



K-AUS ALANINDA YIKICI VE YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLER RAPORU



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

K-AUS Alanında Yıkıcı ve Yenilikçi Teknolojiler Raporu

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Haberleşme Genel Müdürlüğü

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

Boğaziçi Üniversitesi AUS Laboratuvarı

İlgin YAŞAR	Proje Yöneticisi-Prof. Dr.
Sarp Semih ÖZKAN	Yüksek Mühendis
Alperen TİMURÖĞULLARI	Yüksek Mühendis
Volkan YILDIZ	Mühendis

TÜM HAKLARI SAKLIDIR.

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

ANKARA, Kasım 2024

İÇİNDEKİLER

Şekiller Listesi.....	iv
Tablolar Listesi.....	v
Türkçe Kısaltmalar Listesi	vi
İngilizce Kısaltmalar Listesi.....	vii
Tanımlar	x
BÖLÜM I	1
1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM II	4
2. METODOLOJİ.....	4
BÖLÜM III	6
3. K-AUS ALANINDA KULLANILAN YIKICI VE YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLER.....	6
3.1. Bağlantılı ve Otonom Araç Teknolojileri.....	6
3.2. Sarmal Arayüzler.....	11
3.3. Nesnelerin interneti (IoT).....	15
3.4. Yeni Nesil Haberleşme Teknolojileri.....	20
3.5. Algılama ve Görüntüleme Teknolojileri	30
3.6. Büyük Veri ve Açık Veri.....	36
3.7. Blokzincir Teknolojisi	42
3.8. Yapay Zekâ, Makine öğrenmesi ve Derin Öğrenme	46
3.9. Bulut Bilişim	49
3.10. Uç Bilişim.....	52
3.11. Dijital İkiz.....	55
3.12. Robotik	57
BÖLÜM IV	61
4. TÜRKİYE’DE K-AUS ALANINDA KULLANILAN YIKICI VE YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLER.....	61
BÖLÜM V	67
5. SONUÇLAR	67
KAYNAKÇA	72

Şekiller Listesi

Şekil 1. SAE Otonom Araç Seviyeleri.....	7
Şekil 2. Bağlantılı ve Otonom Araç Bileşenleri.....	9
Şekil 3. Ön Cam Sarmal Arayüzü.....	14
Şekil 4. Nesnelerin İnterneti.....	16
Şekil 5. Yeni Nesil Bağlantı Teknolojileri.....	22
Şekil 6. RFID Uygulaması Örneği.....	23
Şekil 7. eMBB, eMTC ve URLLC.....	25
Şekil 8. Algılama ve Görüntüleme Teknolojisi Uygulaması.....	31
Şekil 9. Görüntü Algılama Teknolojisi Konsepti.....	34
Şekil 10. Büyük Veri.....	38
Şekil 11. Blozincir.....	42
Şekil 12. Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenmenin Tarihsel Gelişimi.....	46
Şekil 13. Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme.....	47
Şekil 14. Bulut Bilişim.....	50
Şekil 15. Uç Bilişim Yapısı.....	52
Şekil 16. Uç Bilişim.....	53
Şekil 17. Dijital İkiz Örneği.....	55

Tablolar Listesi

Tablo 1. Anket Çalışması Kapsamında Görüşülen Paydaşlar	5
Tablo 2. SAE Otonom Araç Seviyeleri ve Açıklamaları	7
Tablo 3. Yıkıcı ve Yenilikçi Teknolojilerin K-AUS Uygulamalarında Rol Aldığı Alanlar	68

Türkçe Kısaltmalar Listesi

Kısaltma	İngilizce	Türkçe
ABD	United States of America	Amerika Birleşik Devletleri
ABHS	In-Vehicle Information and Communication System	Araç İçi Bilgi ve Haberleşme Sistemi
ARİTS	In-Vehicle Violation Detection System	Araç İçi İhlal Tespit Sistemi
AUS	Intelligent Transportation Systems (ITS)	Akıllı Ulaşım Sistemleri
EPDK	Energy Market Regulatory Authority	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
HGS	Fast Pass System	Hızlı Geçiş Sistemi
İBB	İstanbul Metropolitan Municipality	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İETT	İstanbul Electric Tram and Tunnel Enterprises	İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
İHA	Unmanned Aerial Vehicle	İnsansız Hava Aracı
İSBAK	İstanbul IT and Smart City Technologies Inc.	İstanbul Bilişim ve Akıllı Kent Teknolojileri A.Ş.
K-AUS	Cooperative Intelligent Transportation Systems (C-ITS)	Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri
KGM	Directorate General of Highways	Karayolları Genel Müdürlüğü
PİTS	Automatic Parking Violation Detection System	Otomatik Park İhlal Tespit Sistemi
YOYO	Re-Reading System for Misread Number Plates	Yanlış Okunan Plakaları Yeniden Okuma Sistemi

İngilizce Kısaltmalar Listesi

Kısaltma	İngilizce	Türkçe
3D	3 Dimensional	3 Boyutlu
3G	3rd Generation	3. Nesil
3GPP	3rd Generation Partnership Project	3. Nesil Ortaklık Projesi
4G	4th Generation	4. Nesil
5G	5th Generation	5. Nesil
AAAT	Annual Average Daily Traffic	Yıllık Ortalama Günlük Trafik
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems	Gelişmiş Sürücü Yardım Sistemleri
AR	Augmented Reality	Artırılmış Gerçeklik
AI	Artificial Intelligence	Yapay Zekâ
CAM	Cooperative Awareness Message	Kooperatif Farkındalık Mesajı
CAN	Controller Area Network	Denetleyici Alan Ağı
CCAM	Connected, Cooperative and Automated Mobility	Bağlantılı, Kooperatif ve Otonom Araç Hareketliliği
CDMA2000	Code Division Multiple Access 2000	Kod Bölmeli Çoklu Erişim 2000
CNN	Convolutional Neural Network	Evrişimli Sinir Ağı
C-V2X	Cellular Vehicle-to-Everything	Hücreli Ağ Üzerinden Araçtan Her Şeye
D2D	Device-to-Device	Cihazdan Cihaza
DID	Decentralized Identification	Merkezi Olmayan Kimlik
DL	Deep Learning	Derin Öğrenme
DSRC	Dedicated Short Range Communication	Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme
DRSP	Dynamic Ride-Sharing Problem	Dinamik Sürüş Paylaşım Problemi
DT	Digital Twin	Dijital İkiz
DTaaS	Digital Twin as a Service	Hizmet Olarak Dijital İkiz
DTSN	Distributed Transport for Sensor Networks	Sensör Ağları için Dağıtık Taşıma
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	Gelişmiş Mobil Geniş Bant
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü

FCFS	First Come First Served	İlk Gelen İlk Hizmet Alır
GLONASS	Global Orbiting Navigation Satellite System	Küresel Yörüngeli Navigasyon Uydu Sistemi
GPS	Global Positioning System	Küresel Konumlandırma Sistemi
HRI	Human-Robot Interaction	İnsan-Robot Etkileşimi
ICS	Interchange Control Services	Kavşak Kontrol Hizmeti
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IoRT	Internet of Robotic Things	Robotik Nesnelerin İnterneti
IoT	Internet of Things	Nesnelerin İnterneti
IoV	Internet of Vehicles	Araçların İnterneti
ITS-G5	Frequency Band for Intelligent Transportation Systems	Akıllı Ulaşım Sistemleri için Frekans Bandı
ITS JPO	ITS Joint Program Office	AUS Ortak Program Ofisi
KITTI	Karlsruhe Institute of Technology and Toyota Technological Institute	Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü ve Toyota Teknoloji Enstitüsü
LBP	Local Binary Patterns	Yerel İkili Örüntüler
LDM	Local Dynamic Map	Yerel Dinamik Harita
LIDAR	Light Detection and Ranging	Işık Algılama ve Mesafe Ölçümü
LIN	Local Interconnect Network	Yerel Ara-Bağlantı Ağı
LPWAN	Low Power Wide Area Network	Düşük Güç Geniş Alan Ağı
LSTM	Long Short-Term Memory	Uzun Kısa Süreli Bellek
LTE	Long Term Evolution	Uzun Süreli Gelişim
MaaS	Mobility-as-a-Service	Bir Hizmet Olarak Hareketlilik
MANET	Mobile Ad Hoc Network	Mobil Geçici Ağ
MILP	Mixed-Integer Linear Programming	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama
M2M	Machine-to-Machine	Makineden Makineye
ML-ITMS	Machine Learning-Assisted Intelligent Traffic Monitoring System	Makine Öğrenmesi Destekli Akıllı Trafik İzleme Sistemi
mMTC	Massive Machine Type Communication	Büyük Makine Tipi Haberleşme
MOST	Media Oriented System Transport	Medya Odaklı Sistem Taşıma

