvenliği (Vehicle Safety- VS): Araç güvenliği, verimliliği ve emniyeti ön plandadır.
- Trafik Yönetimi (Traffic Management- TM): Sinyal kontrolü, trafik izleme ve olay yönetimi üzerine odaklanılmaktadır.
- Seyahat Bilgileri ve Kişisel Hareketlilik (Traveler Information- TI): Yolculuk öncesi ve sırasındaki bilgilendirme hizmetleri.
- Destek (Support- SU): Güvenlik, kimlik bilgileri yönetimi, harita yönetimi gibi temel destek fonksiyonları ön plandadır.

Gün 1 hizmetleri, genellikle V2V ve V2I iletişime dayalı olup K-AUS uygulamalarının başlangıç aşamasında yol güvenliğini artırmaya odaklanmaktadır. Türkiye'de yürütülen pilot projeler ve Avrupa C-ITS Platformu'nun Gün 1 hizmetleri (Paket 1, 2, 3) temel alınarak, Türkiye K-AUS mimarisinde yer alması önerilen öncelikli hizmet paketleri Çizelge 4. 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. Türkiye K-AUS mimarisi için önerilen öncelikli hizmet paketleri

ARC-IT Kodu	ARC-IT Hizmet Paketi	K-AUS Hizmet Paketi	İletişim Türü	K-AUS Hizmetleri	Ana Hedef
VS02	V2V Temel Güvenlik	Paket 1 (V2V Güvenlik)	V2V	EEBL, EVA, SSV, TJW, HLN	Temel çarpışma önleme ve sürücü reaksiyon süresini artırma.
VS03	Durumsal Farkındalık	Paket 1&2 (Farkındalık Desteği)	V2V / V2I	HLN, WTC	Çevresel koşullar (buzlanma, sis) ve yol tehlikeleri hakkında bilgi paylaşımı ve gelişmiş uyarılar.
VS04	Özel Araç Uyarısı	Paket 1	V2V	EVA	Özel araçların (Acil/Bakım) konumlarını bildirerek ikincil kazaları azaltma.
VS05	Viraj Hız Uyarısı	Paket 2	V2I	VSPD	Virajlara yaklaşırken aşırı hız riskine karşı uyarı sağlama.
VS07	Yol Hava Durumu Sürücü Uyarısı ve İkazı	Paket 2 (Otoyol Odaklı)	V2I / V2V	WTC, HLN	Görsel olarak zor algılanan tehlikeler (kara buz, kuvvetli rüzgâr) hakkında bilgi sağlama.
VS08	Kuyruk Uyarısı	Paket 2 (Otoyol Odaklı)	V2I / V2V	SWD, TJW	Yüksek hızlı yollarda beklenmedik tıkanıklık nedeniyle oluşan arka uç çarpışmalarını önleme.
VS09	Azaltılmış Hız Bölgesi Uyarısı / Şerit Kapatma	Paket 2 (Otoyol Odaklı)	V2I	RWW, VSGN/IVS	Yol çalışması ve geçici hız limitleri bölgelerinde güvenlik ve trafik yönetimini geliştirme.
VS13	Kavşak Güvenlik Uyarısı ve Çarpışma Önleme	Paket 3 (Kentsel Odaklı)	V2I	SigV, ICW	Sinyalize kavşaklarda kırmızı ışık ihlali ve çarpışma riskini azaltma.
TI07	Araç İçi Bilgiler	Paket 2 (Otoyol Odaklı)	V2I	VSGN/IVS, VSPD	Yol kenarındaki statik ve dinamik trafik işaretlerini araç içinde görüntüleme.
TM02	Araç Tabanlı Trafik Gözetimi	Paket 2 (Otoyol Odaklı)	V2I	PVD	Bağlı araçlardan prob verisi toplayarak olay tespiti ve trafik performansını izleme.
TM04	Bağlantılı Araç Trafik Sinyal Sistemi	Paket 3 (Kentsel Odaklı)	V2I	GLOSA/TTG, TSP	Sinyalizasyon sistemlerinin verimliliğini artırma ve sürücülere optimal hız tavsiyesi sunma.
SU01	Bağlantılı Araç Sistemi İzleme ve Yönetimi	Tüm Gün 1 Hizmetleri (Destek)	I2N	PKI, CCMS, RSU/OBU İzleme	Tüm K-AUS mimarisinin operasyonel sürekliliğini, konfigürasyonunu ve siber güvenliğini sağlama.

Orta ve uzun vadeli hedefleri arasında yer alan Gün 1,5, Gün2 ve Gün 3+ hizmetleri; Gün 1 uygulamalarının devamı niteliğinde olup; trafik yönetimi, lojistik optimizasyonu ve kullanıcı konforunun artırılmasına yönelik işlevleri kapsamaktadır ve daha karmaşık otomasyon, yüksek düzeyde entegrasyon ve kapsamlı mevzuat gerektirmektedir.

Mimari kapsamda, seçilen hizmet paketlerine ait bilgiler sunulmuş ve örnek senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryolar, Türkiye'nin ulusal ulaşım stratejilerine paralel olarak, bölgesel ve ulusal düzeydeki ihtiyaçları karşılayacak şekilde yapılandırılmıştır. Geliştirilen senaryolar aracılığıyla paydaşlar arasındaki roller ve iş birliği mekanizmalarının netleştirilmesi, karşılaşılan sorunların ve potansiyel fırsatların ortaya konulması, operasyonel konseptin geliştirilmesi ve sistem planlamasına katkı sağlanması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, olası iş birliği alanlarının belirlenmesi ve gerekli altyapı gereksinimlerinin tanımlanması amaçlanmaktadır.

4.2.1. Araç güvenliği (vehicle safety- VS)

VS hizmet paketleri, Gelişmiş Araç Güvenlik Sistemleri (Advanced Vehicle Safety Systems- AVSS) kapsamında değerlendirilmektedir. Bu hizmet alanının temel amacı; araçların V2V, V2I, V2P ve V2X ile kurduğu kooperatif iletişim sayesinde trafik kazalarının, yaralanmaların ve can kayıplarının azaltılmasına yönelik bütüncül çözümler geliştirmektir. VS hizmet paketleri; çarpışma önleme, tehlikeli durum uyarısı, kavşak güvenliği, kooperatif hız kontrolü ve acil durum araçlarıyla etkileşim gibi uygulamaları kapsamaktadır. Bu kapsamda geliştirilen sistemler, gerçek zamanlı veri paylaşımı ve karar destek mekanizmaları aracılığıyla sürücülere ve araç sistemlerine kritik güvenlik bilgilerini ileterek yol güvenliğini artırmayı hedeflemektedir.

Aşağıda, Gün 1 hizmetleri kapsamında Türkiye için öncelikli olarak seçilen K-AUS hizmet paketlerinin, diğer daha karmaşık veya aciliyeti daha düşük paketlere kıyasla neden kritik olduğu ARC-IT hedefleri ve kullanıcı ihtiyaçları göz önünde bulundurularak özetlenmiştir.

VS02 (V2V Temel Güvenlik) ve VS03 (Durumsal Farkındalık): Bu hizmet paketleri, K-AUS mimarisinin işleyişi için gerekli temel teknolojik omurgayı sağlamaktadır. Bu paketler, ARC-IT hedefleri arasında öncelikli olan motorlu ve motorsuz kullanıcılar için ulaşım sisteminin güvenliğini artırma hedefi ile doğrudan ilişkilidir.

- VS02: Bağlantılı araçlar arasında temel güvenlik mesajlarının (BSM) değiş tokuş edilerek sürücülere uyarılar iletilmekte ve araç kontrol otomasyonu özellikleri desteklenmektedir.

- VS03: Çevresel koşullar ve yol durumu hakkında bilgi toplayarak sürücülere potansiyel tehlikeler hakkında uyarılar iletilmektedir.

VS05 (Viraj Hız Uyarısı) ve VS09 (Hız Sınırlaması Bölgesi Uyarısı/Şerit Kapatma): Bu hizmet paketleri belirli yol koşullarında kazaların önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

- VS05: Sürücüleri virajlarda aşırı hız konusunda uyararak, sürücü hatalarından kaynaklanan kazaları azaltma hedefine katkı sunulmaktadır.
- VS09: Yol çalışması bölgeleri ve şerit kapatmalarından kaynaklanabilecek tehlikelere karşı sürücüler uyarılmaktadır.

Seçilen diğer paketler, trafik kazalarının, ölümlerin ve ciddi yaralanmaların en sık yaşandığı senaryoları hedef almaktadır:

- VS04 (Özel Araç Uyarısı): Acil durum araçlarının olay yerine ulaşma sürelerinin kısaltılması ve çevresindeki ikincil kazaların azaltılması hedeflenmektedir. Sürücülere yaklaşan acil durum, bakım veya inşaat araçları hakkında uyarılar göndererek güvenli sürüş desteklenmektedir.
- VS08 (Kuyruk Uyarısı): Yüksek hızlı yollar üzerinde beklenmedik tıkanıklıklar nedeniyle meydana gelebilecek çarpışmalar ve ikincil kazaların azaltılmasına odaklanılmaktadır. Altyapı verileri ile bağlantılı araç verilerinin entegrasyonu sağlanarak kuyruk oluşumunun tespit edilmesi ve gecikmelerin azaltılması yoluyla sistem verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir.
- VS13 (Kavşak Güvenliği Uyarısı): Sinyalize veya sinyalize olmayan kavşaklarda çarpışmalar ile kırmızı ışık ihlallerine bağlı kazaların azaltılması hedeflenmektedir.

VS02- V2V temel güvenlik (V2V basic safety)

VS02 hizmet paketi, çevredeki bağlantılı araçlar arasında BSM alışverişini sağlayan bir iletişim altyapısıdır. VS02 hizmet paketi, bağlantılı araç güvenlik uygulamalarına temel teşkil etmektedir. Araç tabanlı sensörlerin tespit kapasitesinin ötesinde, çevredeki diğer araçlardan gelen ek veriler aracılığıyla sürüş güvenliğini artırmaktadır. Bu hizmet paketi, araçların çevresel farkındalığını artırarak çarpışma olasılığını azaltmayı ve sürücülere kritik

anlarda önleyici uyarılar sunarak güvenliği sağlamayı amaçlamaktadır. VS02 hizmet paketi kapsamında tanımlanan temel fiziksel nesneler aşağıda sunulmuştur:

- Araç: V2V ve V2I iletişimini destekleyen sensör, işlemci, depolama ve iletişim bileşenlerini içeren araç platformu.
- Temel Araç: AUS elektroniği ile birlikte araç platformunu oluşturan temel mekanik ve elektronik sistemler.
- Sürücü: Güvenlik uygulamaları kapsamında sistemle etkileşim kuran, aracı kontrol eden kişi.
- Diğer Araçlar: V2V iletişimi gerçekleştiren bağlantılı diğer motorlu araçlar.
- Potansiyel Engeller: Yol üzerinde tespit edilebilecek ve çarpışma riski taşıyan nesneler (bariyerler, enkaz, hayvanlar vb.).
- Yol Çevresi: Yol yüzeyi, işaretlemeler, trafik levhaları gibi fiziksel unsurlar ile sis, kar ve rüzgâr gibi çevresel koşullar.
- Araç Özellikleri: Araçların yüksekliği, ağırlığı ve aks sayısı gibi fiziksel ve görünür nitelikleri.
- Savunmasız Yol Kullanıcıları: Motorlu araç kullanmayan veya korumasız taşıtlarda bulunan kullanıcılar (yayalar, bisikletliler, motosiklet sürücüleri vb.).

VS02 hizmet paketi, araç fiziksel nesnesi içinde yer alan üç ana fonksiyonel nesne aracılığıyla BSM'leri ve uyarı/otomasyon özelliklerini destekler.

- Araç Temel Güvenlik İletişimi: Araç özellikleri, konumu ve hareket bilgilerini yakın çevredeki diğer araçlarla paylaşır; çarpışma potansiyeli algılandığında sürücüyü uyarır.
- Araç Kontrol Otomasyonu: Direksiyon, hızlanma ve frenleme fonksiyonlarını otomatikleştirerek yanal ve/veya boylamsal araç kontrolü sağlar.
- Araç Kontrol Uyarısı: Araç çevresini izleyerek şerit ihlali, yetersiz takip mesafesi gibi tehlikeler konusunda sürücüyü bilgilendirir.

VS02 hizmet paketinin işleyişi için gerekli olan kritik bilgi akışları Çizelge 4.2.'de özetlenmiştir (ARC-IT, 2025f).

Çizelge 4.2. VS02 hizmet paketi bilgi akışları

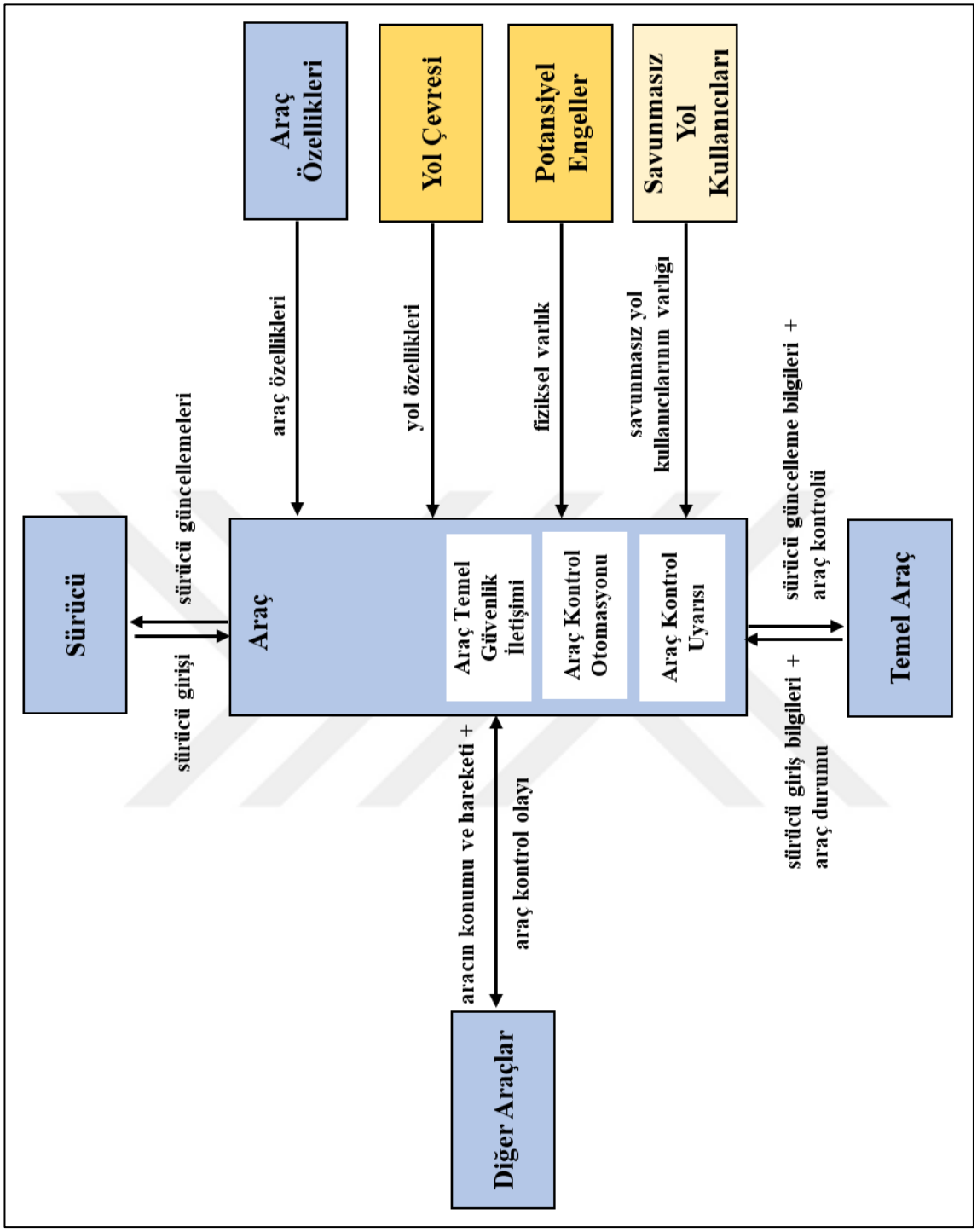
Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Temel Araç	Araç	Araç durumu	Güç aktarma organı, direksiyon, fren sistemi durumu ve konum/zaman bilgileri.
Temel Araç	Araç	Sürücü giriş bilgileri	Araç veri yolundan alınan sürücü komutları, ayarlar, etkileşimli talepler ve yapılandırma verileri.
Diğer Araçlar	Araç	Aracın konumu ve hareketi	Aracın konumu, yönü, hızı, ivmesi, fren durumu ve boyutunu içeren yüksek bütünlüklü BSM verileri.
Diğer Araçlar	Araç	Araç kontrol olayı	Aracın çevreye zarar verebilecek bir eylem gerçekleştirdiği durumların (sert frenleme, çekiş/stabilite kontrol sistemlerinin etkinleşmesi vb.) bildirimi.
Potansiyel Engeller	Araç	Fiziksel varlık	Hayvanlar, yol kenarı enkazları veya bariyerler gibi fiziksel engellerin tespiti.
Yol Çevresi	Araç	Yol özellikleri	Yol yüzeyi, sürtünme katsayısı ve geometrik koşullar hakkında veriler.
Araç	Sürücü	Sürücü güncellemeleri	Mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler veya araç sistemlerinin durumu hakkında çeşitli arayüzler (görsel, işitsel, dokunsal) üzerinden sürücünün bilgilendirilmesi.
Araç	Temel Araç	Araç kontrolü	Direksiyon, gaz ve fren sistemlerine iletilen kontrol komutları.
Araç	Temel Araç	Sürücü güncelleme bilgileri	Sürücüye mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler ve araç üzerindeki ekipmanın durumu hakkında bilgi sağlayan sürücü/araç arayüzü.
Sürücü	Araç	Sürücü girişi	Sürücü tarafından doğrudan araç ekipmanına verilen komutlar, ayarlar ve etkileşimli girdiler.
Araç özellikleri	Araç	Araç özellikleri	Araçların fiziksel/görünür özellikleri (boyut, ağırlık, vb.).
Savunmasız Yol Kullanıcıları	Araç	Savunmasız Yol Kullanıcılarının Varlığı	Yayalar, bisikletliler veya motosiklet sürücüleri gibi korumasız kullanıcıların varlığına ilişkin bilgi.
Araç	Diğer Araçlar	Aracın konumu ve hareketi	Aracın konumu, yönü, hızı, ivmesi, fren durumu ve boyutunu içeren yüksek bütünlüklü BSM verileri.
Araç	Diğer Araçlar	Araç kontrol olayı	Aracın çevreye zarar verebilecek bir eylem gerçekleştirdiği durumların (sert frenleme, çekiş/stabilite kontrol sistemlerinin etkinleşmesi vb.) bildirimi.

Örnek Senaryo: Acil Frenleme Uyarısı ve Zincirleme Çarpışma Önleme (EEBL): EEBL hizmetinin temel amacı, öndeki araçların ani ve sert frenleme yapması durumunda sürücüleri bilgilendirerek arkadan çarpışmaların önlenmesini sağlamaktır. Senaryo, bir sürücünün önündeki bir engel nedeniyle aniden frene basmasıyla başlar.

- Aşama 1: Tehlikenin tespiti ve acil durumun başlatılması
  - Tehlikenin Kaynağı: Araç, seyir hâlindeyken önünde bir potansiyel engel (örneğin enkaz veya kaza kalıntısı) algılar. Bu, fiziksel varlık bilgi akışını tetikler.

  - Sürücü veya Sistem Müdahalesi: Sürücü, durumu fark ederek manuel olarak sert fren uygular (sürücü giriş bilgileri). Alternatif olarak, aracın otonom güvenlik sistemi, temel araç bileşenlerinden gelen araç durumu (ör. fren basıncı, hız) verilerini değerlendirerek çarpışmanın kaçınılmaz olduğunu saptar ve otomatik frenlemeyi başlatır.
  - Araç Durumunun İletilmesi: Temel araç, kritik frenleme olayını ve güç aktarma organlarının güncel durumunu araç birimine (OBU) iletir.
- Aşama 2: Güvenlik mesajının üretilmesi ve yayınlanması (BSM)
  - Veri İşleme: Aracın OBU'su, aldığı araç durumunu ve gerekirse yol özellikleri verilerini işler.
  - Acil Durum Mesajı Üretimi: Araç Temel Güvenlik İletişimi işlevi, sert frenleme durumunu içeren, araç kontrol olayı (EEBL bildirimini) ve güncel konum/hız verilerini çevredeki tüm bağlantılı araçlara yayınlar.
  - Mesaj Yayını: OBU, ürettiği BSM'yi çevresindeki diğer bağlantılı araçlara broadcast (yayın) yöntemiyle iletir. Bu süreç, ulusal düzeyde birlikte çalışabilirlik gerektirir.
- Aşama 3: Takipçi aracın uyarılması ve kontrol süreci
  - Veri Alımı: Takip eden diğer araç, araçtan gelen araç kontrol olayı ve güncel konum/hız verileri alır.
  - Çarpışma Riski Analizi: Takip eden aracın Araç Temel Güvenlik İletişimi ve Araç Kontrol Uyarısı işlevleri, alınan verileri analiz ederek iki araç arasındaki mesafe ve hız farkını değerlendirir, potansiyel çarpışma riski tespit edilir.
  - Sürücü Uyarısı: Sistem; çarpışmayı önlemek için sürücüyü, sürücü güncellemeleri aracılığıyla görsel, işitsel veya dokunmatik uyarılarla bilgilendirir.
  - Otomatik Müdahale: Araçta otonom sürüş destek sistemi varsa, araç kontrol otomasyonu işlevi devreye girer. Temel araç bileşenine araç kontrol komutları gönderilir. Bu komutlar, çarpışmayı önlemek için otomatik frenleme veya şerit değiştirme manevralarını içerebilir.

V2V Temel Güvenlik Hizmet Paketi Fiziksel Görünümü Şekil 4.1.'de yer almaktadır (ARC-IT, 2025f).



Şekil 4.1. V2V temel güvenlik hizmet paketi fiziksel görünümü

VS02 hizmet paketi, üç temel kullanıcı ihtiyacına odaklanmaktadır:

İhtiyaç 01- Bağlantılı Araç İletişimi: Bağlantılı araçların, sürücülere güvenlik uyarıları iletmesi ve araçla ilgili kontrol eylemleri gerçekleştirebilmesi için, diğer bağlantılı araçlarla

veri alışverişi yapabilmesi gerekmektedir. Bu ihtiyaçları karşılamaya yönelik temel işlevler şunlardır:

- Konum ve Hareket Bilgisi: Araç, yüksek doğrulukta konum ve hareket verilerini iç uygulamalara iletmeli ve diğer araçlardan yol koşullarına dair verileri toplayarak paylaşmalıdır. Bu sayede araçlar potansiyel çarpışma risklerini değerlendirebilir ve yollarını hesaplayabilir. Ayrıca, araçların hız, yön, savrulma, tekerlek dönüşü ve çekiş kontrolü gibi parametreler sürekli izlenmelidir.
- Acil Durum Tespiti ve İletimi: Bağlı olduğu aracın acil bir şekilde fren yaptığını tespit eden araç, EEBL bildirimi yayınlamalıdır. Araç, kritik bileşenlerin arızalanması durumunda emniyet moduna geçmeli ve güvenlik uygulamalarının çevrimdışı olması hâlinde sürücüye bildirimde bulunmalıdır. Ayrıca, aracın mevcut hızı ve yönü ile yakın çevresindeki nesnelerin durumu dikkate alınarak çarpışma olasılığı değerlendirilmelidir.

İhtiyaç 02- Sürücü Uyarıları: Sürücünün güvenliğini sağlamak için, araçların çevresindeki yakın ve uzak araçları zamanında tespit edip uyarılar sunması gereklidir. Acil durumlarda, araç sürücüyü hızla uyarmalıdır. Ayrıca, bir nesne araca tehlikeli derecede yaklaşırsa ve sürücü önlem almazsa, araç hem konum temelli uyarılar sağlamalı hem de gerekli yönlendirmeleri yapmalıdır. Bu uyarılar, sürücünün araç kontrolünü etkilemeyecek şekilde sesli veya görsel olarak iletilmelidir. Araç, diğer araçlarla olası çarpışma riskini değerlendirmeli ve yaklaşan araçların türünü ayırt edebilmelidir. Özellikle motosikletlerin tespiti önemlidir, zira bu araçların yakınlaşması durumunda sürücüye açık ve zamanında uyarılar yapılmalıdır. Ayrıca, araçlar arasındaki hız farkını tespit etmek için uzak araçların konum ve hareket bilgileri analiz edilmelidir.

İhtiyaç 03- Sürücü Kontrol Eylemleri: Bağlantılı araç, sürücünün güvenliği tehlikeye girmemesi için araç kontrol eylemleri gerçekleştirmesini sağlamalıdır (örneğin, fren desteği, kaçınma manevraları). Bu gereksinim doğrultusunda, sistemin yerine getirmesi gereken temel işlevler şunlardır: Araç, konum ve hareket verilerini sürekli toplayarak durumsal farkındalık oluşturmalıdır. Sürücü, aracın otomatik kontrolünü güvenli bir şekilde başlatmalı, izlemeli ve gerektiğinde sonlandırabilmelidir. Araç, çevresel ve iç veriler doğrultusunda direksiyon aktüatörlerine uygun kontrol komutları gönderebilmeli ve olası çarpışmalara karşı önleyici tedbirler almalıdır. Bu önlemler arasında emniyet kemeri

sıkılması, fren desteği, hava yastıklarının ön aktivasyonu ve tampon yükseltme gibi çarpışma öncesi güvenlik önlemleri yer almaktadır. Bu işlevlerin entegrasyonu, sürüş güvenliğini artırarak etkili bir araç kontrol mekanizması sunmaktadır (ARC-IT, 2025f).

EEBL'nin kritik önemi, özellikle zincirleme çarpışmaların yaygın olduğu, görüş mesafesinin sınırlı olduğu veya trafiğin yoğun olduğu otoyol senaryolarında ortaya çıkar. Bu hizmet, insan tepki süresinden çok daha hızlı bir şekilde araçlar arasında koordinasyonu sağlayarak güvenli sürüşü mümkün kılmaktadır. Genellikle DSRC teknolojisiyle çalışırken, bazı projelerde 4G/5G hücresel ağları kullanılmaktadır (European Commission, 2016b:11-201).

VS02 hizmet paketi, Türkiye ulaşım altyapısındaki mevcut güvenlik açıklarını ve operasyonel verimsizlikler alınarak geliştirilmiş bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Hizmet paketinin temel faydaları aşağıda yer almaktadır (ARC-IT, 2025f):

- Trafik güvenliğinde artış ve can kayıplarının azaltılması: Türkiye'de trafik kazaları, ölümlü ve yaralanmalı kazalar açısından önemli bir toplumsal sorun teşkil etmektedir. VS02 hizmet paketi, bu kapsamda sürücü hatalarından kaynaklanan çarpışma risklerini azaltmayı hedeflemektedir. Özellikle sürücü dikkatsizlik, yorgunluk veya trafik kurallarına uyumsuzluk gibi insan faktöründen kaynaklanan kazaları azaltır. Yanlış şerit değişimi, geçiş veya birleşme esnasında oluşabilecek kazaların önlenmesine katkı sağlamaktadır.
- Görüş alanı dışındaki tehlikelere karşı erken uyarı: VS02, araç üzerindeki sensörler ile sınırlı kalmayarak çevredeki diğer araçlardan gelen veriler üzerinden sürücüye ek farkındalık sağlamaktadır. Bu sayede, özellikle yoğun trafik ve sınırlı görüş mesafesi gibi Türkiye'de sık rastlanan durumlarda sürücü güvenliği artırılmaktadır. EEBL ile öndeki aracın görüş alanı dışında gerçekleşen ani fren durumlarını önceden algılayarak zincirleme kazaların önlenmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, yavaş hareket eden veya sabit duran araçlar hakkında sürücüyü önceden bilgilendirerek çarpışma riskini azaltmaktadır.
- Savunmasız yol kullanıcılarının korunması: Türkiye'de trafikte yayalar, bisikletliler ve motosiklet kullanıcıları yüksek risk altında bulunmaktadır. VS02, bu grupları da göz önünde bulundurarak, yaklaşan araçların motosiklet olup olmadığını tespit etmekte ve sürücüye özel uyarılar sunmaktadır.

- Operasyonel verimlilik ve trafik akışının iyileştirilmesi: VS02, sadece güvenliği artırmakla kalmayıp trafik akışının sürekliliğini destekleyerek operasyonel verimliliği de yükseltmektedir. Mevcut kazalar nedeniyle oluşan duraklamalar ve arkadan çarpma risklerini azaltarak ikincil kazaların önlenmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, trafikte ani yoğunlaşmaların yol açabileceği riskleri minimize ederek beklenmedik sıkışıklıkların yönetilmesine yardımcı olmaktadır.
- Araç kontrol otomasyonu ve çarpışma öncesi hazırlık: Sürücü tepkisinin yetersiz kaldığı durumlarda VS02, çarpışmayı önlemek veya etkilerini azaltmak amacıyla otomatik müdahalelerde bulunmaktadır. Direksiyon ve fren sistemlerine müdahale ederek kazayı önlemeye çalışmaktadır. Kaza kaçınılmaz olduğunda ise emniyet kemerlerini sıkma, hava yastıklarını hazırlama ve tampon uzatma gibi önlemleri devreye sokmaktadır.

VS03- Durumsal farkındalık (situational awareness)

VS03 hizmet paketi, potansiyel olarak tehlike arz eden yol koşulları ve yol üzerindeki risk unsurlarına ilişkin bilgilerin paylaşımını sağlayarak, gelişmiş sürücü uyarı sistemleri ile araç kontrol otomasyonunu desteklemektedir. Bu hizmet paketi; araçlar, yol altyapısı ve diğer yol kullanıcılarından elde edilen veriler aracılığıyla çevresel farkındalığın artırılmasını hedeflemektedir. VS03 hizmet paketi kapsamında, K-AUS hizmetlerinde görev alan veya hizmet kapsamında bilgi sağlayan sistemler, cihazlar ve ekipmanlar Çizelge 4. 3.'te; her bir fiziksel nesnenin yerine getirmesi gereken işlevler Çizelge 4. 4.'te; hizmet paketinin işleyişi için gerekli olan ve tehlike algılama, temel güvenlik mesajları ile araç ve çevre durumu verilerine ilişkin kritik bilgi akışları Çizelge 4. 5.'te özetlenmiştir (ARC-IT, 2025g).

Çizelge 4.3. VS03 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Rolü ve Kapsamı
Araç	V2V ve V2I iletişimini destekleyen sensör, işlemci, depolama ve iletişim bileşenlerini içeren araç platformu.
Temel Araç	AUS elektroniği ile birlikte araç platformunu oluşturan temel mekanik ve elektronik sistemler.
Bağlantılı Araç Yol Kenarı Ekipmanları (CV RSU)	Yakın çevredeki araç ve kişisel cihazlarla iletişim kuran, kısa menzilli kablosuz haberleşme teknolojileriyle donatılmış RSU.
AUS Yol Ekipmanları	Yola yerleştirilmiş; trafik izleme, trafik kontrolü ve yol durumu yönetimi görevlerini yerine getiren AUS ekipmanları (trafik dedektörleri, çevresel sensörler, DMS, CCTV vb.).

Çizelge 4.3. (devam) VS03 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Rolü ve Kapsamı
Diğer Araçlar	V2V iletişimi gerçekleştiren bağlantılı diğer motorlu araçlar.
Diğer CV RSU	RSU'lar arasında eşler arası iletişim (peer-to-peer, P2P) ve koordinasyonu destekleyen diğer RSU'lar.
Sürücü	Güvenlik uygulamaları kapsamında sistemle etkileşim kuran, aracı kontrol eden kişi.
Yol Çevresi	Yol yüzeyi, işaretlemeler, trafik levhaları gibi fiziksel unsurlar ile sis, kar ve rüzgâr gibi çevresel koşullar.
Potansiyel Engeller	Yol üzerinde tespit edilebilecek ve çarpışma riski taşıyan nesneler (bariyerler, enkaz, hayvanlar vb.).
Savunmasız Yol Kullanıcıları (VRU)	Motorlu araç kullanmayan veya korumasız taşıtlarda bulunan kullanıcılar (yayalar, bisikletliler, motosiklet sürücüleri vb.).
Araç Özellikleri	Araçların yüksekliği, ağırlığı ve aks sayısı gibi fiziksel ve görünür nitelikleri.

Çizelge 4.4. VS03 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
AUS Yol Ekipmanları	Yol Temel Gözetimi	Döngü (loop) dedektörleri, CCTV kameraları gibi sabit ekipmanlar aracılığıyla trafik koşullarını izler.
AUS Yol Ekipmanları	Yolda Ters Yönde Araç Algılama	Yanlış yönde seyreden araçları tespit eder; tespit sonuçlarını ve görüntüleri merkeze iletir.
CV RSU	RSU İletişim Rölesi	İletişim sistemlerinin performansını ve dayanıklılığını artırmak için mesaj iletme (röle) hizmetleri sağlayarak etkili iletişim menzilini genişletir.
Araç	Araç Temel Güvenlik İletişimi	Araç özellikleri, konumu ve hareket bilgilerini yakın çevredeki diğer araçlarla paylaşır; çarpışma potansiyeli algılandığında sürücüyü uyarır.
Araç	Araç Kontrol Uyarısı	Araç çevresini izleyerek şerit ihlali, yetersiz takip mesafesi gibi tehlikeler konusunda sürücüyü bilgilendirir.
Araç	Araç Kontrol Otomasyonu	Direksiyon, hızlanma ve frenleme fonksiyonlarını otomatikleştirerek yanal ve/veya boylamsal araç kontrolü sağlar.

Çizelge 4.5. VS03 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
CV RSU	AUS Yol Ekipmanları	Tespit edilen engeller	Kısa menzilli iletişim cihazı bulunmayan ancak sensörlerle algılanabilen nesnelere ilişkin bildirimler (konum ve fiziksel özellikler).
CV RSU	AUS Yol Ekipmanları	Tespit edilen donanımsız araçlar ve VRU'lar	Kısa menzilli iletişim cihazı bulunmayan ancak altyapı sensörleri tarafından tespit edilen donanımsız araçlara ve VRU'lara ilişkin bildirimler (konum, hareket bilgisi).
CV RSU	AUS Yol Ekipmanları	Yanlış yönde araç tespiti	Yanlış yönde giden bir aracın tespiti ile ilgili bildirim.
AUS Yol Ekipmanları	CV RSU	Tespit edilen engeller	Kısa menzilli iletişim cihazı bulunmayan ancak sensörlerle algılanabilen nesnelere ilişkin bildirimler (konum ve fiziksel özellikler).

Çizelge 4.5. (devam) VS03 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
AUS Yol Ekipmanları	CV RSU	Tespit edilen donanımsız araçlar ve VRU'lar.	Kısa menzilli iletişim cihazı bulunmayan ancak altyapı sensörleri tarafından tespit edilen donanımsız araçlara ve VRU'lara ilişkin bildirimler (konum, hareket bilgisi).
AUS Yol Ekipmanları	CV RSU	Yanlış yönde araç tespiti	Yanlış yönde giden bir aracın tespiti ile ilgili bildirim.
CV RSU	Diğer CV RSU	Tespit edilen donanımsız araçlar ve VRU'lar	Kısa menzilli iletişim cihazı bulunmayan ancak altyapı sensörleri tarafından tespit edilen donanımsız araçlara ve VRU'lara ilişkin bildirimler (konum, hareket bilgisi).
CV RSU	Diğer CV RSU	Ters yönde araç tespiti	Yanlış yönde giden bir aracın tespiti ile ilgili bildirim.
CV RSU	Araç	Tespit edilen engeller	Kısa menzilli iletişim cihazı bulunmayan ancak sensörlerle algılanabilen nesnelere ilişkin bildirimler (konum ve fiziksel özellikler).
CV RSU	Araç	Tespit edilen donanımsız araçlar ve VRU'lar	Kısa menzilli iletişim cihazı bulunmayan ancak altyapı sensörleri tarafından tespit edilen donanımsız araçlara ve VRU'lara ilişkin bildirimler (konum, hareket bilgisi).
CV RSU	Araç	Ters yönde araç tespiti	Yanlış yönde giden bir aracın tespiti ile ilgili bildirim.
Diğer Araçlar	Araç	Tespit edilen engeller	Kısa menzilli iletişim cihazı bulunmayan ancak sensörlerle algılanabilen nesnelere ilişkin bildirimler (konum ve fiziksel özellikler).
Diğer Araçlar	Araç	Tespit edilen donanımsız araçlar ve VRU'lar	Kısa menzilli iletişim cihazı bulunmayan ancak altyapı sensörleri tarafından tespit edilen donanımsız araçlara ve VRU'lara ilişkin bildirimler (konum, hareket bilgisi).
Diğer Araçlar	Araç	Araç kontrol olayı	Aracın çevreye zarar verebilecek bir eylem gerçekleştirdiği durumların (sert frenleme, çekiş/stabilite kontrol sistemlerinin etkinleşmesi vb.) bildirimi.
Diğer Araçlar	Araç	Araç çevresel verileri	Araç güvenlik sistemlerinden toplanan çevresel ve altyapı verileri (hava sıcaklığı, silecek durumu, çekiş kontrolü vb.).
Diğer Araçlar	Araç	Araç tehlike olayı	Tehlikeli bir manevra veya durumun gerçekleştiğine ilişkin bildirim (ör. tehlikeli şerit değişimi, aşırı hız).
Diğer Araçlar	Araç	Aracın konumu ve hareketi	Aracın konumu, yönü, hızı, ivmesi, fren durumu ve boyutunu içeren yüksek bütünlüklü BSM verileri.
Diğer Araçlar	Araç	Araç yolu tahmini	Konvoy (platooning) veya tehlike tahmini senaryolarında kullanılan, aracın öngörülen gelecekteki hareket yolu.
Diğer Araçlar	Araç	Ters yönde araç tespiti	Yanlış yönde giden bir aracın tespiti ile ilgili bildirim.
Diğer CV RSU	CV RSU	Tespit edilen donanımsız araçlar ve VRU'lar	Kısa menzilli iletişim cihazı bulunmayan ancak sensörlerle algılanabilen nesnelere ilişkin bildirimler (konum ve fiziksel özellikler).

Çizelge 4.5. (devam) VS03 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Diğer CV RSU	CV RSU	Ters yönde araç tespiti	Yanlış yönde giden bir aracın tespiti ile ilgili bildirim.
Araç	Temel Araç	Sürücü güncelleme bilgileri	Sürücüye mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler ve araç üzerindeki ekipmanın durumu hakkında bilgi sağlayan sürücü/araç arayüzü.
Araç	Temel Araç	Araç kontrolü	Direksiyon, gaz ve fren sistemlerine iletilen kontrol komutları.
Araç	Diğer Araçlar	Tespit edilen engeller	Araç sensörleri tarafından algılanan ve kısa menzilli iletişim yeteneği bulunmayan nesnelere ilişkin bildirim.
Araç	Diğer Araçlar	Tespit edilen donanımsız araçlar ve VRU'lar	Kısa menzilli iletişim cihazı bulunmayan ancak altyapı sensörleri tarafından tespit edilen donanımsız araçlara ve VRU'lara ilişkin bildirimler (konum, hareket bilgisi).
Araç	Diğer Araçlar	Araç kontrol olayı	Aracın çevredeki araçların güvenliğini etkileyebilecek acil manevra veya eylemi. Sert frenleme, çekiş/stabilite kontrolü ve şerit değiştirme gibi eylemleri içerir.
Araç	Diğer Araçlar	Araç çevresel verileri	Araç güvenlik sistemlerinden çevresel koşullar ile ilgili veriler. Hava sıcaklığı, silecek durumu ve ABS aktivasyon bilgilerini içerir.
Araç	Diğer Araçlar	Araç tehlike olayı	Aracın tehlikeli bir durumu, emniyetsiz kullanım veya yanlış şerit/omuzda durma gibi durumları bildirir.
Araç	Diğer Araçlar	Aracın konumu ve hareketi	Aracın konum, hız, ivme ve frenleme durumu gibi hareket verilerini iletir.
Araç	Diğer Araçlar	Araç yolu tahmini	Bilgiyi ileten aracın gelecekteki hareket yoluna dair tahmini verileri içerir. Alıcı araçlar, bu verileri koordineli sürüş manevralarını desteklemek ve şerit içi veya şerit dışı potansiyel tehditleri değerlendirmek için kullanır.
Araç	Diğer Araçlar	Ters yönde araç tespiti	Yanlış yönde giden araçların tespiti ile ilgili bildirim.
Araç	CV RSU	Tespit edilen engeller	Kısa menzilli iletişim cihazı bulunmayan ancak sensörlerle algılanabilen nesnelere ilişkin bildirimler (konum ve fiziksel özellikler).
Araç	CV RSU	Tespit edilen donanımsız araçlar ve VRU'lar	Kısa menzilli iletişim cihazı bulunmayan ancak altyapı sensörleri tarafından tespit edilen donanımsız araçlara ve VRU'lara ilişkin bildirimler (konum, hareket bilgisi).
Araç	CV RSU	Ters yönde araç tespiti	Yanlış yönde giden araçların tespiti ile ilgili bildirim.
Temel Araç	Araç	Sürücü giriş bilgileri	Araç veri yolundan alınan sürücü komutları, ayarlar, etkileşimli talepler ve yapılandırma verileri.
Temel Araç	Araç	Ana araç durumu	Güç aktarma organı, direksiyon, fren sistemleri ve diğer güvenlik/konfor sistemlerinin mevcut durumu dahil olmak üzere araç platformundaki diğer sistemlerden OBU'ya iletilen bilgiler.
Sürücü	Araç	Sürücü girişi	Sürücü tarafından doğrudan araç ekipmanına verilen komutlar, ayarlar ve etkileşimli girdiler.
Araç	Sürücü	Sürücü güncellemeleri	Mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler veya araç sistemlerinin durumu hakkında çeşitli arayüzler (görsel, işitsel, dokunsal) üzerinden sürücünün bilgilendirilmesi.
Potansiyel Engeller	Araç	Fiziksel varlık	Hayvanlar, yol kenarı enkazları veya bariyerler gibi fiziksel engellerin tespiti.

Çizelge 4.5. (devam) VS03 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Yol çevresi	Araç	Yol özellikleri	Yol yüzeyi, sürtünme katsayısı ve geometrik koşullar hakkında veriler.
Yol çevresi	Araç	Çevre koşulları	Çevresel sensörler tarafından ölçülen yol koşulları (yüzey sıcaklığı, nem, buzlanma durumu) ve yüzey hava koşulları (hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, görüş mesafesi).

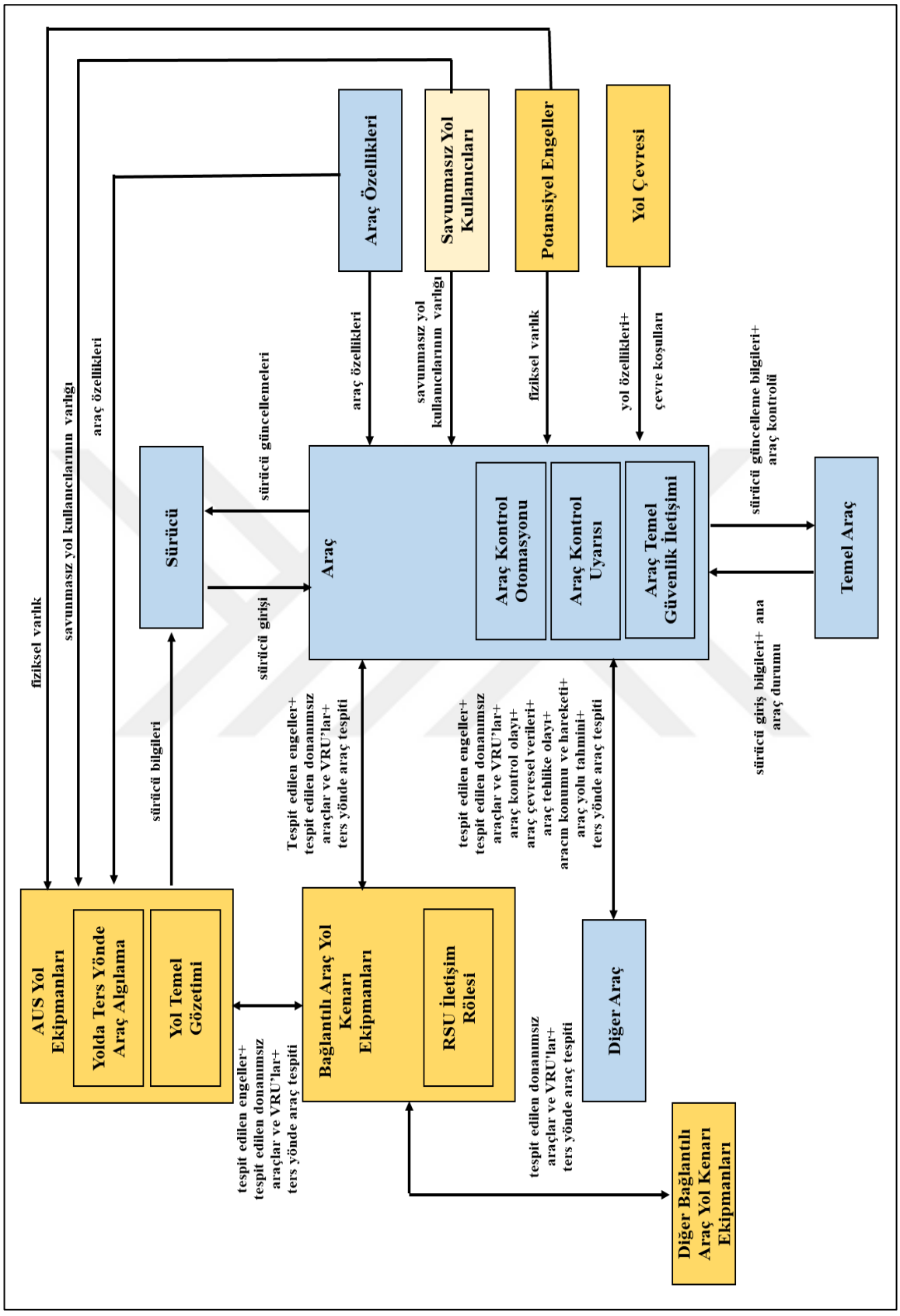
Örnek Senaryo: Yanlış Yön Algılama ve Bağlantılı Araç Uyarısı: Bu senaryo, otoyol ve bağlantı yollarda yanlış yönde seyreden araçların tespit edilmesi ve bu tehlikenin hem yol kenarı altyapısı hem de bağlantılı araçlar üzerinden etkin biçimde ilgili sürücülere iletilmesi sürecini kapsamaktadır. Sistem; V2V, V2I ve I2V iletişim yeteneklerinin bütünleşik kullanımını içeren kritik bir Gün 1 güvenlik uygulamasını temsil etmektedir. Senaryo; tehlikenin algılanması, bilgi paylaşımı, kazayı önleyici uyarıların iletilmesi ve sürücünün tepkisi olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır.

- Aşama 1: Algılama ve Başlatma
  - Yanlış Yön Tespiti: Senaryo, yanlış yönde ilerleyen bir aracın erken tespiti ile başlar. Otoyol giriş ve çıkış rampalarında konumlandırılmış AUS Yol Ekipmanları (yol kenarı sensörleri ve kameraları), Yolda Ters Yönde Araç Algılama fonksiyonu aracılığıyla bir aracın trafik akışının ters yönünde hareket ettiğini algılar. Bu tespit, çoğu durumda donanımsız veya bağlantısız araçların oluşturduğu tehlikeyi belirlemeye yöneliktir.
  - Altyapı İçi Veri Paylaşımı: Algılama tamamlandıktan sonra yol kenarı ekipmanı, elde ettiği bu kritik tehlike bilgisini ilgili CV RSU birimine iletir. Veri aktarımı, kurumlar arası bilgi değişimi ilkeleri çerçevesinde “tespit edilen donanımsız araçlar ve VRU’lar” akışı kullanılarak gerçekleştirilir. Böylece sistemin ikinci aşaması için gerekli bilgi altyapısı hazırlanmış olur.
- Aşama 2: İletişim ve Uyarı
  - Uyarı Mesajı Yayınlama: Algılama verisinin CV RSU’ya ulaşmasıyla birlikte sistemin iletişim mekanizması devreye girer. CV RSU; tehlikenin konumunu, yönünü ve niteliğini içeren bir güvenlik mesajı oluşturur ve RSU İletişim Rölesi işlevi aracılığıyla bu bilgiyi çevredeki tüm bağlantılı araçlara yayınlanır. Yayınlanan bilgi, “ters yönde araç tespit edildi” mesajı şeklindedir ve yüksek öncelikli bir güvenlik uyarısı niteliği taşır.

- Araç İçi Algılama ve Hesaplama: Mesajı alan bağlantılı araç, Araç Temel Güvenlik İletişimi fonksiyonu ile hem kendi konum ve hız bilgilerini hem de alınan tehlike verisini değerlendirerek olası çarpışma riskini hesaplar.
- Sürücü Uyarısı: Risk seviyesi kritik eşiklerin üzerinde olduğunda araç, Araç Kontrol Uyarısı fonksiyonunu kullanarak sürücüyü görsel, işitsel veya dokunsal uyarılarla bilgilendirir. Bu uyarı, sürücünün zamanında reaksiyon gösterebilmesi için hayati önem taşır.

- Aşama 3: Sürücü Eylemi veya Otomatik Kontrol: Sürücü, aldığı uyarıya bağlı olarak yavaşlama, şerit değiştirme veya tehlikeli bölgeden uzaklaşma gibi uygun manevraları gerçekleştirir. Daha gelişmiş otomasyon seviyelerine sahip araçlarda Araç Kontrol Otomasyonu fonksiyonu devreye girerek otomatik frenleme veya yönlendirme gibi otonom güvenlik müdahaleleri yapılabilir.

Durumsal farkındalık hizmet paketi fiziksel görünümü Şekil 4.2.'de yer almaktadır (ARC-IT, 2025g).



Şekil 4.2. Durumsal farkındalık hizmet paketi fiziksel görünümü

VS03 hizmet paketi, sürücü güvenliğini artırmak amacıyla üç temel kullanıcı ihtiyacını karşılamayı hedeflemektedir:

İhtiyaç 1- Uzaktaki Araçlardan Gelen Tehlike Uyarılarının Alınması: Sürücünün, diğer araçlardan yol koşulu verilerini toplaması ve kendi araç sisteminin (hız, savrulma, ABS, çekiş kontrolü, silecek durumu vb.) potansiyel tehlikeli yol koşullarını tespit etmesi gerekmektedir. Ayrıca, alınan verilerin güvenlik riski oluşturup oluşturmadığını değerlendirmelidir. Bu amaçla, Araç Temel Güvenlik İletişimi ve RSU İletişim Rölesi işlevsel nesneleri kullanılacaktır. Saha cihazları, güvenlikle ilgili mesajları, ters yönde araç tespiti gibi durumları, bağlantılı araçlara ve donanıma sahip araçlara güvenilir bir şekilde iletebilmelidir. Bu sayede, kritik güvenlik bilgileri araçlar arasında zamanında paylaşılacaktır. Araçlar, diğer araçlardan alınan yol durumu verilerini toplayarak güvenlik değerlendirmesi yapmalıdır. Araç, hız, yön, şerit sapması, patinaj, ABS ve çekiş kontrolü gibi verileri sürekli izleyerek, sistem durumlarının tehlikeli yol koşullarını işaret edip etmediğini analiz etmeli ve alınan verilerin sürüş güvenliği riski oluşturup oluşturmadığını değerlendirmelidir.

İhtiyaç 2- Altyapı Sensörleriyle Tespit Edilen Tehlikelere İlişkin Farkındalık: Sürücünün, altyapı tabanlı sensörler tarafından tespit edilen yol koşulları ve olası yol tehlikeleri hakkında bilgilendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Yol Temel Gözetimi ve Yanlış Yönde Araç Tespiti fonksiyonel nesneleri belirli temel işlevleri yerine getirecektir. Saha görevlisi, trafik sensörlerinden alınan hız, hacim ve doluluk oranı verilerini ile trafik kameralarından sağlanan görüntüleri toplayarak işlemeli ve bu verileri ileri analiz ve depolama için kontrol merkezine iletecektir. Ayrıca, sensör ve CCTV sistemlerinin çalışma durumları düzenli olarak merkeze raporlanacaktır. Yanlış yönde araç tespiti için saha görevlisi, trafik dedektörleri ve gözetim ekipmanlarıyla ters yönde ilerleyen araçları belirleyecektir. Bu tespitlere ilişkin veriler, yol kenarı iletişim sistemleri aracılığıyla etkilenebilecek araçlarla paylaşılacak, ilgili veri ve görüntüler ise detaylı değerlendirme için merkez sisteme aktarılacaktır.