NCRB	National Crime Records Bureau	Ulusal Suç Kayıtları Bürosu
NFC	Near Field Communication	Yakın Alan Haberleşmesi
NGSIM	Next Generation Simulation	Yeni Nesil Simülasyon
NR	New Radio	Yeni Radyo
NFV	Network Function Virtualization	Ağ Fonksiyonu Sanallaştırma
OBU	On-Board Unit	Araç İçi Birim
RDS	Radio Data System	Radyo Veri Sistemi
RFID	Radio Frequency Identification	Radyo Frekansıyla Tanımlama
ROS	Robot Operating System	Robot İşletim Sistemi
RSU	Roadside Unit	Yol Kenarı Birimi
SACARI	Supervision of an Autonomous Car by an Augmented Reality Interface	Artırılmış Gerçeklik Arayüzüyle Otonom Araç Denetimi
SAE	Society of Automotive Engineers	Otomotiv Mühendisleri Topluluğu
SDN	Software-Defined Network	Yazılım Tanımlı Ağ
SDVN	Software-Defined Vehicular Network	Yazılım Tanımlı Araç Ağı
SVM	Support Vector Machine	Destek Vektör Makinesi
TD-SCDMA	Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access	Zaman Bölmeli-Senkron Kod Bölmeli Çoklu Erişim
uRLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication	Ultra Güvenli Düşük Gecikmeli Haberleşme
VANET	Vehicular Ad-hoc Network	Araçlar için Geçici Ağ
V2I	Vehicle-to-Infrastructure	Araçtan Altyapıya
V2V	Vehicle-to-Vehicle	Araçtan Araca
V2X	Vehicle-to-Everything	Araçtan Her Şeye
VIRE	Virtual Immersive Reality Environment	Sanal Sürükleyici Gerçeklik Ortamı
VR	Virtual Reality	Sanal Gerçeklik
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments	Araç Ortamları için Kablosuz Erişim
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access	Genişbant Kod Bölmeli Çoklu Erişim
WLAN	Wireless Local Area Network	Kablosuz Yerel Alan Ağı

Tanımlar

- Akıllı Ulaşım** : Mevcut ve yenilikçi teknolojiler ile iyi tasarlanmış stratejilerin ulaşımın tüm alanlarına entegre edilmesiyle iyi yönetilen, verimli, emniyetli, konforlu, ekonomik, adil ve güvenli hareketliliğin tesis edilmesidir.
- Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)** : Trafiği yönetmek, ulaşım ağlarını optimize etmek ve ulaşım sistemlerinin verimliliğini, güvenliğini, sürdürülebilirliğini, erişilebilirliğini ve entegrasyonunu artırmak için kullanılan bilgi ve iletişim teknolojisi tabanlı sistemlerdir.
- Akıllı Ulaşım Sistemleri için Frekans Bandı (ITS-G5)** : IEEE-1609.x ve IEEE-802.11p standartlarına dayalı araç haberleşmesi için bir Avrupa standardıdır. IEEE-802.11p, 10 MHz kanal bant genişliğinde 3-27 Mbps; 20 MHz kanal bant genişliğinde 6-54 Mbps arasında veri hızı desteği ile 5.850 GHz ila 5.9250 GHz frekans aralığında çalışır. ITS-G5; kırsal, kentsel, banliyö ve otoyollar gibi farklı ortamlarda 1000 m'ye kadar menzili ve maksimum 110 km/sa bağıl araç hızlarını destekler. K-AUS uygulamaları için geliştirilmiş bir DSRC tabanlı, V2X kablosuz ağ standardıdır.
- Araç Ortamları için Kablosuz Erişim (WAVE)** : Akıllı ulaşım sisteminde güvenlik ve rahatlık sunan uygulamaları desteklemek için birlikte çalışabilir, verimli ve güvenilir V2V/V2I kablosuz haberleşme sağlayan DSRC standardıdır.
- Araç İçi Birim (OBU)** : Araçta yer alan GPS ve diğer sensörler aracılığıyla aracın konumunu ve durumunu belirleyen, kablosuz iletişim teknolojileri aracılığıyla diğer cihazlarla iletişim kurabilen; araca sabitlenmiş ya da araçla birlikte verilen birim/donanımdır.
- Araçtan Altyapıya (V2I)** : Motorlu araç kazalarını önlemek veya azaltmak ve aynı zamanda emniyet, güvenlik, hareketlilik ve çevresel faydalar sağlamak amacıyla araçlar ve karayolu altyapısı arasında kritik güvenlik ve operasyonel verilerin kablosuz alışverişidir.
- Araçtan Araca (V2V)** : Aracın yakınındaki araçlarla gerçek zamanlı veri alışverişidir. V2V, araçların çok yönlü mesajlar yayınlamasına ve almasına olanak

tanıyarak yakındaki diğer araçlar hakkında 360 derecelik bir “farkındalık” yaratmaktadır.

Araçtan Her Şeye (V2X) : Bir aracın çevresindeki olası herhangi bir iletişim ortağıyla kablosuz, gerçek zamanlı veri iletişimidir. Modern kablosuz haberleşme teknolojileri, araçların; herhangi bir zamanda, herhangi bir yerden, herhangi bir ağ altyapısına bilgi iletmesine ve bilgi almasına olanak sağlamaktadır. V2V, V2I, araçtan yayaya (V2P), araçtan ağa (V2N); V2X’in türleri arasındadır.

Araçlar İçin Geçici Ağ (VANET) : MANET’lerin bir türü olan ve genellikle araçlar arasında bağlanabilirliği sağlamak için kullanılan, kablosuz ağ türüdür. Araçların; trafik, yol durumu, trafik güvenliği gibi bilgileri kendi aralarında paylaşmaları için haberleşme sağlayan, bağımsız ve sabit altyapıya ihtiyacı olmayan bir kablosuz ağ türüdür.

Avrupa Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Galileo) : Avrupa Birliği (AB) tarafından ABD ordusunun denetimi altındaki Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ile Rusya tarafından geliştirilmiş GLONASS’a alternatif uydu yönleyici sistemidir.

Bağlantılı Araç : Birbirleriyle yol kenarı altyapısıyla ve diğer sistem ve hizmetlerle iletişim kurabilmek adına bir dizi farklı iletişim teknolojisini kullanan araçtır.

BeiDou : Kullanıcılara her zaman, her hava koşulunda ve yüksek doğrulukta konumlandırma, navigasyon ve zamanlama hizmetleri sağlamak için Çin tarafından geliştirilen Küresel Navigasyon Uydu Sistemidir (GNSS).

Bulut Bilişim : Bilgisayarlar ve diğer cihazlar için, istendiği zaman kullanılabilen ve kullanıcılar arasında paylaşılan bilgisayar kaynakları sağlayan, internet tabanlı bilişim hizmetlerinin genel adıdır.

Büyük Makine Tipi Haberleşme (mMTC) : Makineler arası iletişim ve nesnelerin interneti (IoT) uygulamalarının desteklenmesi için yüksek miktarda veri bağlantısının eş zamanlı olarak ağ tarafından desteklenebilmesidir. Akıllı şehir gibi sensör benzeri çok sayıda cihazın birbirine bağlı olduğu coğrafi alanlar için

veri trafiğinin yönetimini sağlamak amacıyla optimize edilen 5G'nin kullanım türünden biri olup büyük ve kitlesel olarak da ifade edilebilmektedir.

Cihazdan Cihaza (D2D) : Cihazlar (örneğin: akıllı telefonlar) arasında kısa menzilli doğrudan iletişim sağlayan doğrudan kısa mesafe bağlantısıdır.

Denetleyici Alan Ağı (CAN) : OBD-II araç teşhis standardında kullanılan özellikle otomotiv uygulamaları için tasarlanmış mesaj tabanlı protokoldür.

Fiziksel Katman (PHY) : Bilgisayar ağının yedi katmanlı OSI modelinde, fiziksel katman veya katman 1, birinci ve en alttaki katmandır. Ağ mimarisinde cihazlar arasındaki fiziksel bağlantıyla en yakından ilişkili katmandır. Bu katman, bir PHY çipi tarafından uygulanabilir.

Flexray : Araç bileşenleri arasında veri aktarımını hızlandıran yeni geliştirilmiş bir seri veri yolu sistemidir.

Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri (ADAS) : Araç sürücülerine izleme, uyarı ve frenleme gibi birçok alanda bilgi ve sürüş desteği sağlayarak araç ile yol emniyet ve güvenliğini artırmayı amaçlayan sistemlerdir.

Hadoop : Hadoop, MapReduce programlama modelini kullanan, JAVA programlama dili ile geliştirilmiş popüler, açık kaynaklı bir Apache projesidir. Apache açık kaynak lisansı aracılığıyla kullanılabilen bu yazılım, temelinde düşük maliyet ve hata toleransı gibi hususlardan sorumlu olarak güvenli ve ölçeklenebilir veri işlemeye olanak sağlamaktadır.

Hücresel Haberleşme : Hücresel haberleşme, mobil telekomünikasyon sistemlerinde hücre adı verilen küçük alanlar içinde kablosuz iletişim sağlama yöntemidir. Bu sistem, 3G, 4G, 5G ve gelecekteki 6G gibi çeşitli nesillerdeki mobil iletişim teknolojilerini kapsamaktadır.

Hücresel Ağ Üzerinden Araçtan Her Şeye (C-V2X) : Araçlara, hücresel sistemler üzerinden düşük gecikmeli olarak V2V, V2I, V2P kısaca V2X iletişim sunmak için tasarlanmış birleşik bir bağlantı platformudur.

IEEE 802.11 : IEEE 802 yerel alan ağı (LAN) teknik standartlar setinin bir parçasıdır ve kablosuz yerel alan ağı (WLAN) bilgisayar haberleşmesini

uygulamak için ortam erişim kontrolü (MAC) ve fiziksel katman (PHY) protokolleri setini belirtir.

IEEE 802.11bd : IEEE 802.11-2020 standardının bir parçası haline gelen ve ITS-G5 ETSI standartları seti için erişim katmanı temeli olan mevcut IEEE 802.11p değişikliğinin evrimsel iyileştirmesidir. Evrimsel doğası sayesinde IEEE 802.11p tabanlı sistemlerden yumuşak ve kademeli bir geçişe izin verir; bu yeni standardın temel gereksinimleri, bir arada bulunma ve geriye dönük uyumluluktur. Mevcut IEEE 802.11p ve yeni IEEE 802.11bd (NGV, Next Generation V2X) istasyonlarının birlikte çalışmasına, otomotiv WLAN standardının iyileştirilmesine, kanallarda ve kanallar arasında sorunsuz çalışabilirliğe izin verir.

IEEE 802.11p : Araç iletişim sistemlerine kablosuz erişim özelliğini eklemek için IEEE 802.11 standardında yapılmış değişiklikler sonucunda oluşturulmuştur. Otomotiv ve AUS uygulamalarını desteklemek için özel olarak tasarlanmış kısa mesafeli WLAN iletişimini kapsar.

Işık Algılama ve Mesafe Ölçümü (LIDAR) : Lazer darbeleri kullanılarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını anlamaya yarayan algılama teknolojisidir.

Kablosuz Yerel Alan Ağı (WLAN) : IEEE 802.11p veya genişletilmiş IEEE 802.11bd'ye dayalı geçici kısa menzilli iletişim için kullanılan terimdir. V2X için standartlaşmış bir ITS-G5 kablosuz yerel alan ağıdır.

Kooperatif Farkındalık : Yol kullanıcılarının ve yol kenarı altyapısının birbirlerinin konumu, dinamik verileri ve nitelikleri hakkında bilgilendirilmesidir.

Kooperatif Farkındalık Mesajı (CAM) : Trafikte kullanıcılar ile kara yolu donanımlarının birbirini konum ve hareket biçimi gibi durumlarına ilişkin karşılıklı olarak uyarılmaları için belli periyotlarda gönderilen iletilerdir.

Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) : Dünya'daki ve Dünya yakınındaki GPS alıcılarına, en az dört GPS uydusunu görebilmeleri şartıyla coğrafi konum ve saat bilgisi sağlayan küresel uydu navigasyon sistemlerinden biridir.

Rus Küresel Navigasyon Uydu : Rusya tarafından geliştirilmiş ikinci kuşak bir küresel uydu konumlandırma sistemidir.

Sistemi

(GLONASS)

Medya Odaklı Sistem Taşıma (MOST) : Olayla ve zamanla tetiklenen iletişimler için yüksek veri hızları ve düşük hata toleransı ile çalışan statik ve dinamik bölümlere ayrılmış bir iletişim veri yoludur.

Ortam Erişim Kontrolü (MAC) : Hangi ağ ögesinin hangi zaman aralığında ağ ortamına (örneğin; kabloya) veri aktarabileceğini belirleyen bir alt katmandır.

Radyo Dalgası Algılama ve Mesafe Ölçümü (RADAR) : Bir hedefe göre göreceli mesafeyi ve göreceli hızı ölçen elektromanyetik sensördür.

Radyo Veri Sistemi (RDS) : Radyo sinyalleri üzerinden sayısal (dijital) bilgi aktarma sistemidir.

Robotik Nesnelerin İnterneti (IoRT) : Akıllı cihazların olayları izleyebildiği, birden fazla kaynaktan gelen sensör verilerini birleştirebildiği, en iyi hareket tarzını belirlemek için yapay zekânın kullanıldığı ve fiziksel gerçeklikteki nesnelerin manipüle edilebildiği bir sistemdir.

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

Skala : Java geliştirme topluluğuna işlevsel programlamayı getirmek üzere 2004 yılında hayata geçirilmiş bir programlama dilidir.

Spark : Büyük verileri analiz eden uygulamaların performansını artırmak için bellek içi işlemeyi destekleyen açık kaynaklı bir paralel işleme çerçevesidir.

Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli : Karayolundaki araçlar için tasarlanmış, araçların birbiriyle, diğer yol kullanıcılarıyla ve yol kenarındaki donanımlarla çift yönlü

- Haberleşme (DSRC)** : haberleşmesini sağlayan kısa veya orta menzilli kablosuz haberleşme teknolojisidir.
- Uç Bilişim** : Hesaplama ve veri depolamayı yanıt sürelerini iyileştirmek ve bant genişliğinden tasarruf etmek için ihtiyaç duyulan konuma yaklaşırın dağıtık bir bilgi işlem paradigmasıdır.
- Uzun Süreli Gelişim (LTE)** : 4G olarak da bilinen LTE, 3G'den daha yüksek bant genişliği ve daha düşük gecikme ile günlük hayatta hızlı ve kaliteli bir altyapı sağlarnasının yanı sıra, güvenlik uygulamalarını da bir adım öteye taşıyan bir teknolojidir.
- X-by-Wire** : Geleneksel olarak mekanik bağlantılarla sağlanan araç işlevlerini yerine getirmek için elektrikli veya elektro-mekanik sistemlerin kullanılmasıdır.
- Yapay Zekâ (AI)** : Bir bilgisayarın veya başka bir makinenin, öğrenme, mantıksal çıkarım, muhakeme etme, geçmiş deneyime dayanarak kararlar alma, yetersiz ya da çelişkili bilgilere dayanarak konuşulan dili anlama yeteneği gibi insan zekâsı ile ilgili eylemleri gerçekleştirmeye yönelik bilgisayar bilim dalıdır.
- Yerel Ara-Bağlantı Ağı (LIN)** : Akıllı cihazları bağlamak için düşük maliyetli bir gömülü seri ağ standardıdır ve en çok araç bileşenleri arasında iletişimi sağladığı otomotiv endüstrisinde popülerdir.
- Yol Kenarı Birimi (RSU)** : Yol boyunca yerleştirilmiş araçlarla merkezlerle ve birbiriyle haberleşebilen donanımdır.
- ZigBee** : ZigBee ittifakı tarafından yönetilen, IEEE 802.15 spesifikasyonunu temel alan, 802.15.4 telsiz fiziksel arabirim standardında çalışan, kontrol ve sensör ağları için üretilmiş; düşük maliyetli, M2M ve IoT gibi düşük güçte kablosuz ağların etkin kullanımı için geliştirilmiş, standart tabanlı bir kablosuz ağ protokolüdür.