İhtiyaç 3- Tehlike Bilgisine Dayalı Uyarı veya Otomatik Kontrol İşlemleri: Sürücünün, bağlantılı araçlar tarafından tespit edilen potansiyel tehlikeli yol koşulları veya yol tehlikeleri hakkında uyarılması ve gerekli kontrol önlemlerini alabilmesi sağlanmalıdır. Bu amaçla, Araç Temel Güvenlik İletişimi, Araç Kontrol Otomasyonu, Araç Kontrol Uyarısı ve

RSU İletişim Rölesi gibi fonksiyonel nesneler kullanılmaktadır. Saha cihazları, ters yönde ilerleyen araçların tespiti gibi güvenlik mesajlarını hem bağlantılı diğer araçlara hem de donanımlı araçlara iletebilmelidir. Araçlar, konum ve hareket verilerini toplar ve diğer araçlardan alınan bilgilere dayanarak potansiyel tehlikeli yol koşulları veya yol tehlikeleri için gerekli kontrol eylemlerini gerçekleştirecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, araçlar, bu verilere dayanarak sürücüyü olası tehlikeler veya yapılacak/manevra edilen hareketler hakkında uyararak, sürüş güvenliğini artırmaya yardımcı olacaktır (ARC-IT, 2025f).

Yanlış yön algılama ve bağlantılı araç uyarısı hizmeti senaryosu; Türkiye'de özellikle otoyol ve çift yönlü karayolları için uygulanabilirliği öngörülmektedir. Hizmetin temel amacı, yanlış yönde seyreden araçların neden olabileceği yüksek riskli kazaları önlemektir. Bu kapsamda senaryo; yanlış yönde sürüşü tespit eden altyapı sensörleri, RSU ve bağlantılı araçlardan elde edilen bilgiler aracılığıyla sürücülere erken uyarı sağlanmasını içermektedir (C-Roads, 2025d:24-253; European Commission, 2016b:11-201).

VS03 hizmet paketi, gelişmiş sürücü uyarı sistemleri ve kontrol otomasyonu desteği sağlayarak, potansiyel tehlike oluşturabilecek yol koşulları veya yol üzerindeki risk unsurlarına ilişkin bilgilerin diğer araçlarla paylaşılmasına olanak tanıyacak şekilde tasarlanmıştır. Söz konusu hizmet paketi, ulaşım güvenliğinin artırılmasına katkıda bulunmayı hedeflemekte olup, özellikle motorlu ve motorsuz tüm yol kullanıcılarının güvenliğini öncelikli amaç olarak benimsemektedir.

Ulaşım sistemlerinde güvenliğin artırılması genel hedefi doğrultusunda, Türkiye'de araç kazalarının ve bu kazalara bağlı ölüm oranlarının azaltılması temel amaçlar arasında yer almaktadır. Hizmet paketinin katkı sağlamayı amaçladığı hedefler ise aşağıda belirtilmiştir (ARC-IT, 2025g):

- Hem sinyalize hem de sinyalize olmayan kavşaklarda meydana gelen kaza ve ölüm oranlarının azaltılması,
- Sürücü hataları ve sürücü kısıtlamalarından (dikkatsizlik, alkollü araç kullanımı vb.) kaynaklanan kazaların azaltılması,
- Olumsuz hava koşullarından kaynaklanan kazaların azaltılması,
- Beklenmedik trafik sıkışıklıkları sonucunda oluşan kazaların önlenmesi,

- Aşırı hız kaynaklı kaza ve ölümlerin azaltılması.

VS04- Özel araç uyarısı (special vehicle alert)

VS04 hizmet paketinin temel amacı, sürücülerin; yaklaşan özel araçlar hakkında (acil durum araçları, bakım ve inşaat araçları veya büyük boyutlu ticari araçlar dahil) uyarılar almasını sağlayarak, uygun eylemleri gerçekleştirmesine olanak tanımaktır. Özel araç kavramı, sürücüleri uyarmak amacıyla ışık veya levha kullanan tüm araçları kapsamaktadır. Bu kapsama kamu güvenliği araçları, yavaş araçlar ve sık sık durup geri giden hizmet araçları dahil edilmektedir. Bu araçlar, mevcut durum ve konum bilgilerini çevrelerindeki araçlarla paylaşarak sürücülerin bilinçli kararlar almasını sağlamaktadır. Özel araç bilgilerinin yakındaki araçlara iletilmesi; doğrudan V2V ve üçüncü taraf arka ofis hizmeti (back office service provider) üzerinden V2I iletişimiyle gerçekleştirilir.

VS04 hizmet paketi üç ana uygulama kapsamına ayrılmaktadır:

- K-AUS Özel Araç Uyarısı: Özel araç uyarıları, özel araç ile çevredeki araçlar arasında doğrudan V2V iletişimi yoluyla sağlanır.
- WAW ile Acil Durum Araç Uyarısı: Özel araç uyarıları, geniş alan kablosuz iletişimi (wide-area wireless communication) kullanan üçüncü taraf sağlayıcılar aracılığıyla yakındaki araçlara iletilir.
- Acil Durum Aracı Manevra Koordinasyonu: Bu gelişmiş uygulama, acil durum araçlarının yakın çevrede manevra yaptığını donanımlı araçlara bildirir. Araçlar, bu bilgiyi sürücüyü uyarmak veya araçta mevcut kontrol otomasyon seviyesine bağlı olarak doğrudan araç kontrol eylemlerini değiştirmek için kullanır.

VS04 hizmet paketinde yer alan başlıca fiziksel nesneler ve roller Çizelge 4.6.'da; gerekli temel fonksiyonel nesneler Çizelge 4. 7.'de temel bilgi akışları ise Çizelge 4. 8.'de özetlenmiştir (ARC-IT, 2025h).

Çizelge 4.6. VS04 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
Acil Durum Aracı OBU	İçişleri Bakanlığı / Sağlık Bakanlığı	Acil durum aracında (ambulans, itfaiye, polis vb.) yerleşik olarak bulunan ve işleme, depolama ile iletişim fonksiyonlarını sağlayan birim.
Bakım ve İnşaat Aracı OBU (MCV OBU)	KGM ve büyükşehir belediyelerine ait yol bakım, karla mücadele ve inşaat araçlarına entegre edilmiş filo yönetim ve uyarı sistemleri.	Bakım ve inşaat araçlarında bulunan ve yakındaki araçlara çalışma bölgesi desteği (şerit kapama, hız limitleri) ve çalışma bölgesi ihlali uyarıları sağlayan birim.
Ticari Araç OBU	UAB denetimindeki ulusal/uluslararası taşımacılık filoları ile özel sektör filo işletmecileri tarafından kullanılan V2X donanımları (TSE uyumlu OBU'lar).	Büyük boyutlu, yavaş veya manevra yapan ticari araçların çevredeki araçları uyarmasını sağlar.
Araç	Otomobil üreticileri (OEM'ler) tarafından sunulan bağlantılı araçlar ile özel araç sahiplerinin V2X uyumlu araçları ve akıllı cihaz tabanlı çözümleri.	V2V ve V2I iletişimini destekleyen sensör, işlemci, depolama ve iletişim bileşenlerini içeren araç platformu.
Ulaşım Bilgi Merkezi (TIC)	KGM trafik yönetim merkezleri ile belediyelerin trafik kontrol merkezleri tarafından yürütülen yol durumu ve trafik bilgi işleme ve dağıtım sistemleri. Özel seyahat bilgisi sağlayıcıları (navigasyon uygulamaları, telematik firmaları).	Ulaşımla ilgili verilerin toplandığı, işlendiği ve hem sistem operatörlerine hem de seyahat eden halka sunulduğu merkezi bir sistem.
Diğer TIC	KGM trafik yönetim merkezleri ile belediyelerin trafik kontrol merkezleri tarafından yürütülen yol durumu ve trafik bilgi işleme ve dağıtım sistemleri. Özel seyahat bilgisi sağlayıcıları (navigasyon uygulamaları, telematik firmaları).	Kendi sorumluluk alanlarındaki trafik kontrol bilgileri ve özel araç uyarıları dahil olmak üzere bilgileri toplar, işler ve dağıtır.
Acil Durum Yönetim Merkezi	112 acil çağrı merkezleri, AFAD ve EGM/jandarma komuta kontrol merkezleri tarafından yürütülen acil durum yönetimi ve araç koordinasyon sistemleri.	Acil durum araçlarının güzergahını destekler ve trafik kontrol stratejileriyle koordinasyon sağlar.
Toplu Taşıma Aracı OBU	Büyükşehir belediyesi toplu taşıma işletmeleri (EGO, İETT vb.) bünyesindeki otobüs ve raylı sistem araçlarına entegre edilmiş V2X modülleri.	Otobüs ve raylı sistem araçlarında kullanılan; V2V güvenlik fonksiyonları ve gerekirse önceliklendirme desteği sunan ekipman.
Araç Özellikleri	OEM'ler ve resmi tescil kurumları	Araçların yüksekliği, ağırlığı ve aks sayısı gibi fiziksel ve görünür nitelikleri.
Sürücü	Bireysel ve ticari sürücüler	Güvenlik uygulamaları kapsamında sistemle etkileşim kuran, aracı kontrol eden kişi.
Temel Araç	OEM'ler ile bireysel araç sahipleri	AUS elektroniği ile birlikte araç platformunu oluşturan temel mekanik ve elektronik sistemler.

Çizelge 4.7. VS04 hizmet paketi fonksiyonel nesneler

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
Ticari Araç OBU	Ticari Araç- Araç İçi Özel Araç Güvenliği	Büyük boyutlu, yavaş ilerleyen veya manevra yapan ticari araçların yakınındaki araçları uyararak çevresel trafik güvenliğini artırır.
Acil Durum Aracı OBU	EV V2V Güvenliği	Acil durum aracının farkındalığını artırmak ve manevralarını kolaylaştırmak amacıyla uyarı mesajları iletir ve şerit değiştirme/katılma niyetini bağlantılı araçlarla doğrudan paylaşır.
Acil Durum Aracı OBU	EV Araç İçi Yol Desteği	Acil durum araçlarının trafik altyapısı ve diğer paydaşlarla gerçek zamanlı iletişim kurarak geçiş önceliği elde etmesini, konum ve durum bilgilerinin paylaşılmasını ve müdahale süresinin güvenli biçimde kısaltılmasını sağlayan fonksiyon.
Bakım ve İnşaat Aracı OBU	MCV Araç Güvenlik İzleme	Araç çevresindeki alanı izleyerek olası araç saldırılarını tespit eder ve yaklaşan ihlallere karşı sürücüyü veya mürettebatı uyarır.
Toplu Taşıma Aracı OBU	Toplu Taşıma Araç V2V Güvenliği	Konum ve hareket bilgilerini yakındaki diğer araçlarla paylaşır; çarpışma potansiyeli tespit edildiğinde sürücüyü bilgilendirir.
Araç	Araç Temel Güvenlik İletişimi	Araç özellikleri, konumu ve hareket bilgilerini yakın çevredeki diğer araçlarla paylaşır; çarpışma potansiyeli algılandığında sürücüyü uyarır.
Araç	Araç Kontrol Uyarısı	Araç çevresini izleyerek şerit ihlali, yetersiz takip mesafesi gibi tehlikeler konusunda sürücüyü bilgilendirir.
Araç	Araç Kontrol Otomasyonu	Direksiyon, hızlanma ve frenleme fonksiyonlarını otomatikleştirerek yanal ve/veya boylamsal araç kontrolü sağlar.
Acil Durum Yönetim Merkezi	Acil Durum Yönlendirmesi	Acil durum araçlarının rotalarının belirlenmesini ve yönetilmesini destekler; gerekli durumlarda Trafik Yönetim Merkezi'nden (TMC) trafik kolaylaştırma desteği alır.
Ulaşım Bilgi Merkezi	TIC Trafik Kontrol Dağıtımı	Kavşak durumu, şerit kontrolü ve özel araç uyarıları gibi trafik kontrolüne ilişkin bilgileri toplar ve araçlara veya mobil cihazlara dağıtır.

Çizelge 4.8. VS04 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Ticari Araç OBU	Araç	Özel araç uyarısı	Kamu güvenliği araçları ile büyük boyutlu, yavaş hareket eden veya sık duran hizmet araçları gibi özel dikkat gerektiren araçların varlığına ilişkin V2V bildirimi.
Bakım ve İnşaat Aracı OBU	Araç	Özel araç uyarısı	Bakım ve inşaat araçlarının konumuna ve çevrede özel dikkat gerektiren çalışma koşullarına ilişkin V2V bildirimi.
Toplu Taşıma Aracı OBU	Araç	Özel araç uyarısı	Toplu taşıma aracının durumuna ilişkin (örneğin önceliklendirme durumu) V2V bildirimi.
TIC	Araç	Özel araç uyarısı	TIC tarafından toplanan, araçlara dağıtılan özel araç uyarı bilgisi (V2I).
TIC	Diğer TIC	Özel araç uyarısı	Merkezler arası paylaşılan özel araç uyarı bilgileri.
Acil Durum Aracı OBU	Acil Durum Yönetim Merkezi	Acil durum aracı takip verileri	Acil durum aracının anlık konumu ve operasyonel durum bilgilerinin bildirimi.

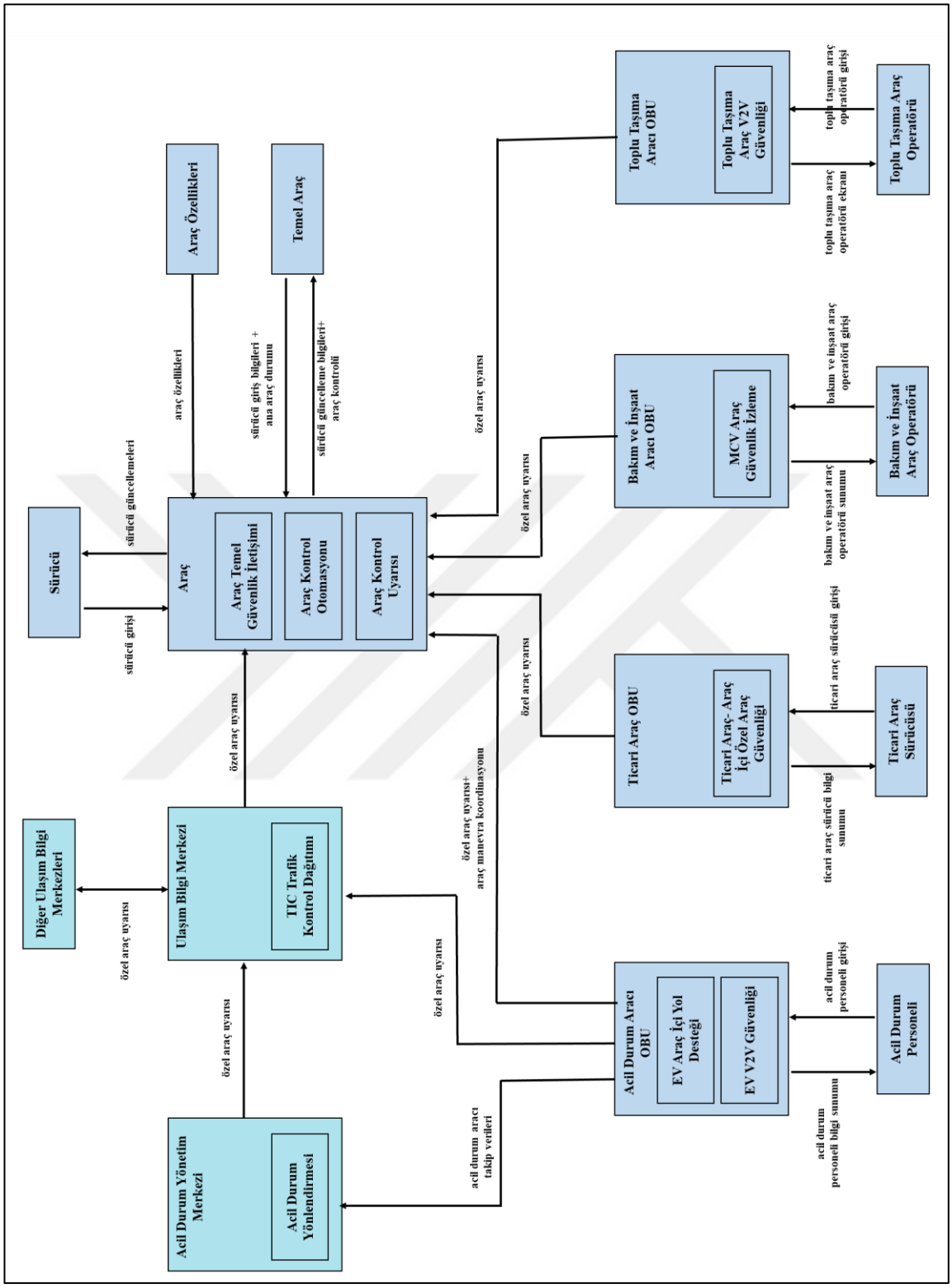
Çizelge 4.8. (devam) VS04 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Acil Durum Aracı OBU	TIC	Özel araç uyarısı	TIC, acil durum aracından gelen uyarıyı alır ve dağıtır.
Acil Durum Aracı OBU	Araç	Özel araç uyarısı	Acil durum aracının konumunu ve tehlike durumunu bildiren V2V uyarısı.
Acil Durum Aracı OBU	Araç	Araç manevra koordinasyonu	Acil durum aracının manevra yapma niyetini (şerit değiştirme veya yola çıkma gibi) belirten V2V mesajları.
Ticari Araç OBU	Araç	Özel araç uyarısı	Sürücülere özel dikkat gerektiren bir aracın yakında olduğunu bildiren V2V uyarısı.
Araç	Sürücü	Sürücü güncellemeleri	Mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler veya araç sistemlerinin durumu hakkında çeşitli arayüzler (görsel, işitsel, dokunsal) üzerinden sürücünün bilgilendirilmesi.
Araç	Temel Araç	Araç kontrolü	Direksiyon, gaz ve fren sistemlerine iletilen kontrol komutları.
Araç	Temel Araç	Sürücü güncelleme bilgileri	Sürücüye mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler ve araç üzerindeki ekipmanın durumu hakkında bilgi sağlayan sürücü/araç arayüzü.
Temel Araç	Araç	Ana araç durumu	Güç aktarma organı, direksiyon, fren sistemleri ve diğer güvenlik/konfor sistemlerinin mevcut durumu dahil olmak üzere araç platformundaki diğer sistemlerden OBU'ya iletilen bilgiler.
Temel Araç	Araç	Sürücü giriş bilgileri	Araç veri yolundan alınan sürücü komutları, ayarlar, etkileşimli talepler ve yapılandırma verileri.
Ticari Araç Sürücüsü	Ticari Araç OBU	Ticari araç sürücüsü girişi	Ticari araç sürücüsünün AUS cihazına gerçekleştirdiği kullanıcı girişleri (araç bilgileri, ayarlar, kendi kendine test başlatma vb.).
Bakım ve İnşaat Araç Operatörü	Bakım ve İnşaat Aracı OBU	Bakım ve inşaat araç operatörü girişi	Bakım ve inşaat faaliyetleri sırasında saha personelinin araç içi kontrol ve durum bildirimlerine ilişkin kullanıcı girişleri.
Acil Durum Personeli	Acil Durum Aracı OBU	Acil durum personeli girişi	Acil durum personelinin (sahada) sevk koordinasyonu, olay durumu bilgisi ve uzaktan cihaz kontrol talepleri gibi kullanıcı girdileri.
Toplu Taşıma Araç Operatörü	Toplu Taşıma Aracı OBU	Toplu taşıma araç operatörü girişi	Toplu taşıma aracı operatörünün acil durum talepleri, kimlik doğrulama bilgileri ve araç içi sistem kontrolü gibi OBU sistemine yaptığı girişler.
Ticari Araç OBU	Ticari Araç Sürücüsü	Ticari araç sürücü bilgi sunumu	Ticari araç sürücüsüne araç içi sistemlerin mevcut durumunu içeren bilginin sunumu.
Bakım ve İnşaat Aracı OBU	Bakım ve İnşaat Araç Operatörü	Bakım ve inşaat araç operatörü sunumu	Bakım ve inşaat saha personeline araç yönlendirme, trafik bilgileri, çalışma alanı durumu ve düzeltici eylemler gibi bilgilerin sunumu.
Acil Durum Aracı OBU	Acil Durum Personeli	Acil durum personeli bilgi sunumu	Acil durum personeline sevk bilgileri, olay bilgileri ve yol ağı durumu dahil bilgilerin sunumu.
Toplu Taşıma Aracı OBU	Transit Araç Operatörü	Toplu taşıma araç operatörü ekranı	Toplu taşıma aracı operatörüne araç gözetim bilgileri, alarm bilgileri ve diğer AUS hizmetlerinin durumu dahil görsel, işitsel ve dokunsal çıktılar.
Diğer Ulaşım Bilgi Merkezleri	Ulaşım Bilgi Merkezi	Özel araç uyarısı	Diğer bilgi merkezlerinden alınan özel araç uyarı bilgileri.

Çizelge 4.8. (devam) VS04 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Araç Özellikleri	Araç	Araç Özellikleri	Araçların tespit edilmesi, sınıflandırılması ve izlenmesi amacıyla kullanılabilecek fiziksel ve görünür özellikleri.
Sürücü	Araç	Sürücü girişi	Sürücü tarafından doğrudan araç ekipmanına verilen komutlar, ayarlar ve etkileşimli girdiler.

Özel araç uyarısı hizmet paketi fiziksel görünümü Şekil 4.3.'te yer almaktadır (ARC-IT, 2025h).



Şekil 4.3. Özel araç uyarısı hizmet paketi fiziksel görünümü

Örnek Senaryo 1- K-AUS Özel Araç Uyarısı (Doğrudan V2V İletişimi): Bu senaryoda özel araç uyarıları, özel araç ile çevresindeki araçlar arasında doğrudan V2V iletişim yoluyla sağlanmaktadır. Bu süreç, aşağıda dört temel aşama halinde açıklanmaktadır.

- Aşama 1 Özel Araç Verilerinin Üretilmesi ve Uyarının Yayınlanması: Özel araç konumunu, hızını ve yönünü belirler ve özel araç uyarı mesajlarını yayımlar. Ticari araçlar, acil durum araçları ve bakım/inşaat araçları gibi özel araçlar; ilgili araç içi güvenlik fonksiyonları (EV V2V Güvenliği, MCV Araç Güvenlik İzleme, Ticari Araç-Araç İçi Özel Araç Güvenliği) aracılığıyla elde ettikleri konum ve hareket verilerini işler ve özel araç uyarısı mesajını yayınlar. Bu mesaj, V2V iletişim yoluyla çevredeki tüm araçlara iletilir.
- Aşama 2 Yakındaki Araçların Uyarıyı Alması: Uyarı mesajı yayınlandıktan sonra, kapsama alanındaki diğer araçlar, temel güvenlik haberleşme fonksiyonları (Araç Temel Güvenlik İletişimi) üzerinden bu bilgileri alır. Alınan veriler; özel aracın konumu, yönü, hızı ve potansiyel tehlike oluşturan durumu hakkında bilgilendirici niteliktedir. Bu aşamada temel bilgi akışı; özel araç uyarısı ve acil durum aracı konum bilgisi içerir.
- Aşama 3 Araçta Uyarının İşlenmesi ve Sürücüye Bildirim: Araç, aldığı uyarıyı kendi sürücü destek sistemlerinde işler. Araç Kontrol Uyarısı fonksiyonu aracılığıyla sistem; özel aracın yakınlığı ve oluşturduğu risk düzeyine bağlı olarak sürücüye çeşitli yöntemlerle bilgi sunar. Bu bildirimler; görsel ekran uyarıları, sesli ikazlar veya dokunsal geri bildirimler şeklinde olabilir. Bu aşamada üretilen bilgi akışı; sürücü güncellemeleri ve sürücüye sunulacak tehlike bildirimidir.
- Aşama 4 Otonom Kontrol İşlevlerinin Devreye Alınması (Varsa): Araçta gelişmiş sürüş destek sistemleri veya kısmi/yarı otonom kontrol yetenekleri mevcutsa, sistem alınan uyarıyı yalnızca sürücüye iletmekle kalmaz, aynı zamanda gerekli kontrol eylemlerini kendisi başlatabilir. Araç Kontrol Otomasyonu fonksiyonu aracılığıyla araç; hız azaltma, kaçınma manevrası, frenleme veya şerit değiştirme gibi güvenlik odaklı otomatik müdahalelerde bulunur.

Örnek Senaryo 2- Acil Durum Araç Uyarısı (Merkezi Sistem Üzerinden Yayılım): Bu senaryoda özel araç uyarıları, geniş alan kablosuz (WAW) iletişimi kullanarak, TIC veya Acil Durum Yönetim Merkezi aracılığıyla araçlara ulaştırılır. Bu senaryo; acil durum araçlarının konum ve hareket bilgilerinin merkezi bir sistem aracılığıyla işlenerek, üçüncü taraf bilgi sağlayıcıları üzerinden (TIC) çevredeki araçlara iletilmesini içermektedir. Süreç, dört temel aşamada yürütülmektedir.

- Aşama 1 Acil Durum Aracının Konum Bilgilerinin Merkeze İletilmesi: Süreç, acil durum aracının (Emergency Vehicle- EV) kendi konum, hız ve yön bilgilerini belirlemesi ve bu verileri merkezi yönetim sistemine iletmesiyle başlar. Bu aşamada EV Araç İçi Yol Desteği fonksiyonu devrededir. Aracın konum ve hareketine ilişkin acil durum araç takip verileri güvenli bir iletişim kanalıyla merkeze aktarılır. Bu veri akışı, merkezdeki karar destek süreçleri açısından kritik bir girdi niteliği taşır.
- Aşama 2 Merkezin Uyarı Bilgisini Üçüncü Taraf Sağlayıcıya Aktarması: Merkezi yönetim sistemi, aldığı verileri analiz ederek özel araç uyarısı niteliğindeki bilgiyi üretir. Merkez, bu uyarı bilgisini Acil Durum Yönlendirmesi fonksiyonu kapsamında üçüncü taraf trafik bilgi sağlayıcısı olan TIC'e aktarır. Bu aşamada iletilen bilgi akışı; özel araç uyarı bilgileridir. Böylece uyarının daha geniş bir coğrafi kapsama alanına yayılması için gerekli dağıtım süreci başlatılmış olur.
- Aşama 3 TIC Tarafından Uyarının Araçlara Yayılması: TIC, merkezden aldığı özel araç uyarı bilgisini WAW iletişim yoluyla ilgili bölgedeki tüm araçlara iletir. Bu aşamada TIC Trafik Kontrol Dağıtımı fonksiyonu etkin rol oynar.
- Aşama 4 Genel Araçların Uyarıyı Alması ve Sürücüye Bildirim Yapılması: Yayınlanan özel araç uyarısı, kapsama alanındaki genel araçlar tarafından alınır. Araç içi sürücü uyarı sistemleri, Araç Kontrol Uyarısı fonksiyonu aracılığıyla bu bilgiyi işler ve sürücüye ilgili tehlike hakkında görsel, işitsel veya dokunsal geri bildirim sağlar. Bu aşamada üretilen bilgi akışı; sürücü güncelleme bilgileridir. Böylece sürücünün gerekli manevra veya hız ayarlamalarını zamanında yapması mümkün hale gelir.

VS04 hizmet paketi, öncelikli olarak trafik güvenliğinin artırılması ve sürücülerin özel ilgi gerektiren araçlarla etkileşimlerinin etkin biçimde yönetilmesi amacıyla geliştirilmiştir. VS04 hizmet paketi, bağlantılı araç ortamında aşağıdaki iki temel kullanıcı ihtiyacına yanıt verir:

İhtiyaç 1- Sürücü Uyarısı ve Eylem Yeteneği: Sürücünün uygun eylemleri gerçekleştirebilmesi için yaklaşan özel araçlara ilişkin uyarıları alması gerekmektedir. Sistemin temel işlevi, özel araçların konum bilgilerinin yayımlanmasını ve genel araçların bu uyarıları alarak sürücüyü bilgilendirmesini sağlamaktadır. Sistem, özel araçların konum, hız ve yön bilgilerini çevredeki araçlarla veya üçüncü taraf sağlayıcılarla paylaşmasını öngörmektedir. Acil durum araçları, kendi konum ve hareket bilgilerini çevredeki araçlara

veya bir merkeze ileterek sürücüleri uyarır. Merkez, bu bilgileri işleyerek özel araç uyarılarını ilgili araçlara dağıtır. Benzer şekilde, bakım, inşaat, toplu taşıma ve ticari araçlar da konum ve hareket bilgilerini çevredeki araçlarla paylaşır; toplu taşıma araçları ayrıca duraktan ayrılma niyetlerini bildirir. Genel araçlar ise yol seviyesindeki hassas konum bilgilerini araç içi uygulamalara ileterek, yol kenarı ekipmanları ve yakındaki araçlarla konum ve hareket verisi alışverişinde bulunur, özellikle acil durum araçlarının konum bilgilerini alarak sürücüyü bilgilendirir.

İhtiyaç 2- Bağlantılı Aracın Tepki Yeteneği: Bağlantılı araç, yakındaki özel araçlardan gelen uyarılara dayanarak sürücüyü bilgilendirebilmeli veya araçta otomatik kontrol eylemleri (manevralar) gerçekleştirebilmelidir. Sistemin temel işlevleri; aracın çevresini algılaması, alınan uyarıları otomatik manevralara dönüştürmesi ve hassas konum bilgisini kullanmasıdır. Araç, kendi platformu üzerinden konum ve hareket verilerini toplayarak sistemin temel girdilerini sağlar. Toplanan veriler ve yakındaki araçlardan gelen uyarılar doğrultusunda, bağlantılı araç, sürücüyü bilgilendiren uyarılar üretebilmeli ve gerekli durumlarda araç davranışlarını etkileyen otomatik kontrol eylemleri gerçekleştirebilmelidir (ARC-IT, 2025h).

ARC-IT mimarisinde Özel Araç Uyarısı senaryosu, genellikle Acil Durum veya Öncelikli Araç Yaklaşma Uyarısı (EVA) hizmetine karşılık gelmektedir. Bu hizmetin temel amacı, acil durum araçlarının (ambulans, polis, itfaiye) veya belirli öncelikli görev araçlarının (örneğin yol işletmecisi araçları) aktif görev hâlinde oldukları sürede (siren veya tepe lambası açıkken) diğer yol kullanıcılarına önceden bildirimde bulunmasını sağlamaktadır. Bu uyarılar, aracın ışık veya sesli uyarı sistemlerinin sürücüler tarafından algılanmasından önce iletilmekte ve böylece yol güvenliği artırılmaktadır. Hizmet, öncelikle V2V iletişim üzerinden ITS-G5 teknolojisi ile yürütülmekte olup I2V iletişim ile desteklenebilir. Acil durum aracının konum ve hareket bilgileri CAM mesajlarıyla periyodik olarak yayınlanır. Acil veya öncelikli aracın yaklaşmakta olduğunu bildiren uyarı ise bir olay bildirimi niteliğindeki DENM ile tetiklenir.

Sistem iki farklı araç kategorisini desteklemektedir:

- Mutlak Geçiş Önceliğine Sahip Acil Durum Araçları: Siren ve tepe lambası kullanan itfaiye, ambulans ve polis araçları. DENM mesajında vehicleRole = emergency kullanılır. Bu durumda diğer sürücüler için yol verme yükümlülüğü bulunmaktadır.
- Kısmi Öncelikli Araçlar: Yol işletmecisi veya müdahale birimlerine ait özel görev araçları. vehicleRole = safetyCar kullanılır ve araçlara geçiş kolaylığı sağlanması hedeflenir (C-Roads, 2025d:24-253; European Commission, 2016b:11-201).

Bu hedefler doğrultusunda, Türkiye'de VS04 hizmet paketi özellikle araç kazalarının ve buna bağlı ölümlerin azaltılmasını amaçlayan güvenlik hedefleri ile doğrudan ilişkilidir. Bu kapsamda hizmet paketinin katkıda bulunmayı amaçladığı hedefler şunlardır (ARC-IT, 2025h):

- İlgili trafik alanında meydana gelebilecek kaza sayısını azaltmak,
- Sürücü hatalarından ve kısıtlamalarından kaynaklanabilecek kaza sayısını azaltmak,
- Güvenli olmayan sürücüler, araçlar ve yüklerden kaynaklanabilecek kaza sayısını azaltmak,
- Olay yerinde meydana gelebilecek ikincil kaza sayısını azaltmak,
- Acil müdahale ekiplerinin olay yerine varış süresini azaltmak.

VS05- Viraj hızı uyarısı (curve speed warning)

VS05 hizmet paketi; bağlantılı araçların, yaklaşmakta oldukları virajlar hakkında bilgi almasını ve söz konusu viraj için önerilen hız değerlerini edinmesini sağlamaktadır. Bu hizmet sayesinde araç, sürücüyü hem yaklaşan viraj hem de önerilen hız hakkında bilgilendirebilir. Ayrıca araç, söz konusu virajda mevcut hızın önerilen hız limitini aşması durumunda ek uyarı eylemleri gerçekleştirebilir.

VS05 hizmet paketi fiziksel nesneleri Çizelge 4.9.'da fonksiyonel nesneleri Çizelge 4.10.'da bilgi akışları ise Çizelge 4.11.'de özetlenmiştir (ARC-IT, 2025i).

Çizelge 4.9. VS05 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
TMC	KGM trafik yönetim merkezleri ile büyükşehir belediyeleri trafik kontrol merkezleri.	Trafik akışını ve yol ağını merkezi olarak izleyen ve kontrol eden sistemdir; virajlardaki güvenli hızların belirlenmesi için kritik olan çevresel verilerin toplanmasını koordine eder.
CV RSU	KGM ve büyükşehir belediyeleri (altyapı sahibi) ile telekomünikasyon/AUS çözüm sağlayıcı özel sektör şirketleri.	Yakın çevredeki araç ve kişisel cihazlarla iletişim kuran, kısa menzilli kablosuz haberleşme teknolojileriyle donatılmış RSU. TMC'den alınan azaltılmış hız bölgesi verilerini araçlara iletir. Hız limiti, yol konfigürasyonu ve uyarı bilgilerini ilgili araçlara aktarır.
AUS Yol Ekipmanları	KGM ve belediyelere ait saha birimleri (çevre/trafik sensörleri, DMS, güvenlik kameraları).	Yola yerleştirilmiş; trafik izleme, trafik kontrolü ve yol durumu yönetimi görevlerini yerine getiren AUS ekipmanları (trafik dedektörleri, çevresel sensörler, DMS, CCTV vb.).
Yol Çevresi	KGM, büyükşehir belediyeleri (yol bakım ve işletme birimleri) ve özel otoyol işletmecileri.	Sürücünün güvenli seyahatini etkileyen çevresel faktörleri kapsar. Yol sahibi, yol ve çevreyi güvenli düzeyde tutmaktan sorumludur.
Araç	OEM'ler tarafından sunulan bağlantılı araçlar ile özel araç sahiplerinin V2X uyumlu araçları ve akıllı cihaz tabanlı çözümleri.	V2V ve V2I iletişimini destekleyen sensör, işlemci, depolama ve iletişim bileşenlerini içeren araç platformu.
Temel Araç	OEM'ler ile bireysel araç sahipleri.	AUS elektroniği ile birlikte araç platformunu oluşturan temel mekanik ve elektronik sistemler.
Sürücü	Bireysel ve ticari sürücüler.	Güvenlik uygulamaları kapsamında sistemle etkileşim kuran, aracı kontrol eden kişi.
Araç Özellikleri	OEM'ler ve resmi tescil kurumları.	Araçların yüksekliği, ağırlığı ve aks sayısı gibi fiziksel ve görünür nitelikleri.

Çizelge 4.10. VS05 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
Araç	Araç Hız Yönetimi Yardımı	Sürücünün aracı mevcut hız limitleri veya hız tavsiyeleri çerçevesinde güvenli bir şekilde kullanmasını destekler. Araç hızını sürekli izleyerek güvenli olmayan veya aşırı hız durumlarını tespit eder ve sürücüyü uygun uyarılarla bilgilendirir.
TMC	TMC Çevre İzleme	Risk değerlendirme ve doğru hız tavsiyesi için güncel ve tahmini yol koşulları ile yüzey hava durumu verilerini bütünleştirir. Hava hizmeti sağlayıcıları, çevresel sensörler ve bağlı araçlardan elde edilen bilgiler kullanılarak sürücülere konum bazlı uyarılar iletilebilir.
TMC	TMC Hız Uyarısı	Hız sınırının düşürüldüğü bölgelerdeki yol kenarı uyarı ekipmanlarının uzaktan izlenmesi ve kontrolünü sağlar. Bölgenin konumunu, güncel hız limitlerini ve şerit birleşmeleri veya kaymaları gibi yol konfigürasyonundaki değişiklikleri iletir.

Çizelge 4.10. (devam) VS05 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
CV RSU	RSU Hız Uyarısı	Yaklaşan bağlantılı araçları, düşürülmüş hız bölgesine ilişkin bilgilendirir. Güncel hız limitlerini ve hız düşüşünün gerekçelerini aktarır. Ayrıca devrilme riski bulunan uzun araçlar gibi özel sınırlamalara sahip araçları tanıyarak özel uyarılar sağlayabilir.
AUS Yol Ekipmanı	Karayolu Çevre İzleme	Sıcaklık, rüzgâr, nem ve yol yüzeyi durumu gibi çevresel koşulları ölçer. Toplanan verileri ilgili merkezlere veya araçlara iletmek üzere diğer saha ekipmanlarına aktarır.
AUS Yol Ekipmanı	Yol Hız İzleme ve Uyarısı	Araç hızlarını izler ve aşırı hız tespit edildiğinde çevresel koşulları dikkate alarak sürücülere uyarı veya tavsiye sunar. Ayrıca hız ihlallerini kolluk kuvvetlerine ileterek yaptırım süreçlerini destekler.

Çizelge 4.11. VS05 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
CV RSU	Araç	Düşük Hız Bildirimi	Yaklaşan araçlara düşürülmüş hız bölgesi hakkında bilgi sunar. Mesaj; bölgenin konumu, kapsamı, geçerli düşük hız limiti ve ilişkili uyarı bilgilerini içerir.
CV RSU	TMC	Hız Uyarısı Uygulama Durumu	Hız uyarısı uygulamasının mevcut operasyonel durumu, ölçülen hız verileri ve yayınlanan bildirimlerin/ikazların kayıtlarını içerir.
AUS Yol Ekipmanları	Sürücü	Sürücü Bilgileri	Güvenli ve verimli sürüşü desteklemek için sürücüye aktarılan düzenleyici, uyarıcı, rehberlik sağlayıcı ve bilgilendirici iletileri içerir.
AUS Yol Ekipmanları	CV RSU	Çevresel Sensör Verileri	Yüzey sıcaklığı, nem, buzlanma, rüzgâr hızı, görüş mesafesi ve yağış gibi çevresel koşullara ilişkin sensör verilerini içerir. Bu veriler CV RSU tarafından güvenli hız tavsiyeleri üretmek için kullanılır.
AUS Yol Ekipmanları	CV RSU	Düşük Hız Uyarı Bilgisi	Yol altyapısı tarafından tespit edilen gerçek zamanlı araç tespitleri, araç yüksekliği, ölçülen araç karakteristikleri, altyapı tarafından yayınlanan uyarılar, yol konfigürasyon verileri, hız limitleri ve eşik değerler gibi parametreleri iletir.
AUS Yol Ekipmanları	TMC	Çevresel Sensör verileri	Yol yüzeyi sıcaklığı, nem, buzlanma, tuzluluk; hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, görüş mesafesi, yağış bilgisi ve sensör operasyon durumu gibi çevresel verileri içerir.
AUS Yol Ekipmanları	TMC	Hız İzleme Bilgileri	Hız izleme sistemlerinin operasyonel durumunu, ölçülen hızları, görüntülenen uyarıları ve ihlal kayıtlarını içerir.
TMC	AUS Yol Ekipmanları	Çevresel Sensör Kontrolü	Çevresel sensörlerin uzaktan yapılandırılması ve kontrol edilmesine yönelik yönetimsel verileri içerir.

Çizelge 4.11. (devam) VS05 hizmet paketi bilgi akışları

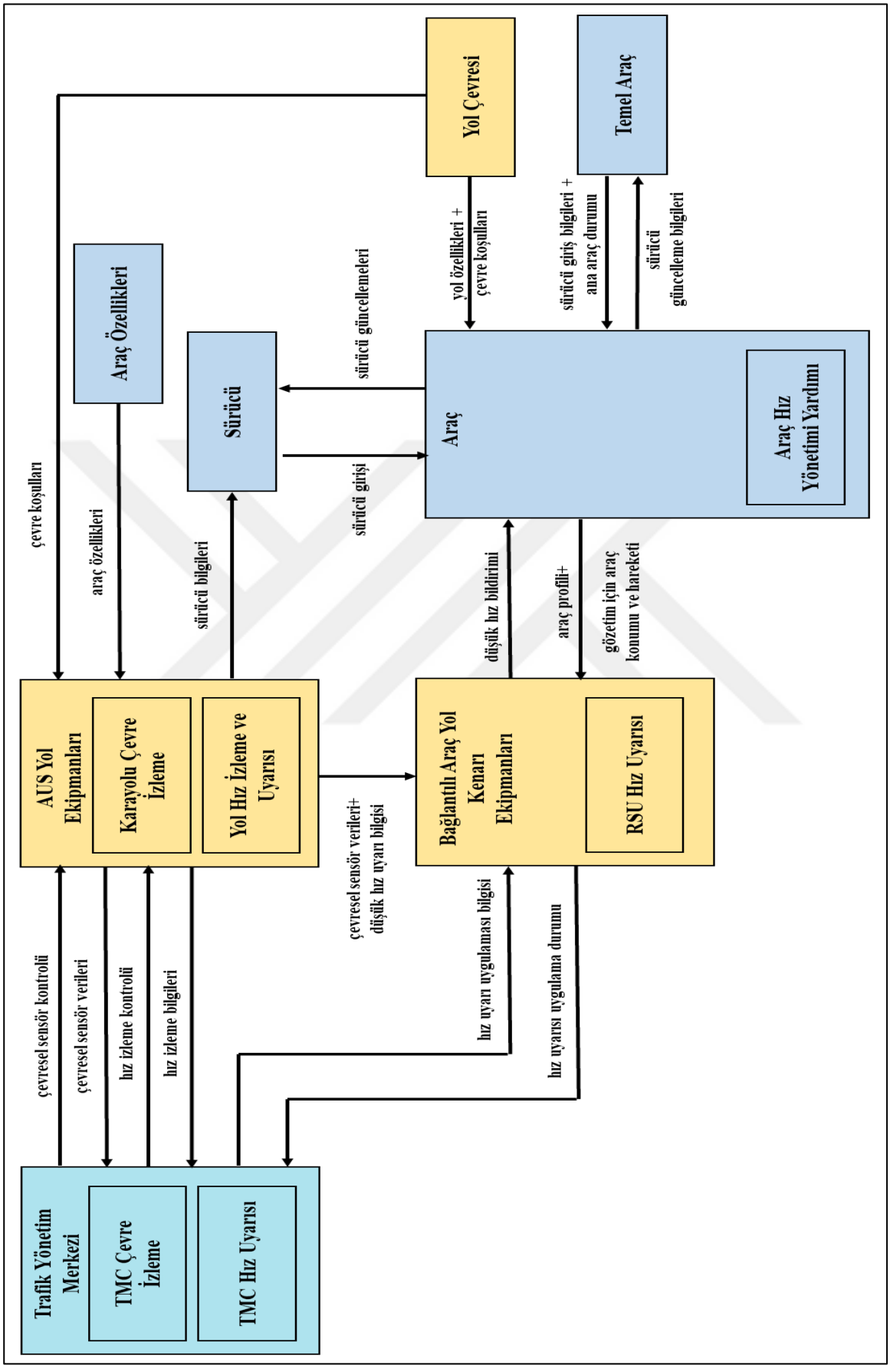
Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
TMC	AUS Yol Ekipmanları	Hız izleme Kontrolü	Hız izleme, hız uyarı ve hız denetleme sistemlerinin uzaktan yapılandırılması ve kontrolüne ilişkin bilgileri içerir.
TMC	CV RSU	Hız Uyarısı Uygulama Bilgisi	Yol konfigürasyon verilerini; günün saatine, haftaya veya mevsime bağlı değişken hız limitlerini; uyarıları tetikleyecek parametreler ile eşik değerleri içerir. Ayrıca hız uyarısı uygulamasının uzaktan yönetilmesini destekler (çevrimdışı alma, sıfırlama vb.).
Araç Özellikleri	AUS Yol Ekipmanları	Araç özellikleri	Araçların tespit, sınıflandırma ve izleme süreçlerinde kullanılan fiziksel veya gözlemlenebilir özellikleri.
Yol Çevresi	Araç	Yol özellikleri	Yol yüzeyi, sürtünme katsayısı ve geometrik koşullar hakkında veriler.
Yol Çevresi	Araç	Çevre koşulları	Çevresel sensörler tarafından ölçülen yol koşulları (yüzey sıcaklığı, nem, buzlanma durumu) ve yüzey hava koşulları (hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, görüş mesafesi).
Yol Çevresi	AUS Yol Ekipmanları	Çevre koşulları	Çevresel sensörler tarafından ölçülen yol koşulları (yüzey sıcaklığı, nem, buzlanma durumu) ve yüzey hava koşulları (hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, görüş mesafesi).
Temel Araç	Araç	Ana Araç Durumu	Güç aktarma organı, direksiyon, fren sistemleri ve diğer güvenlik/konfor sistemlerinin mevcut durumu dahil olmak üzere araç platformundaki diğer sistemlerden OBU'ya iletilen bilgiler.
Temel Araç	Araç	Sürücü giriş bilgileri	Araç veri yolundan alınan sürücü komutları, ayarlar, etkileşimli talepler ve yapılandırma verileri.
Sürücü	Araç	Sürücü Girişi	Sürücü tarafından doğrudan araç ekipmanına verilen komutlar, ayarlar ve etkileşimli girdiler.
Araç	CV RSU	Gözetim İçin Araç Konumu ve Hareketi	Aracın konumu, yönü, hızı, ivmesi, fren durumu ve boyutuna ilişkin üç boyutlu hareket verilerini iletir.
Araç	CV RSU	Araç Profili	Araç marka/modeli, yakıt türü, boyut, ağırlık gibi profil bilgileri; güvenlik ve kısıtlama uyum analizlerinde kullanılır.
Araç	Sürücü	Sürücü Güncellemeleri	Mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler veya araç sistemlerinin durumu hakkında çeşitli arayüzler (görsel, işitsel, dokunsal) üzerinden sürücünün bilgilendirilmesi.
Araç	Temel Araç	Sürücü güncelleme bilgileri	Sürücüye mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler ve araç üzerindeki ekipmanın durumu hakkında bilgi sağlayan sürücü/araç arayüzü.

Örnek Senaryo: Viraja Yaklaşma ve Güvenli Hız Uyarısı

- Aşama 1 Altyapı ve Çevresel Veri Hazırlığı: Bu aşamada TMC viraj bölgesindeki yol kenarı ekipmanlarını kontrol ederek virajlarla ilgili potansiyel tehlike verilerini toplar ve işler:
  - Çevresel Koşulların İzlenmesi (AUS Yol Ekipmanları): TMC; yol yüzeyi sıcaklığı, nem, buzlanma durumu, rüzgâr hızı, görüş mesafesi ve yağış gibi çevresel koşulları izleyen sensörleri uzaktan yönetir ve denetler.
  - Veri Analizi ve Hız Belirleme: Hız limitlerinin günün saatine, mevsime veya araç türlerine göre uygulanabilirliği ile yol konfigürasyonundaki değişiklikler (örneğin şerit birleşmeleri veya kaymaları) belirlenir.
  - Uyarı Bilgisinin Yayımlanması: TMC; belirlenen hız limitlerini, ilgili coğrafi konumu ve düşürülmüş hız bölgesi kapsamını "hız uyarı uygulaması bilgisi" bilgi akışı aracılığıyla CV RSU'ya iletir.
- Aşama 2 Araç İçi Hesaplama ve Risk Analizi: Aracın kendi sensör verilerini ve altyapıdan gelen bilgileri kullanarak sürücüye yönelik kritik kararları verdiği aşamadır:
  - Araç Verilerinin Toplanması: Viraja yaklaşmakta olan bağlantılı araç, yol geometrisi, hava durumu (çiğlenme noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı ve yönü, görüş mesafesi) ve yol yüzeyi koşullarına (sıcaklık, su/buz/kar derinliği) ilişkin bilgileri toplar.
  - Araç Durum Verilerinin Toplanması (V2I): Araç, yaklaşan virajla ilgili olarak CV RSU üzerinden kısa menzilli iletişim (örneğin C-V2X) aracılığıyla yayımlanan hız uyarı bilgilerini (RSU Hız Uyarısı) alır.
  - Araç Karakteristiklerinin Belirlenmesi: Güvenli hız hesaplamasında kullanılmak üzere aracın ağırlık, boyut ve yol tutuş özellikleri gibi konfigürasyon verileri elde edilir.
- Aşama 3 Güvenli Hızın Belirlenmesi ve Karşılaştırılması
  - Altyapı Hız Verisinin Alınması: Araç, yol kenarındaki CV RSU tarafından yayınlanan düşürülmüş hız bildirimlerini ve hız uyarılarını alır.
  - Yol Tahmini: Araç, viraj boyunca kullanılabilecek tüm geçerli yol seçeneklerini belirler ve mevcut olarak seyredilen yolun hangisi olduğunu tespit eder.
  - Güvenli Hız Hesaplaması: Araç, yaklaşmakta olduğu virajdaki her bir yol için maksimum uygun hız değerini hesaplar.

  - Hız Farkının Belirlenmesi: Mevcut seyir hızı ile ilgili viraj yolu için hesaplanan maksimum uygun hız arasındaki fark belirlenir.
- Aşama 4 Sürücü Uyarısı: Hesaplanan maksimum güvenli hız, aracın mevcut hızıyla karşılaştırılır ve sürücü uyarılır:
  - Aşırı Hız Tespiti: Araç Hız Yönetimi Yardımı fonksiyonu, sürücünün mevcut hızı ile hesaplanan maksimum güvenli hızı karşılaştırır. Mevcut hız güvenli sınırları aşıyorsa araç aşırı hız durumunu tespit eder, sürücüyü uygun şekilde yavaşlaması konusunda uyarır.
  - Maksimum Hız Bilgisinin Sunulması: Araç, sürücüye yaklaşan viraj için hesaplanan maksimum güvenli hızı bildirir; mevcut hız bu değeri aştığında bu uyarı vurgulanır.
  - Harici Uyarı Mekanizması: Araç hızının, altyapı tarafından belirlenen yayınlanmış hız limitini de aşması durumunda, yol kenarı ekipmanı sürücüye ek bir uyarı sağlayabilir.

Viraj hızı uyarısı hizmet paketi fiziksel görünümü Şekil 4.4.'te yer almaktadır (ARC-IT, 2025i).



Şekil 4.4. Viraj hızı uyarısı hizmet paketi fiziksel görünümü

VS05 hizmet paketi, bağlantılı araç teknolojilerinin sunduğu olanaklardan yararlanarak sürücülerin virajları güvenli hızlarda almalarını desteklemeyi ve böylece trafik güvenliğini artırmayı amaçlayan bir dizi gereksinimi karşılamaya yönelik olarak tasarlanmıştır. VS05 hizmet paketinin karşılamayı hedeflediği temel ihtiyaçlar ve bunlara ilişkin sistem gereksinimleri aşağıda özetlenmiştir:

İhtiyaç 1- Çevresel Koşullara Dayalı Risk Belirleme: Trafik operasyonları, çevresel koşullara dayanarak bir aracın virajı güvenli bir şekilde geçme riskini değerlendirebilmelidir. Bu amacı gerçekleştirmek için sistemin yerine getirmesi gereken temel işlevler şunlardır: Saha ekipmanındaki çevresel sensörler, trafik yönetim merkezi tarafından uzaktan kontrol edilebilmeli ve elde edilen veriler, araç yol kenarı ekipmanına iletilmelidir. Saha elemanı, trafik yönetim merkezi tarafından kontrol edilen sensörler aracılığıyla araç hızlarını tespit edebilmelidir. Trafik yönetim merkezi, yol yüzeyi koşullarını izlemek için sıcaklık, nem, buzlanma durumu ve tuzluluk gibi verileri uzaktan kontrol edebilmelidir. Ayrıca, merkez, hava koşullarını izlemek amacıyla sıcaklık, rüzgâr, nem, yağış ve görüş mesafesi gibi parametreleri ölçen sensörleri yönetebilmelidir. Trafik yönetim merkezi, hız sınırlandırma bölgeleriyle ilgili uyarı levhalarının durumunu da yerinde izleyebilmelidir. Araçlar, yol geometrisi ile ilgili bilgileri edinme yeteneğine sahip olmalıdır.