BÖLÜM I

1. GİRİŞ

Yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler; bilgisayar, bilgi ve iletişim teknolojileri ile haberleşme ağları ve dijital platformlardaki gelişmeler doğrultusunda geleneksel yapılarda radikal dönüşüm meydana getiren teknolojileri temsil etmektedir. Bu teknolojiler; iş modellerini, endüstrileri ve toplumsal yapıları kökten değiştirme potansiyeline sahiptir.

Yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin tarihçesi, 20. yüzyılın ortalarından itibaren hızla gelişen bilgisayar bilimi ve elektronik teknolojileri ile başlamıştır. Bilgisayarlar, başlangıçta sınırlı işleme gücüne sahipken zamanla daha güçlü ve kompakt hale gelmiştir. İnternetin gelişmesi ve yaygınlaşmasıyla da haberleşme teknolojileri küresel ölçekte bağlantı sağlama kapasitesine ulaşmıştır. Böylelikle internetin hızlı gelişimi, dijital platformların ve hizmetlerin de gelişimini tetiklemiştir. Mobil cihazlar, bulut bilişim, yapay zekâ (AI), büyük veri analitiği gibi dijital teknolojilerin ortaya çıkmasıyla birlikte yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin kendi başına ve diğer endüstrilere entegrasyonu ile önemli kazanımlar sağlayabileceği görülmüştür.

Yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin önemi; iş dünyasında verimliliği artırması, yeni iş ve hizmet fırsatları oluşturması ve toplumun yaşam kalitesini iyileştirmesiyle bağlantılıdır. Bu teknolojiler, iş süreçlerini otomatikleştirerek hataları azaltmakta, verimliliği artırmakta ve daha hızlı kararlar alınmasına aracı olmaktadır. Eğitim, sağlık, ulaşım ve haberleşme gibi alanlarda da büyük bir dönüşüm meydana getirerek insan yaşamını kolaylaştıran hizmetlerin sunulmasını sağlayabilmektedir.

Ulaşım sistemleri özelinde, yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin birçok kullanım alanı vardır. Bu teknolojilerin Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) ve Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri (K-AUS) ile entegrasyonu yapıldığında, belirtilen sistemlerden elde edilen kazanımların artacağı ve daha gelişmiş uygulamaların hayata geçirilmesinin mümkün olabileceği görülmüştür (Herrera-Quintero vd., 2019).

K-AUS, ulaşım sektöründe kullanılan bir teknoloji ve yöntemler bütünüdür. K-AUS; araçlar, yolcular, ulaşım altyapısı ve servis sağlayıcılar arasında bilgi paylaşımını ve iş birliğini teşvik etmektedir. Trafik bileşenleri (araçlar, altyapı, yaya, AUS merkezi vb.) arasında iletişim sağlayarak trafik yönetimini, emniyetini, güvenliğini, sürücü destek sistemlerini ve yolcu hizmetlerini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Araçlar; yol durumu, trafik sıkışıklığı, kazalar gibi bilgileri birbirleriyle ve merkezi bir sistemle paylaşarak daha akıllı bir ulaşım sistemi oluşturmaktadır.

K-AUS'un tarihi, 2000'li yılların başlarına kadar uzanmaktadır (U.S. Department of Transportation, 2023). Bu dönemde; haberleşme teknolojilerindeki gelişmeler ve kablosuz ağların yaygınlaşması, K-AUS'un ortaya çıkmasını sağlamıştır. Birçok araştırma projesi ve pilot uygulama, K-AUS'un potansiyelini göstermiş ve yaygınlaşmasına katkıda bulunmuştur. K-AUS'un uygulanması ile elde edilebilecek çeşitli kazanımlara örnek olarak; trafik akışının iyileştirilmesi, güvenlik artışı, yolcu konfor ve hizmetlerinin geliştirilmesi ve çevresel etkilerinin azaltılması verilebilmektedir (CO-UMP, 2021). Böylelikle K-AUS, akıllı ulaşımın geleceğinde önemli rol oynayacak bir sistem olarak görülmekte ve şehirlerdeki ulaşım sistemlerinin daha sürdürülebilir, emniyetli, güvenli ve etkin olmasına yardımcı olmayı hedeflemektedir.

Yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin ulaşımda kullanılması ile elde edilebilecek avantajlar aşağıda özetlenmiştir:

- **Trafik ve ulaşım verimliliği:** Yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler, trafik yönetimi ve ulaşım sistemlerinin verimli çalışmasını sağlamak için kullanılabilir. Büyük veri analitiği ve AI gibi teknolojiler trafik akışının tahmini ve optimizasyonu çerçevesinde kullanılabilir. Böylece trafik sıkışıklığının azalması, seyahat sürelerinin kısalması ve enerji tüketiminin optimizasyonu mümkün olabilmektedir.
- **Emniyet ve güvenlik:** AI tabanlı algılama, görüntüleme ve sensör teknolojilerinin araçlar arasında bilgi paylaşımını mümkün kılan kooperatif sistemlere entegre edilmesi sayesinde trafikte tehlike teşkil eden unsurlar normalden hızlı bir şekilde tespit edilip sürücülere iletilebilmektedir. Bu ve benzeri uygulamalar, ulaşım emniyet ve güvenliğinin artırılması için kullanılırken artan farkındalık dolayısıyla sürücüler daha dikkatli olmakta ve tehlikeli durumların önüne geçilebilmektedir.
- **Çevresel etki:** Yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler, AUS ve K-AUS çözümlerinde kullanıldığında, hayata geçirilen uygulamaların verimliliğinde artış olabilmektedir. K-AUS'un farkındalık sağlama seviyesinin bir adım daha geliştirilmesi ile sürücüler, trafikte karşılaşacakları durumlar hakkında daha erken bilgi sahibi olabilmektedirler. Böylelikle, sürüş davranışlarını kendilerine iletilen bilgilere göre düzenleyebilmekte ve dur-kalk gibi düzensiz ivmelenme/yavaşlama hareketlerine sebebiyet verecek durumları en aza indirgeyebilmektedirler. Ulaşım sistemleri kapsamındaki çevresel etki, dur-kalk hareketlerinin yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Bu nedenle, yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin K-AUS'a entegrasyonu ile sürücü farkındalığının artırılması ve düzensiz sürüş

davranışlarının önüne geçilmesiyle çevresel etki bağlamında büyük kazanımlar elde edilebilmektedir.

- **Ulaşım erişimi ve kullanıcı deneyimi:** Yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler; ulaşım sistemlerine erişimi kolaylaştırmakta ve kullanıcı deneyimini geliştirmektedir. Örneğin; mobil uygulamalar, yolculara gerçek zamanlı bilgiler sunarak seyahatlerini planlamalarına yardımcı olmaktadır. Ayrıca; akıllı ödeme sistemleri ödeme süreçlerini kolaylaştırmakta ve kullanıcıların daha sorunsuz bir şekilde seyahat etmelerini sağlamaktadır.

Birçok sektör için teknolojik ilerlemenin yavaşlamasında veya durmasında eşik olarak görülen veri iletim ve işleme hızı ile veri kaynağı eksikliği gibi problemler, son yıllarda hayatımıza giriş yapan yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler ve bu teknolojilerin diğer alanlara entegre edilmesi ile önemli ölçüde çözülebilmiştir. Bu raporda ele alınan yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler, aşağıda listelenmiştir:

- Bağlantılı ve otonom araç teknolojileri
- Sarmal arayüzler
- Nesnelerin interneti (IoT)
- Yeni nesil iletişim ve haberleşme teknolojileri
- Algılama ve görüntüleme teknolojileri
- Büyük veri
- Açık veri
- Blokzincir teknolojileri
- AI, makine öğrenmesi ve derin öğrenme
- Bulut bilişim
- Uç bilişim
- Dijital ikiz
- Robotik

Bu raporda, yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin, K-AUS alanındaki kullanımı ve sağladıkları faydalar araştırılmış, bu teknolojilerin entegrasyonu sonucu elde edilebilecek kazanımlar tespit edilmiş ve gelecek K-AUS uygulamalarına yön verebilecek bilgilere yer verilmiştir.

BÖLÜM II

2. METODOLOJİ

Bu raporda, K-AUS alanında kullanılmakta olan yıkıcı ve yenilikçi teknolojilere ilişkin yapılan araştırma sonuçlarına yer verilmiştir. K-AUS uygulamaları; haberleşme teknolojileri, araç teknolojileri, insan makine arayüzleri gibi birçok bileşenin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Bu nedenle, farklı alanlarda farklı teknolojilerin kullanımına açıktır. Rapor kapsamında araştırması yapılan her yıkıcı ve yenilikçi teknolojinin tanımı, literatürde yer alan çalışmalar ve projeler bu raporda yer almaktadır.

Bu rapor beş bölümden oluşmakta olup **birinci bölümde**; yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin K-AUS'taki kullanım alanları, amaçları ve bu entegrasyonun sağlayacağı faydalar üzerine genel bir giriş yapılmıştır. **İkinci bölümde**, raporun hazırlanma metodolojisi hakkında bilgi verilmiştir. **Üçüncü bölümde**, bu teknolojiler üzerine detaylı bir literatür taraması yapılmış, **dördüncü bölümde**, Türkiye'de geliştirilmekte olan K-AUS projelerinde yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin kullanım durumları ele alınmıştır.

Raporun son bölümünde ise K-AUS alanında gelecekte hangi yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin gelişeceği ve yaygınlaşacağı, bu teknolojilerin hangi sistemleri ve hizmetleri nasıl etkileyeceği, hangi yeni sistem ve hizmetlerin oluşmasına neden olabileceği, AUS ve insanlar üzerindeki olası etkileri yer almaktadır.

Raporda yer alan Türkiye'de yürütülen proje bilgileri, paydaşlarla gerçekleştirilen anketler ve internet üzerinden erişime açık kaynaklar kullanılarak elde edilmiştir. Türkiye'de K-AUS alanında kullanılmakta olan yıkıcı ve yenilikçi teknolojilere ilişkin bilgiler ise 30 paydaş ile yapılan anket çalışmaları kullanılarak elde edilmiştir. Tablo 1'de anket çalışmaları dahilinde görüşülen paydaşlar yer almaktadır.

Tablo 1. Anket Çalışması Kapsamında Görüşülen Paydaşlar

ANKET ÇALIŞMASI KAPSAMINDA GÖRÜŞÜLEN PAYDAŞLAR					
Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı	Haberleşme Genel Müdürlüğü	Strateji Geliştirme Başkanlığı	Ulaştırma Hizmetleri Düzenleme Genel Müdürlüğü	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu	Karayolları Genel Müdürlüğü
İçişleri Bakanlığı	Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Daire Başkanlığı		Jandarma Genel Komutanlığı Trafik Daire Başkanlığı		
Adalet Bakanlığı	Kişisel Verileri Koruma Kurumu				
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı					
Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı					
Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı					
Yerel Yönetimler	İstanbul Büyükşehir Belediyesi				
Üniversiteler	İstanbul Teknik Üniversitesi	Marmara Üniversitesi- Venit Lab.	İstanbul Okan Üniversitesi		
Sivil Toplum Kuruluşları	Türkiye Akıllı Ulaşım Sistemleri Derneği (AUS Türkiye)		Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası		
Özel Sektör Kuruluşları	LeoDrive	OTOKAR	TURKCELL	TEMSA	Ford Otosan
	ADASTEC	HAVELSAN	ASELSAN	ANADOLU İSUZU	Türk Telekom
	ULAK Haberleşme				
AUS Hizmet Kullanıcıları	Yayalar	Bisikletliler	Sürücüler	Savunmasız yol kullanıcıları	Yolcular

BÖLÜM III

3. K-AUS ALANINDA KULLANILAN YIKICI VE YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLER

Bu bölümde; K-AUS'ta kullanılan yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler, bu teknolojilerin K-AUS alanındaki kullanımları ile ilgili güncel projeler ve akademik çalışmalar değerlendirilmiştir.

3.1. Bağlantılı ve Otonom Araç Teknolojileri

Günümüzde bağlantılı ve otonom araç teknolojilerindeki gelişmeler, kamuoyunun ve üretici firmaların en çok ilgisini çeken, yenilikçi çözümler arasındadır. Bunun temel sebebi; bağlantılı ve otonom araçların, hızlı veri akışı ve düşük tepki süreleri sayesinde, insan kaynaklı hataları minimum düzeye indirerek K-AUS uygulamalarında yer alabilmeleri, bunun sonucunda operasyonların, hızlı ve modellenen uygulamaya en yakın sonucu verecek şekilde gerçekleştirilebiliyor olmasıdır.

Bağlantılı ve otonom teknolojiler, popüler ve yükselen bir yaklaşım olmakla birlikte, aynı zamanda, diğer yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin de gelişmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Bağlantılı ve otonom araçlardan, kısa veya uzun süreli aralıklarla toplanan veriler; büyük veri, robotik, sarmal arayüzler ve AI gibi hem K-AUS hem de çoğu mühendislik disiplininde popüler olan teknolojilerin en önemli problemlerinden birisi olan veri toplama ve gerekli veri setlerini oluşturma süreçlerini kolaylaştırmaktadır. Bu sayede, bu sistemler daha doğru ve mikro seviyedeki veriler ile gelişebilmekte, daha kuvvetli modeller üretilebilmekte ve çıkan ürünlerin uygulanabilirliği sağlanabilmektedir. Ayrıca bu teknolojiler geliştikçe teknolojik anlamda yeni ihtiyaçlar da ortaya çıkabilmektedir. Mevcut çevre algılama sistemleri (lazerler, kamera görüntüleri, vb.), sürüş yazılımları, araç içi ekstra donanımlar, araç içi veri işleme, uygulama ve karar verme sistemleri gibi teknolojiler şu aşamada gelişmeye açık ve görece yeni teknolojilerdir.

Otonom araçlar, insan müdahalesine ihtiyaç duyulmadan çevresindeki nesnelere algılayıp gerçek zamanlı veriler yardımı ile hareket edebilen ve kararlarını icra edebilen araçlardır. Bunlar sürücü desteğinden tam otomasyona kadar belirli otomasyon seviyelerinde otonom olarak hareket edebilen araçlardır. Bağlantılı ve otonom araçlar ise sürüşün bir kısmını veya tamamını devralmak için gelişmiş sensör teknolojileri ile bağlanabilirlik ve otonom sürüş işlevlerini birleştiren, konum bazlı sistemler ve haberleşme sistemlerine sahip araçlardır. Bu araçlar yalnızca veriyi aktarmakla kalmamakta, aynı zamanda veriyi işleyebilmekte veya bağlandığı unsurların veriyi işleyebilmesi için ön işleme yapabilmektedir. Böylelikle sürüşü

daha verimli hale getirmekte ve trafik akışında veya araçta ortaya çıkabilecek olumsuz olaylar ile ilgili riskleri azaltmaktadır (Victoria State Government | Department of Transport and Planning, 2020).

Araçların otonomluk seviyeleri, insan müdahalesi olmadan ne kadar fazla işlevi yerine getirebildiklerine göre sınıflandırılmaktadır. Uluslararası Otomotiv Mühendisleri Derneği (SAE- Society of Automotive Engineers International) tarafından otonom araçlar sürüş seviyeleri, Şekil 1’de (Yiğit vd., 2020) görüldüğü ve Tablo 2’de (Microchip Technology, 2021) açıklandığı üzere, seviye 0 ile seviye 5 arasında “Sürüş Otomasyonu Düzeyleri- J3016” standardı olarak altı grupta sınıflandırılmıştır.