İhtiyaç 2- Aşırı Hıza Karşı Uyarı Sağlama: Trafik operasyonları, aşırı hızla virajda hareket eden araçlara hız tavsiyesi ve uyarı sağlamalıdır. Bu amaçla, sistemin yerine getirmesi gereken temel işlevler şunlardır: Saha elemanı, kontrol merkezi tarafından belirlenen hız sınırları ve yol düzenlemeleri (örneğin, şerit kapatmaları) hakkında bilgi sağlamalıdır. Saha elemanı, hız sınırını aşan araçlara hız uyarısı yapabilmelidir. TMC, hız sınırlarının konumunu, geçerliliğini ve güncel bilgilerini (gün saati, mevsimsel değişiklikler gibi) takip etmeli ve şerit değişiklikleri gibi yol düzenlemeleri hakkında da bilgi sunmalıdır. Araç, hız sınırlarını ve önerilen hızları altyapı ile iletişim kurarak alabilmeli ve mevcut hızını sürekli olarak izlemelidir. Ayrıca, araç, virajdaki hava durumu bilgileri (çiğ noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı, yönü, görüş mesafesi) ve yol yüzeyi koşulları (yol sıcaklığı, su, buz, kar derinliği) gibi verileri edinmelidir.

İhtiyaç 3- Sürücüyü Aşırı Hızda Uyarma: Araç, yol kenarındaki saha ekipmanlarından hız uyarılarını alarak, konum, hız, ivme ve yön gibi dinamik telematik verilerini sürekli toplamalıdır. Ayrıca, isteğe bağlı olarak sinyal lambası durumu ve direksiyon açısı gibi ilave

veriler de izlenebilir. Araç, virajda izlediği yol ve mevcut yol koşullarına göre azami güvenli hızını hesaplamalıdır. Bu hesaplamalar sonucunda, aracın mevcut hızı ile hesaplanan güvenli hız arasındaki farkı belirleyerek sürücüyü, hız limitini aşması durumunda uyarı yapmalıdır. Araç, virajlı yolda azami güvenli hızın aşılması halinde sürücüye açık bir hız uyarısı vermelidir. Ayrıca, sistemin çalışma durumu ve uyarı mekanizmasının aktifliği sürücüye uygun bir arayüzle bildirilecektir.

Sürücünün karşılaması gereken ihtiyaç; aracın bir viraja aşırı hızla yaklaşması veya virajı aşırı hızla almaya başlaması durumunda zamanında ve anlaşılır bir uyarı alabilmesidir. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için araç; konum, hız, ivme gibi dinamik telematik veriler ile araç ağırlığı, boyutları ve yol tutuş özellikleri gibi araç konfigürasyonuna ilişkin bilgileri sürekli olarak toplamalıdır. Sistem, yaklaşılmakta olan virajın geometrik özelliklerini ve mevcut çevresel ile yol koşullarını dikkate alarak her bir yol kesimi için güvenli azami hızı hesaplayabilmelidir. Sürücü, hesaplanan güvenli azami hızın üzerinde seyahat ettiği durumda, sistem tarafından uygun ve zamanında bir şekilde uyarılmalıdır (ARC-IT, 2025i).

Viraja yaklaşma ve güvenli hız uyarısı senaryosu, K-AUS kapsamında sunulan HLN hizmeti ile yakından ilişkilidir. HLN hizmetinin temel amacı, sürücülere yolda karşılaşabilecekleri potansiyel tehlikeli konumlar hakkında önceden uyarı sağlamak ve böylece sürüş güvenliğini artırmaktır. Bu kapsamda bildirilen tehlikeli konum örnekleri: keskin virajlar, dik yokuşlar, yoldaki çukur veya fiziksel engeller, kaygan yol yüzeyleridir. Söz konusu hizmet, sürücülerin yaklaşan tehlikeleri önceden algılayarak hızlarını ve sürüş davranışlarını uygun şekilde ayarlamalarına olanak tanır. Böylece ani manevraların ve kontrol kaybı riskinin azaltılması hedeflenir. HLN hizmeti, genellikle ITS-G5 protokolü üzerinden DENM tabanlı bir Gün 1 V2V iletişim hizmeti olarak uygulanmaktadır.

Tehlikeli konumlar, araç sensörlerinden elde edilen veriler veya yol altyapısına entegre sistemlerden sağlanan bilgiler aracılığıyla otomatik olarak tespit edilmektedir. Bu tespit süreci, sürüş güvenliğini etkileyebilecek durumların erken belirlenmesine olanak tanır. HLN hizmetinin doğal bir çıktısı olarak sürücülerin tehlikeli konumlara yaklaşırken hızlarını güvenli seviyelere düşürmeleri hedeflenmektedir (European Commission, 2016b:11-201). Bu hizmet paketi ile Türkiye'de, merkezden gelen güncel yol bilgileri ile araç içi sensörlerin ve hesaplamaların entegrasyonu sağlanarak sürücü hatalarından kaynaklanabilecek viraj

kazalarının önlenmesi sağlanabilmektedir. Bu kapsamda hizmet paketinin katkıda bulunmayı amaçladığı hedefler şunlardır (ARC-IT, 2025i):

- Yılda, hızla ilişkili ölümlerin sayısını belirli bir oranda azaltmak.
- Sürücü hataları ve dikkatsizlik nedeniyle meydana gelen kazaların sayısını azaltmak.
- Yol hava koşulları nedeniyle meydana gelen kazaların sayısını azaltmak.
- Birincil kazalardan sonra meydana gelen ikincil kazaların sayısını azaltmak.

VS07- Yol hava durumu sürücü uyarısı ve ikazı (road weather motorist alert and warning)

VS07 hizmet paketi, bağlantılı araçlardan elde edilen yol ve hava durumu verilerini toplayarak bu verilere dayalı kısa vadeli uyarı ve tavsiyelerin sürücülere iletilmesini sağlamaktadır. Bu sayede sürücüler, olumsuz çevresel koşullar veya ani hava değişimleri hakkında önceden bilgilendirilir ve güvenli sürüş kararları desteklenir. Hizmet kapsamında yol hava durumu verileri, aşağıda belirtilen farklı kaynaklardan temin edilmektedir:

- Bağlantılı araçlar: Bireysel sürücüler, ticari kuruluşlar veya kamu kurumları tarafından işletilen araçlardan (örneğin otomobiller, kamyonlar, kar küreme araçları, bakım kamyonları vb.) çevresel veriler toplanır.
- Çevresel prob verileri: Bu veriler; ortam hava sıcaklığı, yağış türü ve miktarı, sileceklerin durumu, farların açık/kapalı konumu ile çekiş kontrol sistemlerinin durumu gibi parametreleri içerir.
- TMC: Bu merkezler; özel, ticari ve kamu araçlarından gelen çevresel verileri toplar, işleyerek sürücülere yönelik tavsiyeler ve uyarılar üretir.
- Alan ekipmanları: Yol kenarına yerleştirilen sensörler, çevresel verileri toplayarak CV RSU'ya iletir.

Toplanan ham veriler, kontrol merkezlerinde işlenerek yol segmenti bazlı veri çıktıları oluşturulur. Bu süreçte:

- Kısa vadeli uyarılar: Yol hava durumu sürücü uyarı algoritmaları kullanılarak birkaç dakika veya saatlik zaman dilimleri için uyarılar üretilir.

- Veri birleştirme: Toplanan veriler, meteorolojik tahminler ve diğer gözlemsel kaynaklarla bütünleştirilerek orta vadeli (2-12 saat) ve uzun vadeli (12 saatten fazla) yol hava durumu tavsiyeleri geliştirilir.
- Veri paylaşımı: Üretilen bilgiler hem sürücü bilgilendirme sistemlerine hem de ticari hizmet sağlayıcılarına iletilir.

VS07 hizmet paketi kapsamında kritik işlevlere sahip fiziksel nesneler Çizelge 4.12.'de, fonksiyonel nesneler Çizelge 4.13.'te, bilgi akışları Çizelge 4.14.'te açıklanmaktadır (ARC-IT, 2025j).

Çizelge 4.12. VS07 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
TMC	KGM trafik yönetim merkezleri ile büyükşehir belediyeleri trafik kontrol merkezleri.	Trafik akışını ve yol ağını merkezi olarak izleyen ve kontrol eden sistemdir; hava durumu verilerini sürücüler için anlamlı uyarılara dönüştürür.
TIC	KGM trafik yönetim merkezleri ile belediyelerin trafik kontrol merkezleri tarafından yürütülen yol durumu ve trafik bilgi işleme ve dağıtım sistemleri. Özel seyahat bilgisi sağlayıcıları (navigasyon uygulamaları, telematik firmaları).	Ulaşımla ilgili verilerin toplandığı, işlendiği ve hem sistem operatörlerine hem de seyahat eden halka sunulduğu merkezi bir sistem.
AUS Yol Ekipmanı	KGM ve belediyelere ait saha birimleri (çevre/trafik sensörleri, DMS, güvenlik kameraları).	Yola yerleştirilmiş; trafik izleme, trafik kontrolü ve yol durumu yönetimi görevlerini yerine getiren AUS ekipmanları (trafik dedektörleri, çevresel sensörler, DMS, CCTV vb.).
CV RSU	KGM ve büyükşehir belediyeleri (altyapı sahibi) ile telekomünikasyon/AUS çözüm sağlayıcı özel sektör şirketleri.	Yakın çevredeki araç ve kişisel cihazlarla iletişim kuran, kısa menzilli kablosuz haberleşme teknolojileriyle donatılmış RSU.
Bakım ve İnşaat Yönetim Merkezi (MCM)	KGM bakım ve işletme daireleri, belediyelerin fen işleri birimleri ve özel otoyol işletmecileri.	Yol altyapısının inşaat ve bakım faaliyetlerini (örneğin karla mücadele veya çalışma sahası güvenliği) izleyen ve yöneten merkezi bir yapı.
Temel Araç	OEM'ler ile bireysel araç sahipleri.	AUS elektroniği ile birlikte araç platformunu oluşturan temel mekanik ve elektronik sistemler.
Araç	OEM'ler tarafından sunulan bağlantılı araçlar ile özel araç sahiplerinin V2X uyumlu araçları ve akıllı cihaz tabanlı çözümleri.	V2V ve V2I iletişimini destekleyen sensör, işlemci, depolama ve iletişim bileşenlerini içeren araç platformu.
Sürücü	Bireysel ve ticari sürücüler.	Güvenlik uygulamaları kapsamında sistemle etkileşim kuran, aracı kontrol eden kişi.

Çizelge 4.12. (devam) VS07 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
Trafik Operasyonları Personeli	Trafik yönetim merkezi operasyon personeli, KGM yol işletme memurları.	Trafik kontrol ve gözetleme sistemleri ile etkileşime girerek, sistem operasyonlarını yönlendirmek amacıyla komut girişlerinde bulunan trafik yönetim merkezi personeli.
Yol Çevresi	KGM, büyükşehir belediyeleri (yol bakım ve işletme birimleri) ve özel otoyol işletmecileri.	Yol yüzeyi, işaretlemeler, trafik levhaları gibi fiziksel unsurlar ile sis, kar ve rüzgâr gibi çevresel koşullar.
Kara Taşımacılığı Hava Durumu Servisi	KGM, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, büyükşehir belediyeleri ve özel meteoroloji şirketleri.	Ulusal hava durumu servis verilerini, yol durumu bilgilerini ve yerel çevresel verileri kullanarak; hava durumu gözlemleri, yol yüzeyi sıcaklığı ve yol koşulları (buzlanma, ıslaklık vb.) gibi kara taşımacılığına özel gözlem ve tahminleri sağlar.
Hava Durumu Hizmet Sistemi	Meteoroloji Genel Müdürlüğü, AFAD, ulusal hava durumu servisleri gibi ana veri sağlayıcıları.	Genel atmosferik gözlemler (gök gürültülü fırtınalar, seller) ve tahminler (radar görüntüleri, uydu verileri vb.) hakkında uyarılar sağlar.

Çizelge 4.13. VS07 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
TMC	TMC Çevre İzleme	Mevcut ve tahmin edilen yol koşulları ile yüzey hava durumu bilgilerini; hava durumu servis sağlayıcılarından, diğer merkezlerden, yol kenarındaki çevresel sensörlerden ve bağlantılı araçlardan gelen verileri birleştirerek mevcut ve tahmin edilen yol koşullarını analiz eder. Toplanan çevresel bilgiler izlenir ve operatöre sunulur.
TMC	TMC Yol Hava Durumu Uyarıları ve Tavsiyeleri	Sürücüler ve seyahat edenler için yol hava durumu tavsiyeleri ve uyarıları sağlar.
TIC	TIC Veri Toplama	Diğer merkezlerden ulaşımla ilgili verileri toplar, veri kalitesini kontrol eder, verileri birleştirir, doğrular ve tutarlı bir formatta sunar. Toplanan veriler arasında trafik/yol koşulları, acil durum bilgileri, hava durumu verileri ve araçlardan gelen durum/sensör verileri bulunur.
TIC	TIC Yol Hava Durumu Uyarıları ve Tavsiyeleri	Bağlantılı araçlardan çevresel durum verilerini toplar, birleştirir ve işler. Toplanan çevresel koşullar bilgisi, ulaşım operasyonlarını ve yolcu bilgilendirme hizmetlerini desteklemek için diğer merkezlere dağıtılır.
AUS Yol Ekipmanları	Karayolu Çevre İzleme	Çevresel koşulları ölçer ve toplanan bilgileri bir merkeze ileterek izlenmesini ve analiz edilmesini sağlar ya da araçlarla iletişimi desteklemek için diğer saha cihazlarına iletilmesini sağlar. Sıcaklık, rüzgâr, nem, yol yüzeyi sıcaklığı, buzlanma ve tuzluluk gibi çeşitli hava ve yol yüzeyi bilgileri toplanabilir.
CV RSU	RSU Çevre İzleme	Kısa menzilli iletişim yeteneğine sahip araçlardan çevresel durum verilerini toplar. Toplanan veriler arasında araç içi sensörlerle ölçülen güncel çevresel koşullar (örn: ortam sıcaklığı), çevresel koşulları belirlemek için kullanılabilecek araç sistemlerinin durumu (örn: silecekler, ABS) ve araç tarafından bildirilen emisyon ölçümleri bulunur. Bu nesne, toplanan verileri bir merkeze gönderebilir veya yerel olarak işleyerek kısa vadeli yol hava durumu tavsiyeleri yayınlayabilir.

Çizelge 4.13. (devam) VS07 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
Araç	Araç Çevresel İzleme	Araç üzerindeki sensör verileri ve sistem durumu verileri (aracın silecek durumu, farların açık/kapalı olması, ABS gibi) aracılığıyla ortam hava sıcaklığı ve yağış miktarı gibi meteorolojik verileri toplar ve işler.
Araç	Araç Yolcu Bilgileri Alma	Sürücüler için hazırlanan kısa vadeli tavsiyeleri, araç içi ünite verilerini ve diğer önemli bilgilendirme mesajlarını alır. Bu kapsamda trafik ve yol koşulları, kaza/olay bilgileri, yol bakım çalışmaları, park durumu ve hava durumu gibi verileri sisteme girer.

Çizelge 4.14. VS07 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
TMC	CV RSU	Yol hava durumu uyarı bilgisi	Yol hava durumu tavsiye bilgilerinin toplanması, işlenmesi ve araçlara iletilmesi amacını taşır.
TMC	AUS Yol Kenarı Ekipmanı	Çevresel sensör kontrolü	Çevresel sensörlerin yapılandırılması ve kontrol edilmesi için gerekli verilerin iletilmesini içerir.
TMC	Kara Taşımacılığı Hava Durumu Servisi	Yol ağı çevresel durum verileri	Araçlardan ve diğer kaynaklardan toplanan hava sıcaklığı, araç sistemlerinden gelen durum verileri (silecek durumu gibi), güvenlik sistemleri aktivasyonları (ABS) gibi verileri içerir.
TMC	Hava Durumu Servis Sistemi	Yol ağı çevresel durum verileri	Araçlardan ve diğer kaynaklardan toplanan hava sıcaklığı, araç sistemlerinden gelen durum verileri (silecek durumu gibi), güvenlik sistemleri aktivasyonları (ABS) gibi verileri içerir.
TMC	TIC	Yol ağı koşulları	Mevcut trafik koşulları, yol durumu, kısıtlamalar, hava durumu gibi bilgileri içerir.
TMC	Trafik Operasyonları Personeli	Trafik operatörü verileri	Operatöre trafik koşulları, saha ekipmanının mevcut çalışma durumu, olay durumu, video görüntüleri ve güvenlik uyarıları dahil olmak üzere trafik operasyon verilerinin sunumudur.
Trafik Operasyonları Personeli	TMC	Trafik operatörü girişi	Trafik operasyon personelinden gelen; bilgi talepleri, konfigürasyon değişiklikleri ve trafik kontrol stratejilerinin ayarlanması (örneğin, DMS mesajlarını değiştirme) gibi girdiler.
CV RSU	TMC	Çevresel durum verileri	Araç sistem durumları (silecek durumu, dış aydınlatma (farlar) durumu, güneş sensörü ve yağmur sensörü verileri), güvenlik sistemleri (ABS) gibi verilerin anlamlı hale getirilerek iletilmesi.
CV RSU	TMC	Yol hava durumu uyarı durumu	RSU cihazının ve uyarı mesajlarının durumu hakkındaki verileri içerir.

Çizelge 4.14. (devam) VS07 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
CV RSU	Araç	Yol hava durumu uyarıları	Yolun sadece belli bir kesimine yönelik gerçek zamanlı hava ve yol yüzeyi koşulları tahmin ve uyarı verilerini içerir.
AUS Yol Kenarı Ekipmanı	CV RSU	Çevresel sensör verileri	Sabit ve mobil çevresel sensörler tarafından ölçülen yol koşulları (yüzey sıcaklığı, buzlanma durumu) ve hava koşullarını (rüzgar hızı, yağış) içeren veriler.
AUS Yol Kenarı Ekipmanı	TMC	Çevresel sensör verisi	Sabit ve mobil çevresel sensörler tarafından ölçülen yol koşulları (yüzey sıcaklığı, buzlanma durumu) ve hava koşullarını (rüzgar hızı, yağış) içeren veriler.
Yol Çevresi	AUS Yol Kenarı Ekipmanı	Çevresel koşullar	Çevresel sensörlerle ölçülen yol koşulları ve hava durumu verilerini içerir.
Yol Çevresi	Araç	Çevresel koşullar	Çevresel sensörlerle ölçülen yol koşulları ve hava durumu verilerini içerir.
Yol Çevresi	Araç	Yol özellikleri	Yol yüzeyi, sürtünme katsayısı ve geometrik koşullar hakkında veriler.
Kara Taşımacılığı Hava Durumu Servisi	TMC	Ulaşım hava durumu bilgileri	Yol yüzeyi koşulları (kaldırım/asfalt sıcaklığı ve yüzeyin durumu (buzlu, ıslak vb.)) ve hava durumu olayları gibi bilgiler ile ulaşım ağına özel hazırlanmış tahminleri içerir.
Hava Durumu Servis Sistemi	TMC	Hava durumu bilgileri	Hava sıcaklığı, hava basıncı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, nem oranı, yağış miktarı gibi hava durumu tahminleri ve mevcut hava koşulları bilgilerini içerir.
TIC	MSM	Yol ağı çevresel durum verileri	Araçlardan ve diğer kaynaklardan toplanan hava sıcaklığı, araç sistemlerinden gelen durum verileri (silecek durumu gibi), güvenlik sistemleri aktivasyonları (ABS) gibi verileri içerir.
TIC	Kara Taşımacılığı Hava Durumu Servisi	Yol ağı çevresel durum verileri	Araçlardan ve diğer kaynaklardan toplanan hava sıcaklığı, araç sistemlerinden gelen durum verileri (silecek durumu gibi), güvenlik sistemleri aktivasyonları (ABS) gibi verileri içerir.
TIC	TMC	Yol ağı çevresel durum verileri	Araçlardan ve diğer kaynaklardan toplanan hava sıcaklığı, araç sistemlerinden gelen durum verileri (silecek durumu gibi), güvenlik sistemleri aktivasyonları (ABS) gibi verileri içerir.
TIC	Araç	Yol hava durumu uyarıları	Yolun sadece belli bir kesimine yönelik gerçek zamanlı hava ve yol yüzeyi koşulları tahmin ve uyarı verilerini içerir.

Çizelge 4.14. (devam) VS07 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
TIC	Hava Durumu Servis Sistemi	Yol ağı çevresel durum verileri	Araçlardan ve diğer kaynaklardan toplanan hava sıcaklığı, araç sistemlerinden gelen durum verileri (silecek durumu gibi), güvenlik sistemleri aktivasyonları (ABS) gibi verileri içerir.
Sürücü	Araç	Sürücü girişi	Sürücü tarafından doğrudan araç ekipmanına verilen komutlar, ayarlar ve etkileşimli girdiler.
Temel Araç	Araç	Sürücü giriş bilgileri	Araç veri yolundan alınan sürücü komutları, ayarlar, etkileşimli talepler ve yapılandırma verileri.
Temel Araç	Araç	Ana araç durumu	Güç aktarma organı, direksiyon, fren sistemleri ve diğer güvenlik/konfor sistemlerinin mevcut durumu dahil olmak üzere araç platformundaki diğer sistemlerden OBU'ya iletilen bilgiler.
Araç	Temel Araç	Sürücü güncelleme bilgileri	Sürücüye mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler ve araç üzerindeki ekipmanın durumu hakkında bilgi sağlayan sürücü/araç arayüzü.
Araç	CV RSU	Araç çevresel verileri	Aracın üzerindeki sensörler ve sistemler aracılığıyla toplanan konum ve zaman bazlı hava durumu (Ölçülen dış hava sıcaklığı, güneş sensörü ve yağmur sensörü verileri), araç sistem durumları (sileceklerin çalışma durumu, dış aydınlatma (farlar) durumu) anlık çevresel bilgileri) kritik güvenlik olayları (ABS) gibi verilerini içerir.
Araç	TIC	Araç çevresel verileri	Aracın üzerindeki sensörler ve sistemler aracılığıyla toplanan konum ve zaman bazlı hava durumu (Ölçülen dış hava sıcaklığı, güneş sensörü ve yağmur sensörü verileri), araç sistem durumları (sileceklerin çalışma durumu, dış aydınlatma (farlar) durumu) anlık çevresel bilgileri) kritik güvenlik olayları (ABS) gibi verilerini içerir.
Araç	Sürücü	Sürücü güncellemeleri	Sürücüye mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler ve araç üzerindeki ekipmanın durumu hakkında bilgi sağlayan sürücü/araç arayüzü.

Örnek Senaryo Yol Hava Durumu Sürücü Uyarısı ve İkazı Hizmet Paketi: Bu senaryo, otoyol kesiminde ani ve yerel buzlanma riskinin tespit edilmesini ve bu bilginin bağlantılı araç sürücülerine anlık olarak iletilmesini konu almaktadır.

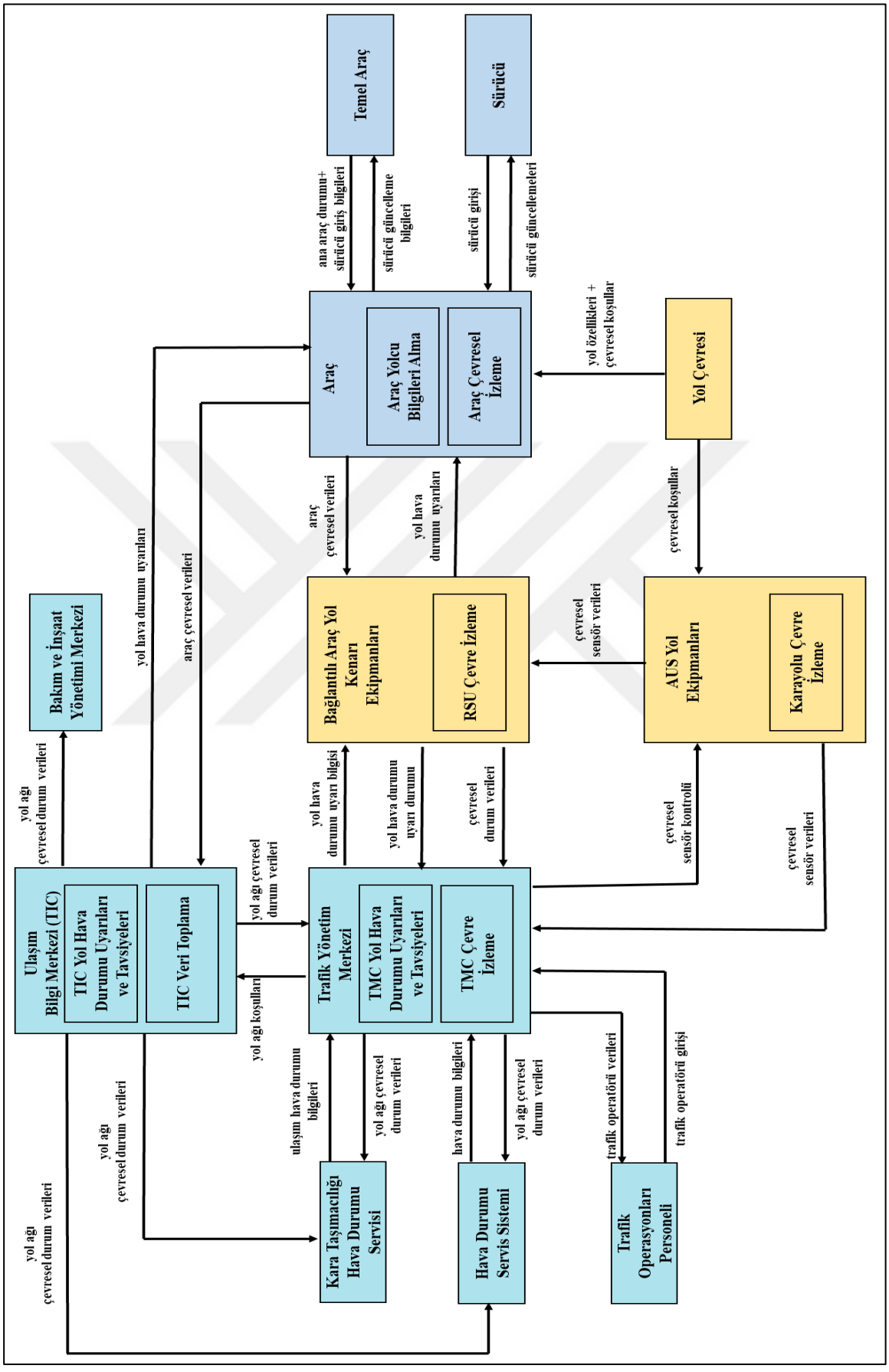
- Aşama 1: Prob Verilerinin ve Sabit Verilerin Toplanması (Veri Girişi)

- Araç Verisi Üretimi: Otoyolun kritik kesimlerinde (örneğin viyadük, gölgeli bölge veya dere geçişi gibi) seyreden bağlantılı araçlar, donma sıcaklığına yaklaşıldığında veya buzlanma belirtileri başladığında çevresel prob verilerini otomatik olarak üretir. Bu veriler; ortam hava sıcaklığı ve tahmini yol yüzeyi sıcaklığı, çekiş kontrol (ABS/ESP) sisteminin devreye girme durumu (sürtünme kaybı göstergesi), silecek çalışma durumu (yağış yoğunluğu göstergesi) bilgilerini içerir.
- RSU Tarafından Anlık Bilgi Toplama: Kritik kesimlerde konumlandırılmış RSU'lar, araçlardan kısa menzilli haberleşme (DSRC/C-V2X) aracılığıyla çevresel prob verilerini alır, ön işlemden geçirir ve analiz edilmek üzere TMC'ye iletir.
- Sabit Sensör Verisi: Aynı bölgede bulunan AUS Yol Ekipmanı (Yol Hava Durumu Bilgi Sistemleri, RWIS), sabit meteorolojik ve yol yüzeyi sensörlerinden elde ettiği verileri TMC'ye gönderir.

- Aşama 2: Veri İşleme ve Uyarı Üretimi
  - Veri Analizi ve Entegrasyon: TMC, RSU'lardan gelen yoğun prob verilerini ve AUS sensörlerinden elde edilen sabit sensör verilerini birleştirir. Bu veriler, trafik akışı bilgileriyle bütünleştirilerek yol segmenti bazında anlık tehlike tahmini modeli çalıştırılır.
  - Kısa Vadeli Uyarı Algoritması: Elde edilen sonuçlara dayanarak, sistem belirli bir yol kesiminde (örneğin kilometre 55-60 arasında) buzlanma riskinin hızla arttığını saptar. TMC, kısa vadeli yol hava durumu sürücü uyarı algoritmasını çalıştırarak "kısa vadeli sürücü uyarıları" üretir.
  - Uyarı Mesajı Oluşturma: TMC, tespit edilen risk durumuna ilişkin standardize edilmiş bir uyarı mesajı üretir. Örnek: "Dikkat! 5 km ileride ani buzlanma riski. Yol yüzeyi kaygan olabilir." Bu mesaj RSU'lara ve seyahat bilgilerinin dağıtımından sorumlu diğer ulaşım yönetim merkezlerine iletilir.
- Aşama 3: Uyarının Sürücülere Yayılması
  - Doğrudan Araçlara İletim (CV RSU): TMC tarafından oluşturulan kısa vadeli buzlanma uyarıları, ilgili bölgedeki RSU cihazlarına aktarılır. RSU, bu uyarıları kısa menzilli haberleşme teknolojisiyle doğrudan bölgedeki bağlantılı araçlara iletir. Böylece sürücüler, tehlike bölgesine girmeden önce anlık olarak bilgilendirilir.
  - Geniş Kitleye İletim: Aynı uyarı bilgisi, TMC tarafından TIC'a gönderilir. Bu merkezler, bu verileri navigasyon uygulamaları, mobil seyahat bilgi sistemleri veya internet tabanlı servisler aracılığıyla geniş kullanıcı kitlesine sunar.

- Aşama 4: Sürücü Eylemi
    - Uyarıyı Alma ve Sunma: Araç, uyarı mesajlarını RSU veya merkezler üzerinden alır ve Araç Yolcu Bilgileri Alma fonksiyonu aracılığıyla işler.
    - Sürücüye Bildirim: OBU, gelen uyarıyı sürücünün dikkatini dağıtmayacak biçimde sunar. Örneğin, navigasyon ekranında kırmızı bir tehlike ikazı belirir ve sesli uyarı ile sürücü bilgilendirilir.
    - Güvenlik Tepkisi: Sürücü, aldığı uyarıya uygun olarak hızını düşürür, takip mesafesini artırır veya sürüş stratejisini değiştirir. Böylece potansiyel kaza riski azaltılmış olur.

Yol hava durumu sürücü uyarısı ve ikazı hizmet paketi fiziksel görünümü Şekil 4.5.'te yer almaktadır (ARC-IT, 2025j).



Şekil 4.5. Yol hava durumu sürücü uyarısı ve ikazı hizmet paketi fiziksel görünümü

VS07 hizmet paketinin karşılamayı hedeflediği temel ihtiyaçlar ve bunlara ilişkin sistem gereksinimleri aşağıda özetlenmiştir:

İhtiyaç 1- Araçlardan Çevresel Veri Toplama: Trafik operasyonlarının motorlu taşıtlara yönelik uyarı ve tavsiyeler sunabilmesi için araçlardan çevresel verilerin toplanması gerekmektedir. Bu veriler, hava kalitesi, emisyonlar, sıcaklık, yağış ve yol-hava koşulları gibi unsurları kapsamakta olup, saha ekipleri ve araçlar aracılığıyla toplanarak merkeze iletilmektedir. Merkez, araçlardan, toplu taşıma filo operatörlerinden ve elektronik gişe sistemlerinden gelen çevresel ve trafik verilerini toplamakta, bütünleştirmekte ve diğer merkezlerle paylaşmaktadır. Araçlar, çevresel sensörler ve güvenlik sistemleri (silecek, far durumu, çekiş kontrolü) aracılığıyla elde edilen verileri, konum ve zaman bilgileriyle birlikte merkeze ve saha ekipmanlarına iletmektedir.

İhtiyaç 2- Uyarı ve Tavsiye Üretimi: Trafik operasyonlarının yol hava durumu uyarıları ve tavsiyeleri oluşturabilmesi için güncel ve geçmiş verilerin işlenmesi gerekmektedir. Bu veriler, yol koşulları, hava durumu, trafik yoğunluğu, transit bilgileri ve özel etkinlikleri içermektedir. Verilerin işlenmesi, sürücüler için kısa vadeli uyarı ve tavsiyelerin oluşturulmasını sağlamaktadır. Mevcut ve tahmini yol koşulları ile hava koşulları, merkez tarafından toplanmakta, işlenmekte ve depolanmaktadır. Merkez ayrıca çevresel yol verilerini diğer ulaşım merkezleri ve hava durumu sistemlerine aktararak birleştirir ve çevresel araştırma verileri oluşturur. Bu doğrultuda, sürücülere saha ekipmanları aracılığıyla kısa vadeli yol hava durumu uyarıları ve tavsiyeleri iletilecektir.

İhtiyaç 3- Sürücüye Bilgi Aktarımı: Sürücüler, trafik operasyonları, yol hava durumu uyarıları ve tavsiyelerini araç içi sistemler aracılığıyla almalıdır. Bu bilgiler, sürücünün güvenliğini artırmaya yönelik olarak zamanında ve doğru şekilde iletilmeli, yol koşulları hakkında farkındalık sağlanmalıdır. Saha ekipleri, topladıkları verileri yerel olarak işleyip, kısa menzilli iletişim teknolojileriyle yol kesimi için kısa vadeli hava durumu uyarılarını yayınlayacaktır. Araçlar, trafik ve yol koşulları, olaylar, bakım çalışmaları, toplu taşıma, park alanları, sınır geçişleri ve hava durumu gibi bilgileri kabul edecek ve ayrıca tahliye duyuruları, hız sınırları, tünel kısıtlamaları gibi özel bilgilendirme mesajlarını alabilecektir. Statik trafik işaretleri, sinyal durumu ve yerel çevresel sensörlerden alınan dinamik yol koşulları da iletilecektir. Tüm bilgiler, araç içi ekranlar ve sesli bildirimler aracılığıyla sürücüye sunulacaktır.

İhtiyaç 4- Yol Kenarı Sensörlerinden Veri Toplama: Trafik operasyonlarının, yol yüzeyindeki veya yakınındaki çevresel sensörlerden yol koşulları ve hava durumu verilerini toplayabilmesi gerekmektedir (ARC-IT, 2025j).

WTC hizmeti, Gün 1 K-AUS hizmetlerinden biri olup sürücülerin araç içi bilgi sistemleri aracılığıyla mevcut veya beklenen hava koşulları ve yol durumları hakkında bilgilendirilmesini sağlamaktadır (C-Roads, 2025d:24-253; European Commission, 2016b:11-201). Bu hizmet paketi ile Türkiye'de, sürücülerin güncel hava koşulları hakkında bilgilendirilmesi ve sürücülere hava durumu hakkında doğru ve zamanında bilgi sunularak trafik güvenliğinin artırılması hedeflenmektedir. Görsel olarak zor algılanabilen tehlikeler, örneğin kara buz veya kuvvetli yan rüzgarlar gibi, karşısında sürücülere kritik bilgiler sağlanarak, bu tehlikeler karşısında hazırlıklı olmaları desteklenir. Böylece, kaza sayısının ve kazaların şiddetinin azaltılmasına katkı sağlanmaktadır. Bu kapsamda hizmet paketinin katkıda bulunmayı amaçladığı hedefler şunlardır (ARC-IT, 2025j);

- Sürücülere tehlikeli hava koşulları hakkında önceden uyarılar yaparak kazaların riskini azaltmak.
- Hava durumu olaylarının yol açtığı tıkanıklıkları azaltmak.
- Yolcu ve yük taşıma için daha güvenli, etkili ve erişilebilir bir ulaşım sağlamak.
- Çevresel sensörler, trafik merkezleri ve araçlar arasında veri akışını ve iş birliğini sağlayarak ulaşım sistemlerinin entegrasyonunu güçlendirmek.
- VMS, RWIS ve diğer kamu bilgilendirme kanalları aracılığıyla, yolculara hava durumu etkilerini hızlı ve etkili bir şekilde iletmek.
- Seyahatle ilgili hava durumu bilgilerinin iletim süresini kısaltarak hava olaylarına yönelik yolcuların zamanında uyarılmasını sağlamak.

VS08- Kuyruk uyarısı (queue warning)

VS08 hizmet paketi, araçlara kuyruk uyarıları ileterek arkadan çarpmaların veya diğer ikincil çarpışmaların meydana gelme olasılığını en aza indirmektedir. Hizmet paketi, bir çarpışma önleme sistemi olarak tasarlanmamış olup, olası kaza durumları ortaya çıkmadan önce sürücüye bilgi ve uyarı sağlayarak, çarpışmadan kaçınma veya hafifletme eylemlerini kolaylaştırmayı amaçlamaktadır. Paket iki temel işlevi yerine getirmektedir:

- Kuyruk Belirleme (Tespit ve/veya Tahmin): Sistem, bağlantılı araç verileri ve altyapı tabanlı sensörlerden yararlanarak kuyruk oluşumunu gerçek zamanlı olarak tespit etmekte veya oluşabilecek kuyrukları tahmin etmektedir.
- Kuyruk Bilgisinin Yayılması: Tespit edilen kuyruk bilgisi; araç tabanlı, altyapı tabanlı veya hibrit iletişim yöntemleri ile yakın çevredeki araçlara ve ilgili merkezlere (örneğin TMC) otomatik olarak iletilmektedir.

Bu kapsamda, kuyruk içinde bulunan araçlar, bağlantılı araç teknolojilerini kullanarak (V2I, V2V) hızlı yavaşlama, durma, şerit konumu gibi durumsal bilgileri çevredeki araçlara aktarmaktadır. Sürücüye iletilen bilgiler ve uyarılar şunları içerir:

- Araç, diğer araçlardan ve altyapı sistemlerinden kuyruk uyarısı mesajları alır.
- Altyapı (RSU Kuyruk Uyarısı) araca, kuyruk durumuna yönelik tepki stratejilerini (hız azaltma, şerit değiştirme, yönlendirme tavsiyeleri) iletir.
- TMC hem altyapı hem de bağlantılı araçlardan gelen verileri kullanarak yerel trafik, hava ve yol koşullarına uygun kuyruk tepki stratejilerini (hız azaltma, şerit değiştirme, yönlendirme) belirler.
- Araç, kuyruk uyarısı ve kuyruk karakteristik bilgilerini (kuyruk sonuna olan mesafe, kuyruk uzunluğu, etkilenen şeritler vb.) sürücüye aktarır.
- Uyarılar sürücüye işitsel, görsel veya dokunsal ikazlar şeklinde sunulur.
- Araç, kuyruk durumu bilgilerini diğer bağlantılı araçlarla paylaşır.

VS08 hizmet paketinin üç temel uygulama biçimi mevcuttur:

- Geleneksel AUS Kuyruk Uyarısı
  - Altyapıdaki trafik dedektörleri ve hız sensörleri aracılığıyla araç hızları ölçülür.
  - Geleneksel AUS varlıkları, örneğin; DMS, sürücülere uyarı sağlamak için kullanılır.
  - Bu uygulama, bağlantılı araç RSU veya doğrudan OBU arayüzlerini içermez.
- WAW Kuyruk Uyarısı (Geniş Alan Kablosuz)
  - Donanımlı araçlara kuyruk uyarısı bilgisi iletmek için WAW iletişimi kullanılır.
  - Kuyruk tespiti, araçlardan gelen WAW durum raporları ve/veya altyapı tabanlı sensör verilerinin birlikte değerlendirilmesiyle gerçekleştirilir.

- K-AUS Kuyruk Uyarısı
  - Kuyruğa yaklaşan ve kuyruktaki araçlar arasında doğrudan V2I ve V2V paylaşımını destekleyen kısa menzilli iletişim kullanılır.
  - Altyapı, kısa menzilli iletişimi izleyerek kuyruk yönetimine yönelik stratejiler geliştirir.
  - CV RSU arayüzleri bu uygulamada zorunludur; ancak donanımlı ve donanımsız araçların karışımını desteklemek için diğer AUS Yol Ekipmanları arayüzleri, isteğe bağlı olarak kullanılabilir.

VS08 hizmet paketi kapsamında kritik işlevlere sahip temel nesneler Çizelge 4.15.'te, fonksiyonel nesneler Çizelge 4.16.'da, bilgi akışları Çizelge 4.17.'de açıklanmaktadır (ARC-IT, 2025k).

Çizelge 4.15. VS08 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
TMC	KGM trafik yönetim merkezleri ile büyükşehir belediyeleri trafik kontrol merkezleri.	Trafik akışını ve yol ağını merkezi olarak izleyen ve kontrol eden sistemdir. Sahadan ve bağlantılı araçlardan toplanan verileri işleyerek kuyruk oluşumlarını, kuyruğun tam konumunu, uzunluğunu ve tahmini süresini tespit eder ve yönetim stratejileri oluşturur.
CV RSU	KGM ve büyükşehir belediyeleri (altyapı sahibi) ile telekomünikasyon/AUS çözüm sağlayıcı özel sektör şirketleri.	Yakın çevredeki araç ve kişisel cihazlarla iletişim kuran, kısa menzilli kablosuz haberleşme teknolojileriyle donatılmış RSU.
AUS Yol Ekipmanları	KGM ve belediyelere ait saha birimleri (çevre/trafik sensörleri, DMS, güvenlik kameraları).	Yola yerleştirilmiş; trafik izleme, trafik kontrolü ve yol durumu yönetimi görevlerini yerine getiren AUS ekipmanları (trafik dedektörleri, çevresel sensörler, DMS, CCTV vb.).
Araç	OEM'ler tarafından sunulan bağlantılı araçlar ile özel araç sahiplerinin V2X uyumlu araçları ve akıllı cihaz tabanlı çözümleri.	V2V ve V2I iletişimini destekleyen sensör, işlemci, depolama ve iletişim bileşenlerini içeren araç platformu.
Sürücü	Bireysel ve ticari sürücüler.	Güvenlik uygulamaları kapsamında sistemle etkileşim kuran, aracı kontrol eden kişi.
TIC	KGM trafik yönetim merkezleri ile belediyelerin trafik kontrol merkezleri tarafından yürütülen yol durumu ve trafik bilgi işleme ve dağıtım sistemleri. Özel seyahat bilgisi sağlayıcıları (navigasyon uygulamaları, telematik firmaları).	Ulaşımla ilgili verilerin toplandığı, işlendiği ve hem sistem operatörlerine hem de seyahat eden halka sunulduğu merkezi bir sistem. TMC veya diğer merkezlerden gelen gerçek zamanlı trafik kontrol bilgilerini ve uyarıları toplayarak, kuyruk bilgilerini araçlara ve mobil cihazlara iletir.
Trafik Operasyonları Personeli	Trafik yönetim merkezi operasyon personeli, KGM yol işletme memurları.	Trafik kontrol ve gözetleme sistemleri ile etkileşime girerek, sistem operasyonlarını yönlendirmek amacıyla komut girişlerinde bulunan trafik yönetim merkezi personeli.

Çizelge 4.15. (devam) VS08 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
Diğer Trafik Yönetim Merkezleri	Komşu büyükşehir belediyelerinin TMC'leri, KGM bölge müdürlükleri.	Komşu veya üst düzey trafik merkezleri arasında, kuyruk oluşumlarını etkileyebilecek yol ağı koşulları verilerinin paylaşılmasına olanak tanır.
Temel Araç	OEM'ler ile bireysel araç sahipleri.	AUS elektroniği ile birlikte araç platformunu oluşturan temel mekanik ve elektronik sistemler.
Diğer Araçlar	Donanımlı diğer bağlantılı araçlar (V2V iletişim ortağı).	Ana araç ile iletişim kuran diğer bağlantılı araçlar. V2V iletişimi için kaynak ve hedef sağlar.
Yol çevresi	KGM, büyükşehir belediyeleri (yol bakım ve işletme birimleri) ve özel otoyol işletmecileri.	Yol yüzeyi, işaretlemeler, trafik levhaları gibi fiziksel unsurlar ile sis, kar ve rüzgâr gibi çevresel koşullar.
Araç Özellikleri	OEM'ler ve resmi tescil kurumları.	Araçların yüksekliği, ağırlığı ve aks sayısı gibi fiziksel ve görünür nitelikleri.

Çizelge 4.16. VS08 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
CV RSU	RSU Çevre İzleme	Kısa menzilli kablosuz iletişim teknolojisine sahip RSU'lar tarafından, yoldan geçen araçlardan çevresel durum (probe) verilerinin toplanması, filtrelenmesi ve işlenmesi işlevini kapsar.
CV RSU	RSU Kuyruk Uyarısı	Yol kenarındaki RSU cihazları üzerinden V2I iletişimi ile gerçek zamanlı olarak trafik kuyruklarını tespit etme, izleme ve trafik yönetim merkezinden gelen bilgileri araçlara iletme işlevini sağlar.
CV RSU	RSU Trafik İzleme	Bağlantılı araçlardan gelen temel güvenlik mesajlarını izleyerek, bu verileri trafik akış ölçümlerine (hız, hacim) dönüştürme ve potansiyel olayları tespit etme işlevini sağlar.
AUS Yol Ekipmanları	Yol Temel Gözetimi	Loop dedektörleri ve CCTV kameraları gibi geleneksel AUS ekipmanlarını kullanarak trafik koşullarını izler ve veri toplar.
AUS Yol Ekipmanları	Yol Çevre İzleme	Yol yüzeyi ve hava koşulları (sıcaklık, rüzgar, yağış gibi) dahil olmak üzere çevresel koşulları ölçer ve toplanan verileri merkeze iletir.
AUS Yol Ekipmanları	Yol Uyarısı	Dinamik uyarı işaretleri veya yanıp sönen ışıklar gibi saha ekipmanları kullanarak, sürücüleri yol üzerindeki tehlikelere (örneğin, kuyruklar) yaklaşırken uyarır.
TMC	TMC Temel Gözetim	Sahadaki trafik akışını izlemek, verileri toplamak ve bu verileri hem operatörlere hem de diğer merkezlere sunmak için kullanılan merkezi izleme ve veri yönetim birimi.
TMC	TMC Çevre İzleme	Çevresel koşulların (sis, aşırı yağış vb.) görüşü azaltması veya yol tutuşunu bozması durumunda oluşabilecek kuyruklanma risklerini önceden tahmin etmek ve buna göre hız sınırlarını düzenlemek için kullanılır.
TMC	TMC Yol Kenarı Uyarısı	TMC, saha cihazlarını (DMS/değişken mesaj işaretleri) kullanarak yol uyarı sistemlerini yönetir ve operasyonel personel için arayüz sağlar.

Çizelge 4.16. (devam) VS08 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
TIC	TIC Durum Veri Yönetimi	Seyahat bilgilerini ve trafik verilerini toplayıp birleştirerek saklar ve diğer merkezler için operasyonel veriler sağlar, yolcular için uyarı arayüzleri oluşturur.
TIC	TIC Trafik Kontrol Dağıtımı	Kavşak durumu ve trafik kontrol bilgileri dahil olmak üzere bilgileri, karayolu ağındaki araçlara ve mobil cihazlara dağıtır.
Araç	Araç Temel Güvenlik İletişimi	Araç özellikleri, konumu ve hareket bilgilerini yakın çevredeki diğer araçlarla paylaşır; çarpışma potansiyeli algılandığında sürücüyü uyarır.
Araç	Araç Çevre İzleme	Araç üzerindeki sensör verileri ve sistem durumu verilerinin (aracın silecek durumu, farların açık/kapalı olması, ABS gibi) işlenmesini sağlar.
Araç	Araç Kuyruk Uyarısı	Aracın hem kendi bulunduğu kuyruk durumunu algılamasını hem de çevresindeki diğer araçlardan veya altyapıdan gelen kuyruk bilgilerini sürücüye iletmesini sağlar.
Araç	Araç Durum Verisi İzleme	Araç seyir halindeyken trafik ve çevresel durum verilerini toplar ve bu verilerin altyapı merkezlerine (TMC/TIC) iletilmesi için hazırlanmasını sağlar.
Araç	Araç Yolcu Bilgileri Alma	Araç içi birimlerin seyahat edenlere ve sürücülere yönelik seyahat bilgi verilerini (kuyruk uyarıları dahil) almasını ve sürücüye sunulmasını sağlar.

Çizelge 4.17. VS08 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
CV RSU	TMC	Çevresel durum verileri	Araç sistem durumları (silecek durumu, dış aydınlatma (farlar) durumu, güneş sensörü ve yağmur sensörü verileri), güvenlik sistemleri (ABS) gibi verilerin anlamlı hale getirilerek iletilmesi.
CV RSU	TMC	Kuyruk uyarısı uygulama durumu	RSU tarafından ölçülen araç hızlarının kaydını ve tespit edilen kuyruk bilgilerini içerir.
CV RSU	TMC	Trafik durumu verileri	Bağlantılı araçlardan toplanan trafik verileri (hız, sayım ve diğer türetilmiş ölçümler) iletir.
CV RSU	AUS Yol Ekipmanı	Trafik durumu verileri	Bağlantılı araçlardan toplanan trafik verileri (hız, sayım ve diğer türetilmiş ölçümler) iletir.
CV RSU	Araç	Kuyruk uyarı bilgisi	Oluşmuş veya oluşmakta olan kuyruklarla ilgili bilgiler; kuyruk sonu konumu, tahmini süresi ve hız azaltma veya yönlendirme tavsiyeleri.
CV RSU	Araç	Araç tabela verileri	Yol kenarındaki fiziksel levhaların ve sinyallerin dijital bir kopyasının veya tamamlayıcı bilgilerinin araç içine aktarılması.
AUS Yol Ekipmanı	CV RSU	Araç tabelaları yerel verileri	Saha ekipmanlarının (örneğin yol kenarındaki dinamik mesaj işaretleri) o anda sürücülere fiziksel olarak ne gösterdiğini dijital sisteme bildirir ve bu bilgilerin araç içi ekranlara yansıtır.
AUS Yol Ekipmanı	Sürücü	Sürücü bilgileri	Sürücüye güvenli ve verimli araç kullanımı için sağlanan düzenleyici, uyarı, rehberlik ve diğer bilgileri içerir.

Çizelge 4.17. (devam) VS08 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
AUS Yol Ekipmanı	TMC	Çevresel sensör verileri	Sabit ve/veya mobil çevresel sensörler tarafından ölçülen yol koşulları ve yüzey hava koşulları (sıcaklık, rüzgâr hızı, yağış, görüş mesafesi) bilgisini içerir.
AUS Yol Ekipmanı	TMC	Yol uyarı sistemi durumu	Karayolu uyarı sistemlerinin (DMS gibi) mevcut çalışma durumu hakkında bilgi içerir.
AUS Yol Ekipmanı	TMC	Trafik dedektörü verileri	Sahadaki dedektörlerden (indüktif döngüler, video sensörleri vb.) elde edilen trafik akış değişkenleri (araç hızı, trafik hacmi (sayısı) ve yoğunluk/doluluk ölçümleri gibi ham veya işlenmiş veriler) ile Durum (trafik dedektör sistemlerinin mevcut operasyonel durumu (çalışıp çalışmadığı veya hata verip vermediği bilgisi)) verilerini iletir.
AUS Yol Ekipmanı	TMC	Trafik görüntü meta verileri	Gerçek zamanlı trafik görüntüleriyle ilgili yüksek doğruluklu meta verilerini iletir.
AUS Yol Ekipmanı	TMC	Trafik görüntüleri	Trafik izleme, analiz ve makine görüşü uygulamalarına yönelik olarak operatör kullanımına sunulan; yüksek doğrulukta, gerçek zamanlı ve görüntü içeriği barındıran trafik görüntü akışları.
TMC	Diğer TMC	Yol ağı koşulları	Diğer merkezlerin, yol ağı koşulları hakkında bilgi sahibi olmasını sağlayan mevcut trafik durumu ve kısıtlamalar hakkında bilgiler.
TMC	Trafik Operasyon Personeli	Trafik operatör verileri	Trafik operasyonu için operatöre sunulan trafik koşulları, saha ekipmanının durumu ve video görüntüleri.
TMC	TIC	Yol ağı koşulları	Seyahat eden halka yol ağı koşullarını sunmak amacıyla sağlanan bilgiler.
TIC	Araç	Kuyruk uyarı bilgisi	Oluşmuş veya oluşmakta olan kuyruklarla ilgili bilgiler; kuyruk sonu konumu, tahmini süresi ve hız azaltma veya yönlendirme tavsiyeleri.
TIC	Araç	Araç durum veri parametreleri	Araçtan hangi tür verilerin veya anlık görüntülerin istendiğini belirler.
Araç	CV RSU	Gözetim için araç konumu ve hareketi	Bağlantılı araçların çevrelerindeki altyapı ünitelerine kendi durumları hakkında yayınladığı; aracın konumu, üç boyutlu hareketi ve zaman bilgisi gibi verileri.
Araç	CV RSU	Araç kontrol olayı	Araç tarafından gerçekleştirilen, çevredeki araçların güvenliğini etkileyebilecek acil manevraların (sert frenleme, çekiş kontrol aktivasyonu vb.) bilgisi.
Araç	Sürücü	Sürücü güncellemeleri	Sürücüye mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler ve araç üzerindeki ekipmanın durumu hakkında bilgi sağlayan sürücü/araç arayüzü.
Araç	Diğer Araçlar	Araç kontrol olayı	Aracın çevresindeki araçların güvenliğini etkileyebilecek acil bir manevra veya eylem (sert frenleme, çekiş kontrolü gibi) gerçekleştirdiğinde yaptığı bildirim.
Araç	Diğer Araçlar	Araç konumu ve hareketi	Araç konumu ve hareketi ile ilgili, diğer araçlarla paylaşılmak üzere yayınladığı veriler.

Çizelge 4.17. (devam) VS08 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Diğer Araçlar	Araç	Araç kontrol olayı	Aracın çevresindeki araçların güvenliğini etkileyebilecek acil bir manevra veya eylem (sert frenleme, çekiş kontrolü gibi) gerçekleştirdiğinde yaptığı bildirim.
Diğer Araçlar	Araç	Araç konumu ve hareketi	Araç konumu ve hareketi ile ilgili, diğer araçlarla paylaşılmak üzere yayınladığı veriler.
Araç	TIC	Araç durum verileri	Araç seyahat ederken toplanan ve filtrelenmiş trafik ve çevresel durum verileri.
Sürücü	Araç	Sürücü girişi	Sürücü tarafından doğrudan araç ekipmanına verilen komutlar, ayarlar ve etkileşimli girdiler.
Temel Araç	Araç	Ana araç durumu	Güç aktarma organı, direksiyon, fren sistemleri ve diğer güvenlik/konfor sistemlerinin mevcut durumu dahil olmak üzere araç platformundaki diğer sistemlerden OBU'ya iletilen bilgiler.
Trafik Operasyonları Personeli	TMC	Trafik operatörü girişi	Trafik operasyon personelinden gelen; bilgi talepleri, konfigürasyon değişiklikleri ve trafik kontrol stratejilerinin ayarlanması (örneğin, DMS mesajlarını değiştirme) gibi girdiler.
TMC	AUS Yol Ekipmanları	Trafik dedektörü kontrolü	İndüktif döngü dedektörleri ve makine görüş sensörleri gibi trafik dedektör sistemlerini yapılandırma ve kontrol etme bilgisi.
TMC	AUS Yol Ekipmanları	Video gözetim kontrolü	Video gözetim sistemlerini yapılandırma ve kontrol etme bilgisi.
TMC	AUS Yol Ekipmanları	Çevresel sensör kontrolü	Çevresel sensörleri yapılandırma ve kontrol etme bilgisi.
AUS Yol Ekipmanları	TMC	Yol uyarı sistemi durumu	Karayolu uyarı sistemlerinin (DMS gibi) mevcut çalışma durumu hakkında bilgi.
Araç Özellikleri	AUS Yol Ekipmanları	Araç Özellikleri	Araçların tespit, sınıflandırma ve izleme süreçlerinde kullanılan fiziksel veya gözlemlenebilir özellikleri.
Araç Özellikleri	Araç	Araç Özellikleri	Araçların tespit, sınıflandırma ve izleme süreçlerinde kullanılan fiziksel veya gözlemlenebilir özellikleri.
Yol Çevresi	AUS Yol Ekipmanları	Çevre koşulları	Çevresel sensörler tarafından ölçülen yol koşulları (yüzey sıcaklığı, nem, buzlanma durumu) ve yüzey hava koşulları (hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, görüş mesafesi).
Yol Çevresi	Araç	Yol özellikleri	Yol yüzeyi, sürtünme katsayısı ve geometrik koşullar hakkında veriler.
Yol Çevresi	Araç	Çevre koşulları	Çevresel sensörler tarafından ölçülen yol koşulları (yüzey sıcaklığı, nem, buzlanma durumu) ve yüzey hava koşulları (hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, görüş mesafesi).
Araç	CV RSU	Araç çevresel verileri	Aracın üzerindeki sensörler ve sistemler aracılığıyla toplanan konum ve zaman bazlı hava durumu (Ölçülen dış hava sıcaklığı, güneş sensörü ve yağmur sensörü verileri), araç sistem durumları (sileceklerin çalışma durumu, dış aydınlatma (farlar) durumu) anlık çevresel bilgileri) kritik güvenlik olayları (ABS) gibi verileri içerir.
CV RSU	TMC	Kuyruk uyarısı uygulama bilgileri	Oluşmuş veya oluşmakta olan kuyruklarla ilgili bilgiler; kuyruk sonu konumu, tahmini süresi ve hız azaltma veya yönlendirme tavsiyelerini içerir. Ayrıca uygulamanın uzaktan kontrolünü destekler.

Çizelge 4.17. (devam) VS08 hizmet paketi bilgi akışları

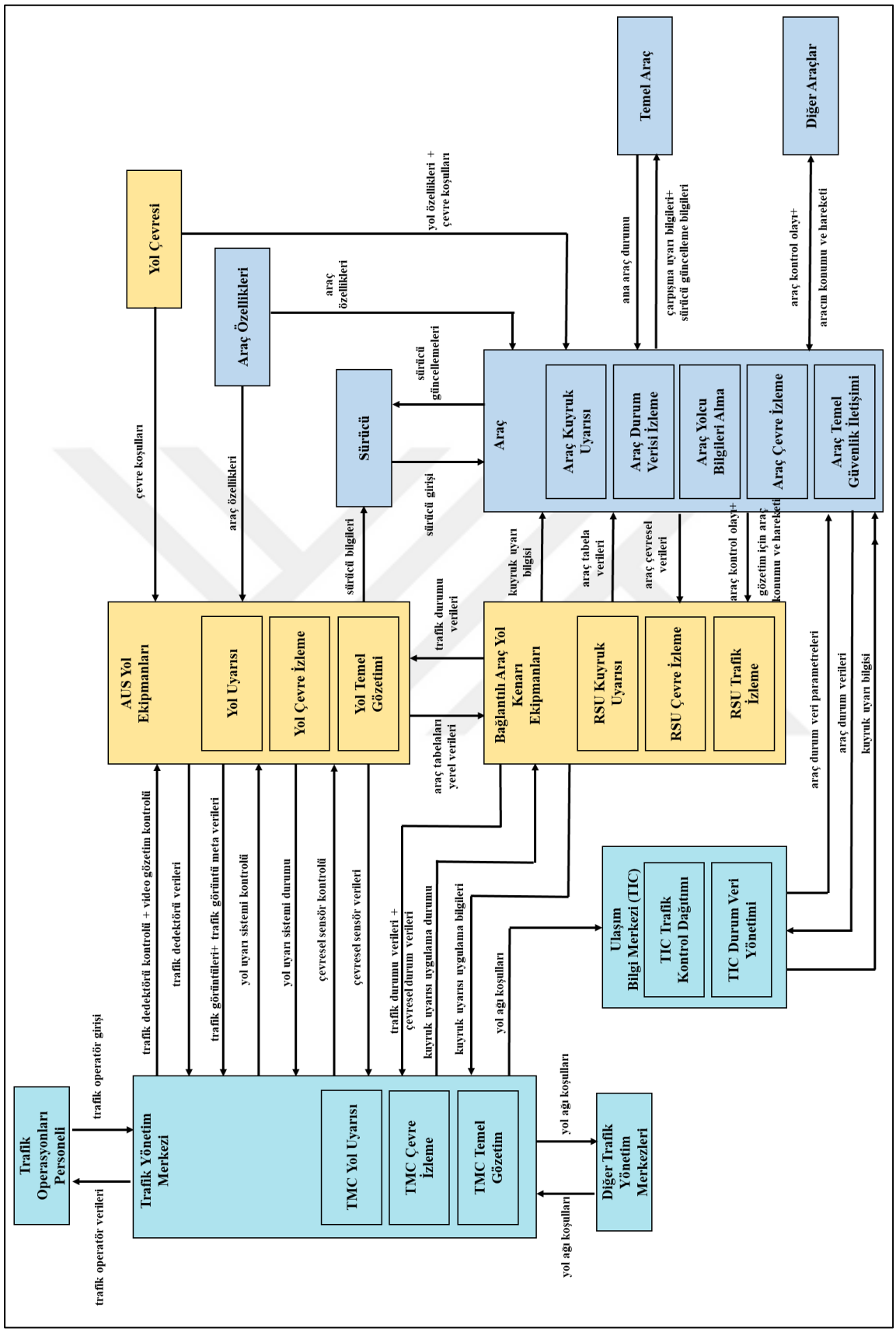
Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Araç	Temel Araç	Çarpışma uyarı bilgileri	Araç içi sistemlere olası bir çarpışma veya müdahale gerektiren durum hakkında uyarılar gönderilir.
Araç	Temel Araç	Sürücü güncelleme bilgileri	Sürücüye mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler ve araç üzerindeki ekipmanın durumu hakkında bilgi sağlayan sürücü/araç arayüzü.
Diğer TMC	TMC	Yol ağı koşulları	Diğer merkezlerin, yol ağı koşulları hakkında bilgi sahibi olmasını sağlayan mevcut trafik durumu ve kısıtlamalar hakkında bilgiler.

Örnek Senaryo: Otoyolda Anlık Kuyruk Oluşumu ve Uyarısı: Yoğun bir otoyolda beklenmedik bir kaza veya olay nedeniyle trafiğin ani şekilde yavaşlaması durumunu ele almaktadır.

- Aşama 1: Kuyruğun Başlangıcı ve V2V Yayını (Olay Tespiti)
  - Hızlı Yavaşlama: Kuyruğun en sonunda bulunan bağlantılı araç, ani yavaşlama verilerini toplar.
  - V2V Acil Durum Mesajı Yayını: Bağlantılı araç, çevresindeki diğer bağlantılı araçlara BSM veya ilgili uyarı mesajlarını (örneğin; acil frenleme uyarısı, trafik sıkışıklığı sonu uyarısı) iletir. Bu mesajlar, kuyruğa yaklaşan donanımlı araçlara doğrudan ulaşarak çarpışma riskini azaltır.
  - V2I Durum Raporu: Aynı araç, kuyruk durumu bilgisini (konum, hız vb.) yakındaki CV RSU'ya iletir; CV RSU, bu bilgileri TMC'ye aktarmak üzere toplar ve işler.
- Aşama 2: Merkezi Analiz ve Tepki Stratejisi Belirleme
  - TMC Veri Toplama:
    - AUS Yol Ekipmanı Gözetimi: Geleneksel sensörler ve CCTV sistemleri trafik verilerini toplar.
    - CV RSU Durum Verileri: Bağlantılı araçlardan gelen kuyruk durum raporları alınır.
    - Analiz: TMC, verileri kullanarak kuyruk sonunun kesin konumunu ve uzunluğunu belirler, tahminler üretir.
  - Tepki Stratejisi Oluşturma: TMC operasyon personeli, kaza konumu ve yol koşullarına göre tepki stratejisi belirler (ör. "1 km sonra hız 50 km/s'e düşürülmeli" veya "Sağ şerit kapatılıyor").
- Uyarıların Yayılması

  - Altyapı Tabanlı Yayın (I2V/RSU): TMC, belirlenen tepki stratejilerini CV RSU birimlerine gönderir. CV RSU, bu bilgileri DSRC/C-V2X gibi kısa menzilli iletişimle yaklaşan donanımlı araçlara iletir.
  - Geleneksel AUS Uyarısı: Donanımlı olmayan araçlar için DMS veya diğer yol kenarı uyarı sistemleri kullanılır.
  - Geniş Alan Yayını (TIC): Kuyruk ve trafik koşullarına ilişkin bilgiler, navigasyon ve harita uygulamaları gibi geniş alan sistemlerine de iletilir.
- Sürücüye Bilgilendirme ve Eylem
  - V2V Alımı: Kuyruğa yaklaşan diğer bağlantılı araçlar, öndeki araçlardan gelen acil yavaşlama uyarısını alır.
  - V2I Alımı: Araç, CV RSU'dan TMC tarafından onaylanmış kuyruk uyarı mesajlarını ve tepki stratejilerini alır.
  - Sürücü Arayüzü: Araç içi sistem, alınan verileri görsel, işitsel veya dokunsal uyarılar şeklinde sürücüye iletir; örneğin, "X kilometre ileride trafik durmuştur, hızınızı Y km/s'e düşürünüz.".

VS08 Kuyruk uyarısı hizmet paketi fiziksel görünümü Şekil 4.6.'da yer almaktadır (ARC-IT, 2025k).



Şekil 4.6. Kuyruk uyarısı hizmet paketi fiziksel görünümü

VS08 hizmet paketinin karşılamayı hedeflediği temel ihtiyaçlar ve bunlara ilişkin sistem gereksinimleri aşağıda özetlenmiştir:

İhtiyaç 1- Trafik Operasyonlarında Kuyruk Tespit Yeteneği: Trafik operasyonlarında kuyruk oluşumunun etkin biçimde tespiti amacıyla yol altyapısı ve bağlantılı araçlardan elde edilen verilerin bütünleşik olarak kullanılması hedeflenmektedir. Bu kapsamda trafik sensörleri, CCTV ve çevresel algılayıcılardan sağlanan hız, hacim, doluluk ile yol ve hava koşullarına ilişkin veriler; trafik sıkışıklığı ve potansiyel risklerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. TMC, saha sistemlerini uzaktan yönetmekte; verileri analiz edip depolamakta ve yol ağına ilişkin bilgileri ilgili paydaşlarla paylaşmaktadır. Ayrıca çevresel sensörler, bakım faaliyetleri ve meteoroloji kaynaklarından elde edilen veriler birleştirilerek mevcut ve öngörülen yol koşulları değerlendirilmektedir. Bağlantılı araçlardan sağlanan konum, hız ve güvenlik bilgileri ise sisteme gerçek zamanlı katkı sağlayarak erken uyarı ve veri temelli operasyonel karar alma süreçlerini desteklemektedir.

İhtiyaç 2- Trafik Operasyonlarının Kuyruk Tahmin Yeteneği: Trafik operasyonları biriminin kuyruk oluşumunu öngörebilmesi amacıyla yol altyapısı ve bağlantılı araçlardan elde edilen çok kaynaklı verilerin entegre biçimde kullanılması hedeflenmektedir. Trafik sensörleri, CCTV sistemleri ve çevresel algılayıcılardan sağlanan hız, hacim, doluluk ile yol ve hava koşullarına ilişkin veriler TMC'de analiz edilerek mevcut ve öngörülen yol koşulları değerlendirilecektir. Merkez, hız düşüşleri ve trafik durmaları temelinde kuyrukların konumu, süresi ve uzunluğuna yönelik tahminler üretecektir. Bağlantılı araçlardan paylaşılan konum, hareket ve çevresel veriler ise sisteme gerçek zamanlı katkı sağlayarak kuyruk oluşumunun önceden tahmin edilmesini ve proaktif trafik yönetimi kararlarının desteklenmesini mümkün kılacaktır.

İhtiyaç 3- Trafik Operasyonlarının Strateji Üretme Yeteneği: Trafik operasyonları biriminin kuyruk uyarılarına etkin biçimde yanıt verebilmesi amacıyla TMC, araçlara gerçek zamanlı kuyruk ve bekleme bilgileri sağlayacaktır. Merkez, trafik akışı ile yol ve hava koşullarını birlikte değerlendirerek hız yönetimi, şerit kullanımı ve alternatif güzergâh yönlendirmelerine ilişkin stratejiler geliştirecek; bu sayede kuyrukların etkisinin azaltılması, trafik güvenliğinin ve akış sürekliliğinin artırılması hedeflenecektir.

İhtiyaç 4- Sürücünün Kuyruk Bilgisini Yayma Yeteneği (V2V): Sürücülerin kuyruk bilgileri ve müdahale stratejilerini öndeki araçlarla paylaşabilmesi için araçların bağlantılı araç iletişim yeteneklerine sahip olması öngörülmektedir. Bu kapsamda araçlar, kendi kuyruk ve bekleme durumlarına ilişkin uyarıları çevredeki bağlantılı araçlara iletecek; diğer araçlardan alınan kuyruk uyarıları doğrultusunda sürücüyü bilgilendirerek trafik farkındalığının artırılmasına ve daha güvenli, akıcı bir trafik akışının desteklenmesine katkı sağlayacaktır.

İhtiyaç 5- Sürücünün Kuyruk Bilgisini Alma Yeteneği (V2I/V2V): Sürücünün kuyruk durumuna ve uygun yanıt stratejilerine etkin biçimde erişebilmesi için araçlar ile saha ve altyapı sistemlerinin koordineli çalışması gerekmektedir. Bu kapsamda saha ekipmanları, potansiyel tehlikeleri otomatik olarak algılayarak sürücüler için uyarıları etkinleştirecek ve trafik kontrol merkezinden gelen komutları uygulayacaktır. Araçlar ise altyapı sistemleri ve diğer bağlantılı araçlardan alınan kuyruk uyarılarını; kuyruk uzunluğu, etkilenen şeritler ve önerilen hız, şerit değişimi veya alternatif güzergâh bilgileriyle birlikte sürücüye iletecektir. Söz konusu bilgiler, sürüş güvenliğini etkilemeyecek şekilde görsel, işitsel veya dokunsal uyarılar aracılığıyla sunularak sürücünün trafik akışını güvenli ve etkin biçimde yönetmesi desteklenecektir (ARC-IT, 2025k).

Otoyolda anlık kuyruk oluşumu ve TJW hizmeti, sürücülere yüksek hızla yaklaştıkları trafik sıkışıklığının kuyruk ucu hakkında önceden uyarı sağlamayı amaçlamaktadır. Hizmetin önemi, özellikle tepe veya viraj arkasında gizlenen kuyruk uçlarında daha da belirgin hale gelmektedir, çünkü bu bölgelerde sürücülerin görüş alanı sınırlı olduğundan kazalara karşı risk artmaktadır. Bilgi kaynakları arasında kameralar, trafik döngüleri, yol operatörü araçları ve diğer tespit sistemleri bulunmaktadır. Yol operatörü, TMC aracılığıyla bilgileri onaylayarak sürücülere aktarmaktadır. Sürücüler, uyarılar sayesinde trafik sıkışıklığını fark etmeden önce tepki verebilmekte; bu durum daha erken ve yumuşak frenleme, hız ve şerit kullanımında dikkatli sürüş gibi davranış değişikliklerine yol açabilmektedir. TJW, Gün 1 V2V hizmetleri arasında yer almakta olup, ITS-G5 iletişimi ve DENM mesajları kullanmaktadır. 4G/5G tabanlı iletişim teknolojileri de etkinliğini artırmak için araştırılmaktadır. Mesaj içerikleri, sıkışıklığın boyutu ve konumuna göre farklı kodlarla sürücülere iletilmektedir (European Commission, 2016b:11-201).

VS08, Türkiye'de trafik akışı içerisinde oluşan kuyruklanmalara ilişkin kullanıcı ihtiyaçlarını ve operasyonel gereksinimleri karşılamayı amaçlayan bir hizmet paketidir. Bu

paket; özellikle trafik güvenliğini artırmaya, sürücü farkındalığını geliştirmeye ve trafik operasyonlarının etkinliğini yükseltmeye yönelik işlevleri desteklemektedir. Bu hizmet paketinin katkıda bulunmayı amaçladığı hedefler (ARC-IT, 2025k);

- Potansiyel çarpışma durumlarından çok önce devreye girerek arkadan çarpma ve diğer ikincil çarpışmaların önlenmesini sağlamak.
- Sürücülere erken uyarılar göndererek, trafik yoğunluğu ve kuyruk bilgileri hakkında bilgi vermek böylece güvenli sürüş için gerekli önlemlerin alınmasını sağlamak.
- Kuyruk oluşumlarını tespit ederek, trafik akışını iyileştirmek ve tıkanıklıkların oluşmasını engellemek.
- Trafik yoğunluğu ve tıkanıklık bilgilerini araçlar ve altyapı arasında paylaşarak daha verimli bir yol kullanımı sağlamak.
- Trafik akışındaki değişkenlikleri ve gecikmeleri önceden tespit ederek sürücülerin daha güvenilir bir yolculuk yapmasını sağlamak.
- Trafik akışını iyileştirerek dur-kalk trafiği ve yakıt tüketimini azaltmak.
- V2I ve V2V iletişim teknolojileri sayesinde araçlar ve altyapı arasındaki entegrasyonu güçlendirmek.
- Kuyruk ve trafik olaylarını tespit ederek acil durum yönetim sistemlerinin hızlı müdahalesine olanak tanımak.
- Gerçek zamanlı veri paylaşımı sayesinde sürücülerin daha doğru seyahat süre tahminleri almasını sağlamak.
- Tıkanıklıkların azalmasıyla, emisyonların ve yakıt tüketiminin düşmesini sağlamak,
- Yük taşımacılığındaki tıkanıklıkların azaltılması ile ekonomik verimliliği artırmak ve lojistik sektörünün işleyişini iyileştirmek.

VS09- Azaltılmış hız bölgesi uyarısı / şerit kapatma (reduced speed zone warning / lane closure)

VS09 hizmet paketi, azaltılmış hız bölgelerine yaklaşan bağlantılı araçlara iletilen hız sınırı ve/veya yol konfigürasyonundaki değişiklikler (örneğin şerit kapatmaları veya şerit kaydırmaları) hakkında bilgi sağlamaktadır. Azaltılmış hız bölgeleri; inşaat ve bakım alanları, okul bölgeleri, yaya geçitleri ve yerleşim alanları (örneğin kırsal kasabalar) gibi alanları kapsamaktadır. Hizmet paketinin temel işlevleri şunlardır;

- Bağlantılı araç, sürücüye uyarı veya ikaz sağlamak amacıyla güncellenmiş hız limitini ve ilgili yol kenarı konfigürasyon bilgilerini kullanır. Sistem, sürücülere ilan edilen hız limitine güvenli biçimde inebilmek için önceden uyarı verir ve ani frenleme gerektiren durumların önüne geçer.
- Bağlantılı olmayan araçlar için, altyapı ekipmanları yaklaşan araçların hızını ölçer. Araç hızı, ilan edilen azaltılmış hız limitinin üzerinde ise, altyapı tabanlı uyarı tabelaları aracılığıyla sürücüye görsel uyarı sağlanır.

VS09 hizmet paketi, farklı fiziksel nesneler ve bu nesnelere ait işlevsel bileşenleri içermektedir. VS09 hizmet paketi kapsamında kritik işlevlere sahip fiziksel nesneler Çizelge 4.18.'de, fonksiyonel nesneler Çizelge 4.19.'da, bilgi akışları Çizelge 4.20.'da açıklanmaktadır (ARC-IT, 2025l).

Çizelge 4.18. VS09 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
CV RSU	KGM ve büyükşehir belediyeleri (altyapı sahibi) ile telekomünikasyon/AUS çözüm sağlayıcı özel sektör şirketleri.	Yakın çevredeki araç ve kişisel cihazlarla iletişim kuran, kısa menzilli kablosuz haberleşme teknolojileriyle donatılmış RSU. Bağlantılı araçlara; hız limiti, şerit kapama/kaydırma bilgileri ve diğer uyarıları ileterek, geleneksel AUS yol ekipmanlarıyla birlikte donanımsız araçlar için de uyarı sağlar.
AUS Yol Ekipmanları	KGM ve belediyelere ait saha birimleri (çevre/trafik sensörleri, DMS, güvenlik kameraları).	Yola yerleştirilmiş; trafik izleme, trafik kontrolü ve yol durumu yönetimi görevlerini yerine getiren AUS ekipmanları (trafik dedektörleri, çevresel sensörler, DMS, CCTV vb.). Araç hızlarını izleyerek, hızın aşırı olduğu belirlenirse geleneksel cihazlarla sürücülere tavsiye veya uyarı sağlar ve hız denetim işlevi gerçekleştirir.
MCM	KGM bakım ve işletme daireleri, belediyelerin fen işleri birimleri ve özel otoyol işletmecileri.	Yol altyapısı inşaat ve bakım faaliyetlerini merkezi olarak izleyen ve yöneten bir sistemdir. MCM, çalışma bölgelerine yönelik hız uyarı sistemlerinin uzaktan izlenmesi ve kontrolünü, uygulanan hız sınırları ve yol konfigürasyonu değişikliklerine ilişkin bilgileri sağlar.
TMC	KGM trafik yönetim merkezleri ile büyükşehir belediyeleri trafik kontrol merkezleri.	Trafik akışını ve yol ağını merkezi olarak izleyen ve kontrol eden sistemdir. Hız limitleri, geçerlilik koşulları (zaman, araç tipi, mevsimsellik) ve saha ekipmanının durumu hakkında bilgileri sağlar.

Çizelge 4.18. (devam) VS09 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
TIC	KGM trafik yönetim merkezleri ile belediyelerin trafik kontrol merkezleri tarafından yürütülen yol durumu ve trafik bilgi işleme ve dağıtım sistemleri. Özel seyahat bilgisi sağlayıcıları (navigasyon uygulamaları, telematik firmaları).	Ulaşımla ilgili verilerin toplandığı, işlendiği ve hem sistem operatörlerine hem de seyahat eden halka sunulduğu merkezi bir sistem. TMC'den toplanan kavşak durumu, şerit kontrol bilgileri ve diğer trafik kontrol bilgilerini araçlara ve mobil cihazlara yayın yoluyla dağıtır.
Araç	OEM'ler tarafından sunulan bağlantılı araçlar ile özel araç sahiplerinin V2X uyumlu araçları ve akıllı cihaz tabanlı çözümleri.	V2V ve V2I iletişimini destekleyen sensör, işlemci, depolama ve iletişim bileşenlerini içeren araç platformu.
Temel Araç	OEM'ler ile bireysel araç sahipleri.	AUS elektroniği ile birlikte araç platformunu oluşturan temel mekanik ve elektronik sistemler.
Sürücü	Bireysel ve ticari sürücüler.	Güvenlik uygulamaları kapsamında sistemle etkileşim kuran, aracı kontrol eden kişi.
Araç Özellikleri	OEM'ler ve resmi tescil kurumları.	Araçların yüksekliği, ağırlığı ve aks sayısı gibi fiziksel ve görünür nitelikleri.

Çizelge 4.19. VS09 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
CV RSU	RSU Hız Uyarısı	Düşürülmüş hız bölgesine yaklaşan bağlantılı araçlar bölgenin güncel hız limitini, şerit kapatmaları veya şerit kaymaları gibi yol konfigürasyonu değişikliklerini ve ilgili uyarı bilgisini (uyarı nedeni) gönderir.
AUS Yol Ekipmanları	Yol Hız İzleme ve Uyarısı	Araç hızlarını izleyerek; hız ihlali durumunda uyarı veya ikaz görüntüleri oluşturan, cihazın işletim durumu ve arıza bilgilerini merkeze ileten ve gerektiğinde hız ihlallerini raporlayarak kolluk kuvvetlerine destek sağlayabilen entegre bir işlev sunar.
MCM	MCM Azaltılmış Hız Bölgesi Uyarısı	Çalışma ve inşaat bölgeleri gibi hız azaltma alanlarında; geçerli yasal hız limitlerinin zaman planlarıyla yönetilmesini, şerit birleşmesi, kaydırması veya kapatılması gibi yol konfigürasyonu değişikliklerinin ilgili sistemlere aktarılmasını ve çalışma bölgesinden geçen araç hızlarının trafik güvenliği analizi amacıyla izlenmesini sağlar.
TMC	TMC Hız Uyarısı	Azaltılmış hız bölgesinin konumu, kapsamı, hız limiti ve limitin uygulanabilirliği (saat, gün, ilgili araç tipleri gibi) hakkında bilgi sağlar.
TIC	TIC Trafik Kontrol Dağıtımı	Kavşak durumu, şerit kontrol bilgileri ve özel araç uyarıları gibi, yol ağı üzerindeki nispeten yerel bir alan için gerçek zamanlı veya gerçeğe yakın trafik kontrolüyle ilgili bilgileri araçlara ve diğer mobil cihazlara dağıtır.

Çizelge 4.19. (devam) VS09 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
Araç	Araç Hız Yönetimi Yardımı	Sürücüye mevcut hız limitleri dahilinde aracı kullanmada yardımcı olur. Güncel hızı izler ve altyapıdan mevcut hız limitlerini ve yol konfigürasyonu değişikliklerini alır. Sağlanan hız limitlerine ve mevcut koşullara dayanarak güvenli olmayan veya aşırı hızlar tespit edildiğinde sürücü uyarıları yayınlar.
Araç	Araç Yolcusu Bilgi Resepsiyonu	Tüm araç türleri için faydalı olan tavsiyeleri, araç içi işaretleme verilerini ve diğer sürücü bilgilerini alır ve bu bilgileri araç içi ekipmanı kullanarak sürücüye sunar.
Araç	Araç Temel Güvenlik İletişimi	Araç özellikleri, konumu ve hareket bilgilerini yakın çevredeki diğer araçlarla paylaşır; çarpışma potansiyeli algılandığında sürücüyü uyarır.

Çizelge 4.20. VS09 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
CV RSU	MCM	Hız uyarısı uygulama durumu	RSU'ların çalışma durumu ve sistem sağlığı, bölgeden geçen araçların hız kayıtları ile sürücülere gönderilen uyarı ve alarm geçmişini içerir.
CV RSU	TMC	Hız uyarısı uygulama durumu	RSU'ların çalışma durumu ve sistem sağlığı, bölgeden geçen araçların hız kayıtları ile sürücülere gönderilen uyarı ve alarm geçmişini içerir.
CV RSU	Araç	Şerit kapatma bilgisi	Yoldan geçen araçlara şerit kapatmaları ve şerit kaymaları gibi yol konfigürasyonu değişiklikleri hakkında bilgi sağlar.
CV RSU	Araç	Azaltılmış hız bildirimi	Yoldan geçen araçlara düşürülmüş hız limitini, düşürülmüş hız bölgesinin konumunu ve kapsamı gibi ilgili uyarı bilgilerini sağlayan bildirim.
MCM	CV RSU	Hız uyarısı uygulaması bilgisi	Yol konfigürasyon verileri, güncel hız limitleri (güne, haftaya veya sezona göre), uyarı parametreleri ve eşikleri dahil olmak üzere yerel hız yönetim uygulamasının yapılandırmasını ve yönetimini sağlar.
MCM	AUS Yol Ekipmanları	Yol dinamik işaretleme verileri	DMS/VMS'leri başlatmak, yapılandırmak ve kontrol etmek için kullanılan bilgilerdir.
MCM	AUS Yol Ekipmanları	Hız izleme kontrolü	Otomatik hız izleme, hız uyarısı ve hız denetleme sistemlerini yapılandırmak ve kontrol etmek için kullanılan bilgilerdir.
MCM	TMC	Saha cihazları koordinasyonu	İşletim merkezleri arasındaki koordinasyonu destekleyen bilgi akışıdır. Aynı saha cihazlarının (yol kenarı ekipmanları) kontrolünü paylaşarak çakışmaları önlemeyi ve ortak cihazların yönetimini sağlar.
TMC	MCM	Saha cihazları koordinasyonu	İşletim merkezleri arasındaki koordinasyonu destekleyen bilgi akışıdır. Aynı saha cihazlarının (yol kenarı ekipmanları) kontrolünü paylaşarak çakışmaları önlemeyi ve ortak cihazların yönetimini sağlar.

Çizelge 4.20. (devam) VS09 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
TMC	TIC	Şerit kapatma bilgisi	Şerit kapatma bilgisinin yayın ve kamu kullanımı için diğer merkezlere aktarılmasını sağlar.
TMC	TIC	Azaltılmış hız uyarı bilgisi	Araç algılamalarının gerçek zamanlı bildirimini, ölçülen araç özelliklerini ve yol altyapısı tarafından yayınlanan uyarıları içeren bilgilerdir.
TIC	Araç	Şerit kapatma bilgisi	Yol ağı konfigürasyonu değişiklikleri (şerit kapatmaları/kaymaları) hakkında araçlara sağlanan bilgilerdir.
TIC	Araç	Azaltılmış hız uyarı bilgisi	Azaltılmış hız bölgesi bilgileri, araç tespitleri ve hız ölçümleri gibi bilgilerin araçlara iletir.
Araç	CV RSU	Gözetim için araç konumu ve hareketi	Bağlantılı araçların çevrelerindeki altyapı ünitelerine kendi durumları hakkında yayınladığı; aracın konumu, üç boyutlu hareketi ve zaman bilgisi gibi verileri.
Araç	Temel Araç	Sürücü güncelleme bilgileri	Sürücüye mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler ve araç üzerindeki ekipmanın durumu hakkında bilgi sağlayan sürücü/araç arayüzü.
Temel Araç	Araç	Sürücü giriş bilgileri	Araç veri yolundan alınan sürücü komutları, ayarlar, etkileşimli talepler ve yapılandırma verileri.
Temel Araç	Araç	Ana araç durumu	Güç aktarma organı, direksiyon, fren sistemleri ve diğer güvenlik/konfor sistemlerinin mevcut durumu dahil olmak üzere araç platformundaki diğer sistemlerden OBU'ya iletilen bilgiler.
TMC	CV RSU	Hız uyarısı uygulaması bilgisi	Yol konfigürasyonu verilerini, hız limitlerini ve uyarı parametrelerini içeren bilgiler sunar. Ayrıca uygulamanın çevrimdışına alınması, sıfırlanması veya yeniden başlatılması için uzaktan kontrol desteği sağlar.
AUS Yol Ekipmanları	TMC	Yol dinamik tabela durumu	DMS/VMS'lerin mevcut işletim durumu hakkındaki bilgileri içerir. Bu akış, TMC'nin saha cihazlarının durumunu izlemesini sağlar.
AUS Yol Ekipmanları	TMC	Hız izleme bilgileri	Ölçülen hızlar, görüntülenen uyarı mesajları ve ihlal kayıtları gibi kaydedilmiş bilgileri içerir. TMC'nin trafik akışını ve hız ihlallerini izlemesini sağlar.
TMC	AUS Yol Ekipmanları	Hız izleme kontrolü	Hız izleme, hız uyarısı ve hız denetleme sistemlerini yapılandırmak ve kontrol etmek için kullanılan bilgileri içerir.
TMC	AUS Yol Ekipmanları	Yol dinamik işaretleme verileri	DMS/VMS'leri başlatmak, yapılandırmak ve kontrol etmek için kullanılan bilgileri içerir. Bu akış, mesaj içeriği, kontrol modu komutları ve cihazların uzaktan yönetimini destekler.
AUS Yol Ekipmanları	MCM	Yol dinamik tabela durumu	DMS/VMS güncel işletim durumu hakkında bilgi verir. MCM'nin, özellikle çalışma bölgelerindeki saha ekipmanının durumunu izlemesini destekler.
AUS Yol Ekipmanları	MCM	Hız izleme bilgileri	Hız izleme ve hız denetleme sistemlerini yapılandırmak ve kontrol etmek için kullanılan bilgileri içerir. Bu akış, MCM'nin çalışma bölgelerindeki hız izleme ve uyarı sistemlerini yönetmesini sağlar.
Sürücü	Araç	Sürücü girişi	Sürücü tarafından doğrudan araç ekipmanına verilen komutlar, ayarlar ve etkileşimli girdiler.

Çizelge 4.20. (devam) VS09 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Araç	Sürücü	Sürücü güncellemeleri	Sürücüye mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler ve araç üzerindeki ekipmanın durumu hakkında bilgi sağlayan sürücü/araç arayüzü.
Araç Özellikleri	AUS Yol Ekipmanları	Araç özellikleri	Araçların tespit, sınıflandırma ve izleme süreçlerinde kullanılan fiziksel veya gözlemlenebilir özellikleri.
AUS Yol Ekipmanları	Sürücü	Sürücü bilgileri	Sürücüye güvenli ve verimli araç kullanımı için sağlanan düzenleyici, uyarı, rehberlik ve diğer bilgileri içerir.
AUS Yol Ekipmanları	CV RSU	Azaltılmış hız uyarı bilgisi	Yol altyapısı tarafından yayınlanan araç tespitleri, araç özellikleri (örneğin araç yüksekliği), hız ölçümleri ve verilen uyarıların gerçek zamanlı bildirimini içerir.

VS09 hizmet paketi, farklı iletişim teknolojileri ve uygulama yöntemleri aracılığıyla üç ana senaryo kapsamında uygulanmaktadır:

- Geleneksel Azaltılmış Hız Uyarısı
  - Altyapıdaki trafik dedektörleri ve hız sensörleri, araç hızlarını ölçer.
  - Elde edilen bilgiler, DMS/VMS gibi geleneksel AUS varlıkları üzerinden sürücülere iletilir.
  - Bu uygulama, doğrudan araçlarla iletişimi içermemekle birlikte, donanımı bulunmayan araçlarla uyumluluk sağlayan temel bir yapıdır.
- Geniş Alan Kablosuz Azaltılmış Hız Uyarısı
  - WAW iletişim teknolojisi kullanılarak donanımlı araçlara azaltılmış hız ve şerit kapatma uyarıları iletilir.
  - Bu sistem, geleneksel AUS varlıklarını (örneğin DMS) destekleyebilir veya bu altyapıların yerine geçebilir.
  - Araç içi sistemler, altyapıdan alınan hız limitini aşan sürücüleri tespit ederek kendi kendine hız izleme işlevini gerçekleştirebilir.
- K-AUS Azaltılmış Hız Uyarısı
  - Kısa menzilli iletişim teknolojisi aracılığıyla bağlantılı araçlara hız limiti, şerit kapatma bilgileri ve hız aşımı durumlarına özel uyarılar sağlanır.
  - Altyapı sistemleri, araçların ilettiği hız bilgilerini izleyerek araç bazlı uyarılar oluşturur.
  - Bu senaryo, CV RSU arayüzlerinin kullanılmasını gerektirirken, AUS Yol Ekipmanı arayüzleri isteğe bağlı olarak entegre edilebilir.

- Böylece, donanımlı ve donanımsız araçların birlikte bulunduğu karma trafik ortamlarında etkin bilgi paylaşımı sağlanır.

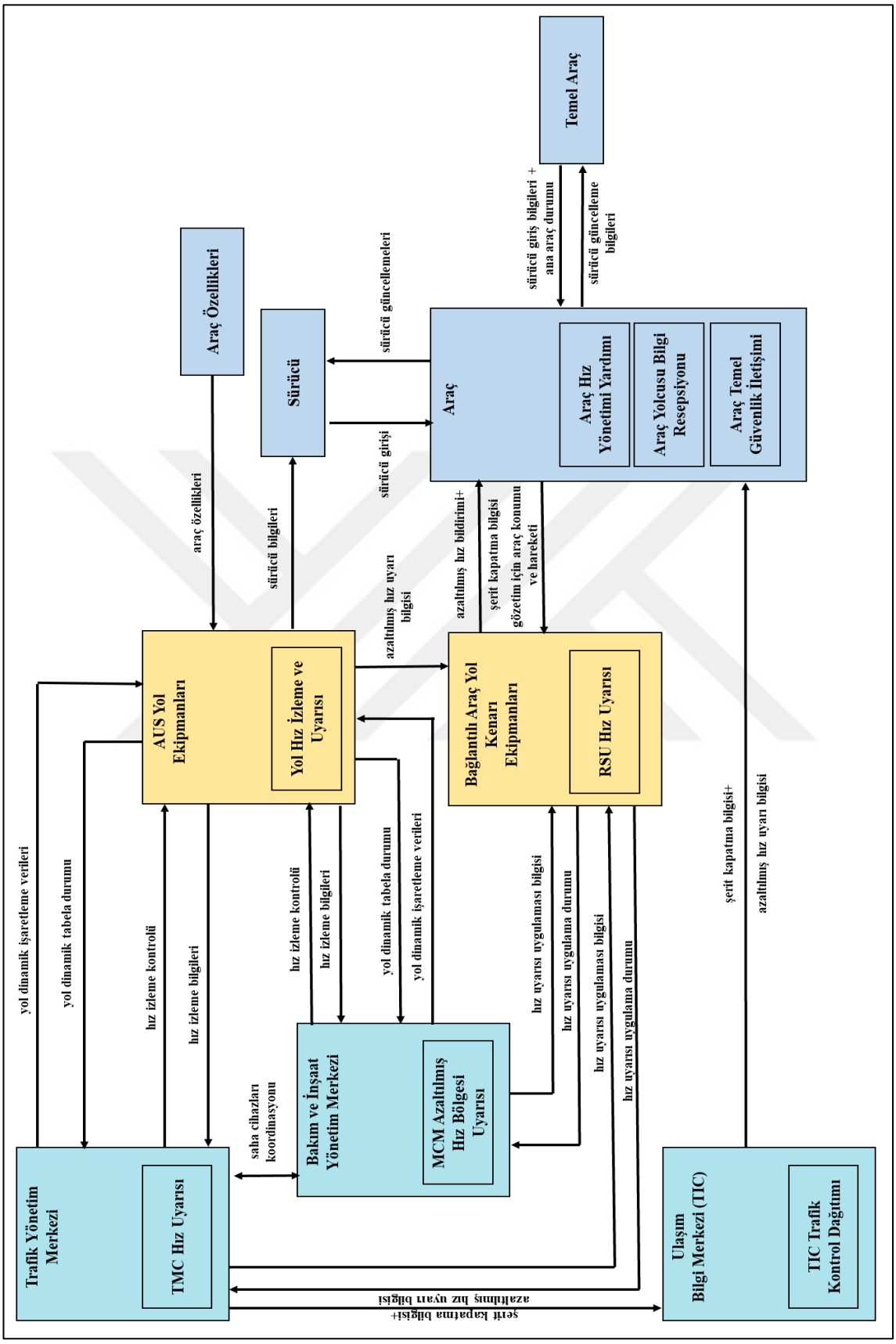
Örnek Senaryo: K-AUS Azaltılmış Hız Uyarısı

- Aşama 1: Tehlike Tespiti ve Merkezi Aktivasyon (TMC / MCM Merkezi)
  - Tehlike Tespiti: Bir yol kesiminde (örneğin; okul bölgesi, yaya geçidi veya inşaat çalışması bölgesi) hızın düşürülmesi veya şerit konfigürasyonunun değiştirilmesi gerektiğine dair bir durum meydana gelir. Bu tür durumlar, yol güvenliği açısından kritik öneme sahiptir.
  - Merkezi Karar ve Kontrol: TMC veya MCM; ortaya çıkan durumun gerektirdiği hız limitlerinin azaltılması, şerit kapama bilgileri ve bu değişikliklerin geçerli olacağı coğrafi alanı belirler. Bu bilgiler, mevcut trafik koşulları ve güvenlik gereksinimlerine göre optimize edilir.
  - Ekipman Kontrolü (Kontrol Akışı): TMC veya MCM, bu bilgileri (azaltılmış hız limitleri, hız uyarı uygulama bilgileri) yol kenarındaki saha ekipmanlarına ileterek uygulamanın etkinliğini sağlamak amacıyla uzaktan izleme ve denetim yapar. Bu ekipmanlar, belirtilen hız limitlerinin ve şerit kapama bilgilerinin doğru şekilde uygulandığından emin olmak için sürekli olarak izlenir.
- Aşama 2: Yol Kenarı Dağıtımı ve İzleme (CV RSU / AUS Yol Ekipmanı)
  - Bağlantılı Araçlara Yayın: CV RSU, merkezi sistemden aldığı azaltılmış hız limitini ve şerit konfigürasyonu değişikliklerini kullanarak, bölgeye yaklaşan tüm bağlantılı araçlara bu bilgileri kısa menzilli iletişim ile iletir. Bu, araçların güvenli hızda kalmalarını sağlamak için önemlidir.
  - Donanımsız Araçlara Uyarı (AUS Yol Ekipmanı): Altyapı, araçların hızlarını ölçmek amacıyla sensörler kullanır. Eğer araç hızının belirlenen güvenli limitlerin üzerinde olduğu tespit edilirse, geleneksel sürücü bilgilendirme sistemleri (örneğin, DMS, VMS) aracılığıyla sürücüye güvenli hız önerileri sunulur.
  - İki Yönlü Veri Akışı: Bu uygulama, altyapının araçtan gelen konumsal ve hareket verilerini izlemesine olanak tanır. CV RSU, ayrıca AUS Yol Ekipmanından alınan hız ölçümleri, tespit eder ve verilen uyarılar hakkında gerçek zamanlı bildirimler alır ve bu veriler üzerinden hız yönetimi yapılır.
- Aşama 3: Araç İçi Karar ve Uyarı (Araç / Sürücü)

- Bilgi Alımı: Bağlantılı araç, yol kenarındaki CV RSU'dan azaltılmış hız uyarılarını ve şerit kapama bilgilerini alır. Bu bilgiler, araç içerisindeki sistemler tarafından işlenir.
- Hız Yönetimi Yardımı: Araç üzerindeki Hız Yönetimi Yardımı işlevi, aracın mevcut hızını alınan yeni hız limiti ve yol koşullarıyla karşılaştırır. Bu sayede, aracın güvenli bir hızda kalması sağlanır.
- Sürücü Uyarısı: Eğer araç, belirlenen hız limitlerinin üzerinde hareket ediyorsa veya yaklaşan düşük hız bölgesine inmek için agresif frenleme yapılması gerekiyorsa, sürücüye derhal uyarı iletilir. Bu uyarılar; görsel ekranlar, işitsel sinyaller veya dokunsal geri bildirimler şeklinde olabilir.

- Aşama 4: Uygulama Durumu Raporlama
  - Saha Durumu Raporlama: CV RSU; uygulamanın mevcut operasyonel durumunu, verilen bildirimleri ve kaydedilen araç hızlarını TMC ve MCM'ye raporlar. Bu, merkezi yönetimin, uygulamanın etkinliğini denetlemesine yardımcı olur.
  - Denetim Desteği: Altyapı sistemi, hız denetleme işlevini de destekleyerek, hız ihlallerini tespit edebilir ve ilgili denetim birimlerine raporlayabilir. Bu süreç, yol güvenliği standartlarının sağlanmasına katkıda bulunur.

VS09- Azaltılmış hız bölgesi uyarısı hizmet paketi fiziksel görünümü Şekil 4.7.'de yer almaktadır (ARC-IT, 2025l).



Şekil 4.7. Azaltılmış hız bölgesi uyarısı hizmet paketi fiziksel görünümü

VS09 hizmet paketi, trafik güvenliğini ve verimliliği sağlamak amacıyla, yol kullanıcıları için üç temel ihtiyacı hedeflemektedir. Aşağıda, her bir ihtiyacın karşılanmasına yönelik işlevsel gereksinimler detaylandırılmaktadır.

İhtiyaç 1- Altyapıdan Bağlantılı Araçlara Temel Bilgi Sağlanması: Trafik ve bakım operasyonları; hız düşüşleri, şerit kapatmaları veya yol konfigürasyonu değişiklikleri hakkında bilgi sağlayabilmelidir. Bu gereksinim, saha elemanlarının söz konusu değişikliklere dair bilgileri merkeze veya yol kenarındaki bağlantılı ekipmanlara iletmesini kapsamaktadır. Araçlar, hız düşürme veya şerit kapatma gibi düzenlemelerle ilgili bilgileri merkezi sistemden veya yol kenarındaki bağlantılı ekipmanlardan alarak yolcu bilgilendirmesini gerçekleştirecektir.

İhtiyaç 2- Tehlike Oluşturan Bağlantılı Araçların Uyarılması ve Kontrolü: Trafik ve bakım operasyonları, bağlantılı araçları hız sınırlarının üzerinde seyrettiklerinde veya yol düzenlemelerindeki değişikliklerden etkilendiklerinde uyarmalıdır; böylece araçlar uygun önlemleri alabilir. Bu bağlamda merkez, düşük hız bölgelerine ilişkin hız sınırları, ilgili tarifeler ve şerit birleşmeleri veya değişiklikleri gibi yol düzenleme bilgilerini yol kenarındaki cihazlara ve bağlantılı araçlara sağlayacaktır. Saha elemanları, kontrol merkezi tarafından belirlenen düşük hız bölgelerindeki hız sınırları ve yol düzenleme değişikliklerini temin edecek, araçlar ise yol kenarı ekipmanları ve diğer araçlarla konum ve hareket bilgisi alışverişinde bulunarak uyarıları, bilgilendirici yol işaretlerini ve trafik sinyallerini alacaktır.

İhtiyaç 3- Sürücülere Yaklaşan Tehlikeler Hakkında Uyarı Sağlanması: Sürücüler, aracın hız sınırının düşürüldüğü bölgelere yaklaştıklarında veya ileride şerit kapatmaları ve yol düzeni değişiklikleri olduğunda uyarı alabilmelidir. Bu ihtiyacın karşılanması kapsamında, araç hız sensörleri aşırı hız tespit ettiğinde saha elemanı, sürücü bilgilendirme sistemleri aracılığıyla güvenli hız uyarısı sağlayacaktır. Merkez araçlara; kavşak durumu, şerit kontrol bilgileri ve diğer gerçek zamanlı trafik kontrol bilgilerini iletecek; araçlar ise yol kenarındaki saha ekipmanlarından şerit kapatma uyarıları alacak ve hız düşürme veya şerit kapatma bilgilerini merkezden veya bağlantılı yol kenarı ekipmanlarından temin ederek yolcu bilgilendirmesini gerçekleştirecektir (ARC-IT, 2025l).

VSPD hizmeti, sürücüleri hız limitleri konusunda bilgilendirerek hız yapmayı önlemeyi ve yol güvenliğini artırmayı amaçlamaktadır. Hız limiti bilgileri sürücü tarafından sürekli

olarak görüntülenebilir. Alternatif olarak, yol işaretlerinin yakınında veya sürücünün hız limitini aştığı durumlarda hedeflenmiş uyarılar sunulabilir. Hizmet, Gün 1 V2I uygulaması olup hibrit iletişim konseptine (ITS-G5 veya hücresel ağ) dayanmaktadır. RSU'lar hız limiti bilgilerini sürücülere iletebilir veya bilgi, yerel hücresel ağlar üzerinden aktarılabilir. VSPD, tüm araç ve yol tipleri için uygulanabilir; özellikle yüksek hızlı yollarda değişen hız limitleri konusunda sürücüleri uyarmada faydalıdır (European Commission, 2016b:11-201).

VS09 hizmet paketi, düşürülmüş hız bölgelerine yaklaşan bağlantılı araçlara aşağıdaki bilgilerin iletilmesini amaçlar:

- Bölgeye ait ilan edilmiş hız limitleri,
- Yolda gerçekleşen fiziksel düzenlemeler (şerit kapatmaları, şerit kaymaları vb.),
- Yol konfigürasyonundaki değişiklikler.

Türkiye'de şehir içi ve otoyol ağlarında hız farklılıkları, şerit değişiklikleri ve inşaat/çalışma bölgeleri nedeniyle sık sık trafik kazaları ve tıkanıklıklar yaşanmaktadır. Bu durum hem can güvenliğini tehdit etmekte hem de yol kullanıcıları için gecikme ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Bu hizmet paketinin katkıda bulunmayı amaçladığı hedefler (ARC-IT, 2025l);

- Hız farklılıklarını azaltarak kaza risklerini düşürmek,
- Hız limitinin aşılmasından kaynaklanan çarpışma ve ölüm oranlarını azaltmak,
- İkincil kazaların sayısını düşürmek,
- Sürücülere azaltılmış hız bölgeleri ve şerit kapamaları hakkında önceden uyarı vermek,
- Agresif frenlemeyi önceden bildirerek sürüş güvenliğini artırmak,
- Trafik tıkanıklığını ve gecikmeleri azaltmak,
- Otoyol sisteminin güvenilirliğini artırmak,
- Yakıt tüketimini ve enerji kullanımını azaltmak,
- Trafik akışının iyileştirilmesi ile ekonomik verimliliği desteklemek.