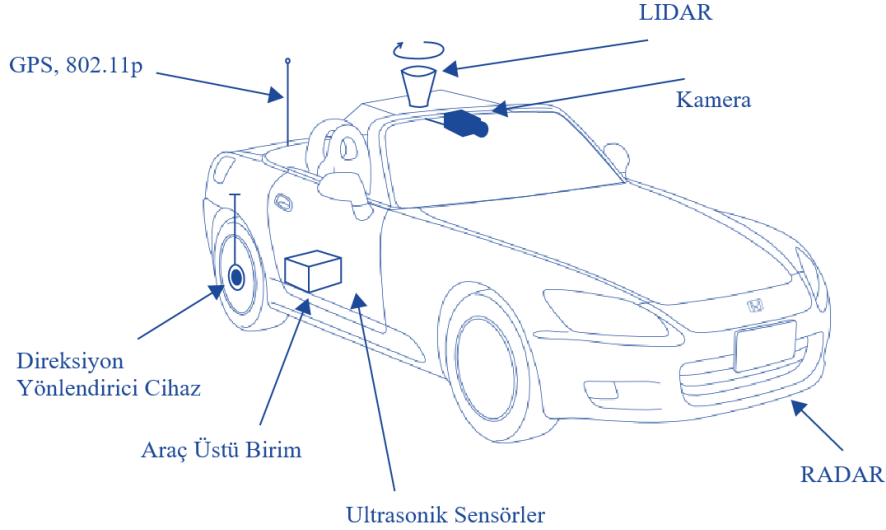
Şekil 1. SAE Otonom Araç Seviyeleri

Tablo 2. SAE Otonom Araç Seviyeleri ve Açıklamaları

Araç Seviyeleri	Açıklama
0 <i>Sürüş Otomasyonu Yok</i>	Herhangi bir otonom araç teknolojisinin olmadığı, sürüşün tamamen sürücünün kontrolünde olduğu seviye.
1 <i>Sürücü Yardımı</i>	Araç, sürücü tarafından kontrol edilir, ancak araç tasarımına yönlendirme ve fren desteği gibi yardımcı sürüş özellikleri eklenebilmektedir.
2 <i>Kısmi Sürüş Otomasyonu</i>	Araç, hızlanma ve yönlendirme gibi otomlaştırılmış fonksiyonlara sahiptir. Bu seviye araçlarda, sürücünün çevre kontrolünde ve sürüş faaliyetlerinde sürekli olarak aktif rol oynama zorunluluğu mevcuttur.

3 <i>Koşullu Sürüş Otomasyonu</i>	Bu araç seviyesinde, sürücü mevcudiyeti bir zorunluluktur. Sürücünün çevre kontrolü yapması gerekmemektedir, ancak her an aracın kontrolünü devralmaya hazır olmalıdır.
4 <i>Yüksek Sürüş Otomasyonu</i>	Araç, belirli koşullar altında tüm sürüş fonksiyonlarını (hızlanma, yavaşlama, yönlendirme, aracı ve çevresini gözleme vb.) kendi gerçekleştirebilecek kapasitededir. Sürücü, aracı kontrol etme seçeneğine sahip olabilir.
5 <i>Tam Sürüş Otomasyonu</i>	Araç, her türlü koşul altında sürüş fonksiyonlarını kendi başına gerçekleştirebilecek kapasitededir. Sürücü, aracı kontrol etme seçeneğine sahip olabilir.

Otonom araçlarda; radar, LIDAR, küresel konumlandırma sistemi (GPS), odometre, lazer tarayıcı sistemler, kameralar, ivme ayarlayıcı teknolojiler, okuma ve tanıma sistemleri gibi donanımlar yer almaktadır. Bu donanımların gösterimi Şekil 2’de mevcuttur (Packt, 2018). Araçla ilgili donanımlar hem araç içi hem de araç çevresindeki donanım ve yazılım sistemleri ile bilgi akışı sağlayabilmektedir. Araç içi iletişimin sağlanabildiği protokollerden bazıları; denetleyici alan ağı (CAN), yerel ara-bağlantı Ağı (LIN), medya odaklı sistem taşıma (MOST), flexray ve araç internetidir (Sharma, 2021). Araç içi donanımlarla elde edilen verilerin, trafik veya kaza yönetimi gibi sistemlerle ortak kullanılması ya da algılama, görüntüleme veya sensör sistemlerinden elde edilen verilerin, sürüş esnasında karar verme sürecinde kullanılması, bu alanın gelişmesi için önemli bir husustur. Bağlantılı aracın başka bir kaynaktan elde ettiği veriyi işleyecek altyapı sistemi ve verinin elde edildiği sistemin ait olduğu teknolojinin uyumluluğu ve doğruluğu bu nedenle önemlidir. Örneğin, elde edilecek yüksek doğruluklu bir GPS bilgisi ve daha önceden elde edilmiş yüksek çözünürlüklü haritalar ile daha etkili ve doğru karar verme süreçleri söz konusu olabilmektedir. Bir diğer örnek ise araç lazer tarayıcı sistemlerinin ölçtüğü mesafenin ölçüm ve iletim hızı, otonom frenleme sistemleri ile iyi entegre edilirse gerçek hayatta gerçekleşen çarpışmaların senaryolara bağlı olarak %37 ila %86’sının önlenmesi sağlanabilir (Doecke vd., 2015).



Şekil 2. Bağlantılı ve Otonom Araç Bileşenleri

Bağlantılı ve otonom araçlar, son zamanlarda K-AUS alanındaki en popüler ve ilgi çekici konu haline gelmiştir. Bunun en önemli sebepleri; insan hatasından kaynaklanabilecek güvenlik risklerini azaltması, şerit takip ve otomatik park sistemleri gibi özellikleri ile sürücülerin fiziksel yükünü minimum seviyeye düşürmesi, hızlı veri akışı sağlaması, sensörler ile veri toplayabilmesi, veri sağlayıcısı olabilmesi ve yüksek hızda kararlar alıp uygulamaya koyabilmesidir. Böylelikle K-AUS bileşenleri arası bağlantının sağlanmasına katkıda bulunarak sürücünün emniyet ve güvenliği ile sürüş kolaylığı sağlamaktadır.

Bağlantılı ve otonom araçların trafik güvenliğine ve emniyetine katkısı, yalnızca araç içi sistemlerde sağladığı imkanlar ile değil, aynı zamanda trafik akışının düzenlenmesi konusundaki etkileri ile de gözlemlenebilmektedir. Kavşakların verimliliğini artırmak için bağlantılı araç teknolojisinin kullanıldığı ve literatürde yer alan bir çalışmada, bağlantılı araç teknolojilerinin trafik yoğunluğuna etkilerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada sinyalize bir kavşaktaki trafik operasyonlarının optimize edilmesi için kavşağa yaklaşan araçlara ait konum ve hız gibi bilgiler kullanılmış olup araçların sadece belirli bir bölümü bağlantılı araç olarak modellenmiştir. Burada önerilen algoritma kapsamında konvoy (araçların grup halinde hareket etmesi) ve sinyalizasyon esnekliği (talebe göre uyarlanabilirlik) sistemlerinden faydalanmıştır. Sonuç olarak bağlantılı araçların bilgi edinme ve elde edilen bilgi ışığında aksiyona geçme kabiliyeti sayesinde, bekleme sürelerinin azaldığı gözlemlenmiştir (Ilgin Guler vd., 2014).

Bağlantılı araç teknolojileri ayrıca sosyal sorumluluk projeleri için de öncü olabilme potansiyeline sahiptir. Audi Amerika ve partneri Qualcomm¹ firması, uygulamalı bilgiler partnerleri Commsignia² ve otobüs üreticisi Blue Bird'ün³ 2021 yılında duyurduğu ortak çalışma, Audi sürücülerinin okul otobüsleri yakınındayken uyarılmalarını sağlamaktadır. İlk aşamada Amerika'nın Georgia eyaletinde başlayan bu uygulama, C-V2X teknolojisini kullanarak şoförleri, okul bölgelerine girdiklerinde veya okul otobüslerine yaklaştıklarında uyarmaktadır. Bu çalışma sayesinde, çocukların ve diğer yol kullanıcılarının emniyeti ve güvenliği artırılmış olsa da bu çalışma, aslında aynı uygulamanın gelecekte şantiye sahaları, trafiğe kapatılmış alanlar, kaza-olay gerçekleşen bölgeler, hastane ve stadyum çıkışları gibi bölgelerde uygulanabileceğini göstermektedir (IoT World Today, 2022).