VS13- Kavşak güvenlik uyarısı ve çarpışma önleme (intersection safety warning and collision avoidance)

VS13 hizmet paketi, araç ve yol altyapısı etkileşimini temel alarak sinyalize kavşaklarda güvenliği artırmayı hedeflemektedir. Sistem; olası çarpışmaları önlemeye ve sinyal ihlallerini azaltmaya yönelik olarak araçlar ile yol altyapısı arasında gerçek zamanlı bilgi alışverişi gerçekleştirmektedir. Bu hizmet paketi; bağlantılı bir aracın sinyalize bir kavşağa yaklaşması durumunda, aracın altyapıdan sinyal zamanlaması ve kavşak geometrisi bilgilerini almasını sağlamaktadır. Araç; bu bilgileri kendi hız, ivme ve konum verileriyle birleştirerek kavşaktan güvenli bir şekilde geçip geçemeyeceğini analiz eder.

VS13 hizmet paketi, bağlantılı bir aracın sinyalize bir kavşağa yaklaşması sırasında, kavşaktaki diğer hareketli unsurlarla (diğer araçlar veya VRU) olası çarpışma veya ihlal riskini önceden belirlemesini ve önleyici tedbirler almasını sağlamaktadır. Bu süreçte hem araç hem de altyapı bileşenleri eş zamanlı veri alışverişi yapmaktadır. VS13 hizmet paketi kapsamında kritik işlevlere sahip fiziksel nesneler Çizelge 4.21.'de, fonksiyonel nesneler Çizelge 4.22.'de, bilgi akışları Çizelge 4.23.'te açıklanmaktadır (ARC-IT, 2025m).

Çizelge 4.21. VS13 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
Araç	OEM'ler tarafından sunulan bağlantılı araçlar ile özel araç sahiplerinin V2X uyumlu araçları ve akıllı cihaz tabanlı çözümleri.	V2V ve V2I iletişimini destekleyen sensör, işlemci, depolama ve iletişim bileşenlerini içeren araç platformu. Kavşak içi uyarıları alır, çarpışmadan kaçınma verilerini üretir, güvenlik analizi yapar ve çarpışmayı önlemek için araca otomatik kontrol uygular.
CV RSU	KGM ve büyükşehir belediyeleri (altyapı sahibi) ile telekomünikasyon/AUS çözüm sağlayıcı özel sektör şirketleri.	Yakın çevredeki araç ve kişisel cihazlarla iletişim kuran, kısa menzilli kablosuz haberleşme teknolojileriyle donatılmış RSU. Yaklaşan araçlarla ve AUS altyapısıyla iletişim kurarak potansiyel dur işareti/kırmızı ışık ihlalleri ve motorlu olmayan kullanıcılara (yaya/bisikletli) karşı sürücüyü uyarır ve ikaz eder.
AUS Yol Ekipmanları	KGM ve belediyelere ait saha birimleri (çevre/trafik sensörleri, DMS, güvenlik kameraları).	Yola yerleştirilmiş; trafik izleme, trafik kontrolü ve yol durumu yönetimi görevlerini yerine getiren AUS ekipmanları (trafik dedektörleri, çevresel sensörler, DMS, CCTV vb.).

Çizelge 4.21. (devam) VS13 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
TMC	KGM trafik yönetim merkezleri ile büyükşehir belediyeleri trafik kontrol merkezleri.	Trafik akışını ve yol ağını merkezi olarak izleyen ve kontrol eden sistemdir. Kavşak güvenliğini sağlamak için RSU'ları izler ve yapılandırır, saha ekipmanlarını denetler. Sinyal kontrolü ile trafik akışını yönetir, verileri analiz ederek kontrol planları geliştirir ve birden fazla kavşağın sinyal koordinasyonunu sağlar.
TIC	KGM trafik yönetim merkezleri ile belediyelerin trafik kontrol merkezleri tarafından yürütülen yol durumu ve trafik bilgi işleme ve dağıtım sistemleri. Özel seyahat bilgisi sağlayıcıları (navigasyon uygulamaları, telematik firmaları).	Ulaşımla ilgili verilerin toplandığı, işlendiği ve hem sistem operatörlerine hem de seyahat eden halka sunulduğu merkezi bir sistem.
Sürücü	Bireysel ve ticari sürücüler.	Güvenlik uygulamaları kapsamında sistemle etkileşim kuran, aracı kontrol eden kişi.
VRU	Hassas yol kullanıcıları (yaya, bisikletli, motosikletli).	Motorlu araçta olmayan; yayaları, bisikletlileri, tekerlekli sandalye kullanıcılarını ve motosikletlileri temsil eden nesnedir. Sistem, bu kullanıcıların algılanabilen fiziksel özelliklerini kullanarak güvenli araç otomasyonunu ve trafik yönetimini destekler.
Temel Araç	OEM'ler ile bireysel araç sahipleri.	AUS elektroniği ile birlikte araç platformunu oluşturan temel mekanik ve elektronik sistemler.
Potansiyel Engeller	Yol kenarı engelleri, bariyerler/hayvanlar.	Yol üzerinde tespit edilebilecek ve çarpışma riski taşıyan nesneler (bariyerler, enkaz, hayvanlar vb.).
Yol Çevresi	KGM, büyükşehir belediyeleri (yol bakım ve işletme birimleri) ve özel otoyol işletmecileri.	Yol yüzeyi, işaretlemeler, trafik levhaları gibi fiziksel unsurlar ile sis, kar ve rüzgâr gibi çevresel koşullar.
Araç Özellikleri	OEM'ler ve resmi tescil kurumları	Araçların yüksekliği, ağırlığı ve aks sayısı gibi fiziksel ve görünür nitelikleri.
Diğer Araçlar	Donanımlı diğer bağlantılı araçlar (V2V iletişim ortağı)	Ana araç ile iletişim kuran diğer bağlantılı araçlar. V2V iletişimi için kaynak ve hedef sağlar.

Çizelge 4.22. VS13 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
CV RSU	RSU Kavşak Güvenliği	Yaklaşan araçlar ve AUS altyapısı ile iletişim kurarak, potansiyel dur işareti/kırmızı ışık ihlallerine ve motorlu olmayan kullanıcılara (yaya/bisikletli) karşı sürücüleri uyarmak ve ikaz etmek için kullanılır.
AUS Yol Ekipmanları	Yol Sinyal Kontrolü	Sinyalize kavşakları izleyen ve kontrol eden saha elemanlarını (trafik sinyal kontrolörleri, dedektörler, sinyal kafaları vb.) içerir.

Çizelge 4.22. (devam) VS13 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
TMC	TMC Kavşak Güvenliği	Kavşaktaki dur işareti, kırmızı ışık ve geçiş ihlallerini destekleyen RSU'ları kontrol eder, konfigüre eder, araçlara iletilen bilgileri izler ve saha ekipmanlarının durumunu merkeze raporlar.
TMC	TMC Sinyal Kontrolü	Trafik yöneticilerinin sinyalize kavşaklardaki trafik akışını izleme ve yönetme yeteneğini sağlar. Bu, toplanan verilerin analiz edilmesini ve sinyalize kavşaklar için kontrol planlarının geliştirilip uygulanmasını içerir.
TIC	TIC Trafik Kontrol Dağıtımı	Kavşak durumu, şerit kontrol bilgileri ve araçlar için özel uyarılar gibi trafik kontrolüyle ilgili gerçek zamanlı veya gerçeğe yakın bilgileri yayar.
Araç	Araç Kavşak Uyarısı	Kavşaklardaki diğer bağlantılı araçları izlemek ve aracın kavşaktan güvenli geçişini desteklemek için V2V ve V2I iletişimini kullanır.
Araç	Araç Temel Güvenlik İletişimi	Araç özellikleri, konumu ve hareket bilgilerini yakın çevredeki diğer araçlarla paylaşır; çarpışma potansiyeli algılandığında sürücüyü uyarır.
Araç	Araç Kontrol Uyarısı	Araç çevresini izleyerek şerit ihlali, yetersiz takip mesafesi gibi tehlikeler konusunda sürücüyü bilgilendirir.
Araç	Araç Kontrol Otomasyonu	Direksiyon, hızlanma ve frenleme fonksiyonlarını otomatikleştirerek yanal ve/veya boylamsal araç kontrolü sağlar.

Çizelge 4.23. VS13 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
AUS Yol Ekipmanları	CV RSU	Çatışma izleme durumu	Kavşak yönetiminde bir çatışma tespit edildiğinde, RSU'nun arızasız çalışma moduna geçmesini sağlayan kontrol akışıdır. Alan cihazlarının gösterdiği bilgiler ile araç içi gösterim için sağlanan bilgiler arasındaki farklar algılandığında yayınlanır.
AUS Yol Ekipmanları	CV RSU	Kavşak kontrol durumu	Trafik sinyal kontrolörü tarafından sağlanan faz bilgisi, alarm durumu ve öncelik/önleme durumu gibi durum verilerini içerir.
AUS Yol Ekipmanları	Sürücü	Sürücü bilgileri	Sürücünün güvenli ve verimli bir şekilde araç kullanmasını desteklemek amacıyla iletilen düzenleyici, uyarı niteliğindeki, yönlendirici ve diğer bilgilerdir.
CV RSU	Araç	Kavşak geometrisi	Kavşağın fiziksel geometrisini tanımlar; yaklaşan/ayrılan şeritlerin konumu, durma çizgileri, yaya geçitleri ve güvenli araç yolu hesaplamasını destekleyen trafik kuralları kısıtlamalarını içerir.
CV RSU	Araç	Kavşak güvenlik uyarısı	Kavşaklardaki potansiyel tehlikeler hakkında araçlara gönderilen uyarı bilgisidir.

Çizelge 4.23. (devam) VS13 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
CV RSU	TMC	Kavşak güvenliği uygulama durumu	Mevcut operasyonel durum, RSU durumu ve tespit edilen kavşak güvenlik sorunları ile verilen uyarıların kaydını içerir.
CV RSU	AUS Yol Ekipmanları	Kavşak ihlali bilgisi	Bir aracın kavşakta izin verilmeyen bir manevra (örneğin kırmızı ışık ihlali) gerçekleştirdiğini belirten araç-yol verilerini içerir. Ayrıca, yakın çevredeki diğer yol kullanıcılarıyla olası çatışma durumlarına ilişkin bilgileri de içerebilir.
CV RSU	AUS Yol Ekipmanları	Kavşak durum izleme	RSU'nun sinyal durumlarını izleyerek, trafik sinyali kontrolöründen aldığı veriler veya kavşak durumunu AUS Yol Ekipmanına bildirmesi akışıdır.
CV RSU	Araç	Kavşak durumu	Sinyalli bir kavşaktaki tüm şeritler için mevcut sinyal fazı ve zamanlama bilgisidir (SPaT). Aktif şeritleri, durdurulan şeritleri ve mevcut durumun ne kadar süreceğini belirtir; ayrıca sinyal önceliklendirme ve yaya geçiş durumu bilgisi içerir.
TMC	CV RSU	Kavşak güvenliği uygulama bilgisi	Mevcut operasyonel durum, RSU durumu ve tespit edilen kavşak güvenlik sorunları ile verilen uyarıların kaydını içerir.
TMC	TIC	Kavşak durumu	Sinyalli bir kavşaktaki tüm şeritler için mevcut sinyal fazı ve zamanlama bilgisidir (SPaT). Aktif şeritleri, durdurulan şeritleri ve mevcut durumun ne kadar süreceğini belirtir; ayrıca sinyal önceliklendirme ve yaya geçiş durumu bilgisi içerir.
TMC	AUS Yol Ekipmanları	Sinyal kontrol komutları	Trafik sinyal kontrol cihazlarının veya saha kontrol ünitelerinin denetimine yönelik komutları içerir.
TIC	Araç	Kavşak durumu	Sinyalli bir kavşaktaki tüm şeritler için mevcut sinyal fazı ve zamanlama bilgisidir (SPaT). Aktif şeritleri, durdurulan şeritleri ve mevcut durumun ne kadar süreceğini belirtir; ayrıca sinyal önceliklendirme ve yaya geçiş durumu bilgisi içerir.
Araç	CV RSU	Kavşak ihlali bilgisi	Bir aracın kavşakta izin verilmeyen bir manevra (örneğin kırmızı ışık ihlali) gerçekleştirdiğini belirten araç-yol verilerini içerir. Ayrıca, yakın çevredeki diğer yol kullanıcılarıyla olası çatışma durumlarına ilişkin bilgileri de içerebilir.
Araç	CV RSU	Araç konumu ve hareketi	Araca ait konum, yön, hız, frenleme durumu gibi veriler.
Araç	Diğer Araçlar	Kavşak ihlali bilgisi	Bir aracın kavşakta izin verilmeyen bir manevra (örneğin kırmızı ışık ihlali) gerçekleştirdiğini belirten araç-yol verilerini içerir. Ayrıca, yakın çevredeki diğer yol kullanıcılarıyla olası çatışma durumlarına ilişkin bilgileri de içerebilir.
Araç	Diğer Araçlar	Araç konumu ve hareketi	Araca ait konum, yön, hız, frenleme durumu gibi veriler.

Çizelge 4.23. (devam) VS13 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Araç	Sürücü	Sürücü güncellemeleri	Sürücüye mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler ve araç üzerindeki ekipmanın durumu hakkında bilgi sağlayan sürücü/araç arayüzü.
Temel Araç	Araç	Ana araç durumu	Güç aktarma organı, direksiyon, fren sistemleri ve diğer güvenlik/konfor sistemlerinin mevcut durumu dahil olmak üzere araç platformundaki diğer sistemlerden OBU'ya iletilen bilgiler.
Araç	Temel Araç	Araç kontrolü	Direksiyon, gaz ve fren sistemlerine iletilen kontrol komutları.
Araç	Temel Araç	Sürücü güncelleme bilgileri	Sürücüye mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler ve araç üzerindeki ekipmanın durumu hakkında bilgi sağlayan sürücü/araç arayüzü.
Diğer Araçlar	Araç	Kavşak ihlali bilgisi	Bir aracın kavşakta izin verilmeyen bir manevra (örneğin kırmızı ışık ihlali) gerçekleştirdiğini belirten araç-yol verilerini içerir. Ayrıca, yakın çevredeki diğer yol kullanıcılarıyla olası çatışma durumlarına ilişkin bilgileri de içerebilir.
Diğer Araçlar	Araç	Araç konumu ve hareketi	Araca ait konum, yön, hız, frenleme durumu gibi veriler.
Yol Çevresi	Araç	Yol özellikleri	Yol yüzeyi, sürtünme katsayısı ve geometrik koşullar hakkında veriler.
Potansiyel Engeller	Araç	Fiziksel varlık	Hayvanlar, yol kenarı enkazları veya bariyerler gibi fiziksel engellerin tespiti.
Savunmasız Yol Kullanıcıları	Araç	Savunmasız yol kullanıcılarının varlığı	Savunmasız yol kullanıcılarının tespitine ilişkin veriler.
Araç Özellikleri	Araç	Araç özellikleri	Araçların tespit, sınıflandırma ve izleme süreçlerinde kullanılan fiziksel veya gözlemlenebilir özellikleri.
Araç Özellikleri	AUS Yol Ekipmanları	Araç özellikleri	Araçların tespit, sınıflandırma ve izleme süreçlerinde kullanılan fiziksel veya gözlemlenebilir özellikleri.
Sürücü	Araç	Sürücü girişi	Sürücü tarafından doğrudan araç ekipmanına verilen komutlar, ayarlar ve etkileşimli girdiler.
AUS Yol Ekipmanları	TMC	Sinyal kontrol durumu	Trafik sinyal kontrol ekipmanlarının operasyonel durumuna ve mevcut göstergelerine ilişkin veriler.

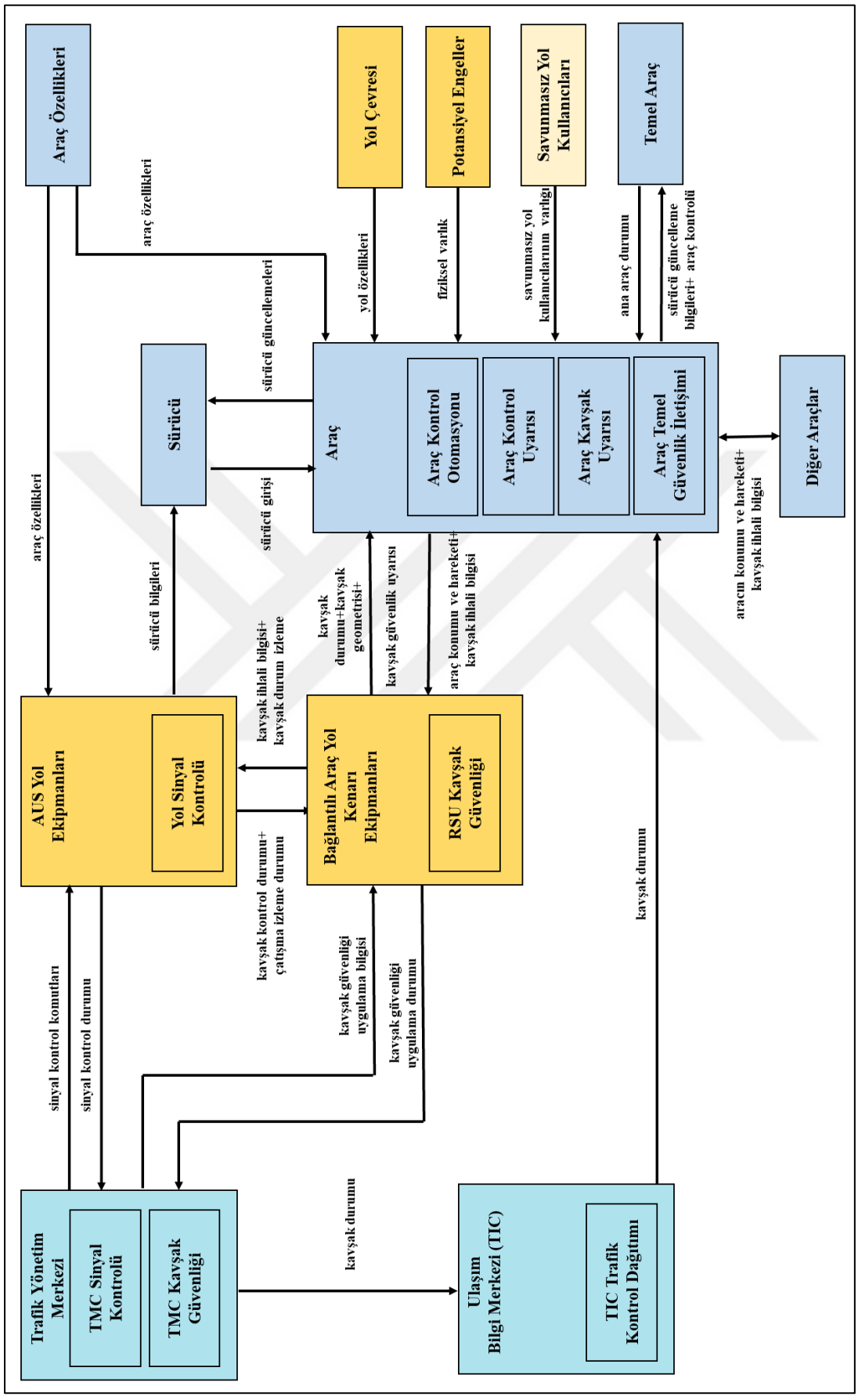
Örnek Senaryo Kırmızı Işık İhlali Tehlikesi: Bu senaryo, bağlantılı bir aracın sinyalize bir kavşağa yüksek hızla yaklaştığı ve mevcut koşullar altında kırmızı ışıkta durma mesafesini kaçırma riski bulunduğu durumu kapsamaktadır.

- Aşama 1 Bilgi Toplama ve İletimi (I2V): Bağlantılı araç, donatılmış ve sinyalize bir kavşağa yaklaşırken CV RSU ile sürekli veri alışverişi gerçekleştirir.

  - Altyapıdan Araca İletilen Bilgiler: Altyapı, kavşağın anlık durumunu içeren kavşak durumu akışı kapsamında, gerçek zamanlı SPaT bilgilerini araca iletir. Buna ek olarak kavşağın fiziksel yapısını, şerit konfigürasyonlarını ve durma çizgilerini tanımlayan kavşak geometrisi verileri paylaşılır.
  - Araçtan Altyapıya İletilen Bilgiler: Araç kendi konumu, hızı ve ivmesi gibi dinamik bilgileri içeren araç konum ve hareket verilerini düzenli aralıklarla altyapıya ve çevredeki diğer bağlantılı araçlara yayınlar.
  - Merkezi Dağıtım: TIC, TMC'den elde ettiği verileri, daha geniş bir coğrafi alandaki bağlantılı araçlara dağıtarak sistem genelinde bilgi sürekliliğini sağlar.
- Aşama 2 Araç İçi Analiz ve Tehlike Tespiti
  - Araç içerisinde yer alan Araç Kavşak Uyarısı, altyapıdan alınan SPaT ve kavşak geometrisi verilerini, aracın mevcut hız ve ivme profiliyle bütünleştirerek kapsamlı bir analiz gerçekleştirir. Bu analiz sonucunda sistem, aracın mevcut koşullar altında kırmızı ışık yanmadan önce kavşağı güvenli bir şekilde geçip geçemeyeceğini veya sinyal ihlali yapma olasılığını hesaplar.
- Aşama 3 İhlal Tespiti ve Sürücü Uyarısı: Analiz sonucunda, aracın kırmızı ışık yandıktan sonra kavşağa gireceğinin öngörülmesi durumunda sistem "yaklaşan ihlal" durumuna geçer.
  - Sürücü Uyarısı: Araç, sürücüyü olası ihlal konusunda görsel, işitsel ve/veya dokunsal uyarılar aracılığıyla derhal bilgilendirir.
  - Altyapı Tarafından İzlenme: Aynı anda altyapı sistemi de aracın yaklaşımını izler. Bir ihlalin yakın olduğu tespit edildiğinde, bağlantılı araca ek bir kavşak güvenlik uyarısı iletilir.
- Aşama 4 Çarpışma Önleme ve Otomatik Müdahale: İhlal riski devam ettiği ve sürücünün zamanında tepki vermediği durumlarda, aracın otomasyon seviyesine bağlı olarak sistem daha ileri güvenlik önlemleri uygular.
  - Otomatik Kontrol Müdahalesi: Çarpışma riskini azaltmak veya ortadan kaldırmak amacıyla sistem, aracın direksiyon ve/veya fren aktüatörlerine uygun kontrol komutları göndererek otomatik frenleme veya kaçınma manevraları gerçekleştirebilir.
  - İhlal Bildirimi: Araç, kavşakta izin verilmeyen bir manevranın gerçekleştiğini tespit ettiğinde, bu durumu kavşak ihlali bilgisi olarak altyapıya ve yakın çevredeki diğer bağlantılı araçlara iletir.

- Aşama 5 Çevresel Güvenlik ve Diğer Yol Kullanıcılarının Korunması: İhlal gerçekleştiren araçtan yayılan tehlike ve ihlal mesajları, kavşak genelinde güvenliğin artırılmasına katkı sağlar.
    - Diğer Araçların Bilgilendirilmesi: Kavşak içerisindeki veya yaklaşmakta olan diğer bağlantılı araçlar, ihlal bilgilerini alarak hızlarını düşürme, durma veya manevra değiştirme gibi önleyici güvenlik tedbirlerini uygular.
    - Hassas Yol Kullanıcılarının Korunması: Sistem, VRU'lar ile olası çatışmaları da dikkate alarak, uyarıların kapsamını genişletir ve kavşak genelinde güvenlik seviyesini artırır.

VS13 Kavşak güvenlik uyarısı ve çarpışma önleme hizmet paketi fiziksel görünüm Şekil 4.8.'de yer almaktadır (ARC-IT, 2025m).



Şekil 4.8. Kavşak güvenlik uyarısı ve çarpışma önleme hizmet paketi fiziksel görünümü

VS013 hizmet paketinin karşılamayı hedeflediği dört temel operasyonel ihtiyaç aşağıdaki gibidir:

İhtiyaç 1- Sinyal Zamanlama Bilgisinin İletilmesi: Trafik operasyonlarının, kavşak sinyal zamanlama bilgisini bağlantılı araçlara iletebilmesi gereklidir. Bu bilgi, aracın kavşaktan güvenli bir şekilde geçip geçemeyeceğini belirlemesi için kritik öneme sahiptir. Bu ihtiyacı karşılamak için; saha elemanlarının, trafik sinyal kontrol cihazlarından kavşak kontrolü ve çatışma izleme verilerini toplayarak bu bilgileri ilgili sistemlere aktarması gerekmektedir. Yol kenarı ekipmanlarının, kavşak güvenliğini desteklemek amacıyla sinyal zamanlama bilgilerini bağlantılı araçlara iletecek şekilde yapılandırılması ve işletilmesi beklenmektedir. TMC ise sensörlerden ve bağlantılı araçlardan elde edilen verileri kullanarak sinyalizasyonlu kavşaklara yönelik kontrol planlarını uygulamak ve tüm şeritler için gerçek zamanlı sinyal fazı ve zamanlama bilgilerini araçlara sunmakla yükümlüdür.

İhtiyaç 2- Yaklaşan İhlal Uyarısı: Trafik operasyonlarının, kavşak ihlal riski oluştuğunda araçları uyarabilmesi gereklidir. Bu kapsamda, trafik biriminin kavşakta dur işareti veya kırmızı ışık ihlali gibi izinsiz hareketlerin gerçekleşme olasılığının yüksek olduğu durumlarda araçları uyarabilme yeteneğine sahip olması öngörülmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla, RSU'ların araçlar tarafından iletilen güzergâh, konum ve hareket bilgilerini toplaması gerekmektedir. Araçların hem yol kenarı ekipmanlarıyla hem de çevredeki diğer araçlarla temel güvenlik bildirimi kapsamında konum ve hareket verilerini paylaşması beklenmektedir. Elde edilen bu bilgiler doğrultusunda, kavşak ihlalinin yakın olduğu durumlar tespit edildiğinde, yol kenarı ekipmanları tarafından ilgili bağlantılı araçlara uyarı mesajları iletilecektir.

İhtiyaç 3- İhlallerinin Azaltılması: Sinyalizasyonlu kavşaklarda meydana gelebilecek ihlallerin azaltılmasına yönelik olarak aracın mevcut durumu ve kavşak sinyal bilgileri dikkate alındığında, sinyalin kırmızıya dönmesinden sonra kavşaktan geçme olasılığı tespit edilen sürücünün uyarı alabilmesi gerekmektedir. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için, araç içi sistemlerin sürücünün aracı güvenli bir şekilde kontrol etme yeteneğini olumsuz etkilemeyecek biçimde tasarlanması ve uyarı bilgilerinin sesli ve/veya görsel yollarla sürücüye sunulması gerekmektedir.

İhtiyaç 4- Otomatik Kontrol Eylemleri: Sürücü kavşağa yaklaşırken güvensiz bir durum oluştuğunda aracın otomatik kontrol eylemleri gerçekleştirebilmesi gereklidir. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi amacıyla, araç platformundan elde edilen konum ve hareket verilerinin sürekli olarak toplanması gerekmektedir. Araç, bu veriler ile birlikte altyapıdan alınan kavşak durumu bilgilerini ve diğer araçlardan paylaşılan durum bilgilerini değerlendirerek uygun kontrol kararları oluşturmalıdır. Oluşturulan bu kararlar doğrultusunda, direksiyon aktüatörleri başta olmak üzere ilgili araç kontrol birimlerine uygun kontrol eylemlerinin gönderilmesi beklenmektedir (ARC-IT, 2025m).

SigV, K-AUS hizmeti senaryosu; sinyalize kavşaklarda meydana gelen çarpışmaların sayısını ve şiddetini azaltmayı amaçlamaktadır. Bu hizmet, sürücülerin kırmızı ışığı ihlal etme riski taşıdıkları durumlarda veya başka bir aracın kırmızı ışık ihlali yapma olasılığı bulunduğunda uyarılmalarını sağlamayı amaçlamaktadır. SigV hizmeti genellikle V2I iletişimi tabanlı olarak çalışmakta olup DSRC/ITS-G5 protokolü üzerinden yürütülmektedir. Sinyalize kavşaklar, RSU'ya bağlıdır ve bu birimler SPATEM ile MAPEM bilgilerini çevredeki araçlara iletmektedir. V2X donanımlı bir araç sinyalize bir kavşağa yaklaştığında, aracın konumu ve hızı doğrultusunda veri alınır. Aracın aldığı faz bilgileri ve tahmini zamanlamalar kullanılarak kırmızı ışık ihlalinin olası olup olmadığı değerlendirilir. Kırmızı ışık ihlalinin yakın olduğu durumlarda, sürücülere potansiyel ihlal konusunda uyarı sağlanır. Bu uyarılar, sürücünün zamanında durmasını veya çarpışmanın etkisini en aza indirmek için hızını azaltmasını hedefler. Uyarılar, sürücünün tehlikeyi zamanında fark edebilmesi için erken bir aşamada ve sürücünün dikkatini yeterince çekecek şekilde sesli uyarılarla desteklenen bir HMI üzerinden sürücüye aktarılmalıdır. Kırmızı ışık ihlalinin kaçınılmaz olduğu durumlarda, sistem başka bir kullanım senaryosu ile diğer araçları ihlali yapan araç hakkında bilgilendirir. Bu şekilde SigV hizmeti hem sürücü farkındalığını artırmakta hem de sinyalize kavşaklarda trafik güvenliğinin iyileştirilmesine destek olmaktadır (European Commission, 2016b:11-201).

Türkiye'de kavşaklarda yaşanan trafik kazalarının önemli bir kısmı, sürücülerin kavşak yaklaşımında yeterli bilgiye sahip olmamasından kaynaklanmaktadır. Mevcut kavşak altyapısı genellikle statik sinyal kontrolü ile yönetilmekte olup, kavşak geometrisi ve sinyal faz sürelerine ilişkin veriler araçlar tarafından gerçek zamanlı olarak alınamamaktadır. Bu durum, özellikle yüksek yoğunluklu kavşaklarda sürücü tepkilerinin gecikmesine, ani durma veya hızlanmalara ve dolayısıyla kaza riskinin artmasına neden olmaktadır. VS13 hizmet

paketi; bir kavşağa yaklaşan bağlantılı araçlara, kavşağın sinyal zamanlaması ve geometrisine ilişkin altyapı tabanlı bilgiler sağlayarak kavşak güvenliğini artırmayı yönelik aşağıda hedefleri desteklemektedir (ARC-IT, 2025m);

- Sinyalize ve sinyalize olmayan kavşaklarda meydana gelen toplam çarpışma sayısını altyapı tabanlı bilgi paylaşımı ile azaltmak,
- Kavşağa yaklaşan araçlara sinyal faz bilgisinin sağlanması yoluyla, kırmızı ışık ihlallerinden kaynaklanan çarpışma riskini minimize etmek.
- Kavşak geometrisi ve sinyal bilgisi ile sürücülerin tepki sürelerini iyileştirerek, insan hatasına bağlı çarpışmaları azaltmak.
- VRU'ların kavşak geçişlerinde maruz kaldığı riskleri azaltmak ve ciddi yaralanma/ölüm olasılığını düşürmek.

4.2.2. Trafik yönetimi (traffic management- TM)

TM hizmet paketleri, literatürde sıklıkla Gelişmiş Trafik Yönetim Sistemleri (Advanced Traffic Management Systems- ATMS) olarak anılmaktadır. Bu hizmet alanı, karayolu ulaşım sistemleri için trafik akışının izlenmesi, kontrol edilmesi ve optimize edilmesi amacıyla bilgi toplama, işleme, analiz etme ve kontrol cihazlarına komut verme süreçlerini içermektedir.

TM hizmet paketleri; trafik sinyali kontrolü, olay yönetimi, trafik sıkışıklığı tespiti, yol çalışmaları yönetimi ve dinamik trafik yönlendirme gibi fonksiyonları kapsamaktadır. Bu sistemler, sensör verileri, kamera görüntüleri ve araçlardan gelen bilgi akışını birleştirerek trafik ağlarının verimliliğini artırmayı, tıkanıklıkları azaltmayı ve yol kullanıcılarına güvenli, konforlu bir sürüş deneyimi sunmayı amaçlamaktadır. Türkiye'de TM alanında önerilen hizmet paketleri Çizelge 4.24.'te özetlenmiştir (ARC-IT, 2025a).

Çizelge 4.24. TM alanında Türkiye için önerilen hizmet paketleri

Kod	ARC-IT Hizmet Paketi	Açıklama	Türkiye'de Önerilen K-AUS Hizmetleri
TM02	Araç Tabanlı Trafik Gözetimi-Vehicle-Based Traffic Surveillance	Araçlardan (probe araçlar) trafik bilgisi ve çevresel veri toplama.	- PVD

Çizelge 4.24. (devam) TM alanında Türkiye için önerilen hizmet paketleri

Kod	ARC-IT Hizmet Paketi	Açıklama	Türkiye'de Önerilen K-AUS Hizmetleri
TM04	Bağlantılı Araç Trafik Sinyal Sistemi- Connected Vehicle Traffic Signal System	V2I iletişimi kullanarak araçlara kooperatif bilgi ve kontrol sinyalleri gönderme.	- GLOSA /TTG) - SigV - TSP

TM02- Araç tabanlı trafik gözetimi (vehicle-based traffic surveillance)

TM02 hizmet paketi, ulaşım ağındaki araçlardan elde edilen probe verilerini kullanarak trafik operasyonlarını desteklemeyi amaçlamaktadır. TM02, bağlantılı araç teknolojilerinin sunduğu veri potansiyelinden yararlanarak TMC'ye gerçek zamanlı ve kapsamlı trafik durumu bilgisi sağlamaktadır.

TM02 hizmet paketi, trafik yönetimi ve yolcu bilgilendirme alanlarında aşağıdaki operasyonel ihtiyaçlara yanıt vermektedir:

- Olay Tespiti ve Doğrulaması: Bağlantılı araçlardan elde edilen hız, yön ve manevra verileri kullanılarak yol ağının izlenmesi ve potansiyel olayların tespiti.
- Yolcu Bilgilendirme Desteği: Toplanan probe verilerinin analiz edilmesiyle rota bazında seyahat süresi, ortalama hız ve yol hava durumu bilgilerinin hesaplanarak diğer merkezlere iletilmesi.
- Ekipman Arızalarının İzlenmesi: Yol kenarı ekipmanlarının operasyonel durumlarının ve iletişim kesintilerinin izlenmesi; arıza tespitine yönelik veri toplanması.
- Ücretli Geçiş ve Toplu Taşıma Verilerinin Kullanımı: Ücretli geçiş sistemleri veya toplu taşıma araçlarından elde edilen probe verilerinin trafik durumu analizlerinde kullanılması.

Potansiyel trafik olaylarının belirlenmesinde aşağıdaki türde araç kaynaklı verilerden yararlanılmaktadır:

- Araç hızındaki ani değişiklikler (trafik akışında bozulma göstergesi),
- Araç güvenlik sistemlerinin devreye girmesi veya etkinleştirilmesi,
- Ani yön değişiklikleri veya ani yavaşlamalar (yolda potansiyel bir engel varlığı).

TM02 hizmet paketi kapsamında tanımlanan temel fiziksel nesneler Çizelge 4.25.'te bunlara karşılık gelen fonksiyonel nesneler Çizelge 4.26.'da bilgi akışları ise Çizelge 4.27.'de özetlenmiştir (ARC-IT, 2025d).

Çizelge 4.25. TM02 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
TMC	KGM trafik yönetim merkezleri ile büyükşehir belediyeleri trafik kontrol merkezleri.	Trafik akışını ve yol ağını merkezi olarak izleyen ve kontrol eden sistemdir. Yol kenarındaki kısa menzilli iletişim ekipmanlarından, toplu taşıma merkezlerinden ve ücret toplama noktalarından edinilen araç prob verilerini toplar, işler ve ilgili paydaşlara dağıtır. Bu verilerden yararlanarak trafik ve yol durumlarını tahmin eder ve diğer yönetim merkezlerine iletir. Ayrıca, yol kenarındaki prob veri toplama ekipmanının operasyonel durumunu izlemek ve arıza bilgilerini onarım amacıyla toplamakla sorumludur.
TIC	KGM trafik yönetim merkezleri ile belediyelerin trafik kontrol merkezleri tarafından yürütülen yol durumu ve trafik bilgi işleme ve dağıtım sistemleri. Özel seyahat bilgisi sağlayıcıları (navigasyon uygulamaları, telematik firmaları).	Ulaşımla ilgili verilerin toplandığı, işlendiği ve hem sistem operatörlerine hem de seyahat eden halka sunulduğu merkezi bir sistem.
CV RSU	KGM ve büyükşehir belediyeleri (altyapı sahibi) ile telekomünikasyon/AUS çözüm sağlayıcı özel sektör şirketleri.	Yakın çevredeki araç ve kişisel cihazlarla iletişim kuran, kısa menzilli kablosuz haberleşme teknolojileriyle donatılmış RSU.
Araç	OEM'ler tarafından sunulan bağlantılı araçlar ile özel araç sahiplerinin V2X uyumlu araçları ve akıllı cihaz tabanlı çözümleri.	V2V ve V2I iletişimini destekleyen sensör, işlemci, depolama ve iletişim bileşenlerini içeren araç platformu.
Temel Araç	OEM'ler ile bireysel araç sahipleri.	AUS elektroniği ile birlikte araç platformunu oluşturan temel mekanik ve elektronik sistemler.
Kablosuz İletişim Sağlayıcı Sistemi	Mobil operatörler (GSM şirketleri); konum tabanlı veri hizmeti sağlayıcıları.	Bu sistemler, mobil kullanıcıların konum bilgilerini toplar ve bu verileri anonimleştirerek ulaşım sağlayıcılarıyla paylaşılabilir. Ulaştırma otoriteleri ile paylaşılan bu bilgiler, seyahat süresi tahmini ve ulaşım performansı göstergelerinin elde edilmesi için değerli bir veri kaynağı oluşturur.
Toplu Taşıma Yönetim Merkezi	Büyükşehir/il belediyeleri toplu taşıma işletmeleri (örneğin, İETT).	Toplu taşıma filolarının işletilmesinden sorumludur; operasyon, bakım, müşteri bilgilendirme ve planlama işlevlerini yürütür. Araç takip sistemlerinden elde edilen toplu taşıma prob verilerini (hız ve seyahat süreleri gibi) TMC veya TIC birimlerine ileterek trafik koşullarının izlenmesine katkıda bulunur.

Çizelge 4.25. (devam) TM02 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
Ödeme Yönetim Merkezi (PAC)	Otoyol ve köprü işletmecileri; elektronik ücret toplama sistemleri (HGS/OGS).	Elektronik ödeme yönetimini sağlar ve ücretlerin (geçiş ücretleri, kilometre bazlı ücretlendirme, yoğunluk ücreti vb.) toplanmasına ilişkin elektronik ödeme işlemlerini destekler.

Çizelge 4.26. TM02 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
CV RSU	RSU Durum İzleme	Geçen araçlardan trafikle ilgili verileri (hız, yön, durmalar, hız değişiklikleri vb.), çevresel verileri ve emisyon verilerini toplar.
CV RSU	RSU Trafik İzleme	Bağlantılı araçlardan gelen güvenlik mesajlarını izler ve bunları altyapı sensör verileri veya trafik akışı ölçümlerine (hız, hacim, doluluk) dönüştürür.
TMC	TMC Durum Veri Yönetimi	Araç prob verilerini toplayıp işleyerek trafik ve yol koşullarını tahmin eder ve bu bilgiyi diğer merkezlere dağıtarak operasyonel kararları destekler.
TIC	TIC Durum Veri Yönetimi	Bağlantılı araç verilerini toplar, kalite kontrolünden geçirir, birleştirir ve depolar. Böylece ham verileri, ulaşım operasyonlarını ve yolcu bilgilerini desteklemek için kullanılabilecek bilgilere dönüştürür.
Araç	Araç Durum Veri Gözetimi	Araçtaki sensörler ve sistemler aracılığıyla aracın genel durumunun izlenmesi ve trafik akışına dair analizlerin yapılması için veri sağlar.
Araç	Araç Temel Güvenlik İletişimi	Araç özellikleri, konumu ve hareket bilgilerini yakın çevredeki diğer araçlarla paylaşır; çarpışma potansiyeli algılandığında sürücüyü uyarır.

Çizelge 4.27. TM02 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Temel Araç	Araç	Ana Araç Durumu	Güç aktarma organı, direksiyon, fren sistemleri ve diğer güvenlik/konfor sistemlerinin mevcut durumu dahil olmak üzere araç platformundaki diğer sistemlerden OBU'ya iletilen bilgiler.
CV RSU	TMC	Trafik İzleme Uygulaması Durumu	RSU'nun mevcut operasyonel durumu ve sistem kayıtlarını içerir.
CV RSU	TMC	Trafik Durumu Verileri	Toplanan bilgileri tamamlamak veya değiştirmek için kullanılabilen güncel, toplu trafik verileri.
CV RSU	TIC	Trafik Durumu Verileri	Toplanan bilgileri tamamlamak veya değiştirmek için kullanılabilen güncel, toplu trafik verileri.
CV RSU	Araç	Araç Durum Veri Parametreleri	Araçtan alınacak veri türünü, veri akışını ve raporlama parametrelerini tanımlar.
Ödeme Yönetim Merkezi	TMC	Geçiş Prob Verileri	Elektronik ücret toplama operasyonlarından elde edilen toplu prob verilerini içerir.

Çizelge 4.27. (devam) TM02 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Ödeme Yönetim Merkezi	TIC	Geçiş Prob Verileri	Elektronik ücret toplama operasyonlarından elde edilen toplu prob verilerini içerir.
TMC	CV RSU	Durum Verisi Toplama Parametreleri	RSU'dan gelen verilerin akışını kontrol etmek için kullanılan parametrelerdir. Araçlardan istenen ve arka ofis merkezine iletilecek verilerin türünü, miktarını ve akışını; ayrıca veri toplama sıklığını, filtreleme kriterlerini ve raporlama aralıklarını belirler.
TMC	CV RSU	Trafik İzleme Uygulama Bilgisi	Trafik izleme uygulamalarında kullanılan filtreleme, toplama ve ölçüt aralığını kontrol eden parametrelerdir. Uygulamanın uzaktan kontrol edilmesini (çevrimdışı yapma, sıfırlama, yeniden başlatma) de sağlar.
TMC	TIC	Yol Ağı Koşulları	Mevcut ve tahmini trafik bilgileri, yol ve hava durumu, sapmalar, kapanmalar ve özel trafik kısıtlamaları hakkında bilgiler içerir.
Toplu Taşıma Yönetim Merkezi	TMC	Toplu Taşıma Prob Verileri	Toplu taşıma araçlarının takibinden türetilen toplu prob verileridir.
Toplu Taşıma Yönetim Merkezi	TIC	Toplu Taşıma Prob Verileri	Toplu taşıma araçlarının takibinden türetilen toplu prob verileridir.
TIC	TMC	Yol Ağı Trafik Durumu Verileri	Prob araçlardan toplanan ve mevcut trafik koşullarını tahmin etmek için kullanılabilecek veriler.
TIC	Araç	Araç Durum Verisi Parametreleri	Araç tarafından raporlanan veriyi kontrol etmek için, kullanılan parametreleri içeren araç durum verisi talebi.
Araç	CV RSU	Gözetim İçin Araç Konumu ve Hareketi	Araçların 3 boyutlu konumu, yönü, hızı, ivmesi, fren durumu ve boyutlarını içeren veriler.
Araç	CV RSU	Araç Durumu Verileri	Trafik ve çevresel koşulların izlenmesini desteklemek için araç tarafından sağlanabilecek anlık görüntülerdir.
Araç	TIC	Araç Durumu Verileri	Trafik ve çevresel koşulların izlenmesini desteklemek için araç tarafından sağlanabilecek anlık görüntülerdir.
Kablosuz İletişim Sağlayıcı Sistemi	TMC	İletişimden Türetilen Seyahat Performans Verileri	Seyahat süresi ve ulaşım performans verilerini türetmek için kullanılabilecek ham kimlikler, konumlar, zaman damgaları, türetilmiş bağlantı seyahat süreleri veya hızlardır.
Kablosuz İletişim Sağlayıcı Sistemi	TIC	İletişimden Türetilen Seyahat Performans Verileri	Seyahat süresi ve ulaşım performans verilerini türetmek için kullanılabilecek ham kimlikler, konumlar, zaman damgaları, türetilmiş bağlantı seyahat süreleri veya hızlardır.

TM02 hizmet paketi, veri toplama yöntemine bağlı olarak iki temel uygulama senaryosu çerçevesinde ele alınmaktadır:

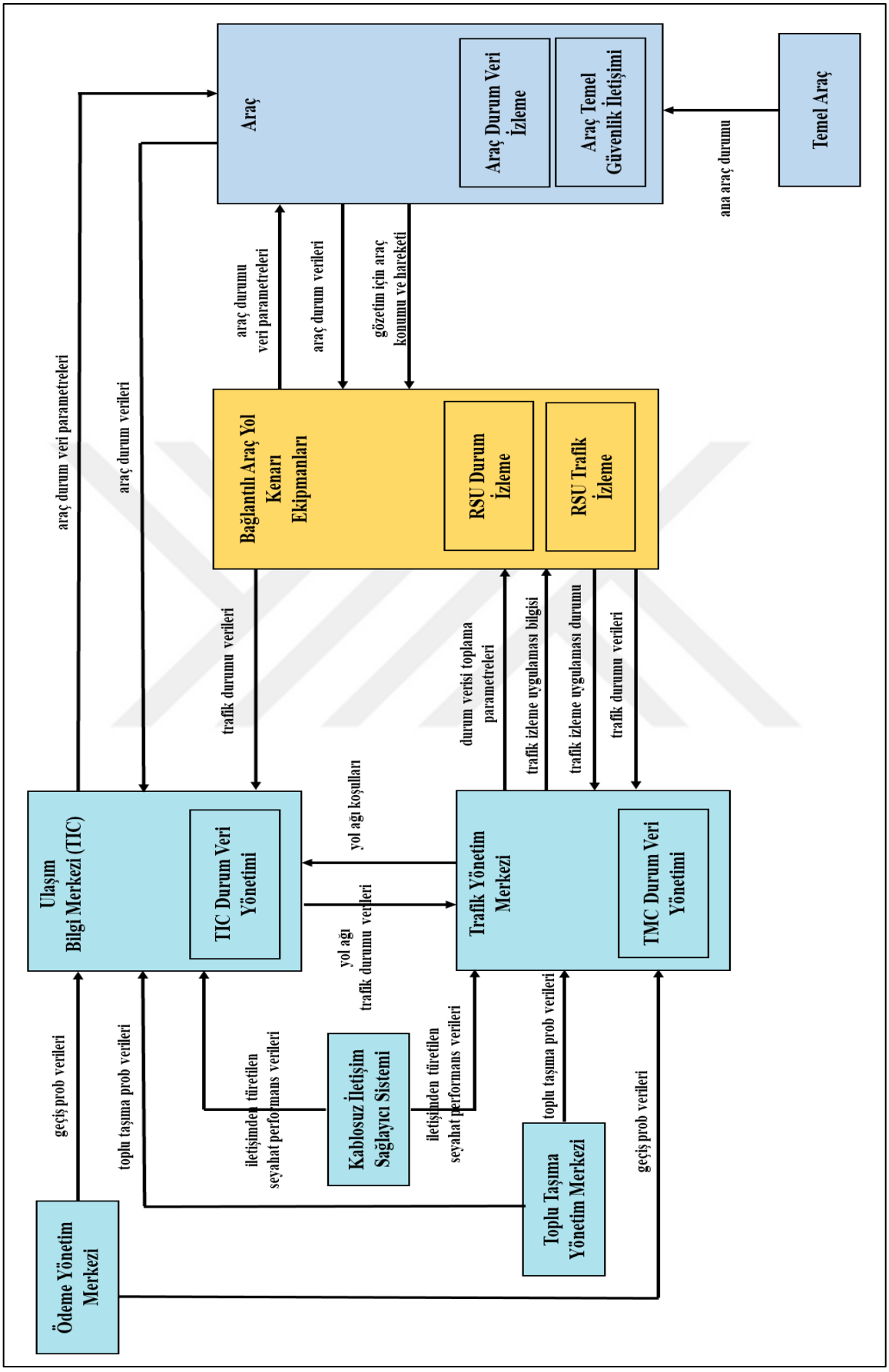
- Geniş Alan Kablosuz İletişimi: Katılımcı araçlardan trafik verilerinin toplanmasında geniş alan kablosuz iletişim teknolojilerinin kullanıldığı uygulama senaryosudur.
- K-AUS İletişimi: Donanımlı araçlardan kısa menzilli iletişim yoluyla trafik verilerinin toplanmasını içeren ve CV RSU üzerinden yürütülen uygulama senaryosudur.

Örnek Senaryo Trafik Gözetimi ve Olay Tespiti: *A*raçlardan elde edilen veriler kullanılarak trafik operasyonlarının desteklenmesi, olay tespiti süreçlerinin hızlandırılması ve trafik performans göstergelerinin (örneğin seyahat süreleri, ortalama hızlar, tıkanıklık düzeyi) hesaplanması amaçlanmaktadır. Bu süreçte araçlardan ve yol altyapısından gerçek zamanlı veriler toplanır, eksik veya hatalı veriler düzeltilir ve farklı veri kaynakları birleştirilir. Toplanan veriler, trafik yoğunluğu ve araç hareketleri üzerinde analiz edilerek kritik noktalar belirlenir ve trafik sinyal sistemleri, yoğunluk bilgisine göre optimize edilir. Ani yavaşlamalar, kazalar veya beklenmeyen duraklamalar otomatik olarak tespit edilip ilgili trafik birimlerine bildirilir. Böylece olaylara hızlı müdahale sağlanırken, seyahat süreleri, ortalama hızlar ve tıkanıklık düzeyleri hesaplanarak performans raporları oluşturulur. Elde edilen veriler hem günlük trafik yönetimi hem de uzun vadeli planlama ve iyileştirme süreçlerinde kullanılır.

- Aşama 1: Araç Verilerinin Üretilmesi
  - Bağlantılı araçlar, seyir hâlindeyken BSM ve benzeri veri formatları aracılığıyla konum, hız, yön ve ivme bilgilerini oluşturur.
  - Araç içi sensörlerden elde edilen ani hız değişimi, sert frenleme veya kayma gibi veriler, olası olay göstergeleri olarak değerlendirilir.
- Aşama 2. Veri Toplama ve İşleme
  - CV RSU birimleri, kısa menzilli haberleşme teknolojileri (DSRC veya C-V2X) aracılığıyla donanımlı araçlardan gelen verileri toplar.
  - Toplanan veriler, hız değişimleri ve yoğunluk ölçütleri üzerinden işlenerek trafik akışının mevcut durumu belirlenir.
  - Elde edilen özet trafik verileri olay tespiti amacıyla analiz edilir.
- Aşama 3: Verilerin Merkeze Aktarılması
  - CV RSU'lar, işlenmiş ve filtrelenmiş verileri TMC veya TIC'a iletir.
  - TMC bu verileri trafik operasyonları, olay tespiti ve performans değerlendirmesi için kullanır.

  - TIC ise verilerin kalite kontrolünü gerçekleştirir, ham verileri analiz ederek seyahat süresi, ortalama hız ve yol durumu gibi bilgi ürünlerine dönüştürür.
- Aşama 4: Olay Tespiti ve Yanıt Süreci
  - TMC; araçlardan gelen verilerdeki ani hız düşüşleri, acil frenleme sinyalleri veya güvenlik sistemi uyarılarını analiz ederek olası olay noktalarını belirler.
  - Olay doğrulaması yapıldıktan sonra, ilgili saha birimleri yönlendirilir ve trafik akışının olumsuz etkilenmemesi için yerel operasyonel stratejiler (örneğin dinamik yönlendirme, şerit yönetimi) uygulanır.
- Aşama 5: Veri Paylaşımı ve Bilgi Dağıtımı
  - TMC, analiz edilmiş olay ve trafik bilgilerini sürücü bilgilendirme sistemleri ve kamu veri platformlarıyla paylaşır.
  - Böylece, sürücü bilgilendirme, seyahat planlama ve ağ yönetimi işlevleri desteklenir.

TM02 Araç tabanlı trafik gözetimi hizmet paketi fiziksel görünümü Şekil 4.9.'da yer almaktadır (ARC-IT, 2025d).



Şekil 4.9. Araç tabanlı trafik gözetimi hizmet paketi fiziksel görünümü

TM02 hizmet paketi, ulaştırma sistemlerinin performansını izlemek ve trafik olaylarını tespit etmek amacıyla bağlantılı araçlardan ve çeşitli harici sistemlerden elde edilen prob verilerini kullanmaktadır. Bu kapsamda, hizmet paketine ilişkin temel kullanıcı ihtiyaçları ve bu ihtiyaçları karşılamak için sistemin yerine getirmesi gereken temel işlevsel gereksinimler aşağıda sunulmaktadır.

İhtiyaç 1- Olay Tespiti ve Doğrulaması: Trafik operasyonları ve seyahat bilgilendirme sağlayıcıları, yol ağını izlemek ve olayları doğrulamak için bağlantılı araçlardan veri toplama yeteneğine sahip olmalıdır. Saha elemanları, araçlardan hız, yön, kalkış-duruş bilgilerini edinerek veri toplama parametrelerini sağlayacak ve yerleşik ekipmanlarla iletişim kurarak araçların konum, hareket ve önceki olay kayıtlarını temin edecektir. Merkezler, araçlar ve yol kenarındaki ekipmanlardan alınan verileri birleştirerek gerekli analizleri gerçekleştirecek ve trafik koşullarının belirlenmesinde kullanacaktır.

İhtiyaç 2- Yol Kenarı Ekipman Durumu İzleme: Trafik operasyonları birimi, ekipman ve iletişimdeki arızaları tespit edebilmek amacıyla yol kenarındaki ekipmanları izleyebilmelidir. Bu kapsamda TMC, yol kenarı veri toplama ekipmanının çalışma durumunu kaydedecek ve onarım süreçleri için ekipmana ait arıza verilerini toplayacaktır.

İhtiyaç 3- Seyahat Bilgisi Desteği: Trafik operasyon birimleri, yolcu bilgilendirmesini desteklemek amacıyla bağlantılı araçlar ve kısa menzilli iletişim ekipmanlarından veri toplayarak yol ağını izleyebilmelidir. Merkez, uygun araçlardan elde edilen verileri işleyerek segment bazında seyahat süreleri, hız, yol kullanımı ve yol durumu bilgilerini hesaplayıp ilgili merkezlerle paylaşacaktır.

İhtiyaç 4- Harici Sistemlerden Gelen Verilerin İzlenmesi: Trafik operasyonları, yol ağını izlemek için toplu taşıma ve ücret toplama sistemlerinden elde edilen prob verilerini kullanmalıdır. Sistem, toplu taşıma yönetim merkezleri ve elektronik ücret toplama (ETC) noktalarından seyahat süreleri ve yol durumu verilerini toplayarak trafik yoğunluğu ve seyahat sürelerini izleyebilir (ARC-IT, 2025d).

PVD; trafik koşulları, trafik akışı ve olaylarla ilgili bilgi sağlayarak mevcut trafik yönetimi operasyonlarını geliştirmeyi, I2V kullanım senaryolarını etkinleştirmeyi ve istatistiksel/modelleme çalışmalarında (ör. dijital ikiz uygulamaları) veri temin etmeyi

hedeflemektedir. Veriler, araçlar tarafından otomatik olarak veya sürücüler tarafından manuel olarak bildirilen olaylar aracılığıyla toplanmaktadır. Bu veriler, yol operatörleri tarafından trafik yönetiminin iyileştirilmesi ve güvenliğin artırılması gibi amaçlarla kullanılabilmektedir.

- PVD; konum ve zaman bilgisi ile hareket yönü gibi araç parametrelerinin toplanmasını kapsamaktadır.
- Sürücü eylemlerine ilişkin bilgiler de (ör; direksiyon, frenleme, lastik patlaması, silecek durumu), hava durumu ve yol yüzey koşulları ile birlikte toplanabilir.
- Toplanan veriler; trafik akışlarını optimize etmek, yol bakım ve koruma çalışmalarını desteklemek ve kaza riskinin yüksek olduğu kaza kara noktaları hakkında kullanıcıları uyarmak amacıyla kullanılmaktadır.

PVD, genellikle Gün 1 V2I hizmeti kapsamında sunulmakta olup hibrit bir iletişim yapısına (hücresel veya DSRC/ITS-G5) dayanmaktadır (European Commission, 2016b:11-201). Türkiye'de özellikle büyük şehirlerde artan araç sayısı, yetersiz yol kapasitesi ve toplu taşıma entegrasyonundaki eksiklikler, günlük yaşamda trafik sıkışıklığı, uzun seyahat süreleri ve olumsuz çevresel etkiler gibi sorunlara yol açmaktadır. Bu kapsamda TM02 hizmet paketinin Türkiye'deki ulaşım sistemine katkıda bulunmayı hedeflediği başlıca alanlar şunlardır (ARC-IT, 2025d):

- Operasyonel Verimliliği İyileştirmek: Ulaşım sisteminin yönetimini, sabit sensörlerin yanı sıra araçlardan gelen dinamik verilerle destekleyerek daha düşük maliyetli ve kapsamlı bir izleme altyapısı oluşturmak.
- Entegrasyon ve Bağlanabilirliği Artırmak: KGM, Büyükşehir Belediyeleri, toplu taşıma ve ücret toplama sistemleri arasında modlar arası veri paylaşımını güçlendirmek.
- Gerçek Zamanlı Trafik Performans Ölçütleri Sağlama: Araçlardan doğrudan elde edilen prob verileri sayesinde, seyahat süreleri, hızlar ve diğer trafik performans göstergelerini daha doğru ve güncel biçimde belirlemek.
- Olay Tespit ve Müdahale Sürelerini Azaltmak: Potansiyel olayların konumunun hızlı bir şekilde belirlenmesi ile operasyon birimlerinin olaya daha hızlı yanıt verebilmesini ve ağ üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılmasını sağlamak.

- Trafik Sıkışıklığını Azaltmak: Araçlardan gelen gerçek zamanlı hız ve konum verilerini kullanarak yol ağındaki tıkanıklıkları tespit etmek ve hareketliliği artırmak.
- Veri Paylaşım Kapsamını Genişletmek: Bölgedeki farklı ulaşım modlarının (otobüs, metro, otoyol vb.) yolcu ve trafik bilgilerini birbirleriyle etkin şekilde paylaşmasını sağlamak.

TM04- Bağlantılı araç trafik sinyal sistemi (connected vehicle traffic signal system)

TM04 hizmet paketi, trafik sinyal kontrol sistemlerinin işletim performansını artırmayı amaçlayan bütünleşik bir sistemdir. Paket, bağlantılı araçlardan elde edilen konum ve hareket verilerini ile bağlantılı olmayan araçların altyapı tabanlı verilerini bir arada kullanarak trafik sinyal operasyonlarını optimize eder. TM04 hizmet paketinin uygulanması, temel trafik sinyalizasyon stratejilerine dayanmaktadır ve her bir strateji, bağlantılı araç teknolojileriyle geliştirilerek üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Bu uygulamalar, kavşak ile yaklaşan araçlar arasında gerçek zamanlı iletişim kurulmasını sağlayarak, araçların kavşak kullanımını optimize etmelerine olanak tanımaktadır. TM04 paketinin uygulanması, farklı trafik sinyal kontrol stratejilerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır:

- TM04.1 Zaman Ayarlı (Sabit Zamanlı) Kontrol: TM03'te sunulan temel sinyal kontrol uygulamasının kavşaklarda kurulan CV RSU ile genişletilmiş halini temsil etmektedir. Yaklaşan araçlardan detaylı durum bilgileri toplanmakta ve araçlara gerçek zamanlı kavşak durumu (sinyal fazı ve zamanlaması) iletilmektedir. Bu sayede araçlar, dur-kalk süreçlerini optimize edebilmektedir. Sinyal zamanlaması sabittir ve yaklaşan araçlardan veya geleneksel altyapı tabanlı dedektörlerden elde edilen verilere bağlı olarak değişmemektedir.
- TM04.2 Tamamen Trafiğe Duyarlı Kontrol: Bu strateji, TM03 paketindeki trafiğe duyarlı kontrolün, bağlantılı araç teknolojisi ile modernize edilmiş ve geliştirilmiş bir versiyonudur. Kavşak durumu hem bağlantılı araçlara gerçek zamanlı olarak iletilmekte hem de bu araçlardan gelen veriler, sinyal sürelerinin optimize edilmesinde kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle kavşaklardan konvoy akışına izin verilmesi gibi operasyonel iyileştirmeleri desteklemektedir. Sinyal zamanlaması, yaklaşan bağlantılı araçlardan gelen konum ve hareket verilerine ve/veya geleneksel altyapı

sensörlerinden (döngü dedektörleri vb.) elde edilen ölçümlere dayalı olarak dinamik şekilde ayarlanmaktadır.

- TM04.3 Saha Ana Kontrollü: Bu uygulama, sinyalize kavşakların bir "saha ana kontrolörü" tarafından yönetildiği dağıtık bir kontrol yapısını temsil etmektedir. Bireysel kavşaklara kurulan CV RSU'lar aracılığıyla araçlarla gerçek zamanlı iletişim sağlanırken, merkezi olmayan bu yapı sayesinde birden fazla kavşağın koordinasyonu yerel bir ana cihaz üzerinden gerçekleştirilmektedir. Sistem, saha ana kontrolörü ile yönetilen yerel sinyal kontrolörleri arasındaki saha-saha iletişimini destekleyen özel fonksiyonel nesneler ile çalışmaktadır.

TM04 hizmet paketi kapsamında kritik işlevlere sahip fiziksel nesneler Çizelge 4.28.'de fonksiyonel nesneler Çizelge 4.29.'da bilgi akışları Çizelge 4.30.'da açıklanmaktadır (ARC-IT, 2025e).

Çizelge 4.28. TM04 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
CV RSU	KGM ve büyükşehir belediyeleri (altyapı sahibi) ile telekomünikasyon/AUS çözüm sağlayıcı özel sektör şirketleri.	Yakın çevredeki araç ve kişisel cihazlarla iletişim kuran, kısa menzilli kablosuz haberleşme teknolojileriyle donatılmış RSU.
AUS Yol Ekipmanları	KGM ve belediyelere ait saha birimleri (çevre/trafik sensörleri, DMS, güvenlik kameraları).	Yola yerleştirilmiş; trafik izleme, trafik kontrolü ve yol durumu yönetimi görevlerini yerine getiren AUS ekipmanları (trafik dedektörleri, çevresel sensörler, DMS, CCTV vb.).
TMC	KGM trafik yönetim merkezleri ile büyükşehir belediyeleri trafik kontrol merkezleri.	Trafik akışını ve yol ağını merkezi olarak izleyen ve kontrol eden sistemdir. Trafik akışını yönetmek ve yol durumu, çevresel koşullar ile saha ekipmanlarını izlemek için AUS Yol Ekipmanları ve CV RSU ile iletişim kurar. Ayrıca, küçük kazalardan büyük felaketlere kadar her türlü olayda, ilgili kurumların müdahale ve iyileştirme süreçlerini destekleyerek trafik ve ulaşım kaynaklarını koordine eder.
TIC	KGM trafik yönetim merkezleri ile belediyelerin trafik kontrol merkezleri tarafından yürütülen yol durumu ve trafik bilgi işleme ve dağıtım sistemleri. Özel seyahat bilgisi sağlayıcıları (navigasyon uygulamaları, telematik firmaları).	Ulaşımla ilgili verilerin toplandığı, işlendiği ve hem sistem operatörlerine hem de seyahat eden halka sunulduğu merkezi bir sistem.
Araç	OEM'ler tarafından sunulan bağlantılı araçlar ile özel araç sahiplerinin V2X uyumlu araçları ve akıllı cihaz tabanlı çözümleri.	V2V ve V2I iletişimini destekleyen sensör, işlemci, depolama ve iletişim bileşenlerini içeren araç platformu.

Çizelge 4.28. (devam) TM04 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
Sürücü	Bireysel ve ticari sürücüler.	Güvenlik uygulamaları kapsamında sistemle etkileşim kuran, aracı kontrol eden kişi.
Diğer AUS Yol Ekipmanları	Karayolları ve belediyelere ait AUS saha birimleri.	AUS altyapısı içindeki sensörler, dinamik mesaj işaretleri ve sinyalizasyon sistemleri gibi saha cihazları arasında doğrudan iletişim, veri alışverişi ve koordinasyonu sağlayan ekipmanlar.
Araç Özellikleri	OEM'ler ve resmi tescil kurumları.	Araçların yüksekliği, ağırlığı ve aks sayısı gibi fiziksel ve görünür nitelikleri.
Trafik Operasyonları Personeli	Trafik yönetim merkezi operasyon personeli, KGM yol işletme memurları.	Trafik kontrol ve gözetleme sistemleri ile etkileşime girerek, sistem operasyonlarını yönlendirmek amacıyla komut girişlerinde bulunan trafik yönetim merkezi personeli.
Mikromobilite Aracı (MMV) Kullanıcısı	Bisikletli ve e-skuter kullanıcıları.	E-skuter, bisiklet ve elektrikli tekerlekli sandalye gibi mikromobilite araçlarını kullanan kişiler. AUS hizmetlerine katılır ve kavşaklarda geçiş önceliği talebi gibi girdiler sağlar.
Yaya	Yayalar.	Yürüyerek seyahat eden kişiler. AUS hizmetlerine katılır ve kavşaklarda geçiş önceliği talebi gibi girdiler sağlar.

Çizelge 4.29. TM04 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
CV RSU	RSU Trafik İzleme	Bağlantılı araçlardan gelen güvenlik mesajlarını izler ve bunları altyapı sensör verileri veya trafik akışı ölçümlerine (hız, hacim, doluluk) dönüştürür.
CV RSU	RSU Kavşak Yönetimi	Yaklaşan araçlarla ve AUS altyapısı (trafik sinyal kontrolörü) ile iletişim kurarak trafik sinyali operasyonlarını geliştirir.
CV RSU	RSU Durum İzleme	Geçen araçlardan trafikle ilgili verileri (hız, yön, durmalar, hız değişiklikleri vb.), çevresel verileri ve emisyon verilerini toplar.
AUS Yol Ekipmanları	Yol Sinyal Kontrolü	Sinyalize kavşakları izleyen ve kontrol eden saha elemanlarını (trafik sinyal kontrolörleri, dedektörler, sinyal kafaları vb.) içerir.
AUS Yol Ekipmanları	Yol Temel Gözetimi	Döngü (loop) dedektörleri, CCTV kameraları gibi sabit ekipmanlar aracılığıyla trafik koşullarını izler.
AUS Yol Ekipmanları	Yol Saha Yönetimi İstasyon İşletmesi	Saha ekipmanı ile saha yönetim istasyonları arasında doğrudan iletişimi destekler.
TMC	TMC Sinyal Kontrolü	Toplanan trafik gözetim verilerini analiz etmek ve sinyalize kavşaklar için kontrol planları geliştirmek için trafik yöneticilerine sinyalize kavşaklardaki trafik akışını izleme ve yönetme işlevi sağlar.
TM	TMC Temel Gözetimi	Trafik sensörleri ve gözetim ekipmanlarının uzaktan izlenmesi ile trafik verilerinin toplanması ve işlenmesini sağlar.
TMC	TMC Yol Ekipmanı İzleme	Saha ekipmanının (trafik sinyalleri, sensörler vb.) operasyonel durumunu izler, arızaları tespit eder ve durumu Trafik Operasyon Personeline sunar.
Araç	Araç Kavşağı Uyarısı	Kavşaklarda diğer bağlantlı araçları izlemek ve aracın kavşaktan güvenli hareketini desteklemek için V2V ve V2I iletişimlerini kullanır.

Çizelge 4.29. (devam) TM04 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
Araç	Araç Temel Güvenlik İletişimi	Araç özellikleri, konumu ve hareket bilgilerini yakın çevredeki diğer araçlarla paylaşır; çarpışma potansiyeli algılandığında sürücüyü uyarır.
Araç	Araç Durum Veri İzleme	Trafik ve çevresel durum verilerini, yol ağında seyahat ederken toplar.
TIC	TIC Trafik Kontrol Dağıtımı	Kavşak durumu, şerit kontrol bilgileri ve özel araç uyarıları gibi trafik kontrolüyle ilgili gerçek zamanlı veya gerçeğe yakın bilgileri toplar. Bu bilgileri yerel alandaki araçlara ve diğer mobil cihazlara yayar.

Çizelge 4.30. TM04 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
CV RSU	Araç	Kavşak geometrisi	Kavşağın fiziksel geometrisini kapsayan harita verisidir; yaklaşan şeritlerin, çıkış şeritlerinin ve geçerli yolların konumunu ve genişliğini içerir. Ayrıca durma çizgilerini ve yaya geçitlerini tanımlar.
CV RSU	Araç	Kavşak durumu	Sinyalli bir kavşaktaki tüm şeritler için mevcut sinyal fazı ve zamanlama bilgisidir (SPaT). Aktif şeritleri, durdurulan şeritleri ve mevcut durumun ne kadar süreceğini belirtir; ayrıca sinyal önceliklendirme ve yaya geçiş durumu bilgisi içerir.
CV RSU	Araç	Araç durumu veri parametreleri	Aracın göndereceği verileri belirlemeye yönelik bir "öneri akışı" gibi işlev görür, ancak araç her zaman ne göndereceğine kendisi karar verir.
CV RSU	TMC	Kavşak yönetimi uygulama durumu	Mevcut operasyonel durumu, RSU'nun durumunu ve operasyon günlüğünü içerir.
CV RSU	AUS Yol Ekipmanları	Kavşak durumu izleme	Gerçek sinyal durumları ile RSU iletişimleri arasındaki çakışmaları izlemeyi desteklemek için kavşaktaki bir alıcı tarafından iletişimin izlenmesi.
CV RSU	AUS Yol Ekipmanları	Sinyal hizmeti talebi	Kavşağa yaklaşan bağlantılı araçlar ve/veya yayalar için RSU tarafından sinyal denetleyiciye iletilen, sinyal kontrol fazı servis veya faz uzatma çağrısı.
CV RSU	AUS Yol Ekipmanları	Trafik durumu verileri	Olay tespitine yardımcı olmak için kullanılan, toplanmış trafik/çevresel durum verileri.
CV RSU	TMC	Trafik durumu verileri	Olay tespitine yardımcı olmak için kullanılan, toplanmış trafik/çevresel durum verileri.
Sürücü	Araç	Sürücü girişi	Sürücü tarafından doğrudan araç ekipmanına verilen komutlar, ayarlar ve etkileşimli girdiler.
AUS Yol Ekipmanları	CV RSU	Çatışma izleme durumu	Bir çakışma algılandığında ve RSU'nun kavşak yönetimi için güvenli moda geçmesi gerektiğinde arızaya karşı koruma operasyonunu destekleyen kontrol akışı.
AUS Yol Ekipmanları	CV RSU	Kavşak kontrol durumu	Trafik sinyal kontrolörü tarafından sağlanan faz bilgisi, alarm durumu ve öncelik/önleme durumu gibi durum verilerini içerir.

Çizelge 4.30. (devam) TM04 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
AUS Yol Ekipmanları	Sürücü	Sürücü bilgileri	Sürücünün güvenli ve verimli bir şekilde araç kullanmasını desteklemek amacıyla iletilen düzenleyici, uyarı niteliğindeki, yönlendirici ve diğer bilgilerdir. Bu, sürücünün kavşaktan geçip geçmeyeceğine veya hangi hızda geçeceğine karar vermesi için güvendiği birincil sinyaldir.
AUS Yol Ekipmanları	MMV Kullanıcısı	Geçiş izni	Yayaları ve mikromobilite araç kullanıcılarını yönlendiren geçiş isteği onayı, geçiş izni durumu, kalan geçiş süresi ve mevcut güvenlik tehditlerine ilişkin gerçek zamanlı uyarıları içerir.
AUS Yol Ekipmanları	Diğer AUS Yol Kenarı Ekipmanları	Geçiş hakkı talebi koordinasyonu	Yayalardan ve VRU'lardan gelen geçiş çağrılarının bildirilmesini, sinyal önceliklendirme veya önceliklendirme taleplerini ve bir kavşakta geçiş hakkı için yapılan diğer tüm talepleri içerir.
AUS Yol Ekipmanları	Diğer AUS Yol Kenarı Ekipmanları	Trafik dedektörü koordinasyonu	İndüktif döngü dedektörleri ve makine görüşü sensörleri gibi trafik dedektör sistemlerinin birbirleriyle veri paylaşarak eşgüdümlü çalışmasını ve gerçek zamanlı trafik izleme ile karar destek uygulamalarını sağlayan akış.
AUS Yol Ekipmanları	Diğer AUS Yol Kenarı Ekipmanları	Sinyal kontrol koordinasyonu	Trafik sinyal kontrolörlerinin veya saha ana kontrolörlerinin yapılandırılması ve kontrolüne ilişkin verileri içerir.
MMV Kullanıcısı	AUS Yol Ekipmanları	Geçiş çağrısı	Motorlu olmayan kullanıcıların karayolundaki geçiş talebidir. Bu, fiziksel bir düğmeye basma veya temassız aktivasyon ile olabilir.
Diğer AUS Yol Ekipmanları	AUS Yol Ekipmanları	Geçiş hakkı talebi koordinasyonu	Yayalardan ve VRU'lardan gelen geçiş çağrılarının bildirilmesini, sinyal önceliklendirme veya önceliklendirme taleplerini ve bir kavşakta geçiş hakkı için yapılan diğer tüm talepleri içerir.
Diğer AUS Yol Ekipmanları	AUS Yol Ekipmanları	Sinyal kontrol koordinasyonu	Trafik sinyal kontrolörlerinin veya saha ana kontrolörlerinin yapılandırılması ve kontrolüne ilişkin verileri içerir.
Diğer AUS Yol Ekipmanları	AUS Yol Ekipmanları	Trafik dedektörü koordinasyonu	İndüktif döngü dedektörleri ve makine görüşü sensörleri gibi trafik dedektör sistemlerinin birbirleriyle veri paylaşarak eşgüdümlü çalışmasını ve gerçek zamanlı trafik izleme ile karar destek uygulamalarını sağlayan akış.
TMC	CV RSU	Kavşak yönetimi uygulama bilgisi	Kavşak ve cihaz yapılandırma verilerini, kavşak geometrisini ve uyarı parametrelerini içerir. Uygulamanın çevrimdışına alınması, sıfırlanması veya yeniden başlatılması gibi uzaktan kontrolünü destekler.
TMC	TIC	Kavşak durumu	Sinyalli bir kavşaktaki tüm şeritler için mevcut sinyal fazı ve zamanlama bilgisidir (SPaT). Aktif şeritleri, durdurulan şeritleri ve mevcut durumun ne kadar süreceğini belirtir; ayrıca sinyal önceliklendirme ve yaya geçiş durumu bilgisi içerir.
Trafik Operasyonları Personeli	TMC	Trafik operatörü girişi	Trafik operasyon personelinden gelen; bilgi talepleri, konfigürasyon değişiklikleri ve trafik kontrol stratejilerinin ayarlanması (örneğin, DMS mesajlarını değiştirme) gibi girdiler.

Çizelge 4.30. (devam) TM04 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
TIC	Araç	Kavşak durumu	Sinyalli bir kavşaktaki tüm şeritler için mevcut sinyal fazı ve zamanlama bilgisidir (SPaT). Aktif şeritleri, durdurulan şeritleri ve mevcut durumun ne kadar süreceğini belirtir; ayrıca sinyal önceliklendirme ve yaya geçiş durumu bilgisi içerir.
Araç	CV RSU	Gözetim için araç konumu ve hareketi	Bağlantılı araçların çevrelerindeki altyapı ünitelerine kendi durumları hakkında yayınladığı; aracın konumu, üç boyutlu hareketi ve zaman bilgisi gibi verileri.
Araç	CV RSU	Araç durumu verileri	Trafik ve çevresel koşulların izlenmesini desteklemek için araç tarafından sağlanabilecek anlık görüntülerdir.
Araç	Sürücü	Sürücü güncellemeleri	Sürücüye mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler ve araç üzerindeki ekipmanın durumu hakkında bilgi sağlayan sürücü/araç arayüzü.
Yaya	AUS Yol Ekipmanları	Geçiş çağrısı	Motorlu olmayan kullanıcıların karayolundaki geçiş talebidir. Bu, fiziksel bir düğmeye basma veya temassız aktivasyon ile olabilir.
AUS Yol Ekipmanları	Yaya	Geçiş izni	Yayaları ve mikromobilite araç kullanıcılarını yönlendiren geçiş isteği onayı, geçiş izni durumu, kalan geçiş süresi ve mevcut güvenlik tehditlerine ilişkin gerçek zamanlı uyarıları içerir.
Araç Özellikleri	AUS Yol Ekipmanları	Araç özellikleri	Araçların tespit, sınıflandırma ve izleme süreçlerinde kullanılan fiziksel veya gözlemlenebilir özellikleri.
TIC	Araç	Kavşak durumu	Sinyalli bir kavşaktaki tüm şeritler için mevcut sinyal fazı ve zamanlama bilgisidir (SPaT). Aktif şeritleri, durdurulan şeritleri ve mevcut durumun ne kadar süreceğini belirtir; ayrıca sinyal önceliklendirme ve yaya geçiş durumu bilgisi içerir.
TMC	AUS Yol Ekipmanları	Sinyal sistemi yapılandırması	Trafik sinyal sistemlerini yapılandırmak için kullanılan kontrol bölgeleri ve çalışma modlarını (zamana bağlı veya trafik duyarlı) verileri.
TMC	AUS Yol Ekipmanları	Sinyal kontrol cihazı yapılandırması	Trafik sinyali kontrol ekipmanının yapılandırılmasını sağlayan yerel kontrolörler ve sistem ana kontrolörlerin verileri.
TMC	AUS Yol Ekipmanları	Sinyal kontrol planları	Minimum yeşil süre, aralık süreleri, çevrim uzunluğu, faz sırası gibi trafik sinyali zamanlama parametreleri.
TMC	AUS Yol Ekipmanları	Sinyal kontrol komutları	Trafik sinyal kontrolörlerinin ve sistem ana kontrolörlerinin yönetimini sağlayan komutlar.
TMC	AUS Yol Ekipmanları	Trafik dedektörü kontrolü	İndüktif döngü dedektörleri ve makine görüş sensörleri gibi trafik dedektör sistemlerinin çalışma parametrelerini ayarlamak ve merkezi sistem ile uzaktan yönetmek için kullanılan akış.
AUS Yol Ekipmanları	TMC	Geçiş hakkı talebi bildirimi	Sinyal önceliği, sinyal önleme, yaya çağrısı veya çok modlu geçiş aktivasyonuna yönelik gerçekleşen bir talebin bildirimi.
AUS Yol Ekipmanları	TMC	Sinyal kontrol durumu	Trafik sinyal kontrol ekipmanlarının operasyonel durumuna ve mevcut göstergelerine ilişkin veriler.
AUS Yol Ekipmanları	TMC	Sinyal arıza verileri	Trafik sinyal kontrol ekipmanı tarafından raporlanan arıza ve hata bildirimleri.

Çizelge 4.30. (devam) TM04 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
AUS Yol Ekipmanları	TMC	Trafik dedektörü verileri	Hız ve hacim gibi trafik akışı değişkenleri ve tıkanıklık, olası olaylar gibi bilgilerin türetilmesine olanak sağlayan ham ve/veya işlenmiş trafik dedektörü verileri.
TMC	Trafik Operasyonları Personeli	Trafik operatörü verileri	Operatöre trafik koşulları, saha ekipmanının mevcut çalışma durumu, olay durumu, video görüntüleri ve güvenlik uyarıları dahil olmak üzere trafik operasyon verilerinin sunumudur.

Örnek Senaryo Kavşak Durumu Yayılımı: Bu senaryonun temel amacı, sinyalize bir kavşağa yaklaşan bağlantılı bir araca, mevcut ve bir sonraki sinyal fazı ile zamanlamasına ilişkin güvenilir ve gerçek zamanlı bilginin iletilmesini sağlamaktır. Böylelikle sürücüye, trafik akışını optimize eden ve güvenliği artıran karar destek bilgileri sunulması hedeflenmektedir.

- Aşama 1: Sinyal Durumunun Altyapı Tarafından Tespiti
  - Mevcut Operasyon: Sinyal Kontrolörü, önceden tanımlanmış bir zaman planına veya trafiğe duyarlı kontrol algoritmasına göre trafik sinyal fazlarını (kırmızı, sarı, yeşil) yönetir.
  - Veri Toplama: Sinyal Kontrolörü, bağlı bulunduğu RSU'ya sinyal faz değişimleri, mevcut sinyal durumu ve zamanlama verilerini RSU Durum İzleme fonksiyonu aracılığıyla iletir. Bu veriler, RSU üzerindeki Kavşak Yönetimi fonksiyonuna aktarılır.
  - Durum Bilgisi Geri Bildirimi: TMC, sistemin işlevselliğini doğrulamak amacıyla AUS Yol Ekipmanı'nın operasyonel durumuna ilişkin bilgileri (örneğin sensör ve CCTV sistem durumu) izler ve geri bildirim sağlar.
- Aşama 2: Kavşak Bilgisinin Yayınlanması
  - Mesaj Oluşturma: RSU üzerindeki Kavşak Yönetimi fonksiyonu, Sinyal Kontrolöründen alınan gerçek zamanlı faz ve zamanlama verilerini işler. Bu veriler, ulusal K-AUS standartlarına uygun SPaT mesaj formatına dönüştürülür.
  - Harita Verisi Yönetimi: RSU; kavşağın şerit geometrisi, yön bilgileri ve diğer statik bileşenleri içeren MAP mesajlarını yönetir ve güncel tutar.
  - V2I Yayınlama: RSU, kısa menzilli iletişim teknolojileri (DSRC veya C-V2X) aracılığıyla SPaT ve MAP mesajlarını sürekli olarak çevresindeki tüm bağlantılı araçlara yayınlar.
- Aşama 3: Araç Tarafından Bilginin Kullanılması

- Veri Alımı: Kavşağa yaklaşan bağlantılı araç, RSU tarafından yayınlanan SPaT ve MAP mesajlarını kablosuz iletişim aracılığıyla alır.
- Güvenlik ve Hareketlilik Analizi: Araçtaki Araç Kavşağı Uyarısı fonksiyonu, alınan SPaT/MAP verilerini kendi konum, hız ve yön bilgileriyle karşılaştırarak güvenlik ve hareketlilik analizleri gerçekleştirir.
- Sürücüye Bilgi Aktarımı: Analiz sonuçlarına dayanarak sürücüye anlık geri bildirim sağlanır:
  - Yeşil Işık Hızı Tavsiyesi (GLOSA): Sürücüye, yeşil ışığa ulaşmak için optimum hız aralığı önerilir.
  - Çarpışma / Tehlike Uyarısı: Araç, mevcut hızla kırmızı ışıkta güvenli şekilde duramayacağını tespit ederse sürücüye görsel veya işitsel uyarı verir.

Hizmet paketine ilişkin temel kullanıcı ihtiyaçları ve bu ihtiyaçları karşılamak için sistemin yerine getirmesi gereken temel işlevsel gereksinimler aşağıdaki şekilde ele alınmaktadır:
İhtiyaç 1- Trafik Sinyal Kontrol Sistemlerinin İyileştirilmesi: Trafik operasyon birimleri, trafik sinyal kontrol sistemlerinin etkinliğini artırmak için hem bağlantılı araçlardan hem de altyapı sensörlerinden veri kullanabilmelidir. Saha görevlileri, trafik sensörleri ve CCTV görüntülerinden hız, hacim, doluluk ve hareket bilgilerini toplayıp işleyerek merkeze iletecektir. RSU; araç konumu, hızı, yönü ve olay kayıtlarını izleyerek mevcut trafik koşullarını belirleyecektir. Merkez, saha verilerini uzaktan izleyip analiz ederek depolayacak, trafik sinyal cihazlarını kontrol edecek ve sensör ile araç verilerine dayalı kontrol planları uygulayacaktır. Araçlar, konum ve hareket bilgilerini şerit düzeyinde iletecek, yol kenarı ekipmanları ve diğer araçlarla veri alışverişinde bulunacak ve trafik olaylarını merkez veya yol kenarı ekipmanlarına bildirecektir.

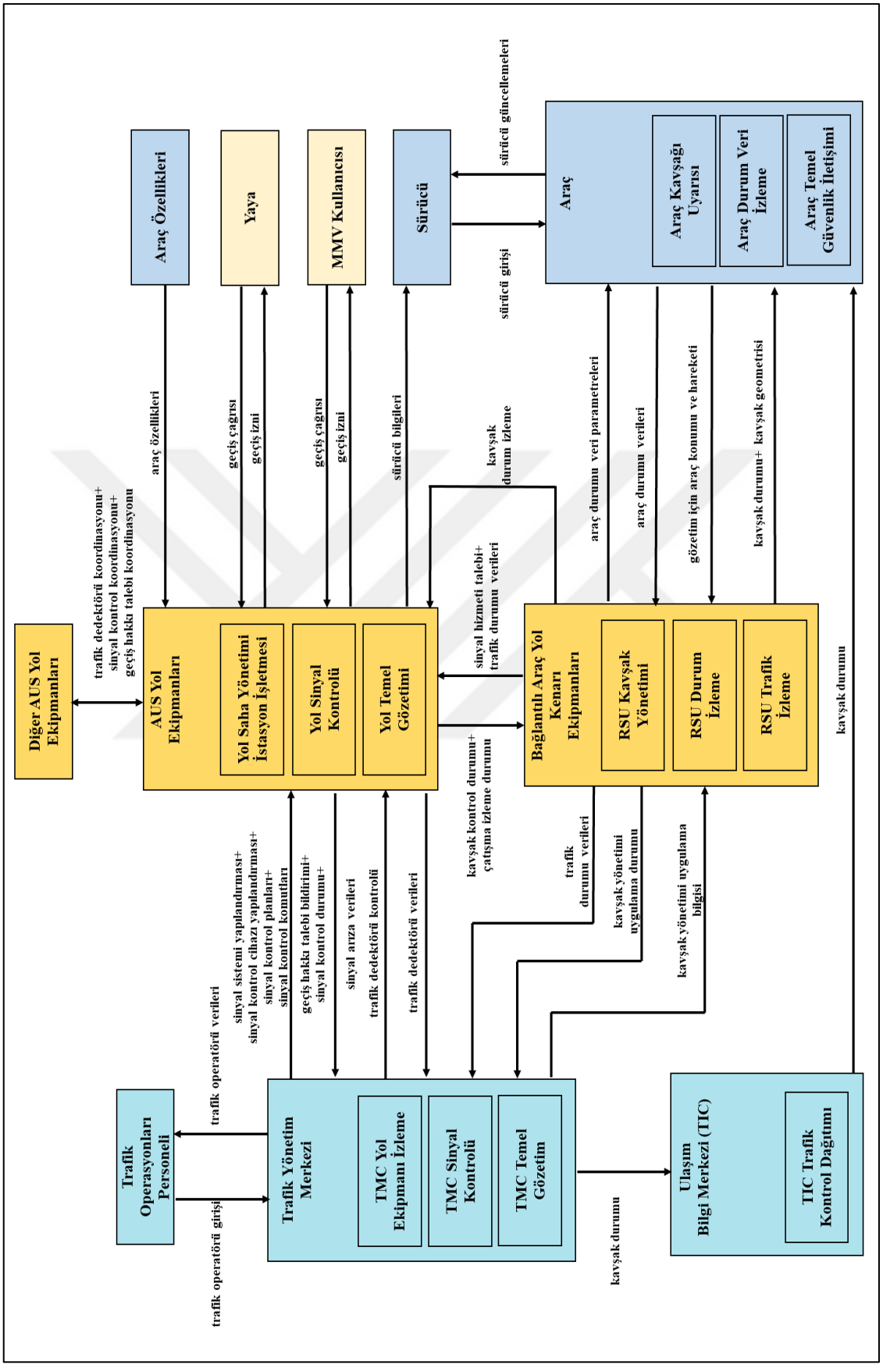
İhtiyaç 2- Sinyal Faz ve Zamanlama Verilerinin Yayılması: Trafik operasyon birimleri, kavşaklardan geçişi kolaylaştırmak amacıyla sinyal fazı ve zamanlama verilerini bağlantılı araçlara iletebilmelidir. Saha elemanları, bağlantılı araç yol kenarı ekipmanına veri sağlayacak, sinyalizasyonlu kavşaklardaki tüm şerit ve yaklaşımlar için mevcut sinyal fazı ve zamanlama bilgilerini geçen araçlarla paylaşacak ve altyapı uygulama durumunu operasyon merkezine iletecektir. Trafik sinyal kontrol cihazlarından mevcut faz ve zamanlama verileri toplanacaktır. TIC, TMC'den trafik kontrol bilgilerini alacak ve sinyalizasyonlu kavşaklardaki tüm şeritler için araçlara gerçek zamanlı faz ve zamanlama bilgisi sağlayacaktır.

İhtiyaç 3- Yaya Geçişlerinin İzlenmesi ve Kontrolü: Trafik operasyonları, kavşaklarda güvenli yaya geçişlerini sağlamak amacıyla trafik sinyallerinin yaya geçişiyle ilgili yönlerini izleyip kontrol edebilmelidir; bu, sinyal fazı ve zamanlama verilerini bağlantılı araçlara ileten sistemleri de kapsar. Saha elemanları, yaya geçidi taleplerine yanıt verecek ve yayalara yönelik çağrılar ile yaya düzenlemelerini TMC'ye iletebilecektir. Merkez, yayalardan gelen çağrıları kabul edecektir.

İhtiyaç 4- Sinyalize Kavşakların Yönetimi ve Kontrol Planları: Trafik operasyonları, sinyal fazı ve zamanlama verilerini bağlantılı araçlara ileten sistemler de dahil olmak üzere sinyalize kavşakları koordine etmek için kontrol planlarını yönetip uygulayabilmelidir. Saha elemanları, sensör ve CCTV sistemlerinin çalışma durumunu merkeze iletecek, merkezden yapılandırma bilgilerini alacak, verilen verileri yerel saha cihazlarına iletecek ve cihazlardan gelen bilgileri merkeze geri bildirecektir. Mevcut sinyal kontrol bilgileri saha tarafından merkeze bildirilecektir. Merkez; sensör ve gözetim verilerinin toplanması, analizi, depolanması ve dağıtımı süreçlerinde merkez personelinden gelen kontrol verilerine yanıt verecektir.

İhtiyaç 5- Ekipman Durumunun İzlenmesi: Trafik operasyonları, bağlantılı araçlara sinyal fazı ve zamanlama verilerini ileten sistemler de dahil olmak üzere trafik sinyal kontrol ekipmanlarının durumunu izlemelidir. Saha elemanları; sensör ve CCTV sistemi ile trafik sinyal kontrol cihazlarının çalışma ve arıza verilerini onarım ve izleme amacıyla merkeze iletecektir. Merkez, çevresel sensörlerin çalışma durumunu ve saha tarafından iletilen trafik sinyal kontrol cihazı arıza verilerini toplayacaktır (ARC-IT, 2025e).

TM04 bağlantılı araç trafik sinyal sistemi hizmet paketi fiziksel görünümü Şekil 4.10.'da yer almaktadır (ARC-IT, 2025e).



Şekil 4.10. Bağlantılı araç trafik sinyal sistemi hizmet paketi fiziksel görünümü

V2X teknolojisi ile donatılmış bir araç, altyapı destekli bir sinyalize kavşağa yaklaştığında, ilgili RSU aracılığıyla mevcut sinyal fazı bilgilerini ve faz değişim zamanlarını gerçek zamanlı olarak alır. Bu bilgiler, aracın konumuna ve hızına göre sürücüye uygun uyarı veya tavsiye sunulmasını sağlar. "Kavşak Durumu Yayılımı" işlevi, özellikle SigV ve GLOSA/TTG gibi hizmetlerin temelini oluşturmaktadır. SigV, sürücülerin kırmızı ışık ihlali yapma riski altında olduklarında veya diğer araçların kırmızı ışık ihlali yapma olasılığının bulunduğu durumlarda uyarılmalarını sağlamaktadır. Böylelikle potansiyel çarpışmalar önceden öngörülerek güvenli sürüş davranışı teşvik edilir. Bu hizmet, genellikle kentsel alanlardaki sinyalize kavşaklarda uygulanmaktadır. SigV, K-AUS Gün 1 V2I hizmetlerinden biri olup çoğunlukla DSRC/ITS-G5 iletişim standardı üzerinden çalışmaktadır. Kavşak durumu bilgisinin araçlara iletimi sırasında altyapı birimleri, SPATEM ve MAPEM temel mesaj türünü periyodik olarak yayınlamaktadır. Kavşak durumu bilgisini kullanan bir diğer önemli uygulama ise trafik verimliliğini hedefleyen GLOSA veya TTG hizmetidir. GLOSA veya TTG hizmeti, sürücülere trafik ışıklarına yaklaşırken en uygun hız aralığını önererek kırmızı ışıkta durma ihtimalini azaltmayı hedeflemektedir. Bu sistem, RSU aracılığıyla yayınlanan SPAT ve MAP verilerini kullanarak aracın hız profilini optimize eder. En uygun yaklaşım hızı sayesinde enerji verimliliği artırılır ve duruşlar tamamen engellenebilir. GLOSA/TTG, sürücülerin trafik ışığı faz değişiklikleri hakkında artan farkındalığı sayesinde daha verimli sürüş davranışı ve daha az emisyon sağlar (European Commission, 2016b:11-201).

TM04 hizmet paketi, temel olarak trafik sinyal kontrol sistemlerinin etkinliğini artırmayı ve dolayısıyla trafik akışını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Türkiye'deki yoğun trafik, kavşaklarda uzun bekleme süreleri, ani duruşlar nedeniyle yüksek kaza riski ve enerji verimsizliği gibi mevcut ulaşım sorunları göz önünde bulundurulduğunda, söz konusu hizmet paketi aşağıda hedefleri desteklemektedir (ARC-IT, 2025e):

- Trafik Akışının İyileştirilmesi ve Gecikmelerin Azaltılması: Gerçek zamanlı araç verileri kullanılarak kavşak ve arterlerde sinyal süreleri optimize edilmekte, bu sayede trafik sıkışıklığı azaltılmaktadır. Araçların kavşaklardan gruplar hâlinde kesintisiz geçişine olanak sağlanarak arter ağının genel performansı artırılmaktadır. Ayrıca araç başına düşen bekleme süreleri minimize edilmekte ve özellikle zirve saatlerde ortalama seyahat süreleri iyileştirilmektedir.

- Güvenliğin Artırılması: RSU ve trafik sinyal kontrol cihazları arasındaki koordinasyon sayesinde, sürücülere iletilen bilgilerle fiziksel sinyaller uyumlu hâle getirilmekte ve hatalı sinyal gösterimi riski azaltılmaktadır. Bağlantılı araçların takibi ile sürücülere olası çarpışmalar konusunda erken uyarılar sağlanmakta, böylece kavşak güvenliği artırılmaktadır. Sistem üzerinden elde edilen veriler ışığında güvenlik önlemleri geliştirilebilmekte ve kavşak sinyal ayarları güvenlik odaklı şekilde güncellenebilmektedir.
- Hareketlilik ve Öncelik Yönetimi: Otobüsler için TSP ve ambulans/itfaiye gibi acil durum araçları için öncelik uygulamaları ile toplu taşıma ve acil durum yanıt süreleri iyileştirilmektedir. Ticari yük taşıyan araçlar için öncelik sağlanarak lojistik faaliyetlerin etkinliği artırılmaktadır. Yaya ve mikromobilite kullanıcılarının sinyal çağrıları sisteme entegre edilerek motorlu araçlarla güvenli etkileşim sağlanmaktadır.
- Çevresel ve Ekonomik Katkılar: Trafik sıkışıklığının azaltılması sayesinde gereksiz yakıt tüketimi ve enerji kaybı minimize edilmektedir. Dur-kalk hareketlerinin azaltılmasıyla araç kaynaklı emisyonlar düşürülmekte, hava kalitesi iyileştirilmektedir. Operasyonel verimlilik ve lojistik ağın iyileştirilmesi, bölgesel ekonomik canlılığa olumlu katkı sağlamaktadır.
- Sistem Güvenilirliği ve Veri Yönetimi: Kavşakların operasyonel durumu ve ekipman arızaları anlık olarak takip edilebilmekte, bakım ve müdahale süreçleri hızlandırılmaktadır. Seyahat sürelerindeki değişkenlik azalmakta, yolcular için daha güvenilir ve planlanabilir bir ulaşım sistemi sağlanmaktadır.

4.2.3. Seyahat bilgileri ve kişisel hareketlilik (traveler information and personal mobility- TI)

TI hizmet paketleri, Gelişmiş Yolcu Bilgilendirme Sistemleri (Advanced Traveler Information Systems- ATIS) olarak da tanımlanmaktadır. Bu hizmet alanının amacı, yol kullanıcılarının yolculuk öncesinde ve yolculuk sırasında trafik koşulları, toplu taşıma hizmetleri, hava durumu, olaylar ve güzergâh alternatifleri hakkında güncel, doğru ve kişiselleştirilmiş bilgiye erişimini sağlamaktır.

TI hizmet paketleri; çoklu ulaşım modları entegrasyonu, seyahat planlama, rota optimizasyonu, yol üzeri bilgilendirme ve mobil uygulamalar üzerinden gerçek zamanlı veri paylaşımı gibi uygulamaları kapsamaktadır. Bu sayede, kullanıcıların ulaşım tercihlerini

bilinçli şekilde yapmaları, seyahat sürelerini optimize etmeleri ve trafik sisteminin genel verimliliğine katkıda bulunmaları hedeflenmektedir. Türkiye'de TI alanında önerilen hizmet paketi Çizelge 4.31.'de özetlenmiştir (ARC-IT, 2025a).

Çizelge 4.31. TI alanında Türkiye için önerilen hizmeti

Kod	ARC-IT Hizmet Paketi	Açıklama	Türkiye'de Önerilen K-AUS Hizmetleri
TI07	Araç İçi Bilgiler-In-Vehicle Signage	Araç içi bilgilendirme sistemleri aracılığıyla işaret ve hız limitlerini bildirir.	- VSGN/IVS - VSPD - HLN

TI07- Araç içi bilgiler (in-vehicle signage)

TI07 hizmet paketinin temel amacı; düzenleyici, uyarıcı ve bilgilendirici yol işaretleri ile sinyallerden gelen bilgileri doğrudan sürücülere araç içi sistemler aracılığıyla sunmaktır. Araç İçi Bilgiler hizmet paketi, sürücülere iki temel türde bilgi sağlamaktadır:

- Statik İşaret Bilgileri: Bu bilgiler, sabit yol işaretlerinin içerdiği verileri kapsamaktadır. Örnek olarak dur işareti, viraj uyarısı, yönlendirme tabelaları, hizmet işaretleri ve yön işaretleri verilebilir.
- Dinamik Bilgiler: Bu bilgiler, yerel koşullara veya anlık durumlara bağlı olarak değişkenlik gösteren verilerdir. Bu kapsamda aşağıdaki unsurlar yer almaktadır:
    - Karayolu kavşakları ve demiryolu geçitlerindeki mevcut sinyal durumları,
    - Yerel çevresel sensörler tarafından tespit edilen koşullara ilişkin uyarılar,
    - Trafik ve yol durumuna ilişkin bilgiler (kısıtlamalar, araç gereksinimleri, çalışma alanları, yönlendirmeler, sapmalar, kapanmalar, tavsiyeler ve uyarılar).

TI07 hizmet paketi, sabit bir altyapının bulunmadığı alanlarda da araç içi işaretlemenin kullanılabilmesini sağlayan özel bir yeteneğe sahiptir. Bu yetenek; özellikle bakım ve inşaat araçları, acil durum araçları ve toplu taşıma araçları tarafından yakındaki araçlara doğrudan işaret bilgisi iletilmesi yoluyla gerçekleşmektedir. Bu mobil bilgilendirme kabiliyeti; çalışma alanlarında, olay bölgelerinde ve otobüs durakları çevresinde etkin biçimde kullanılmaktadır.

TI07 hizmet paketi kapsamında kritik işlevlere sahip fiziksel nesneler Çizelge 4.32.'de, fonksiyonel nesneler Çizelge 4.33.'te, bilgi akışları Çizelge 4.34.'te açıklanmaktadır (ARC-IT, 2025c).

Çizelge 4.32. TI07 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
CV RSU	KGM ve büyükşehir belediyeleri (altyapı sahibi) ile telekomünikasyon/AUS çözüm sağlayıcı özel sektör şirketleri.	Yakın çevredeki araç ve kişisel cihazlarla iletişim kuran, kısa menzilli kablosuz haberleşme teknolojileriyle donatılmış RSU. Bu cihazlar, yakın araçlara statik levha bilgileri, sinyal durumları ve dinamik uyarı mesajları iletir.
TMC	KGM trafik yönetim merkezleri ile büyükşehir belediyeleri trafik kontrol merkezleri.	Trafik akışını ve yol ağını merkezi olarak izleyen ve kontrol eden sistemdir. Yol koşulları, trafik yönlendirmeleri, yol çalışma bölgesi uyarıları ve geniş alan duyuruları gibi bilgileri formatlar ve RSU'ya iletir.
AUS Yol Ekipmanları	KGM ve belediyelere ait saha birimleri (çevre/trafik sensörleri, DMS, güvenlik kameraları).	Yola yerleştirilmiş; trafik izleme, trafik kontrolü ve yol durumu yönetimi görevlerini yerine getiren AUS ekipmanları (trafik dedektörleri, çevresel sensörler, DMS, CCTV vb.). Bu cihazlar, trafik akışı verileri ve anlık durum bilgilerini sağlamakta ve RSU üzerinden araç içi işaretleme için kullanılmaktadır.
Araç	OEM'ler tarafından sunulan bağlantılı araçlar ile özel araç sahiplerinin V2X uyumlu araçları ve akıllı cihaz tabanlı çözümleri.	V2V ve V2I iletişimini destekleyen sensör, işlemci, depolama ve iletişim bileşenlerini içeren araç platformu.
Sürücü	Bireysel ve ticari sürücüler.	Güvenlik uygulamaları kapsamında sistemle etkileşim kuran, aracı kontrol eden kişi.
Acil Durum Aracı OBU	İçişleri Bakanlığı / Sağlık Bakanlığı.	Acil durum aracında (ambulans, itfaiye, polis vb.) yerleşik olarak bulunan ve işleme, depolama ile iletişim fonksiyonlarını sağlayan birim.
MCV OBU	KGM ve büyükşehir belediyelerine ait yol bakım, karla mücadele ve inşaat araçlarına entegre edilmiş filo yönetim ve uyarı sistemleri.	Bakım ve inşaat araçlarında bulunan ve yakındaki araçlara çalışma bölgesi desteği (şerit kapama, hız limitleri) ve çalışma bölgesi ihlali uyarıları sağlayan birim.
Toplu Taşıma Aracı OBU	Büyükşehir/il belediyelerinin toplu taşıma işletmeleri (EGO, İETT vb.) bünyesindeki otobüs ve raylı sistem araçlarına entegre edilmiş V2X modülleri.	Otobüs ve raylı sistem araçlarında kullanılan; V2V güvenlik fonksiyonları ve gerekirse önceliklendirme desteği sunan ekipman.
Trafik Operasyonları Personeli	Trafik yönetim merkezi operasyon personeli, KGM yol işletme memurları.	Trafik kontrol ve gözetleme sistemleri ile etkileşime girerek, sistem operasyonlarını yönlendirmek amacıyla komut girişlerinde bulunan trafik yönetim merkezi personeli.