Literatüre ek olarak, bağlantılı ve otonom araçların trafikte sunduğu emniyet, güvenlik, çevresel etki, verimlilik vb. kazanımlar ile bu teknolojiler, birçok ülkenin ajandasına girmiştir ve yayınlanan strateji belgelerinde yoğun bir şekilde yer almaktadır. Örneğin, Almanya'da 2015 yılında "Otonom ve Bağlantılı Sürüş Strateji Belgesi" yayınlanmıştır. Bu strateji planı kapsamında, bağlantılı ve otonom araçların trafik verimliliği, emniyet, güvenlik ve çevresel etkiler bağlamında sahip olduğu potansiyelden bahsedilmiştir. Buna ek olarak, bu araç teknolojileri üzerine hayata geçirilmesi planlanan hedefler aktarılmıştır. Bu hedefler, bağlantılı ve otonom araç tedariği konusunda ve oluşacak araç marketinde lider olunması ile bu araçların gerçek zamanlı trafikte aktif olarak kullanılmaya başlanmasıdır. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesi için beş farklı eylem alanı belirlenmiştir. Bunlar; altyapı, yasal düzenlemeler, yenilik, bağlanabilirlik ve siber güveniktir (Die Bundesregierung, 2022).

ABD'nin 2020 yılında yayınlamış olduğu "AUS Ortak Program Ofisi (ITS JPO) Strateji Planı 2020-2025" dokümanında da bağlantılı ve otonom araçlara yönelik eylemler bulunmaktadır. Bu araçların geliştirilmesinin, test edilmesinin ve pilot uygulamaların hayata geçirilmesinin önemi üzerinde durulmuştur. Ek olarak, bu araç teknolojilerinin bileşenlerinden biri olan haberleşme sistemlerinin hazır hale getirilmesi için çeşitli programların hayata geçirilmesi planlanmaktadır (United States Department of Transportation, 2020).

¹ Qualcomm, kablosuz teknoloji ile ilgili yarı iletkenler, yazılım ve hizmetler oluşturur. 5G, 4G, CDMA2000, TD-SCDMA ve WCDMA mobil iletişim standartlarına ilişkin önemli patentlere sahiptir.

² Commsignia, son teknoloji sensör veri paylaşım ara yazılımı ve uygulamalarıyla uçtan uca V2X çözümleri geliştirerek en son akıllı şehir uygulamalarını ve otonom araç fonksiyonlarını mümkün kılmaktadır.

³ Blue Bird şirketi, okul otobüsü üretimiyle tanınmaktadır. Şirket ayrıca transit otobüsler, karavanlar, mobil kütüphaneler ve mobil polis komuta merkezleri gibi özel araçlar da dahil olmak üzere çeşitli otobüs tipleri üretmektedir.

Bağlantılı ve otonom araç teknolojileri ile sağlanan konfor, zaman tasarrufu, emniyet ve güvenlik gibi pozitif katkıların yanında; bu teknolojilerin gelişimi dolayısıyla artan dijitalleşme ile veri güvenliği, yanlış veri aktarımı, veri altyapılarının sürekliliği, dijital sistemlerin parça tedarigi ve bu sistemlerin kullanım ömrü boyunca performanslarının sabitlenmesi gibi yeni potansiyel zorluklar da ortaya çıkacaktır (Anania vd., 2018). Bu durum da uzun vadede belirli standartlar ve güvenlik şartlarının sağlanmaması gibi etmenlerden kaynaklanan uyumluluk, güvenlik veya yedek parça sorunlarını tetikleyebilme ihtimali taşımaktadır.

K-AUS ile ilgili son teknolojiler; sensör teknolojisi, telekomünikasyon, bilgi işleme ve kontrol teknolojisi gibi alanları içermektedir. Bu teknolojiler, bağımsız araç içi sistemleri ve ortak sistemleri (V2X) oluşturmak için birleştirilebilmektedir. Avrupa Komisyonu, K-AUS'un bağlamını; bağlantılı, kooperatif ve otonom hareketlilik (CCAM) olarak genişletmiştir. K-AUS uygulamalarına ilişkin başlıca olası problemler ise standardizasyon eksikliği, güvenli veri değişimi ihtiyacı, sürdürülebilirliği sağlamak için bir iş modeli gerekliliği ve kullanıcı kabulü gerekliliği gibi konuları içerebilmektedir. K-AUS'un mevcut AUS sistemleriyle entegrasyonu ve K-AUS uygulamalarının güvenliğini sağlamak için yasal bir çerçeve ihtiyacı gibi zorluklar da bulunmaktadır (Anania vd., 2018). Ayrıca, literatürde tamamıyla dijitalleşmenin sağlanması sürecinin zorlu olacağı, tüm testlerin ideal senaryolarda gerçekleştirildiği ve bu araçların, ideal ulaştırma şartlarında tam anlamıyla potansiyellerine erişeceği öngörülmüştür (Mordue vd., 2020).

3.2. Sarmal Arayüzler

Sarmal arayüzler, sanal gerçeklik ortamı ile etkileşimde bulunmak ve sürücüye dikkatini en az şekilde dağıtacak şekilde bilgi gösterilmesine olanak tanıyan ve araç içi arayüzler oluşturabilen, kullanıcıların sanal gerçeklik ortamları ile etkileşebilmesi için kullanılan teknolojilerdir. Bu teknolojinin AUS alanında çeşitli kullanım senaryoları vardır. Mevcut AUS uygulamalarına yönelik hayata geçirilen aksiyonların, sürücülere sanal bir arayüz ile iletilmesi en yaygın kullanım örneğidir. Bu kullanım dolayısıyla sürücülerin dikkat dağınıklığı yaşamaması ve böylelikle trafik emniyetinin, güvenliğinin ve verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir.

Sarmal arayüzlerin, K-AUS alanında da kullanımı mevcuttur ve K-AUS uygulamaları için sarmal arayüzler; sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) teknolojileri kullanılarak oluşturulabilmektedir. Sanal gerçeklik; etkileşimli donanımla ve yazılımla oluşturulan, kullanıcının gerçeklik algısını manipüle ederek kullanıcıya görüntüleri gerçek bir ortam olarak algısıyla sunan yapay ortamlardır. Artırılmış gerçeklik teknolojileri ise fiziksel gerçek dünya

ortamının; doğrudan veya dolaylı olarak kullanıcının gerçek dünyaya bakış açısı, cisim tanıma yetisi kullanılarak gerçek olan maddelerin üzerine birleştirilmiş bilgisayar tarafından üretilen üç boyutlu görüntüler ile güçlendirildiği; böylece mevcut gerçeklik algısını artıran ve öğrenme sürecini zenginleştiren bir teknolojidir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı- Akıllı Ulaşım Sistemleri Terimler Sözlüğü, 2022). Bu teknoloji, kullanıcıların K-AUS uygulamalarıyla daha doğal bir şekilde etkileşim kurmasına olanak tanıyan etkileşimli 3D ortamları oluşturmak için kullanılabilir. Ayrıca, bu teknolojiler, kullanıcıların K-AUS verilerini daha yoğun bir şekilde görselleştirmesine olanak tanımakta ve daha bilinçli kararlar vermelerine yardımcı olmaktadır (Mordue vd., 2020).

Sarmal arayüzler sayesinde sürücü, yolcu veya operatörler gibi yol kullanıcıları ihtiyaç duydukları bilgilere araç içi ve diğer arayüzler ile sanal gerçeklik ortamında erişebilmektedir. Böylelikle sürücünün görsel olarak daha kolay anlaşılabilir bilgi alması, sürücü davranışlarının modellenmesi için sanal gerçeklik ortamlarının oluşturulması ve araç içi sistemlerde daha detaylı veri akışı sağlanabilmesi mümkün olabilmektedir. Bu sayede, sürücülerin dikkati daha az dağılırken daha fazla bilgiye ulaşmaları mümkün olabilmektedir. Ayrıca, günümüzde yaygın olarak kullanılan uzaktan erişimli bilgisayar teknolojilerinin, sarmal arayüz çözüm ve uygulamaları ile araç teknolojileri için de orta-uzun vadede uygulanma potansiyeli bulunmaktadır. Örneğin, bir kargo şirketinin uzun yola çıkacak bir aracı, bu teknolojiden faydalanılarak sürücünün bulunduğu konumdan bağımsız olarak uzaktan kontrol edilebilir.