Çizelge 4.33. TI07 hizmet paketi fonksiyonel nesneler

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
CV RSU	RSU Seyahat Bilgi İletişimleri	Merkezden veya yol altyapısından alınan verileri (trafik, yol durumu, sinyal bilgileri) araçlara ileterek yolculuk bilgisi sunar.
Acil Durum Aracı OBU	EV Araç İçi Olay Yönetimi İletişimi	İlk müdahale ekiplerine olayla ilgili bilgileri ve kaynak verilerini ileterek, olay yeri yönetimi ve güvenlik durumunu destekler. Ayrıca, kısa menzilli iletişimle yaklaşan trafiğe araç içi mesajlar gönderir.
AUS Yol Ekipmanları	Karayolu Trafik Bilgi Dağıtımı	Sürücülere dinamik mesaj panoları ve trafik telsizleri gibi yol üzerindeki iletişim cihazları aralığıyla bilgi iletilmesini sağlar.
Bakım ve İnşaat Aracı OBU	MCV Çalışma Alanı Desteği	Bakım ve inşaat aracının; şerit kapatmaları ve azaltılmış hız sınırları dahil olmak üzere çalışma bölgesi bilgilerini, yaklaşan trafiğe doğrudan uyarı sinyalleri veya araç içi işaretleme fonksiyonları aracılığıyla iletilmesini sağlar.
TMC	TMC Araç İçi Sinyal Yönetimi	Statik ve değişken işaret bilgilerini RSU'ya iletir. Bu fonksiyon; araç içi işaretlemeyi destekleyen RSU'ları ve araçlara iletilen bilgiler ile saha ekipmanının çalışma durumunu kontrol eder ve izler.
TMC	TMC Trafik Bilgi Dağıtımı	Bu fonksiyon, trafik ve yol koşullarını, kapanma/alternatif güzergâh bilgilerini, olay bilgilerini, sürücü tavsiyelerini ve trafiğe ilişkin diğer verileri diğer merkezlere, medyaya ve sürücü bilgi sistemlerine dağıtır. Ayrıca, dinamik mesaj panoları ve otoyol radyo gibi bilgilendirme ekipmanlarını izler ve kontrol eder.
Toplu Taşıma Aracı OBU	Toplu Taşıma Araç İçi Araç Sinyal İletişimleri	Toplu taşıma aracındaki harici işaret ve sinyalleri tamamlar ve aracın yolcu durağı yaptığını (örneğin, okul otobüsü) veya toplu taşıma aracının şerit değiştirmeye çalıştığını ve boşluk yardımı talep ettiğini belirten bildirimleri sağlar.
Araç	Araç Hız Yönetimi Yardımı	Sürücüye mevcut hız limitleri dahilinde aracı kullanmada yardımcı olur. Güncel hızı izler ve altyapıdan mevcut hız limitlerini ve yol konfigürasyonu değişikliklerini alır. Sağlanan hız limitlerine ve mevcut koşullara dayanarak güvenli olmayan veya aşırı hızlar tespit edildiğinde sürücü uyarıları yayınlar.

Çizelge 4.34. TI07 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
CV RSU	AUS Yol Ekipmanı	Yol dinamik tabela verileri	DMS/VMS'leri başlatmak, yapılandırmak ve kontrol etmek için kullanılan bilgileri içerir. Bu akış, mesaj içeriği, kontrol modu komutları ve cihazların uzaktan yönetimini destekler.
CV RSU	TMC	Araç tabelası uygulama durumu	RSU'ların operasyonel sağlığını ve gerçekleştirdikleri faaliyetlerin merkeze raporlamasını sağlar.
CV RSU	Araç	Araç tabela verileri	RSU'dan yayınlanan düzenleyici, uyarıcı ve bilgilendirici yol işaretleri ve sinyalleri destekleyen araç içi işaretleme verisi (örneğin gece, sis veya yağmur gibi görüş mesafesinin azaldığı durumlarda)

Çizelge 4.34. (devam) TI07 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Acil Durum Aracı OBU	Araç	Araç tabela verileri	Acil durum araçlarından yayınlanan düzenleyici, uyarıcı ve bilgilendirici yol işaretleri ve sinyalleri destekleyen araç içi işaretleme verisi (örneğin trafiğin iş birliğini gerektiren aktif olay müdahale faaliyetleri)
AUS Yol Ekipmanı	CV RSU	Yol dinamik tabela durumu	Sahadaki fiziksel tabelaların operasyonel olup olmadığını veya o an hangi mesajı gösterdiğini raporlayarak sistemin sürekliliğini sağlar.
AUS Yol Ekipmanı	CV RSU	Araç tabelaları yerel verileri	Geçen sürücülere görüntülenen dinamik bilgilerin araç içi işaretlenmesini desteklemek için komşu saha ekipmanları tarafından sağlanan bilgidir. Bu, dinamik bilgileri (örneğin, yerel trafik/yol koşulları, çalışma bölgesi bilgileri) ve zamanlama, süre ve öncelik gibi kontrol parametrelerini içerir.
Bakım ve İnşaat Aracı OBU	Araç	Araç tabela verileri	Bakım ve inşaat araçlarından yayınlanan düzenleyici, uyarıcı ve bilgilendirici yol işaretleri ve sinyalleri destekleyen araç içi işaretleme verisi (örneğin şerit kapatmaları veya azaltılmış hız sınırlarına dair bildirimler).
TMC	CV RSU	Araç tabela uygulama bilgisi	Görüntülenecek düzenleyici, uyarıcı ve bilgilendirme mesajlarının listesini ve mesajların zamanlanmasını/önceliklendirilmesini destekleyen parametreleri sağlar.
TMC	AUS Yol Ekipmanları	Yol dinamik işaretleme verileri	DMS/VMS'leri başlatmak, yapılandırmak ve kontrol etmek için kullanılan bilgileri içerir. Bu akış, mesaj içeriği, kontrol modu komutları ve cihazların uzaktan yönetimini destekler.
TMC	Trafik Operasyonları Personeli	Trafik operatörü verileri	Operatöre trafik koşulları, saha ekipmanının mevcut çalışma durumu, olay durumu, video görüntüleri ve güvenlik uyarıları dahil olmak üzere trafik operasyon verilerinin sunumudur.
Trafik Operasyonları Personeli	TMC	Trafik operatörü girişi	Trafik operasyon personelinden gelen; bilgi talepleri, konfigürasyon değişiklikleri ve trafik kontrol stratejilerinin ayarlanması (örneğin, DMS mesajlarını değiştirme) gibi girdiler.
Toplu Taşıma Aracı OBU	Araç	Araç tabela verileri	Toplu taşıma araçlarından yayınlanan düzenleyici, uyarıcı ve bilgilendirici yol işaretleri ve sinyalleri destekleyen araç içi işaretleme verisi (örneğin, yolcu durağı yaptığına dair bildirimler).
Araç	Sürücü	Sürücü güncellemeleri	Sürücüye mevcut koşullar, potansiyel tehlikeler ve araç üzerindeki ekipmanın durumu hakkında bilgi sağlayan sürücü/araç arayüzü.
Sürücü	Araç	Sürücü girişi	Sürücü tarafından doğrudan araç ekipmanına verilen komutlar, ayarlar ve etkileşimli girdiler.
AUS Yol Ekipmanı	Sürücü	Sürücü bilgileri	Sürücünün güvenli ve verimli bir şekilde araç kullanmasını desteklemek amacıyla iletilen düzenleyici, uyarı niteliğindeki, yönlendirici ve diğer bilgilerdir.

Örnek Senaryo Kritik Uyarı ve Dinamik İşaret Yayını: Bu senaryo, sabit altyapıdan (TMC/CV RSU) gelen rutin bilgilerin ve mobil altyapıdan (MCV OBU) gelen anlık uyarıların, sürücü araçlarında entegre biçimde sunulmasını kapsamaktadır.

- Aşama 1: Statik ve Dinamik Bilgi Kaynağı
  - Statik İşaret Verisi Hazırlığı: TMC; yol ağına ilişkin sabit hız limitleri, düzenleyici işaretler ve yönlendirme işaretleri gibi statik verileri hazırlar ve yönetir. Bu veriler harita tabanlı veri setleri veya önceden tanımlanmış mesajlar şeklinde olabilir.
  - RSU Yönetimi: TMC, RSU'ların işleyişini izler ve yönetir (TMC Araç İçi Sinyal Yönetimi). Araç içi işaretleme verileri, TMC tarafından RSU'ya iletilir.
- Aşama 2: Yol Kenarından Yayın
  - Bilgi Alımı ve İşleme: RSU, TMC'den aldığı işaretleme verilerini işler.
  - Bilginin Yayını: RSU, kısa menzilli haberleşme teknolojileri aracılığıyla, bu bilgileri yakındaki araçlara iletir.
- Aşama 3: Mobil Uyarı Yayınlama
  - Olay Tespiti ve Mesaj Oluşturma: Bir MCV, otoyolda şerit kapatma veya hız düşürme gerektiren bir çalışma başlattığında, sistem otomatik olarak ilgili çalışma bölgesi uyarılarını oluşturur.
  - Doğrudan Yayın: MCV OBU, kısa menzilli iletişim üzerinden bu bilgileri doğrudan yakındaki araçlara iletir.
- Aşama 4: Araçta Bilgi Alımı ve Sürücüye Sunumu
  - Veri Alımı: Araç, bulunduğu bölgeye yaklaşırken hem sabit RSU'dan gelen genel hız limiti bilgilerini hem de MCV OBU'dan gelen çalışma bölgesi uyarılarını alır.
  - Sürücüye Sunum: Araç içi sistem, alınan verileri sürücüye görsel veya işitsel arayüzlerle iletir. Örneğin:
    - Hız göstergesi yanında geçerli hız limitini (RSU'dan alınan veri) gösterir.
    - Çalışma bölgesine yaklaşırken "İleride Çalışma, Hız Sınırı 40 km/s" uyarısını sembol ve sesli ikazla iletir.

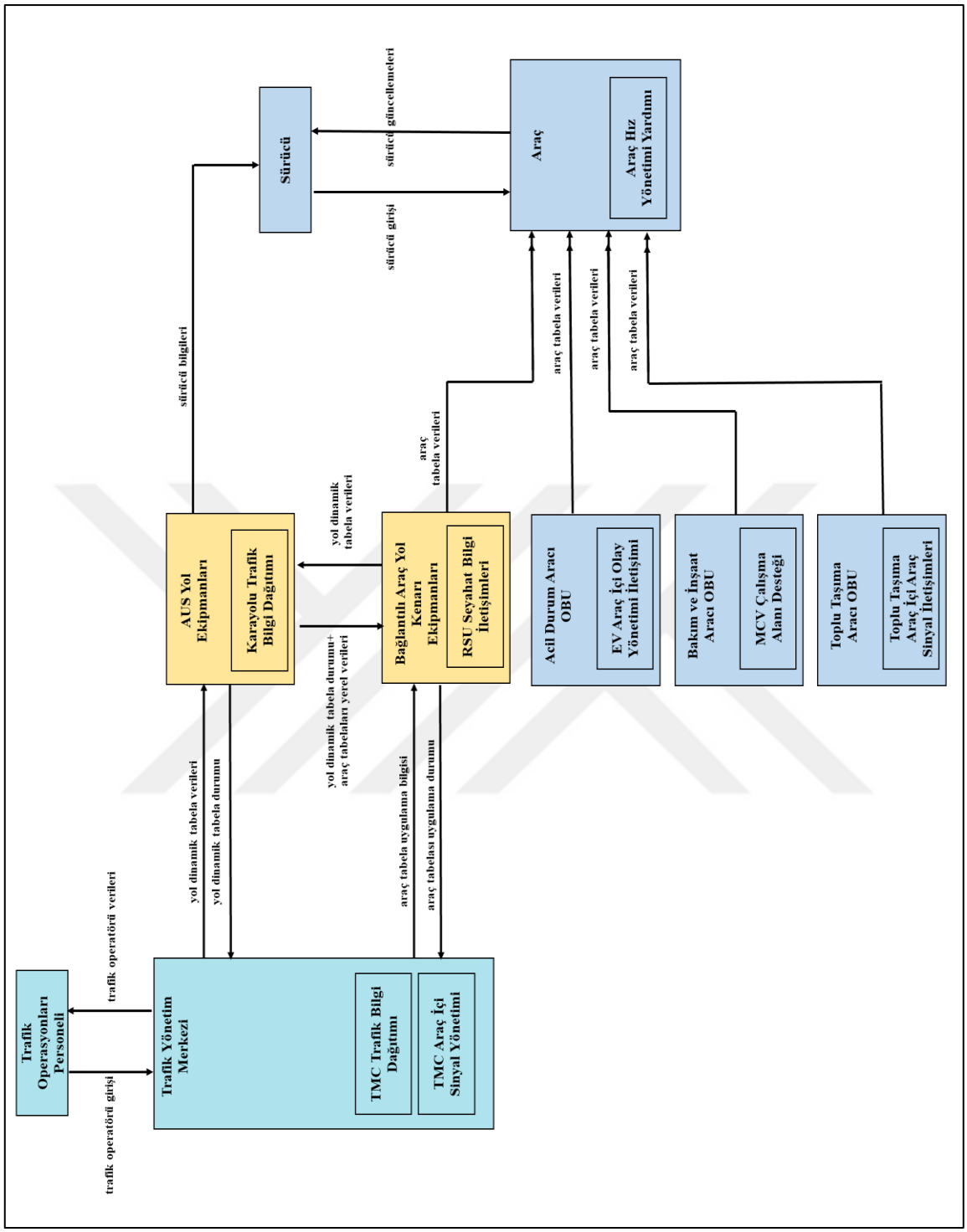
TI07, sürücülere bilgi ve uyarıları doğrudan araç içi cihazlar üzerinden sunarak geleneksel düzenleyici, uyarı ve bilgilendirme levhalarını desteklemeyi amaçlamaktadır. Paket kapsamında ele alınan temel kullanıcı ihtiyaçları ve gereksinimler, sürücü farkındalığının, güvenliğinin ve trafik operasyonlarına yönelik iş birliğinin artırılmasına odaklanmaktadır.

İhtiyaç 1-Sürüş Esnasında Durum Farkındalığını Artırma: Sürücülerin yol koşulları ve trafik durumları hakkında farkındalığını artırmak için, hem statik işaretler (dur, viraj, yönlendirme, servis işaretleri) hem de dinamik bilgiler (sinyal durumları ve yerel çevre koşulları) araç

içinde erişilebilir olmalıdır. Yol kenarı ekipmanları ve merkezi kontrol sistemi, bu bilgileri araçlara iletecek ve güncel durumu izleyecektir. Merkez, trafik bilgilerini biçimlendirip saha ekipmanlarına aktaracak, sürücü bilgi sistemlerinin çalışma durumunu ve arızalarını takip edecektir. Araçlar ise trafik, yol koşulları, olaylar, bakım çalışmaları, toplu taşıma ve hava durumu gibi bilgileri alacak ve araç içi göstergelerde sunacaktır.

İhtiyaç 2- Görünürlüğün Az Olduğu Durumlarda Güvenliği Artırma: Sürücülerin görüş mesafesinin azaldığı durumlarda statik işaret bilgileri veya dinamik yol durumu bilgileri görsel ve sesli olarak araç içinde sunulmalıdır. Araç, sürücünün aracı güvenli bir şekilde kontrol etmesini engellemeden bu bilgileri sesli veya görsel biçimde iletebilecektir.

İhtiyaç 3- Özel Araç Hareketlerine İlişkin Bilgi Erişimi: Sürücülerin, araçlarının çevresindeki diğer özel araçların hareketlerine ilişkin bilgilere araç içinden erişebilmesi gerekmektedir. Acil durum araçları, çevredeki araçlara olay yönetimi ve trafik iş birliğini gerektiren konularda bilgi sağlayacaktır. MCV, şerit kapatmaları ve hız sınırlamaları gibi çalışma alanı bilgilerini trafiğe doğrudan uyarı sinyalleri veya araç içi işaretleme fonksiyonları aracılığıyla iletecektir. Toplu taşıma araçları, yolcu indirme ve bindirme duraklarında, şerit değişikliklerinde ve iş birliğini gerektiren diğer durumlarda yakındaki araçları kısa menzilli iletişim araçlarıyla bilgilendirecek ve araç operatörü, bu iletişim sisteminin çalışmasını izleyip kontrol edebilecektir (ARC-IT, 2025c).
TI07 araç içi bilgiler hizmet paketi fiziksel görünümü Şekil 4.11.'de yer almaktadır (ARC-IT, 2025c).



Şekil 4.11. Araç içi bilgiler hizmet paketi fiziksel görünümü

VSGN/IVS hizmeti, sürücülere güncel ve konuma özgü yol işaretlerini araç içi arayüzler aracılığıyla sunmayı hedefleyen bir I2V iletişim hizmetidir. Bu hizmetin temel amacı, sürücünün yol üzerindeki fiziksel işaretleri kaçırma veya algılayamama riskini azaltmak, böylece farkındalığı ve düzenlemelere uyumu artırmaktır. Bu hizmet paketi; yol kenarı levhaları ve trafik sinyallerinin sunduğu bilgilerin, I2V iletişim yoluyla doğrudan araç içi

sistemlere aktarılmasını amaçlayan bir hizmettir. Bu senaryo, özellikle görüşün kısıtlı olduğu koşullarda sürücü farkındalığını artırarak trafik güvenliğini iyileştirmeyi hedefler. Senaryo gelişim açısından iki aşamada ele alınmaktadır; Gün 1 aşamasında, temel trafik işaretleri, hız sınırları ve geçiş yasakları gibi düzenleyici bilgiler, sürücüye araç içi ekranlar üzerinden IVIM mesajları ile iletilir. Gün 2 aşamasında ise, daha gelişmiş altyapı destekli servisler hedeflenmekte ve özellikle uzun süreli yol çalışmaları gibi karmaşık durumlar, konumsal olarak hassas ve ayrıntılı biçimde IVIM mesajları ile tanımlanmaktadır. Hizmet, hız sınırları ve geçiş yasakları gibi düzenleyici (zorunlu) işaretlerin yanı sıra, sürücüye yol durumu veya tavsiye niteliğinde bilgi sunan bilgilendirici trafik işaretlerini de kapsamaktadır. Hizmetin iletişim altyapısı hibrit bir yapıya sahiptir. Bilgiler, kısa menzilli ve düşük gecikmeli iletişim sağlayan DSRC/ITS-G5 teknolojisi üzerinden veya daha geniş kapsama alanı sunan hücresel haberleşme ağları (4G/5G) aracılığıyla iletilebilmektedir (C-Roads, 2025d:24-253; European Commission, 2016b:11-201).

Türkiye'de artan araç sayısı ve yoğun şehirleşme, özellikle büyük şehirlerde trafik sıkışıklığına, kazalara ve verimsiz ulaşım koşullarına yol açmaktadır. Trafik kazalarının yüksek olmasının başlıca nedenleri arasında hız limitlerine uyulmaması ve geçiş yasaklarının ihlal edilmesi yer almaktadır. Ayrıca, olumsuz hava koşulları, özellikle sis, kar yağışı ve yoğun yağmur gibi durumlar, sürücülerin yol işaretlerini algılamasını zorlaştırmakta ve bu da kazaların artmasına neden olmaktadır. Yol çalışmaları ve altyapı değişiklikleri de sürücülerle yeterince hızlı paylaşılmadığı için, geçici trafik düzenlemeleri ve kapanan yollar hakkında bilgi eksiklikleri yaşanmakta, bu da trafik tıkanıklığına yol açmaktadır. TI07 hizmet paketi, bu sorunlara dijital ve esnek çözümler sunarak hem sürücü güvenliğini artırmakta hem de ulaşım sisteminin genel performansına katkı sağlamaktadır. Bu faydalar aşağıdaki gibi özetlenebilir (ARC-IT, 2025c).

- Sürücü farkındalığının ve yol güvenliğinin artırılması: TI07 hizmet paketi, statik yol işaretleri ile dinamik trafik ve çevresel verileri araç içine taşıyarak sürücülerin kritik bilgilere zamanında erişmesini sağlamaktadır. Görüşün kısıtlı olduğu koşullarda görsel ve işitsel uyarılarla sürüş güvenliğini artırmakta ve yol üzerindeki ani tehlikeler hakkında sürücüleri bilgilendirmektedir.
- Altyapı bağımsızlığı ve esnek operasyon: Sabit yol kenarı altyapısına ihtiyaç duymadan çalışabilen sistem; bakım, acil durum ve toplu taşıma araçlarının çevredeki araçlara

doğrudan uyarı iletmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede geçici durumlarda hızlı ve güvenli trafik yönetimi sağlanmakta ve trafikte iş birliği desteklenmektedir.

- Bölgesel ve sistemsel hedeflere katkı: Hizmet paketi, kazaların ve trafik sıkışıklığının azaltılmasına katkı sağlarken, daha düzenli trafik akışı sayesinde yakıt tüketimini ve emisyonları düşürerek ulaşım sisteminin verimliliğini artırmaktadır.
- Teknik entegrasyon ve standartlaşma: Standartlara dayalı birlikte çalışabilir yapı, farklı kurum ve sistemlerin uyumlu çalışmasını sağlamakta, mükerrer yatırımları azaltmakta ve kamu kaynaklarının daha etkin kullanılmasına imkân tanımaktadır.

4.2.4. Destek (support- SU)

SU hizmet paketleri, ulaşım hizmetlerinin ve uygulamalarının kesintisiz ve güvenli bir şekilde yürütülmesi için gerekli olan bilgi teknolojileri altyapısını, güvenlik süreçlerini ve sistem yönetimini kapsayan kritik bir bileşendir. Bu alan, doğrudan trafik yönetimi uygulamalarını yürütmek yerine, bu hizmetlerin arkasındaki destekleyici süreçleri tanımlamakta ve güvenlik, veri dağıtımı, ağ yönetimi ile sistem izleme gibi işlevleri içermektedir.

SU hizmet alanı; bağlantılı araç sistemlerinin ve altyapı cihazlarının durumunu izleme, arızaları teşhis etme ve yönetme işlevlerini yerine getirmektedir. Ayrıca güvenilir bir iletişim ortamı sağlamak amacıyla sertifika yönetimi ve kimlik doğrulama süreçlerini yürütmekte, verilerin sistemler arasında etkin bir şekilde paylaşılmasını ve dijital haritaların güncelliğinin sağlanmasını temin etmektedir. SU; merkez sistemlerin, yol kenarı ünitelerinin ve araç içi donanımların bakım süreçlerini de kapsayarak tüm bağlantılı araç ekosisteminin operasyonel güvenilirliğini desteklemektedir. Türkiye'de SU alanında önerilen hizmet paketi Çizelge 4.35.'te özetlenmiştir (ARC-IT, 2025a).

Çizelge 4.35. SU alanında Türkiye için önerilen hizmet paketi

Kod	ARC-IT Hizmet Paketi	Açıklama	Türkiye'de Önerilen K-AUS Hizmeti
SU01	Bağlantılı Araç Sistemi İzleme ve Yönetimi- Connected Vehicle System Monitoring and Management	Sistem performansı izleme ve bakım yönetimi sağlar.	Araç ve RSU Durum İzleme

SU01- Bağlantılı araç sistemi izleme ve yönetimi (connected vehicle system monitoring and management)

SU01 hizmet paketi; bağlantılı araç ekosistemi içerisinde çalışan uygulama ve cihazların etkin biçimde izlenmesi, yönetilmesi ve kontrol edilmesine yönelik hizmetlerin sunulmasını amaçlamaktadır. Bu çerçevede, altyapı yönetimine ilişkin faaliyetler yürütülmekte olup, altyapı yapılandırmasının izlenmesi ve yönetilmesi sağlanmakta; ortaya çıkabilecek altyapı hizmet sorunlarının tespiti, izolasyonu ve giderilmesine yönelik süreçler gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, sisteme bağlı altyapı ve mobil ekipmanların performansının sürekliliğini sağlamak amacıyla RSU'lar, OBU'lar, arka ofis uygulamaları ve bu bileşenleri birbirine bağlayan iletişim altyapısının performansı düzenli ve kesintisiz biçimde izlenmektedir.

SU01 hizmet paketi kapsamında kritik işlevlere sahip fiziksel nesneler Çizelge 4.36.'da, fonksiyonel nesneler Çizelge 4.37.'de, bilgi akışları Çizelge 4.38.'de açıklanmaktadır (ARC-IT, 2025b).

Çizelge 4.36. SU01 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
Merkez	KGM trafik yönetim merkezleri ile büyükşehir belediyeleri trafik kontrol merkezleri.	Bağlantılı araç altyapısının (yol ekipmanları, RSU'lar, destek sistemleri ve ilgili iletişim bağlantıları) izlenmesini ve bakımını sağlayan arka ofis uygulamasıdır. Altyapı konfigürasyonunu takip eder ve hizmet sorunlarını tespit ederek düzeltilmesini destekler.
CV RSU	KGM ve büyükşehir belediyeleri (altyapı sahibi) ile telekomünikasyon/AUS çözüm sağlayıcı özel sektör şirketleri.	Yakın çevredeki araç ve kişisel cihazlarla iletişim kuran, kısa menzilli kablosuz haberleşme teknolojileriyle donatılmış RSU.
Saha Bakım Ekipmanları (FME)	KGM ve belediyelerin altyapı bakımından sorumlu teknik ekiplerin kullandığı donanımlar, bakım ihalesini alan özel mühendislik ve teknoloji firmaları.	Saha personelinin altyapı ekipmanında sorun giderme, başlatma, yeniden programlama ve test etme için kullandığı taşınabilir ekipmanları.
AUS Nesnesi	KGM AUS şube müdürlükleri, belediye trafik kontrol merkezleri ve otoyolun teknoloji altyapısını işleten özel yükleniciler tarafından sahaya kurulan DMS/VMS, trafik sensörleri, kameralar, sinyalizasyon kontrolörleri ve meteorolojik ölçüm istasyonları.	Herhangi bir akıllı ulaşım bileşeninin (merkez veya saha cihazı fark etmeksizin) "kendi durumunu raporlaması", "politikalarına uyması" ve "güncellemeleri alması" gibi yönetimsel süreçlerini modeller.

Çizelge 4.36. (devam) SU01 hizmet paketi fiziksel nesneleri

Fiziksel Nesne	Türkiye'deki Potansiyel Paydaşlar	Rolü ve Kapsamı
MCM	KGM bakım ve işletme daireleri, belediyelerin fen işleri birimleri ve özel otoyol işletmecileri.	Yol altyapısı inşaat ve bakım faaliyetlerini merkezi olarak izleyen ve yöneten bir sistemdir.
Diğer CV RSU'lar	KGM ve belediyelere ait yol kenarı cihazları.	RSU'lar arasında eşler arası iletişim (peer-to-peer, P2P) ve koordinasyonu destekleyen diğer RSU'lar.
Servis İzleme Sistemi	KGM ile belediyelerin AUS ve bilgi işlem birimleri, EGM.	Bağlantılı araç ortamında çalışan diğer uygulamalar ve/veya cihazlar için gerekli izleme, yönetim ve kontrol hizmetlerini sağlayan merkez tabanlı sistemler.
Bakım ve İnşaat Saha Personeli	KGM ve belediye bünyesindeki saha işçileri, teknisyenler ve denetim mühendisleri; kar temizleme ve yol onarımı yapan özel ekipler.	Araç ve ekipman operatörleri, saha amirleri, saha ekipleri ve çalışma bölgesi güvenliği personeli gibi saha bakım ve inşaat faaliyetlerini gerçekleştiren kişileri temsil eder.
Servis İzleme Sistemi Operatörü	KGM ile belediyelerin AUS ve bilgi işlem birimlerinde görevli sistem operatörleri ve bilişim uzmanları.	Bağlantılı araç ekosisteminde çalışan uygulamaların ve cihazların operasyonel durumunu takip etmekten sorumludur.

Çizelge 4.37. SU01 hizmet paketi fonksiyonel nesneleri

Fiziksel Nesne	Fonksiyonel Nesne	Rolü ve Kapsamı
Merkez	Merkez Bağlantılı Araç Altyapı Yönetimi	Bağlantılı araç altyapısının (RSU'lar, destek sistemleri ve iletişim hatları) izlenmesini ve bakımını destekleyen arka ofis (back-office) uygulamasıdır
CV RSU	RSU Cihaz Yönetimi	Donanımın ve bağlı saha cihazlarının operasyonel durumunu takip eder, arıza koşullarını tespit edip raporlar.
FME	FME Yerinde Bakım	Saha personeline yerinde kurulum, onarım ve bakım desteği için teşhis bilgileri ve yerel kontrol imkânı sunar.
Servis İzleme Sistemi	SM Cihaz Yönetimi	Ağ yönetimini, cihazların operasyonel durum izlemesini ve uygulama performans takibini gerçekleştirir. RSU'lardan gelen fiziksel güvenlik alarmlarını ve siber güvenlik durumunu izleyebilme yeteneğine sahiptir.
AUS Nesnesi	AUS Yönetim Desteği	AUS nesnesinin konfigürasyon, uygulama süreçleri, arıza yönetimi ve performans izleme gibi yönetim faaliyetlerini destekler.
MCM	MCM Saha Ekipman Bakımı	Yol sistemi üzerindeki saha ekipmanlarının bakımına ilişkin genel yönetim ve destek sağlar.

Çizelge 4.38. SU01 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Merkez	CV RSU	Ekipman kontrol komutları	RSU'ya sıfırlama ve uzaktan teşhis gibi kontrol komutları iletilir.
Merkez	MCM	Ekipman bakım talebi	Onarım gerektiren saha ekipmanlarının ve arızalara dair bilgilerin belirlenmesi.

Çizelge 4.38. (devam) SU01 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
Merkez	CV RSU	RSU uygulama bilgileri	Uygulamaları kontrol etmek ve belirli yerel kullanımlar için yapılandırmak amacıyla kullanılan veriler. Uygulamanın çevrimdışına alınmasını, sıfırlanmasını veya yeniden başlatılması gibi işlemleri de destekler.
Merkez	CV RSU	RSU uygulama kurulumu/yükseltmesi	RSU üzerinde bulunan yazılım uygulamalarının uzaktan kurulumunu ve güncellemesini destekler; güvenli yazılım kurulum dosyalarının iletilmesini sağlar.
CV RSU	Merkez	RSU uygulama durumu	RSU üzerindeki yüklü yazılımların mevcut çalışma modlarını, konfigürasyon ayarlarını ve uygulamaya özgü operasyonel verilerini izleyerek merkezin uygulama yönetimini destekler.
CV RSU	Servis İzleme Sistemi	RSU durumu	RSU'nun genel donanım sağlığını, ağ bağlantı bilgilerini, siber güvenlik durumunu ve fiziksel güvenlik durumunu iletir.
FME	CV RSU	RSU uygulama kurulumu/yükseltmesi	RSU üzerinde bulunan yazılım uygulamalarının uzaktan kurulumunu ve güncellenmesini sağlar.
FME	CV RSU	RSU yapılandırma ayarları	RSU'yu yerinde kurmasına, teknik parametrelerini güncellemesine ve sistemin çalışma modlarını yapılandırmasına olanak tanıyan kritik veri iletimi.
FME	Bakım ve İnşaat Saha Personeli	Ekipman kontrol komutları	Saha personeline saha ekipmanının (sensörler, sinyaller, işaretler, kontrolörler vb.) operasyonel durumunun sunumu.
AUS Nesnesi	Servis İzleme Sistemi	Sistem durumu	AUS Nesnesi'nin mevcut çalışma modlarını, ağ bilgilerini, donanım sağlığını ve uygulama yapılandırmalarını iletir.
Bakım ve İnşaat Saha Personeli	FME	Saha personeli ekipman girişi	Saha ekipmanını sorgulamayı, kontrol etmeyi ve yapılandırmayı destekleyen saha personelinden gelen kullanıcı girişi.
MCM	Merkez	Ekipman bakım durumu	Saha ekipmanları üzerinde yürütülen bakım faaliyetlerinin güncel ilerleme ve tamamlanma bilgileri.
Diğer CV RSU	CV RSU	RSU uygulama bilgileri	Uygulamaları kontrol etmek ve belirli yerel kullanımlar için yapılandırmak amacıyla kullanılan veriler. Uygulamanın çevrimdışına alınmasını, sıfırlanmasını veya yeniden başlatılması gibi işlemleri de destekler.
Servis İzleme Sistemi	Merkez	RSU arıza verileri	Başlatma, yeniden yapılandırma, onarım veya değiştirme gerektiren RSU'ları belirlemek için kullanılabilecek RSU arıza bilgileridir.
Servis İzleme Sistemi	MCM	RSU arıza verileri	Başlatma, yeniden yapılandırma, onarım veya değiştirme gerektiren RSU'ları belirlemek için kullanılabilecek RSU arıza bilgileridir.
Servis İzleme Sistemi	Servis İzleme Sistemi Operatörü	Servis izleme bilgi sunumu	Servis İzleme Sistemi'nin kendi mevcut operasyonel durumunu ve izlediği bağlantılı araç ortamına dair teknik bilgiler.
Servis İzleme Sistemi Operatörü	Servis İzleme Sistemi	Servis izleme operatörü girişi	Mevcut sistem operasyonunu izleme talepleri ve sistem operasyonunu etkilemek için yapılan girişler.

Çizelge 4.38. (devam) SU01 hizmet paketi bilgi akışları

Kaynak	Hedef	Bilgi Akışı	Açıklama
CV RSU	Diğer CV RSU	RSU uygulama bilgileri	Uygulamaları kontrol etmek ve belirli yerel kullanımlar için yapılandırmak amacıyla kullanılan veriler. Uygulamanın çevrimdışına alınmasını, sıfırlanmasını veya yeniden başlatılması gibi işlemleri de destekler.
CV RSU	Saha Bakım Ekipmanları	RSU durumu	RSU'nun genel donanım sağlığını, ağ bağlantı bilgilerini, siber güvenlik durumunu ve fiziksel güvenlik durumunu iletir.
Saha Bakım Ekipmanları	Bakım ve İnşaat Saha Personeli	Ekipman durum sunumu	Saha ekipmanının (sensörler, sinyaller, işaretler, kontrolörler vb.) operasyonel durumunun saha personeline sunulması.

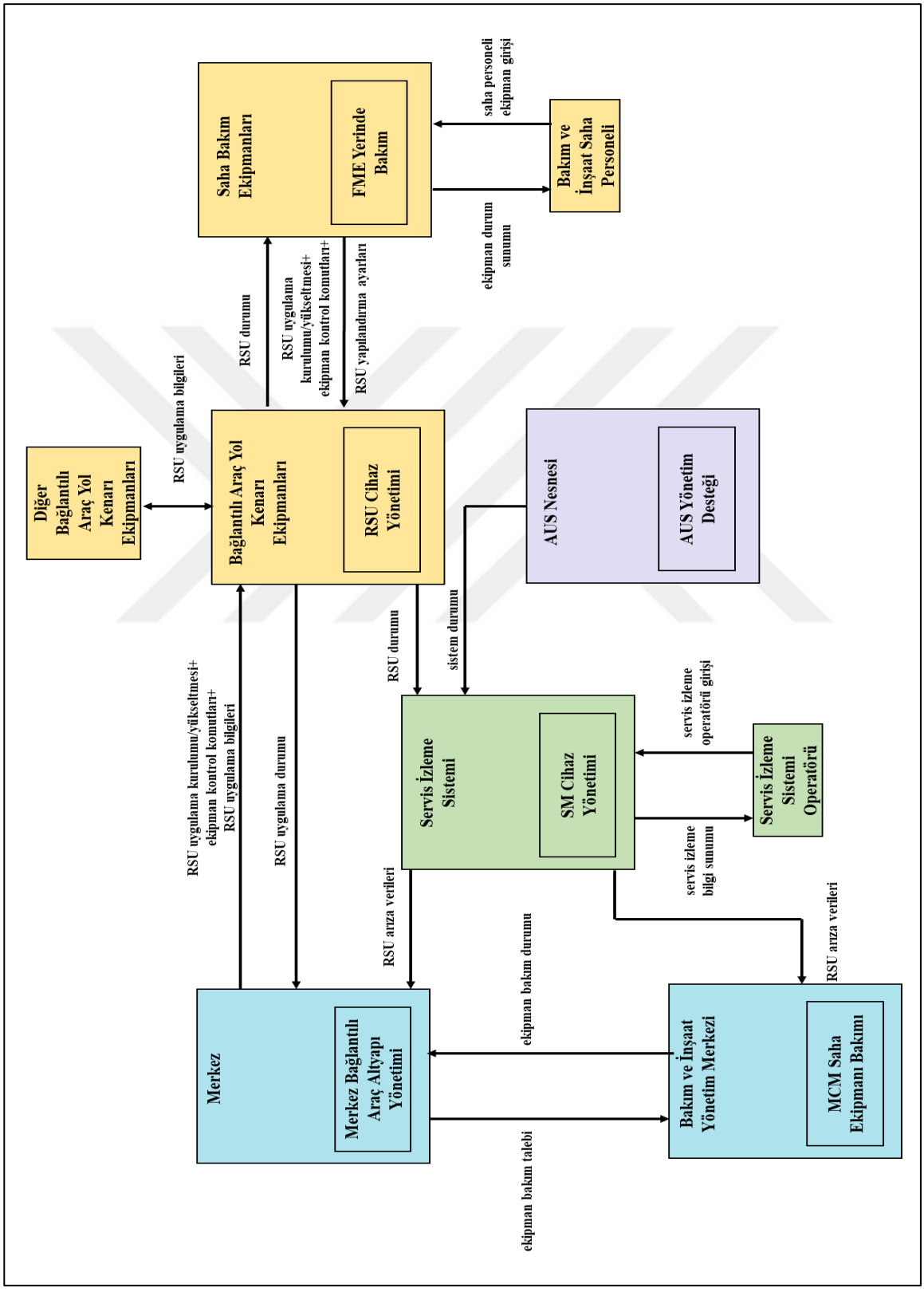
Örnek Senaryo: Fiziksel nesneler ve fonksiyonel nesneler arasındaki temel bilgi akışları ve gereksinimler temel alınarak oluşturulmuş işleyiş ve iş süreci senaryosu aşağıda yer almaktadır.

- Aşama 1 Durum İzleme ve Arıza Tespiti: İş sürecinin ilk adımı, bağlantılı araç ortamındaki tüm ekipman ve uygulamaların sürekli izlenmesidir:
  - Sürekli İzleme: Servis İzleme Sistemi, AUS Nesnesi ve CV RSU dahil olmak üzere sistemin operasyonel durumu, yapılandırmasını ve ağ bilgilerini izleme yeteneğine sahiptir. Bu izleme, RSU durumu ve sistem durumu bilgi akışları ile gerçekleştirilir.
  - Arıza Verisi Toplama: Merkez, Merkez Bağlantılı Araç Altyapı Yönetimi fonksiyonu aracılığıyla Servis İzleme Sistemi'nden RSU arıza verilerini toplar. Bu veriler, RSU'ların başlatma, yeniden yapılandırma, onarım veya değiştirme gereksinimlerini ortaya koyar.
  - Güvenlik İzlemesi: SM Cihaz Yönetimi, RSU'lardan gelen fiziksel güvenlik alarmları ve siber güvenlik durumlarını izleyebilir.
  - İzleme Sonuçlarının Sunumu: Servis İzleme Sistemi Operatörü arayüzü üzerinden, sistemin ve izlenen bağlantılı araç ortamının mevcut operasyonel durumu servis izleme bilgi sunumu ile operatöre sunulur.
- Aşama 2 Teşhis ve Uzaktan Müdahale: Merkez, tespit edilen arıza durumunda öncelikle uzaktan müdahale ile problemi çözmeye çalışır:
  - Arıza İzolasyonu ve Tanımlanması: SM Cihaz Yönetimi, bakım gerektiren RSU'ları tanımlar (başlatma, yeniden yapılandırma, onarım veya değiştirme gereksinimi).

- Uzaktan Kontrol ve Konfigürasyon: Merkez, RSU uygulamalarının operasyonel durumunu izleyebilir ve gerektiğinde değişiklik yapabilir (ör. uygulamayı devre dışı bırakma, sıfırlama veya yeniden başlatma).
- Komut Gönderimi: Merkez, RSU'ya sistem düzeyinde teşhis ve sıfırlama gibi ekipman kontrol komutları gönderebilir ve ekipman konfigürasyonunu uzaktan değiştirebilir.
- Uzaktan Yazılım Yönetimi: Merkez, RSU'da bulunan yazılım uygulamalarının uzaktan kurulumu ve güncellenmesini RSU uygulama kurulumu/yükseltmesi akışı aracılığıyla gerçekleştirebilir.

- Aşama 3 Bakım Talebi ve Saha Müdahalesi: Uzaktan müdahale yeterli olmadığında veya fiziksel bir arıza tespit edildiğinde, merkez bakım eylemi talep eder:
  - Bakım İhtiyacının Bildirilmesi: Servis İzleme Sistemi, bakım gereksinimi olan RSU'ları belirler. Tanımlanan RSU arıza verileri hem Merkez'ehem de MCM'ye raporlanır.
  - Bakım Merkezi Yönetimi: MCM, Saha Ekipman Bakımı fonksiyonu ile SMS'ten gelen arıza verilerini ve Merkez'den gelen ekipman bakım taleplerini analiz ederek saha ekipmanının onarım ihtiyaçlarına ilişkin kapsamlı bir görünüm oluşturur. Bakım ve İnşaat Saha Personeli'ni gerekli iş emirleriyle sahaya yönlendirir.
  - Yerinde Bakım: Sahaya ulaşan personel, taşınabilir bir fiziksel cihaz olan FME'yi kullanarak arızalı cihaza yerel olarak bağlanır.
  - FME Yerinde Bakım fonksiyonu, cihazdan alınan teknik verileri, ekipman durum sunumu akışıyla personelin arayüzüne yansıtarak kullanıcının işlem yapmasına olanak tanır.
  - Personel, saha personeli ekipman girişi ile cihazı test eder, ilk kurulumunu yapar veya gerekirse yeniden programlama işlemlerini gerçekleştirir.
- Aşama 4 Kapanış ve Raporlama: Bakım faaliyetlerinin tamamlanmasının ardından, ilgili durum bilgileri sisteme geri bildirilir:
  - Bakım Durumu Takibi: Merkez, RSU bakım eylemlerinin durumunu takip eder.
  - Geri Bildirim: MCM, saha ekipmanı bakım faaliyetlerinin mevcut durumunu ekipman bakım durumu akışı üzerinden raporlar (ekipman bakım durumu) ve ilgili merkezle paylaşır.

SU01 bağlantılı araç sistemi izleme ve yönetimi hizmet paketi fiziksel görünümü Şekil 4.12.'de yer almaktadır (ARC-IT, 2025b).



Şekil 4.12. Bağlantılı araç sistemi izleme ve yönetimi hizmet paketi fiziksel görünümü

SU01 hizmet paketi, dört temel kullanıcı ihtiyacını karşılayacak şekilde yapılandırılmıştır.
İhtiyaç 1- Altyapı Saha Ekipmanı Yapılandırma Yönetimi: Bakım personeli ve sistem operatörleri, altyapı saha ekipmanlarının yapılandırmasını izleyip yönetebilmelidir. Merkez birimi, yol kenarı ekipmanlarının çalışma durumunu değiştirebilmeli ve yazılım yükleyebilmelidir. FME yerinde bakım sistemi, saha ekipmanlarının konfigürasyonunu değiştirebilmeli, yazılım yükleyebilmeli ve çalışma durumunu izleyip güncelleyebilmelidir. MCM, farklı saha ekipmanlarının durum ve arıza verilerini toplayabilmeli; CV RSU, bağlı cihazların durumunu izleyip merkeze yönlendirebilmeli, alınan yapılandırma komutlarını uygulayabilmelidir. Servis izleme sistemi ise CV RSU'nun çalışma durumunu izleyip yapılandırmasını sağlayabilmelidir.

İhtiyaç 2- Altyapı Saha Ekipmanı Hizmet Sorunlarının Tespiti ve Düzeltilmesi: Saha ekipmanlarındaki sorunlar Sistem operatörleri ve saha personeli tarafından tespit edilebilmeli ve çözülebilmelidir. Merkezi birim, yol kenarı ekipmanlarının operasyonel durumunu izleyip değiştirebilmeli, bakım taleplerini takip edebilmeli ve ekipmanların bakım ihtiyacını belirleyebilmelidir. MCM, saha ekipmanlarının durum ve arıza verilerini toplayarak bütüncül bakım değerlendirmesi yapabilmelidir. CV RSU, saha personeline arıza verilerini iletebilmeli, personelin teşhis testlerini yapabilmesini sağlamalı ve alınan operasyonel komutları uygulayabilmelidir. Servis İzleme Sistemi, bakıma ihtiyaç duyan ekipmanları belirleyip ilgili merkezleri bilgilendirebilmelidir.

İhtiyaç 3- AUS Ekipmanı Performans İzleme: Sistem operatörleri, AUS hizmetleri sağlayan ekipmanların performansını izleyebilmelidir. MCM, saha ekipmanlarının durum ve arıza verilerini toplayarak bakım değerlendirmesi yapabilmeli ve faaliyetlerin durumunu raporlayabilmelidir. Servis İzleme Sistemi, altyapı saha ekipmanlarının yapılandırma ve çalışma durumunu sürekli olarak takip edebilmelidir.

İhtiyaç 4- Fiziksel ve Siber Güvenlik İzlemesi: Sistem operatörleri, altyapı ekipmanlarının fiziksel ve siber güvenliğini izleyebilmelidir. Bakım ve İnşaat Yönetim Merkezi, saha ekipmanlarının durum ve arıza verilerine dayanarak onarım ihtiyaçlarını değerlendirebilmeli; Servis İzleme Sistemi, fiziksel güvenlik alarmlarını ve siber güvenlik durumunu izleyebilmelidir (ARC-IT, 2025b).

Türkiye'de K-AUS altyapısının sürdürülebilir, güvenli ve verimli bir şekilde işletilebilmesi, farklı üreticilere ait cihazların bir arada çalıştığı mevcut altyapı ve farklı kurumsal paydaşlar arasındaki koordinasyon eksiklikleri göz önüne alındığında büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda SU01 hizmet paketi; bağlantılı araç sistemlerinin performansını optimize etmek, güvenliğini sağlamak ve kurumsal süreçleri standartlaştırmak üzere tasarlanmıştır. SU01 hizmet paketinin Türkiye K-AUS mimarisinde uygulanmasının sağlayacağı temel faydalar aşağıda özetlenmiştir (ARC-IT, 2025b):

- Operasyonel Verimlilik ve Kesintisiz Hizmet: SU01 hizmet paketi, bağlantılı araç sistemlerinin performansını sürekli izleyerek, trafik yönetimi ve güvenlik uygulamaları başta olmak üzere tüm sistem bileşenlerinin kesintisiz çalışmasını desteklemektedir. Ayrıca altyapı sorunlarının otomatik tespiti, izole edilmesi ve düzeltilmesini sağlayarak sistem duruş sürelerini ve veri kayıplarını minimize etmekte; bu sayede gecikmeli müdahale ve verimsiz bakım süreçlerini iyileştirmektedir. Hizmet paketi, yol kenarı ekipmanlarına uzaktan yazılım yükleme, güncelleme ve konfigürasyon değişikliği yapılmasına imkân tanıyarak saha personeli müdahalelerini azaltmakta ve operasyonel maliyetlerin düşürülmesine katkı sağlamaktadır.
- Varlık ve Kaynak Yönetimi: Hizmet paketi, altyapı cihazlarının (sensörler, sinyaller, tabelalar vb.) durumunu gerçek zamanlı olarak izleyerek varlık yönetimini güçlendirmekte ve cihaz kullanım oranını artırmaktadır. Bu yaklaşım, Türkiye'de bazı bölgelerde yaşanan ekipman israfı ve verimsiz kullanım sorunlarının önüne geçilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, arıza verilerinin toplanması ve analiz edilmesi ile bakım ihtiyaçları konusunda tutarlı bir görünüm oluşturulur; böylece bakım ekipleri ve kaynakları doğru noktalara yönlendirilir ve bakım faaliyetleri hedeflenen sürede tamamlanır.
- Güvenlik ve Dayanıklılık: SU01 hizmet paketi, sistem operatörlerine ekipmanlardan gelen fiziksel güvenlik alarmları ve cihazların siber güvenlik durumlarını izleme imkânı tanımaktadır. Türkiye'de AUS'a yönelik artan siber tehditler göz önünde bulundurulduğunda, bu özellik kritik önem taşımaktadır. Ayrıca, kontrol komutları ve yazılım güncellemelerinin yetkisiz erişimlere karşı korunmasını sağlayacak güvenlik mekanizmalarını destekleyerek altyapıya yönelik saldırı risklerini azaltır.
- Kurumsal Koordinasyon ve Standardizasyon: Hizmet paketi, KGM, belediyeler ve emniyet gibi farklı ajanslar arasında durum bilgilerinin ve bakım taleplerinin koordineli

bir şekilde paylaşılmasını sağlamaktadır. Bu sayede, Türkiye'de sık rastlanan kurumsal veri adaletsizlikleri ve koordinasyon eksiklikleri minimize edilir. Ayrıca, AUS standartlarının (NTCIP, ISO vb.) arayüzlerde kullanımını teşvik ederek, farklı üreticilerin cihazlarının uyumlu ve yönetilebilir olmasını garanti altına alır.

- Planlama ve Geleceğe Hazırlık: Toplanan veriler, sistemin bölgesel düzeyde gerçek zamanlı performansını izlemek ve gelecekteki teknoloji yatırımları için veri odaklı kararlar almak amacıyla kullanılmaktadır. Hizmet paketi ayrıca yeni paydaşların veya hizmetlerin sisteme kolayca entegre edilmesini sağlayacak esnek bir yönetim altyapısı sunar.

4.3. Türkiye'de K-AUS ve Bağlantılı/Otonom Araçlara Yönelik Çalışmalarda Temel Oluşturacak Hukuki Altyapı Düzenleme Önerileri

Almanya'da 2021 yılında kabul edilen Otonom Sürüş Yasası, Seviye 4 otonom araçların belirli işletme alanlarında trafiğe çıkmasına olanak tanırken (Bundesrat, 2021:1-6; Deutscher Bundestag, 2021; Federal Ministry of Transport, 2020), Zorunlu Sigorta Kanunu (PflVG) güncellemesi ile otonom sürüş sırasında sistemlerini denetleyen teknik gözetim personelinin sorumluluğu sigorta kapsamına alınacak şekilde genişletilmiştir (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2024a:25). Fransa, bağlantılı araçlardan elde edilen verilerin kamu yararına kullanımı ve operatörsüz araçların cezai sorumluluğu konusunda ileri düzey düzenlemelere sahiptir. LOM (Hareketliliğin Yönlendirilmesi Kanunu), ulaşım verilerinin açık ve standart bir şekilde paylaşılmasını zorunlu kılarken (Republique Française, 2019:9-11), Ordonnance 2021-443, sürücüsüz araçların cezai sorumluluk rejimini netleştirmiştir (European Union, 2023d:1-26; Ministère chargé des Transports, 2020:8, 2025:3-4). Güney Kore'de Akıllı Şehir Yasası çerçevesinde oluşturulan regülasyon test alanları (sandbox), yeni teknolojilerin (otonom araçlar, dronlar vb.) test edilmesine olanak tanımakta ve bu alanlarda girişimcilere yasal muafiyetler sunmaktadır (MOLIT, 2019:16-17).

Türkiye, K-AUS ve bağlantılı/otonom araçlar konusunda önemli bir dönüşüm sürecine girmektedir. Bu dönüşümün hukuki altyapı ile desteklenmesi, teknolojilerin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için kritik bir adım olacaktır. Başarılı uygulama örnekleri dikkate alındığında, Türkiye'nin yasal düzenlemelerini hızla uyumlu hale getirmesi hem iç pazarda hem de uluslararası alanda rekabetçi bir avantaj sağlayacaktır.

Otonom ve bağlantılı araçların hukuki statüsü ve sorumluluk rejimi: Türkiye'de bağlantılı/otonom araçların ve K-AUS uygulamalarının geliştirilmesi, mevcut hukuki altyapının güçlendirilmesini ve güncellenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda Türkiye'de önerilen yasal düzenlemeler aşağıda yer almaktadır:

- Tanım ve kapsam: Bağlantılı/otonom araçlar (Seviye 3, Seviye 4, Seviye 5) ve K-AUS sistemleri, Karayolları Trafik Kanunu'nda açıkça tanımlanmalı ve sürücüsüz sürüş moduna dair hukuki zemin netleştirilmelidir.
- Sürücü tanımının genişletilmesi: Karayolları Trafik Kanunu'nda bağlantılı/otonom araçların otonom sürüş modunda, "sürücü" tanımı yeniden yapılmalıdır. Uzaktan denetim veya teknik gözetim sağlamak için "operatör" ya da "teknik gözetim" gibi yeni roller tanımlanarak, bu kişilerin hukuki sorumlulukları belirlenmelidir.
- Kaza sorumluluğu: Bağlantılı/otonom araçlarda otonom modda meydana gelen kazalarda, sorumluluğun nasıl dağılacağına dair açık bir düzenleme yapılmalıdır. Araç üreticisi, yazılım geliştiricisi ve altyapı operatörünün sorumluluğu netleştirilmeli, sigorta ve üretici sorumluluğu içeren objektif bir sorumluluk rejimi oluşturulmalıdır.
- Sigorta düzenlemeleri: 5684 sayılı Sigortacılık Kanunu, bağlantılı/otonom araçlar için özel bir sigorta düzenlemesi ile güncellenmelidir. Yazılım hataları veya siber saldırılar nedeniyle meydana gelebilecek zararlar için sigorta kapsamı belirlenmeli, yüksek teminat zorunluluğu dikkate alınmalıdır.
- Uluslararası uyum: Türkiye'de üretilen bağlantılı/otonom araçların uluslararası pazara erişiminin kolaylaştırılması için, AB'nin 2019/2144 sayılı yönetmeliği ve 2022/1426 sayılı tüzüğüne uyum sağlanmalıdır.

Veri yönetimi ve siber güvenlik: K-AUS ve bağlantılı/otonom araçların yaygınlaşması ile birlikte, bu araçların topladığı büyük veri hacmi ve siber güvenlik gereksinimleri kapsamında önerilen yasal düzenlemeler aşağıda yer almaktadır:

- Veri koruma ve gizlilik: KVKK, bağlantılı/otonom araçlardan toplanan kişisel verilere ilişkin özel düzenlemelerle güncellenmelidir. Konum, hız ve biyometrik verilerin anonimleştirilmesi ve paylaşımı ile ilgili hükümler eklenmelidir. Veri sorumlularının veri koruma etki değerlendirmesi yapmaları zorunlu hale getirilmelidir.

- Araç içi veri kayıtları: Kaza anı verilerini kaydeden sistemlerin hukuki delil niteliği taşıması için Karayolları Trafik Kanunu'nda usul ve esaslar belirlenmelidir. Sigorta şirketlerinin bu verilere erişim koşulları düzenlenmeli ve yasal çerçeveye kavuşturulmalıdır.
- Siber güvenlik standartları: Siber Güvenlik Kanunu'nda, K-AUS bileşenlerinin kritik bilgi altyapısı olarak sınıflandırılması ve bu sistemler için asgari güvenlik standartlarının getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, "güvenlik tasarımdan başlar" ilkesi benimsenmeli ve her yeni teknoloji geliştirilirken siber güvenlik önlemleri ilk aşamalarda düşünülmelidir.
- Veri paylaşımı ve standartlar: Veri paylaşımının güvenliği ve birlikte çalışabilirliği artırmak için araçlardan toplanan verilerin güvenli bir platform üzerinden işlenmesi ve üçüncü taraflarla paylaşılmasına ilişkin ulusal düzeyde standartlar oluşturulmalıdır.

İletişim altyapısı, standartlar ve birlikte çalışabilirlik: K-AUS'un etkin bir şekilde çalışabilmesi için araçlar, yol altyapısı ve yönetim merkezleri arasında güvenli ve kesintisiz bir iletişim altyapısı gerekmektedir. Bu çerçevede, 5809 Sayılı Elektronik Haberleşme Kanunu'nda revize edilmesi önerilen maddeler aşağıda yer almaktadır:

- Frekans tahsisi ve yönetimi: K-AUS sistemlerinde (V2X) kullanılacak kablosuz iletişim frekanslarının tahsisi ve yönetimi açıkça belirlenmelidir. Örneğin, DSRC/ITS-G5 veya C-V2X gibi teknolojilerin ulusal düzeyde kullanılabilmesi için bir yol haritası oluşturulmalıdır.
- PKI altyapısı: K-AUS hizmetlerinin güvenli bir şekilde uygulanabilmesi için, ulusal düzeyde bir PKI kurulması gerekmektedir.
- Standardizasyon ve birlikte çalışabilirlik: K-AUS hizmetlerinin uluslararası standartlarla uyumlu olması (ETSI, CEN, ISO) ve yerel düzeyde birlikte çalışabilirliğinin sağlanması için mevzuat oluşturulmalıdır.

Test ve uygulama ortamları ile ekonomik teşvikler: Bağlantılı/otonom araçların ve K-AUS sistemlerinin yerelleşmesi ve test edilmesi için özel test merkezleri ve düzenleyici test alanları oluşturulmalıdır.

- Test ve sertifikasyon: Bağlantılı/otonom araçlar için özel Test ve Sertifikasyon Merkezleri kurulmalı, bu merkezlerde gerçekleştirilen testlerin hukuki temeli belirlenmelidir. Kamu yollarında testler için özel izin ve plaka belgelendirme süreçleri geliştirilmelidir.
- Düzenleyici sanal alan: Yazılım ve donanım geliştiricileri için "Regulatory Sandbox" adı verilen sanal alanlar oluşturulmalıdır. Bu alanlar, yeni teknolojilerin yasal mevzuat ile uyumlu bir şekilde test edilmesine olanak tanıyacaktır.
- Yerel üretime teşvik: Türkiye'de bağlantılı/otonom araç teknolojilerine yönelik yerli üretimin teşvik edilmesi amacıyla, sensörler, radarlar, LIDAR, OBU, RSU ve telematik sistemlerin yerli üretimine yönelik vergi muafiyetleri ve kamu alım garantileri gibi teşvik mekanizmaları devreye alınmalıdır.
- Çevresel entegrasyon: K-AUS sistemlerinin, enerji verimliliği ve düşük emisyon hedefleriyle uyumlu bir şekilde çalışabilmesi için yasal destek sağlanmalıdır. Bu sayede, ulaşımın çevresel etkileri azaltılabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'nin ulaşım altyapısındaki zorluklar, artan trafik yoğunluğu, güvenlik ihtiyaçları ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri göz önünde bulundurulduğunda K-AUS'un uygulanması stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir. Türkiye'de meydana gelen trafik kazalarının önemli bir bölümünün sürücü hatalarından kaynaklanması, mevcut ulaşım sistemlerinin güvenlik açısından yetersizliklerini gözler önüne sermektedir. Bununla birlikte trafik akışının düzensizliği, tıkanıklıklar ve yetersiz veri paylaşımı ulaşım sistemlerinin verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu kapsamda K-AUS, araçların kesintisiz ve gerçek zamanlı veri paylaşımını mümkün kılarak trafik güvenliğinin artırılması açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır. K-AUS ile araçlar, birbirleriyle ve altyapı unsurlarıyla iletişim kurarak anlık trafik durumunu paylaşabilmekte; olası kazaların önlenmesi, yol çalışmaları, hava koşulları ve diğer potansiyel tehlikelere ilişkin sürücülerin zamanında bilgilendirilmesi sağlanabilmektedir. Bu özellikleriyle K-AUS; daha güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir ulaşım sisteminin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

Türkiye'de bir "Ulusal AUS Mimarisi" çalışması mevcut olsa da bağlantılı araçların birlikte çalışabilirliğini sağlamak, frekans yönetimini koordine etmek ve kurumlar arası veri paylaşımını optimize etmek için spesifik bir K-AUS mimarisi eksikliği temel bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. K-AUS kapsamda ARC-IT tabanlı mimari; kurumsal koordinasyon, teknolojik esneklik ve uluslararası birlikte çalışabilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Çalışmanın ortaya koyduğu yaklaşım, özellikle temel güvenlik ve kavşak güvenliği gibi hizmet paketleri aracılığıyla trafik kazalarının ve buna bağlı can kayıplarının azaltılmasını, akıllı trafik yönetimi uygulamaları sayesinde trafik sıkışıklığının düşürülmesini ve ekonomik kayıpların önlenmesini hedeflemektedir. Bu kapsamda, ARC-IT referans mimarisinin benimsenmesi ve Avrupa'daki C-Roads platformu ile uyumlu "Gün 1" hizmetlerinin ulusal mevzuata entegrasyonu, Türkiye'nin hem ulusal ihtiyaçlarına cevap verebilecek hem de uluslararası birlikte çalışabilirliği sağlayabilecek ölçeklenebilir bir sistem mimarisi sunmaktadır. Bu mimari, dört ana hizmet alanını kapsamaktadır; araç güvenliği (örneğin çarpışma uyarısı ve kırmızı ışık ihlali uyarısı), trafik yönetimi (dinamik

hız limitleri, akıllı sinyal optimizasyonu), seyahat bilgileri ve kişisel hareketlilik (anlık bilgilendirme) ve destek hizmetleri (araç bakımı, yol bakım faaliyetleri, güvenlik).
Türkiye için önerilen çerçeve K-AUS mimarisi; araçların birbirleriyle, altyapıyla ve merkezlerle dinamik veri alışverişi yapmasını sağlayan donanım, yazılım ve iletişim altyapılarının entegrasyonuna dayanmaktadır. Önerilen hizmet paketlerinde bulunması gereken temel altyapı, donanım ve yazılım bileşenleri şunlardır:

Araç içi donanım ve yazılım altyapısı: Araçlar, K-AUS içerisinde "mobil sensör" ve temel veri üretim noktaları olarak görev yapmaktadır.

- OBU: Araç üzerinde konumlandırılan ve kısa menzilli haberleşme teknolojileri (DSRC/ITS-G5 veya C-V2X) kullanarak V2X haberleşmesini gerçekleştiren; güvenlik amaçlı mesajların iletimini sağlayan ve trafik, yol ile sürüş koşullarına ilişkin verileri alan temel donanım birimidir.
- Algılama sensörleri: Çevresel farkındalığı sağlamak ve güvenli sürüş için çevresel verileri toplamak amacıyla kullanılan LİDAR, radar ve kamera gibi sensörlerdir.
- Konumlandırma sistemleri: Yüksek doğruluklu GNSS/GPS alıcıları kullanarak araçların harita üzerinde şerit düzeyinde doğru bir şekilde konumlanmasını sağlayan sistemlerdir.
- Araç içi yazılım: BSM ve CAM üreten; çarpışma önleme ve sürüş destek algoritmalarını çalıştıran yazılım bileşenleridir.

Yol kenarı (saha) altyapısı: Yol kenarı altyapısı, araçlar ile merkezi sistemler arasında veri iletimini sağlayan sabit bileşenlerden oluşmaktadır.

- RSU: Araçlarla kısa menzilli haberleşme teknolojileri (DSRC/ITS-G5 veya C-V2X) üzerinden iletişim kuran; kavşak durumu, trafik yoğunluğu ve yol koşullarına ilişkin bilgileri yayınlayan birimlerdir.
- Trafik kontrol ekipmanları: Akıllı trafik sinyal kontrol cihazları, döngü (loop) dedektörleri ve yol-hava durumu sensörleri gibi yol ve hava durumu bilgilerini sürekli olarak izleyen ve analiz eden sistemlerdir.
- Fonksiyonel yazılımlar: RSU'lar üzerinde çalışan ve sinyal faz ve zamanlama bilgileri (SPaT) ile kavşak harita verilerini (MAP) yayınlayan kavşak yönetimi yazılımlarıdır.

Merkezi sistemler ve destek yazılımları: Sistemin yönetim, izleme, analiz ve güvenlik işlevlerini yerine getiren merkezi bileşenlerden oluşmaktadır.

- TMC: Sahadan toplanan tüm verileri analiz eden, trafik akışını optimize eden ve operasyonel ile stratejik kararların alınmasını sağlayan ana yazılım platformudur.
- PKI: Bağlantılı araç sistemlerinde iletilen V2X mesajlarının gizlilik, bütünlük ve kimlik doğrulamasını sağlamak amacıyla kullanılan; sertifikaların oluşturulması, dağıtımı ve yönetimini gerçekleştiren güvenlik altyapı sistemidir.
- NAP: Farklı kamu kurumları ve paydaşlardan elde edilen trafik, yol ve meteorolojik verilerin DATEX II ve NeTEx gibi standart veri formatlarında paylaşıldığı merkezi veri platformudur.

İletişim ve protokol yazılımları: Sistem bileşenleri arasındaki veri alışverişini mümkün kılan iletişim altyapısı ve standartları kapsamaktadır.

- Hibrit iletişim yazılımları: Kısa menzilli (ITS-G5/C-V2X) ve uzun menzilli (4G/5G) haberleşme teknolojilerinin birlikte ve kesintisiz çalışmasını sağlayan protokol yığınlarıdır.
- Mesajlaşma standartları: Olay ve tehlike bildirimleri için DENM, harita verileri için MAP ve sinyal zamanlama bilgileri için SPaT gibi uluslararası standart mesaj setlerini yazılımsal olarak destekleyen sistem bileşenleridir.

Bu mimarinin hayata geçirilebilmesi ve uygulamalarının yaygınlaştırılması amacıyla atılması gereken politikalar ve teknik adımlar aşağıda yer almaktadır:

- Yasal ve düzenleyici altyapının güncellenmesi: K-AUS ve bağlantılı/otonom araçların trafikteki statüsü, veri gizliliği, sigorta ve sorumluluk konularında kapsamlı mevzuat çalışmaları.
- Ulusal PKI ve siber güvenlik altyapısı kurulumu: Güvenli veri iletişimi için PKI altyapılarının kurulması ve ulusal bir güven alanı oluşturulması.
- Yerli üretim ve inovasyon teşvikleri: LIDAR, radar ve haberleşme modüllerinin yerli geliştirilmesi için Ar-Ge desteklerinin artırılması.

- Regülasyon test alanlarının oluşturulması: Yeni teknolojilerin yasal uyum içinde test edilmesine imkân tanınması.
- NAP altyapısının geliştirilmesi: Kamu ve özel sektör arasında güvenli veri paylaşımını sağlayan bir platform kurulması.

Tezde yapılan değerlendirme, önerilen mimarinin hayata geçirilmesi ile hem kısa hem uzun vadede önemli kazanımlar elde edileceğini göstermektedir. Araç güvenliği hizmet paketlerinin uygulanmasıyla sürücü hatalarına bağlı kazaların azaltılması, kırmızı ışık ihlallerinin önlenmesi ve yayaların korunması mümkün olacaktır. Trafik yönetimi uygulamaları, kavşaklarda ve otoyollarda akışı optimize ederek tıkanıklıkları azaltacak ve seyahat sürelerinde azalma sağlayacaktır. Seyahat bilgileri ve kişisel hareketlilik hizmetleri, yol kullanıcılarının farklı ulaşım modlarına (toplu taşıma, mikromobilite) entegre olmasına olanak tanıyacak, sürücüler ve yolcular için doğru ve kişiselleştirilmiş verilere erişilmesini sağlayacaktır. Destek hizmetleri sayesinde, yol bakım ve araç bakım faaliyetleri önceden planlanarak ekonomik kayıplar ve çevresel etkiler en aza indirilecektir. Uzun vadede önerilen K-AUS mimarisi, CCAM hedeflerini destekleyecek; dijital ikiz tabanlı trafik yönetimi, YZ destekli karar mekanizmaları ve yeni nesil hizmetlerin (CACC, platooning) entegrasyonu ile küresel hareketlilik ekosisteminde rekabet gücünü artıracaktır.

Bu çalışmada önerilen ARC-IT tabanlı Türkiye K-AUS mimarisi, Türkiye'nin karayolu ulaşımındaki dijitalleşme sürecini uluslararası standartlarla uyumlu hâle getirirken, çok paydaşlı yönetişimi destekleyen ve sektörün sürdürülebilir dönüşümüne zemin hazırlayan kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Bu çerçeve; Türkiye'nin gelecekteki otonom ve bağlantılı ulaşım hedeflerine ulaşmasını desteklerken, ulaşım altyapısının dijital entegrasyonunun güvenli ve verimli bir biçimde gerçekleştirilmesini sağlayan temel bir yapı niteliğindedir. Elde edilen bulguların; ulusal ulaşım stratejileri, dijital dönüşüm hedefleri ve AB ile teknik uyum gereksinimleri doğrultusunda sistematik ve uzun vadeli faydalar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

5G Automotive Association. (2022a). C-V2X pilot and demonstration areas in China. *5GAA*. Germany, 7-19.

5G Automotive Association. (2022b). C-V2X policies and regulations in China. *5GAA*. Germany, 9-15.

5G Automotive Association. (2022c). C-V2X standardisation in China. *5GAA*. Germany, 16-17.

5G Automotive Association. (2025c). V2X state of play in China II. *5GAA*. Germany, 20-25.

Ahmed, M., Mirza, M. A., Raza, S., Ahmad, H., Xu, F., Khan, W. U., Lin, Q., ve Han, Z. (2023). Vehicular communication network enabled CAV data offloading: A review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(8), 7869-7897.

ARC-IT. (2022). Key concepts of ARC-IT. *ARC-IT*. U.S., 1-7.

AVL. (2022). ZalaZONE project overview. *AVL*. Hungary, 5-25.

Automated Driving Industry Development Council. (2025). 2025 자율주행 산업발전 협의회 기술세미나 (2025 Otonom sürüş endüstrisi geliştirme konseyi teknik semineri). *Automated Driving Industry Development Council*. Seul. 15-83.

Ben Hamida, E., Noura, H., ve Znaidi, W. (2015). Security of cooperative intelligent transport systems: Standards, threats analysis and cryptographic countermeasures. *Electronics*, 4(3), 380-423.

bmvit. (2016). C-ITS strategy Austria. *bmvit*. Vienna, 7-8.

Botte, M., Pariota, L., D'Acierno, L., ve Bifulco, G. N. (2018). C-ITS communication: An insight on the current research activities in the European Union. *International Journal of Transportation Systems*, 3, 52–63.

Botte, M., Pariota, L., D'Acierno, L., ve Bifulco, G. N. (2019). An overview of cooperative driving in the European Union: Policies and practices. *Electronics*. 8(6), 616.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (2013). Intelligente Verkehrssysteme Gesetz-IVSG. *Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz*. Deutschland, 1-3.

Bundesministerium für Digitales und Verkehr. (2024a). Die Zukunft fährt autonom strategie der Bundesregierung für autonomes Fahren im Straßenverkehr. *Bundesministerium für Digitales und Verkehr*. Deutschland, 25.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2017a). Ethik-Kommission Automatisiertes und vernetztes Fahren. *Bundesministerium für Verkehr und digitale*

Infrastruktur. Deutschland, 6-30.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2017b). Maßnahmenplan der Bundesregierung zum Bericht der Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren (Ethik-Regeln für Fahrcomputer). *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur*. Deutschland, 2-4.

Bundesrat. (2021). Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes- Gesetz zum autonomen Fahren. *Bundesrat*. Deutschland, 1-16.

CAR 2 CAR Communication Consortium. (2019). Guidance for day 2 and beyond roadmap. *C2C-CC*. Europe, 31-36.

CAR 2 CAR Communication Consortium. (2021). Guidance for day 2 and beyond roadmap. *C2C-CC*. Europe, 5-20.

CAR 2 CAR Communication Consortium. (2022a). C-ITS: Europe's path to connected, cooperative ve automated mobility. *C2C-CC*. Europe, 7-9.

CAR 2 CAR Communication Consortium. (2022b). White paper on additional investigation of ITS-G5 and sidelink LTE-V2X co-channel coexistence methods. *C2C-CC*. Europe, 8.

CAR 2 CAR Communication Consortium. (2023a). Next generation V2X- IEEE 802.11bd as fully backward compatible evolution of IEEE 802.11p. *C2C-CC*. Europe, 11-19.

CAR 2 CAR Communication Consortium. (2023b). Use cases CAR 2 CAR Communication Consortium. *C2C-CC*. Europe, 10-39.

Český automobilový průmysl. (2017). Akční plán o budoucnosti automobilového průmyslu v ČR. *Ministerstvo dopravy*. Česká republika, 17-36.

C-Roads. (2021a). An overview of harmonised C-ITS deployment in Europe. *C-Roads.* Europe, 6-34.

C-Roads. (2021b). C-ITS European handbook for MAPEM and SPATEM creation. *C-Roads.* Europe, 11-13.

C-Roads. (2022b). Ecosystem for fully operational C-ITS service delivery. *C-Roads.* Europe, 14-17.

C-Roads. (2024). Annual deployment overview report 2023. *C-Roads.* Europe, 7-102.

C-Roads. (2025a). C-ITS infrastructure mobile ITS-G5 system profile 2.3.0. *C-Roads.* Europe, 6-16.

C-Roads. (2025b). C-ITS message profiles 2.3.0. *C-Roads.* Europe, 11-20.

C-Roads. (2025c). C-ITS roadside ITS-G5 system profile 2.3.0. *C-Roads.* Europe, 7-14.

C-Roads. (2025d). C-ITS service and use case definitions version 2.3.0. *C-Roads.* Europe, 24-253.

Czech Republic Ministry of Transport. (2021). Czech road traffic safety strategy 2021-2030. *Czech Republic Ministry of Transport.* Czech Republic, 27-28.

Debernard, S., Chauvin, C., Pokam, R., ve Langlois, S. (2016). Designing human-machine interface for autonomous vehicles. *Elsevier*, 49(19), 609-614.

Dar, K., Bakhouya, M., Gaber, J., Wack, M., ve Lorenz, P. (2010). Wireless communication technologies for ITS applications [Topics in automotive networking]. *IEEE Communications Magazine,* 48(5), 156-162.

Department of Transport and Main Roads. (2022a). Ipswich connected vehicle pilot. *Department of Transport and Main Roads.* Australia, 1-2.

Department of Transport and Main Roads. (2022b). Ipswich connected vehicle pilot safety evaluation summary report. *Department of Transport and Main Roads*. Australia, 1-10.

Department of Transport and Main Roads. (2023). Cooperative and highly automated driving (CHAD) safety study work package 2: C-ITS and AV integration and benefit evaluation. *Department of Transport and Main Roads.* Australia, 1-2.

Desai, A., Veeraraghavan, P., Bedari, A., Ding, S., Tu, H., Qureshi, F., Niu, B., Muthuswamy, K., Bervan, A., Palavikas, B., Dunuarachchi, M., ve Van Vulpen, E. (2024). Connected motorcycle safety summary phase 1. *Department of Transport and Main Roads*. Australia, 2-3.

Deutscher Bundestag. (2021). Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes- Gesetz zum autonomen Fahren. *Drucksache 19/27439*. Deutschland, 1-16.

DGITM. (2023). Connectivité véhicules-infrastructures: «clé d'entrée» à la définition des cas d'usage. *DGITM*. Fransa, 1.

DGITM. (2024). Stratégie nationale de connectivité véhicules-infrastructures. *DGITM*. Fransa, 8.

Die Bundersregierung. (2017). Bericht zum Stand der Umsetzung der Strategie Automatisiertes und Vernetztes Fahren. *Die Bundersregierung*. Deutschland, 77.

Ding, S., Muthuswamy, K., Vulpen, E. van, ve Desai, Prof. A. (2024). A comparative assessment of C-ITS technologies. *Australian Government.* Australia, 5-168.

Eshetu, A. A., Valilai, O. F., ve Wicaksono, H. (2024, 15-18 Aralık). *Unveiling the potential of artificial ıntelligence in cooperative, connected, and automated mobility (CCAM) solutions: A systematic literature review.* 2024 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Tayland, 1272-1276.

European Telecommunications Standards Institute. (2010). EN 302 665- Intelligent transport systems (ITS); communications architecture. *ETSI*. Europe, 12-38.

European Telecommunications Standards Institute. (2018). TS 122 185-V15.0.0-LTE; service requirements for V2X services (3GPP TS 22.185 version 15.0.0 release 15). *ETSI*. Europe, 22-25.

European Telecommunications Standards Institute. (2020). TR 126 985- V16.0.0- 5G; vehicle-to-everything (V2X); media handling and interaction (3GPP TR 26.985 version 16.0.0 release 16). *ETSI*. Europe, 8-22.

EU EIP. (2021). Roadmap for service implementation beyond initial deployment- version 2021. *European ITS Platform*. Europe, 14.

European Commission. (2016a). Communication from the commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. *European Commission.* Europe, 2-12.

European Commission. (2016b). Study on the deployment of C-ITS in Europe: Final report. *European Commission.* Europe, 11-201.

European Commission. (2018). On the road to automated mobility: An EU strategy for mobility of the future. *European Commission.* Europe, 2-5.

European Commission. (2019). The European Green Deal. *European Commission.* Europe, 4-5.

European Commission. (2020). Sustainable and smart mobility strategy-putting European transport on track for the future. *European Commission.* Europe, 13-14.

European Commission. (2021). Sustainable&smart mobility strategy. *European Commission.* Europe, 12-14.

European Commission. (2024a). Status of progress on connected, cooperative and automated mobility in Europe. *European Commission.* Europe, 3-5.

European Parliement. (2020). The impact of emerging technologies on the transport system. *European Parliement*. Europe, 36-39.

European Union. (2010). Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council. *European Union*. Europe, 1-4.

European Union. (2019). Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council. *European Union*. Europe, 5.

European Union. (2022). Commission implementing regulation (EU) 2022/1426. *European Union*. Europe, 2.

European Union. (2023a). Directıve (EU) 2023/2661 of the European Parliament and of the

Council. *European Union*. Europe, 1-9.

European Union. (2023b). Directive 2010/40/EU progress report 2023 Austria. *European Union*. Austria, 1-41.

European Union. (2023c). Directive 2010/40/EU progress report 2023 Czech Republic. *European Union*. Czech Republic, 1-44.

European Union. (2023d). Directive 2010/40/EU progress report 2023 France. *European Union*. France, 1-26.

European Union. (2023e). Directive 2010/40/EU progress report 2023 Germany. *European Union*. Germany, 1-26.

European Union. (2023f). Directive 2010/40/EU progress report 2023 Hungary. *European Union*. Hungary, 1-108.

European Union. (2023g). Directive 2010/40/EU progress report 2023 Italy. *European Union*. Austria, 1-29.

Federal Ministry Republic of Austria. (2021). Austria's 2030 mobility master plan. *Federal Ministry Republic of Austria.* Austria, 8-15.

Federal Ministry Republic of Austria. (2022). Action plan digital transformation in mobility (AP-DTM). *Federal Ministry Republic of Austria.* Austria, 11.

Festag, A. (2014). Cooperative intelligent transport systems standards in Europe. *IEEE Communications Magazine*, 52(12), 166-172.

FRAME NEXT. (2018). Review of European, and world-wide, state of the art ıts architecture activities. *FRAME NEXT*. Europe, 6-9.

Hausler, S. ve Milford, M. (2021). P1-021: Map creation, monitoring and maintenance for automated driving- literature review. *iMOVE*. Avustralya, 1.

Hussain, M., Larue, G., Ghasemi, S., Benrachou, D., Demmel, S., Rakotonirainy, A. ve Glaser, S. (2023). Cooperative and highly automated driving (CHAD) safety study work package 2: C-ITS / AV integration, benefits evaluation key findings report. *Centre for Accident Research&Road Safety-Queesland*. Avustralya, 14.

Infrastructure and Transport Ministers. (2025a). 2024-27 National connected and automated vehicle (CAV) action plan. *ITMM*. Australia, 6-7.

Infrastructure and Transport Ministers. (2025b). National road transport technology strategy. *ITMM*. Australia, 5-7.

Innovációs és Technológiai Miniszter. (2020). Magyarország Mesterséges Intelligencia Stratégiája 2020-2030. MI Koalíció. Hungary, 14-15.

International Organization for Standardization. (2020). ISO 21217:2020 Intelligent transport

systems- station and communication architecture. *ISO*. Switzerland, 5-12

International Organization for Standardization. (2025). ITS standardization activities of ISO/TC 204. *ISO*. Switzerland, 2-4.

İnternet: 3GPP. (2025). 3GPP specifications. URL: https://www.3gpp.org/specifications-technologies, Son Erişim Tarihi: 04.11.2025.

İnternet: 5GAA. (2025a). C-V2X in detail. URL: https://5gaa.org/c-v2x-explained/, Son Erişim Tarihi: 11.11.2025.

İnternet: 5GAA. (2025b). The 5G Automotive Association (5GAA). https://5gaa.org/c-v2x-in-action/, Son Erişim Tarihi: 11.11.2025.

İnternet: AA Haber. (2024). Akıllı yollar, akılcı yolculuklar. URL: https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/bakan-uraloglu-akilli-ulasim-sistemleri-ile-yollardaki-guvenlik-maksimum-duzeye-cikarken-maddi-kayiplari-onleyecegiz/3310381, Son Erişim Tarihi: 20.09.2025.

İnternet: ARC-IT. (2025a). Service Packages. URL: https://www.arc-it.net/html/servicepackages/servicepackages-areaspsort.html, Son Erişim Tarihi: 12.11.2025.

İnternet: ARC-IT. (2025b). SU01: Connected Vehicle System Monitoring and Management. URL: https://www.arc-it.net/html/servicepackages/sp100.html#tab-3, Son Erişim Tarihi: 12.11.2025.

İnternet: ARC-IT. (2025c). TI07: In-Vehicle Signage. URL: https://www.arc-it.net/html/servicepackages/sp115.html#tab-3, Son Erişim Tarihi: 12.11.2025.

İnternet: ARC-IT. (2025d). TM02: Vehicle-Based Traffic Surveillance. URL: https://www.arc-it.net/html/servicepackages/sp87.html#tab-3, Son Erişim Tarihi: 12.11.2025.

İnternet: ARC-IT. (2025e). TM04: Connected Vehicle Traffic Signal System. URL: https://www.arc-it.net/html/servicepackages/sp43.html#tab-3, Son Erişim Tarihi: 12.11.2025.

İnternet: ARC-IT. (2025f). VS02: V2V Basic Safety. URL: https://www.arc-it.net/html/servicepackages/sp7.html#tab-3, Son Erişim Tarihi: 12.11.2025.

İnternet: ARC-IT. (2025g). VS03: Situational Awareness. URL: https://www.arc-it.net/html/servicepackages/sp62.html#tab-3, Son Erişim Tarihi: 12.11.2025.

İnternet: ARC-IT. (2025h). VS04: Special Vehicle Alert. URL: https://www.arc-it.net/html/servicepackages/sp29.html#tab-3, Son Erişim Tarihi: 12.11.2025.

İnternet: ARC-IT. (2025i). VS05: Curve Speed Warning. URL: https://www.arc-it.net/html/servicepackages/sp13.html#tab-3, Son Erişim Tarihi: 12.11.2025.

İnternet: ARC-IT. (2025j). VS07: Road Weather Motorist Alert and Warning. URL: https://www.arc-it.net/html/servicepackages/sp46.html#tab-3, Son Erişim Tarihi: 12.11.2025.

İnternet: ARC-IT. (2025k). VS08: Queue Warning. URL: https://www.arc-it.net/html/servicepackages/sp52.html#tab-3, Son Erişim Tarihi: 12.11.2025.

İnternet: ARC-IT. (2025l). VS09: Reduced Speed Zone Warning / Lane Closure. URL: https://www.arc-it.net/html/servicepackages/sp60.html#tab-3, Son Erişim Tarihi: 12.11.2025.

İnternet: ARC-IT. (2025m). VS13: Intersection Safety Warning and Collision Avoidance. URL: https://www.arc-it.net/html/servicepackages/sp57.html#tab-3, Son Erişim Tarihi: 12.11.2025.

İnternet: austriatech. (2025). C-Roads Austria 2-3. URL: https://www.austriatech.at/en/projects/, Son Erişim Tarihi: 21.08.2025.

İnternet: AVL. (2025). ZalaZONE. URL: https://avlzalazone.com/, Son Erişim Tarihi: 24.07.2025.

İnternet: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (2003). Straßenverkehrsgesetz (StVG). URL: https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/, Son Erişim Tarihi: 01.09.2025.

İnternet: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (2022). Verordnung zur Genehmigung und zum Betrieb von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion in festgelegten Betriebsbereichen (Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung- AFGBV). https://www.gesetze-im-internet.de/afgbv/BJNR098610022.html, Son Erişim Tarihi: 01.09.2025.

İnternet: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (2024b). Gesetz über die Pflichtversicherung für Kraftfahrzeughalter (Pflichtversicherungsgesetz). URL: https://www.gesetze-im-internet.de/pflvg/BJNR102130965.html, Son Erişim Tarihi: 01.09.2025.

İnternet: CEN. (2025). CEN. URL: https://standards.cencenelec.eu/ords/f?p=CEN:105, Son Erişim Tarihi: 20.09.2025.

İnternet: connected automated driving. (2020). Italy. URL: https://www.connectedautomateddriving.eu/regulation-and-policies/national-level/eu/italy/, Son Erişim Tarihi: 26.10.2025.

İnternet: C-Roads. (2021c). C-Roads Austria. URL: https://www.c-roads.eu/deployments/core-members/austria.html, Son Erişim Tarihi: 28.07.2025.

İnternet: C-Roads. (2021d). C-Roads France. URL: https://www.c-roads.eu/deployments/core-members/france/Partner/project/show/c-roads-france.html, Son Erişim Tarihi: 28.07.2025.

İnternet: C-Roads. (2021e). C-Roads Hungary. URL: https://www.c-roads.eu/deployments/core-members/hungary.html, Son Erişim Tarihi: 28.07.2025.

İnternet: C-Roads. (2023a). C-Roads Italy. URL: https://www.c-roads.eu/deployments/core-members/italy.html, Son Erişim Tarihi: 28.07.2025.

İnternet: C-Roads. (2023b). C-Roads Czech Republic. URL: https://www.c-roads.eu/deployments/core-members/czech-republic/Partner/project/show/c-roads-czech-republic.html, Son Erişim Tarihi: 28.07.2025.

İnternet: C-Roads (2023c). C-Roads Germany. URL: https://www.c-roads.eu/deployments/core-members/germany/Partner/project/show/c-roads-germany.html, Son Erişim Tarihi: 28.07.2025.

İnternet: DATEX II. (2025). DATEX II. URL: https://datex2.eu/, Son Erişim Tarihi: 03.10.2025.

İnternet: European Telecommunications Standards Institute. (2025). ETSI. URL: https://www.etsi.org/standards#Pre-defined%20Collections, Son Erişim Tarihi: 01.11.2025.

İnternet: European Commission. (2023). Transforming Cross-Border Traffic in Central Europe with ITS. URL: https://cinea.ec.europa.eu/featured-projects/transforming-cross-border-traffic-central-europe-its_en, Son Erişim Tarihi: 30.10.2025.

İnternet: European Commission. (2025). Intelligent Transport Systems in the EU Transforming road transport and connectivity. URL: https://cinea.ec.europa.eu/programmes/connecting-europe-facility/transport-infrastructure/intelligent-transport-systems-eu_en, Son Erişim Tarihi: 30.10.2025.

İnternet: Federal Ministry of Transport. (2020). Automated and Connected Driving. URL: https://www.bmv.de/SharedDocs/EN/Articles/DG/automated-and-connected-driving.html, Son Erişim Tarihi: 17.10.2025.

İnternet: Ford Otosan. (2020). Araç Teknolojileri. URL: https://www.fordotosan.com.tr/tr/faaliyetlerimiz/ar-ge/teknolojilerimiz/arac-teknolojileri, Son Erişim Tarihi: 13.10.2025.

İnternet: FRAME. (2023). The European Intelligent Transport Systems (ITS) Framework Architecture. URL: https://frame-online.eu/frame-architecture/, Son Erişim Tarihi: 20.10.2025.

İnternet: FRAME NEXT. (2023). FRAME NEXT. URL: https://frame-next.eu/frame-next/, Son Erişim Tarihi: 20.10.2025.

İnternet: IEEE. (2025). IEEE. URL: https://www.ieee.org/, Son Erişim Tarihi: 16.10.2025.

İnternet: iMOVE. (2018). C-ITS Pilot Security Credential Management System. URL: https://imoveaustralia.com/project/c-its-pilot-security-credential-management-system/, Son Erişim Tarihi: 16.10.2025.

İnternet: iMOVE. (2023). Motorcyclist safety: Connected motorcycle pilot. URL: https://imoveaustralia.com/project/motorcyclist-safety-connected-motorcycle-pilot/, Son Erişim Tarihi: 16.10.2025.

İnternet: iMOVE. (2025a). iMOVE. URL: https://imoveaustralia.com/, Son Erişim Tarihi: 16.10.2025.

İnternet: iMOVE. (2025b). Intelligent Transport Systems Projects. URL: https://imoveaustralia.com/tag/intelligent-transport-systems-projects/, Son Erişim Tarihi: 16.10.2025.

İnternet: iMOVE. (2025c). List of iMOVE Projects. URL: https://imoveaustralia.com/projects-listing/, Son Erişim Tarihi: 16.10.2025.

İnternet: International Organization for Standardization. (1992). ISO/TC 204 Intelligent transport systems. URL: https://www.iso.org/contents/data/committee/05/47/54706.html, Son Erişim Tarihi: 08.10.2025.

İnternet: Intelligent Transportation Systems Joint Program Office. (2025). ITS JPO, U.S. DOT. URL: https://www.its.dot.gov/, Son Erişim Tarihi: 10.10.2025.

İnternet: ITS Korea. (2025). ITS Korea. URL:https://itskorea.kr/english/main.do, Son Erişim Tarihi: 19.10.2025.

İnternet: ITU. (2025). ITU. URL: https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx, Son Erişim Tarihi: 15.10.2025.

İnternet: Ministry of Industry and Information Technology. (2025). Ministry of Industry and Information Technology. URL: https://ythzxfw.miit.gov.cn/bssx/axy/index.html#zswf-bsfw-main-right-box4, Son Erişim Tarihi: 15.10.2025.

İnternet: Ministère de la Transition écologique. (2021). Cooperative Intelligent Transport Systems-C-ITS. URL: https://c-its.developpement-durable.gouv.fr/en/projects/c-roads/pilot-sites/, Son Erişim Tarihi: 11.10.2025.

İnternet: Ministry of Land Infrastructure and Transport (2017). C-ITS Pilot Projesi. URL: https://www.c-its.kr/english/getMain.do, Son Erişim Tarihi: 15.10.2025.

İnternet: napcore. (2025). napcore. URL:https://napcore.eu/ Son Erişim Tarihi: 04.11.2025.

İnternet: OPINA. (2025). OPINA. URL: http://opina.org.tr/tr/opina-hakkinda/ Son Erişim Tarihi: 13.10.2025.

İnternet: POLIS. (2018). POLIS. URL: https://www.polisnetwork.eu/ Son Erişim Tarihi: 04.11.2025.

İnternet: Queensland Government. (2020). Road Infrastructure Readiness Study ZOE 1.

https://imoveaustralia.com/wp-content/uploads/2020/02/ZOE-1-Flyer-v4.95.pdf, Son Erişim Tarihi: 13.10.2025.

İnternet: Society of Automotive Engineers. (2025). SAE. URL: https://www.sae.org/standards/development Son Erişim Tarihi: 25.09.2025.

İnternet: SCALE. (2025a). SCALE Project. URL: https://scale.ttsitalia.it/, Son Erişim Tarihi: 25.09.2025.

İnternet: SCALE. (2025b). SCALE Project. URL: https://scale.ttsitalia.it/pilot-sites/pilot-site-9-spain-urban-and-interurban-areas/, Son Erişim Tarihi: 25.09.2025.

İnternet: Seoul TOPIS. (2020). Autonomous Vehicle Testbed&C-ITS. URL: https://topis.seoul.go.kr/openEngCits.do, Son Erişim Tarihi: 15.10.2025.

İnternet: T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2025). Haberleşme Genel Müdürlüğü-AUS Dairesi Projeleri. URL: https://hgm.uab.gov.tr/projelerimiz, Son Erişim Tarihi: 08.10.2025.

İnternet: United Nations. (1985). Vienna Convention. URL: https://iklim.gov.tr/en/vienna-convention-i-119, Son Erişim Tarihi: 11.10.2025.

İnternet: United Nations. (1987). Montreal Protocol. URL: https://iklim.gov.tr/en/montreal-protocol-i-120, Son Erişim Tarihi: 11.10.2025.

İnternet: United Nations. (1992). UN Framework Convention on Climate Change. URL: https://iklim.gov.tr/en/un-framework-convention-on-climate-change-i-114, Son Erişim Tarihi: 11.10.2025.

İnternet: United Nations. (1997). Kyoto Protocol. URL: https://iklim.gov.tr/en/kyoto-protocol-i-118, Son Erişim Tarihi: 11.10.2025.

İnternet: United Nations. (2015). Paris Agreement. URL: https://iklim.gov.tr/en/paris-agreement-i-117, Son Erişim Tarihi: 11.10.2025.

İnternet: Venit Laboratuvarı. (2025). Vehicular Networking and Intelligent Transportation Systems Research Lab. URL: https://www.venit.org/, Son Erişim Tarihi: 08.10.2025.

İnternet: X4ITS. (2025). Cross for ITS (X4ITS). URL: https://x4its.eu/, Son Erişim Tarihi: 25.09.2025

ITS Australia. (2020). Connectivity in C-ITS. *ITS Australia*. Australia, 1-6.

Jesty, P., ve Frötscher, A. (2021). D2.2: Review of the obligations included in the its directive. *European Commission.* Europe, 5-7.

Karkhanis, P., Dajsuren, Y. ve van den Brand, M. (2023, 18-22 Eylül). *Designing a reference architecture for the C-ITS services.* Software Architecture: 17th European Conference, ECSA 2023 Proceedings, İstanbul, 117-132.

Karkhanis, P., Van Den Brand, M. G. J., ve Rajkarnikar, S. (2018, 13 Ağustos). *Defining the C-ITS reference architecture*. 2018 IEEE 15th International Conference on Software Architecture Companion, Seattle, 148-151.

Larue, G., Demmel, S., Pascale, M., Nadhim, E., Elhenawy, M., Griffin, W., ve Lewis, I. (2022a). Ipswich connected vehicle pilot: Summary of the simulator study findings. *iMOVE*. Australia, 5-6.

Larue, G., Demmel, S., Pascale, M., Nadhim, E., Elhenawy, M., Griffin, W. ve Lewis, I. (2022b). Ipswich connected vehicle pilot: Summary of the subjective evaluation study findings. *Centre for Accident Research&Road Safety-Queesland.* Avustralya, 5-13.

Main Roads Western Australia. (2025a). Annual report 2024-2025. *Main Roads*. Australia, 24-25.

Main Roads Western Australia. (2025b). Intelligent transport systems (ITS) master plan 2022-2030. *Main Roads*. Australia, 5.

Milford, M., Garg, S. ve Mount, J. (2019). P1-007: How automated vehicles will interact with road infrastructure now and in the future. *iMOVE*. Australia, 11-12.

Ministère chargé des Transports. (2020). The French strategy for the development of automated road mobility 2020-2022. *Ministère chargé des Transports*. France, 8.

Ministère chargé des Transports. (2023). Développement des mobilités routières automatisées et connectées: État des lieux, enjeux et actions pour la stratégie nationale. *Ministère chargé des Transports.* France, 7-8.

Ministère chargé des Transports. (2025). Mobilités routières automatisées et connectées: mise à jour de la stratégie nationale. *Ministère chargé des Transports.* France, 3-4.

Ministero delle infrastrutture e dei trasporti. (2018). Modalità attuative e strumenti operativi della sperimentazione su strada delle soluzioni di smart road e di guida connessa e automatica. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*. İtaly, 11.

Ministerstvo dopravy. (2017). Vize rozvoje autonomni mobility. *Ministerstvo dopravy*. Czech Republic, 28.

Ministerstvo dopravy. (2020). Strategie rozvoje inteligentních dopravních systémů 2021-2027 s výhledem do roku 2050. *Ministerstvo dopravy*. Czech Republic, 30-48.

Ministerstvo dopravy. (2021a). Akční plán ke strategii rozvoje inteligentních dopravních systémů 2022-2024. *Ministerstvo dopravy*. Czech Republic, 3-11.

Ministerstvo dopravy. (2021b). Transport policy of the Czech Republic period of 2021-2027, with an outlook until 2050. *Ministerstvo dopravy*. Czech Republic, 72-75.

Ministerstvo dopravy. (2022). Návrh úpravy jednotlivých právních institutů a aspektů platných v České republice relevantních pro zavádění vozidel od stupně automatizace SAE 3 a výše do provozu a zajištění jejich provozu. *Ministerstvo dopravy*. Czech

Republic, 78-94.

Ministerstvo dopravy. (2024). Autonomous mobility plan until 2025 with a prospect to 2030. *Ministerstvo dopravy*. Czech Republic, 5-52.

Ministry of Land Infrastructure and Transport. (2019). 제3차 스마트도시 종합계획 (2019-2023) [Üçüncü akıllı şehir kapsamlı planı (2019–2023)]. *MOLIT*. Seul, 16-17.

Ministry of Land Infrastructure and Transport. (2021). 지능형교통체계(ITS) 기본계획 2030 [Intelligent transportation systems (ITS) master plan 2030]. *MOLIT*. Sejong, 41-138.

Ministry of Land Infrastructure and Transport. (2022). 모빌리티 혁신 로드맵 (Mobility innovation roadmap). *MOLIT*. Sejong, 11-20.

Ministry of Land Infrastructure and Transport. (2024). 제4차 스마트도시 종합계획(안) (2024-2028) [Dördüncü akıllı şehir kapsamlı planı (taslak) (2024-2028)]. *MOLIT*. Sejong, 34-42.

Mir, Z. H., Toutouh, J., Filali, F., ve Ko, Y. B. (2020). Enabling DSRC and C-V2X integrated hybrid vehicular networks: Architecture and protocol. *IEEE Access*, 8, 180909-180927.

Naeem, M. A., Chaudhary, S., ve Meng, Y. (2024). Road to efficiency: V2V enabled intelligent transportation system. *Electronics,* 13(13), 2673.

Sambeek, van, M., Ophelders, F. E. B., Bijlsma, T., Kluit, van der, B., Turetken, O., Eshuis, H., Traganos, K., ve Grefen, P. W. P. J. (2015). Towards an architecture for cooperative-intelligent transport system (C-ITS) applications in the Netherlands. *TU/e.* Netherlands, 60-125.

Republique Française. (2019). LOI n° 2019-1428 d'orientation des mobilités (LOM) [Hareketliliğin Yönlendirilmesi Kanunu (LOM)]. *Journal Officiel de la République Française.* France, 9-11.

Republique Française. (2021). Loi no 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets [İklim Değişikliği ile Mücadele Etmek ve Etkilerine Karşı Direnç Oluşturmak için Kanun]. *Journal Officiel de la République Française*. France, 23-32.

Tahir, M. N. ve Katz, M. (2021, 10-13 Mayıs). *C-ITS communications using heterogeneous wireless technologies.* IEEE INFOCOM 2021-IEEE Conference on Computer Communications Workshops*,* Vancouver, 1-2.

Tahir, M. N., Leviäkangas, P., ve Katz, M. (2022). Connected vehicles: V2V and V2I road weather and traffic communication using cellular technologies. *Sensors*, 22(3), 1142.

T.C. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. (2018). Frekans Tahsisinden Muaf Telsiz Cihaz

Ve Sistemleri Hakkında Yönetmelik. *Resmi Gazete*. Ankara, Sayı: 30608.

T.C. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. (2022). Frekans tahsisinden muaf telsiz cihaz ve sistemlerine ilişkin teknik ölçütler. *BTK.* Ankara, Sayı: 2022/İK-SYD/245

T.C. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. (2024). 2024-2028 Stratejik plan. *BTK.* Ankara, 108-118.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2024). On ikinci kalkınma planı (2024-2028). *Cumhurbaşkanlığı.* Ankara, 139-215.

T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2019). 2020-2023 Ulusal akıllı şehirler stratejisi ve eylem planı. *ÇŞİDB*. Ankara, 187-193.

T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024). 2024-2028 yılı stratejik planı. *ÇŞİDB*. Ankara, 45.

T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü. (2024a). 2024 faaliyet raporu. *KGM.* Ankara, 32-114.

T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü. (2024b). Akıllı ulaşım sistemleri şubesi müdürlüğü çalışmaları. *KGM.* Ankara, 8-16.

T.C. Resmî Gazete. (2007). 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu. *Resmî Gazete*. Ankara, Sayı:26510.

T.C. Resmî Gazete. (2008). 5809 Sayılı Elektronik Haberleşme Kanunu. *Resmî Gazete*. Ankara, Sayı:27050.

T.C. Resmî Gazete. (2016). 6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu. *Resmî Gazete*. Ankara, Sayı:29677.

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2022a). Mobilite araç ve teknolojileri yol haritası. *STB*. Ankara, 157-175.

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2020). Motorlu Araçlar ve Römorkları ile Bunlar İçin Tasarlanan Aksam, Sistem ve Ayrı Teknik Ünitelerin Genel Güvenliği ve Korunmasız Karayolu Kullanıcılarının ve Yolcuların Korunması ile İlgili Tip Onayı Yönetmeliği (AB/2019/2144). *Resmî Gazete*. Ankara, Sayı: 31127.

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2022b). TeknoGirişim stratejisi. *STB*. Ankara, 68-93.

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2022c). Ulusal teknoloji girişimciliği stratejisi eylem planı. *STB*. Ankara, 12-14.

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2024). Tam Otonom Araçların Otonom Sürüş Sistemine İlişkin Motorlu Araçların Tip Onayı Hakkında Yönetmelik (AB/2022/1426). *Resmî Gazete*. Ankara, Sayı: 32739.

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2025). 2030 Sanayi ve teknoloji stratejisi. *STB*. Ankara, 40-82.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2019). Ulaşımda Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik. *Resmî Gazete*. Ankara, Sayı: 30762.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2020). Ulusal akıllı ulaşım sistemleri (AUS) strateji belgesi ve 2020-2023 eylem planı. *UAB*. Ankara, 44-76.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2023a). 2053 ulaştırma ve lojistik ana planı. *UAB*. Ankara, 74.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2023b). ABHS mevcut durum analizi. *UAB*. Ankara, 81.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2023c). K-AUS Türkiye mevcut durum analiz raporu. *UAB*. Ankara, 47-55.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2024a). Akıllı ulaşım sistemleri terimler sözlüğü. *UAB*. Ankara, 93.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2024b). Türkiye otonom araçlar mevcut durum analizi raporu. *UAB*. Ankara, 61.

The European Automobile Manufacturers Association. (2025). Vehicles on European roads. *ACEA.* Belgium, 10.

TISA (2025). Safety related message sets-selection of DATEX II situations, DENM rel. 2 and TPEG2-TEC causes and TMC events for EC high level categories of road safety related traffic information-SRTI. *TISA*. Belgium, 7-19.

Transport for NSW. (2022). NSW Connected and automated vehicle (CAV) readiness strategy. *TfNSW.* Australia, 10-31.

Türkiye İstatistik Kurumu. (2025a). Karayolu trafik kaza istatistikleri, 2024. *TÜİK.* Ankara. Sayı: 54056.

Türkiye İstatistik Kurumu. (2025b). Motorlu kara taşıtları, Ekim 2025. *TÜİK.* Ankara. Sayı: 54045.

U.S. Department of Transportation. (2007). ITS mission definition. *U.S. DOT.* Washington, 1-2.

U.S. Department of Transportation. (2020). Ensuring American leadership in automated vehicle technologies automated vehicles 4.0. *U.S. DOT*. Washington, 26-41.

U.S. Department of Transportation. (2021). Automated vehicles- comprehensive plan. *U.S. DOT*. Washington, 1-25.

U.S. Department of Transportation (2024). Connected vehicle pilot deployment program (2024 update). *U.S. DOT*. Washington, 1-16.

U.S. Federal Communications Commission. (2004). Wireless telecommunications bureau announces details concerning the licensing and transmitter location registration process for the DSRC service in the intelligent transportation service. *DA 04-3165.* Washington, 1-5.

U.S. Federal Communications Commission. (2019). Use of the 5.850-5.925 GHz band: Notice of proposed rulemaking. *ET Docket No. 19-138*. Washington, 1-14.

U.S. Federal Communications Commission. (2024). Use of the 5.850-5.925 GHz band: Second report and order. F*CC 24-123.* Washington, 1-106.

Vieira, E., Almeida, J., Ferreira, J., Dias, T., Vieira Silva, A., ve Moura, L. (2023). A roadside and cloud-based vehicular communications framework for the provision of C-ITS services. *Information*, 14(3), 153.

Yanggu-gun. (2022). 양구군 스마트도시계획 (2024-2028) [Yanggu-gun akıllı şehir planı (2024-2028)]. Yanggu, 104-118.

Walch, M., Schirrer, A., ve Neubauer, M. (2025). Impact assessment of cooperative intelligent transport systems (C-ITS): A structured literature review. *European Transport Research Review,* 17(1), 11.

World Health Organization. (2023). Global status report on road safety 2023. *WHO*. Geneva, 1-6.

Yu, G., Li, H., Wang, Y., Chen, P., ve Zhou, B. (2022). A review on cooperative perception and control supported infrastructure-vehicle system. *Green Energy and Intelligent Transportation*, 1(3). 100023.

Zhang, X., Li, J., Zhou, J., Zhang, S., Wang, J., Yuan, Y., Liu, J., ve Li, J. (2025). Vehicle-to-everything communication in intelligent connected vehicles: A survey and taxonomy. *Automotive Innovation*, 8(1), 13-45.



Gazili olmak ayrıcalıktır