Bu arayüzlerin en önemli zorluklarından biri, çoğunlukla araç içinde grafik işlemciler bulunmadığı için, üç boyutlu tasarlanmış sistemin yüksek verimlilikte, düzenli çalışan, kolay kullanılabilir ve sağlam bir yazılıma sahip olma gerekliliğidir. Bu alanda literatürde bulunan çalışmalardan bir tanesi SACARI olarak adlandırılan arayüzdür (Tarault vd., 2005). Bu arayüz ile aracın bulunduğu ortam, üç boyutlu olarak modellenmekte ve sürücüye yansıtılabilmektedir.

Sarmal arayüzler, çoklu sürücü simülatörlerinde sürücü etkileşim süreçlerini incelemek için verimli bir yoldur. Sarmal arayüzler, sürücülerin birbirleriyle ve altyapıyla etkileşim kurabilecekleri gerçekçi bir ortam sunmaktadır. Bu; araştırmacıların, ekipmanlı ve ekipmansız sürücülerin sürüş davranışlarının K-AUS üzerindeki etkilerini incelemelerine olanak tanımaktadır. Ayrıca, yoğunlaştırılmış arayüzler, K-AUS'un sistem işlevselliğini, dayanıklılığını ve uyumluluğunu değerlendirmek için kullanılabilir (Tarault vd., 2005).

Sarmal arayüz teknolojisi AUS'ta birçok farklı alanda kullanılabilir. Sniezek ve arkadaşları tarafından 2001 yılında yapılan "Kriz anında karar vermek için ileri düzey eğitim:

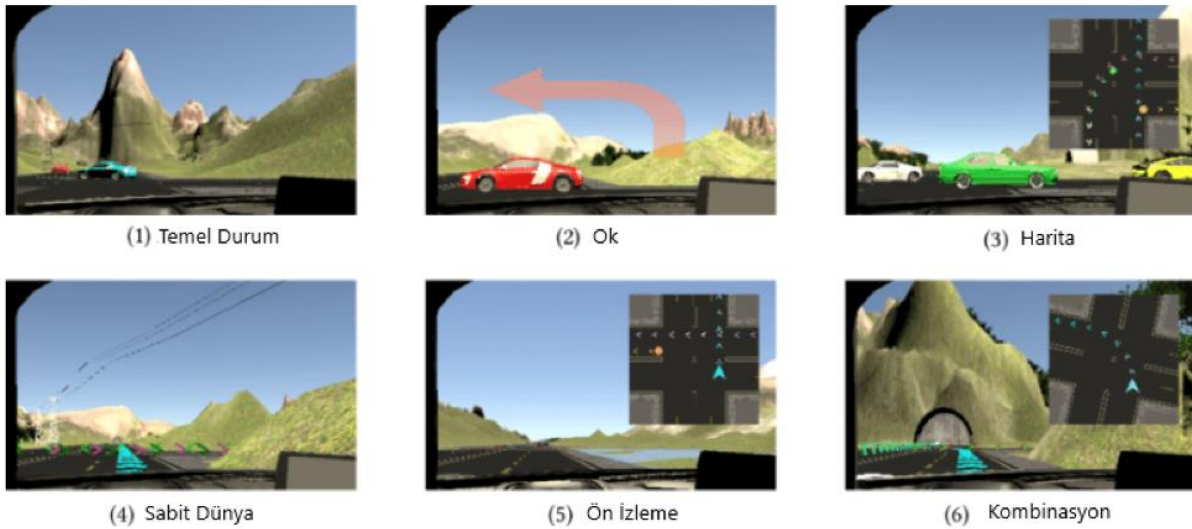
benzetim, değerlendirme ve sarmal arayüzler” başlıklı çalışmada, sarmal arayüzler kullanılarak insanların kriz anlarında verdikleri kararlar ve bu kararların insanlara eğitimi hedeflenmiştir. Trafikte kaza/olay anları, insanların hızlı ve etkili kararlar vermelerini gerektirmektedir. Bu gibi durumlar için insanların eğitilmesi kolay bir durum değildir ve bu eğitime engel olan iki durum vardır. Birincisi kaza durumları, yani krizler tanımları gereği nadirdir; bu nedenle, insanların, doğrudan doğal ortamlardaki deneyimleriyle karar verme uzmanlığı kazanması genellikle mümkün değildir. İkincisi, krizleri yönetmek genellikle akut stres koşulları altında büyük belirsizlik ve karmaşıklıkla uğraşmayı içermektedir. Bu özelliklerin her biri, eğitim için benzersiz bir zorluk teşkil etmektedir. Yapılan çalışmada, bu zorlukları ele alan bir kontrol eğitimini örneği sunulmuştur. Bu eğitmen, çok sayıda gerçekçi senaryo üreten, karar verme anındaki aşırı bilgi yüklemesini kontrol etmeye yardımcı olan, sürekli bir multimedya arayüzünden ve insanın karar verme performansı hakkında gerçek zamanlı ve oturum sonrası geri bildirim sağlayan bir uzman sisteminden oluşmuştur. Yapılan deneyler sonucunda, tanımlanan bilgisayar tabanlı eğitmenin, bir kursiyerin yüksek düzeyde stres altındayken karar verme süreçlerini uygulamasına izin verme açısından psikolojik gerçekçiliğe sahip olduğunu gösteren deneysel sonuçlar elde edilmiştir (Sniezek vd., 2001).

Oeltze ve Schießl tarafından yapılan “Çoklu sürücü simülatörü çalışmalarının faydaları ve zorlukları” başlıklı çalışmada, sarmal arayüzlerin öne çıkan sorunlarına yer verilmiştir. Sarmal arayüzlerin ana sorunlarından biri kurulumunun ve bakımının zor olmasıdır. Ayrıca, yoğunlaştırılmış arayüzden toplanan verilerin doğruluğu, ortamın karmaşıklığı nedeniyle sınırlı olabilmektedir. Ayrıca, yoğunlaştırılmış bir arayüzün kurulumu ve bakımı için gereken maliyet, bazı araştırma projeleri için yüksek seviyede olabilmektedir (Oeltze & Schießl, 2015).

Cherchi ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptığı “Belirtilen Seyahat Tercih Davranışı Deneyleri için Sanal Sarmal Gerçeklik: Kentsel Yollarda Otonom Araçlara İlişkin Bir Örnek Olay İncelemesi” başlıklı çalışmada, sarmal arayüz teknolojilerinin kullanımıyla yüksek derecede gerçekçi, sürükleyici ve etkileşimli seçim senaryosu gerçekleştirebilen Sanal Sürükleyici Gerçeklik Ortamı (Virtual Immersive Reality Environment) oluşturulmuştur. Önceden yapılan testlerin ve deneylerin gerçekçilik eksikliği olduğu bilindiğinden dolayı, geliştirilen algoritma, özellikle otonom araçlarla ilgili, önceden iyi araştırılmış bir kaynağı olmayan senaryoları çözümlmeyi ve benzetimini amaçlamıştır. Kanada’nın Montréal kentindeki sokaklarda, otonom araçlar için ilgili altyapı değişiklikleri ve yayaların tercihlerini farklı olasılıklarda modelleyen VIRE algoritması sayesinde farklı durumlar ve senaryolar değerlendirilmiştir. Bu

analizler sonucunda ise VIRE'nin önceden anlaşılamayan senaryoların ve durumların daha iyi anlaşılmasını sağladığı ve tutarlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Cherchi vd., 2018).

Von Sawitzky ve arkadaşlarının “Tam otonom sürüşe artan güven: Artırılmış gerçeklik göz hizası göstergesinde rota gösterimi” başlıklı çalışmasında bir adet ön cam sarmal arayüzü önermişlerdir. Önerilen arayüzün görseli Şekil 3’te verilmiştir (Von Sawitzky vd., 2019). Sarmal arayüzün oluşması için tabanı oluşturan veri yakalama, işleme, iletme ve görselleştirme sistemlerinde yaşanan zamansal kayıplar; sürücünün direkt yola bakması süreciyle karşılaştırıldığı zaman ciddi bir zaman kaybına dönüşmektedir. Bu zaman kaybında verilmesi gereken ani veya refleksif kararların daha geç veriliyor olması, şimdilik bu arayüzlerin yeterince uygulamaya geçememe nedenleri arasında olmasına rağmen, bu sistemler yüksek potansiyel taşımaktadır (Von Sawitzky vd., 2019).



Şekil 3. Ön Cam Sarmal Arayüzü

Sarmal arayüzler, ulaşım, navigasyon, afet müdahale, eğitim ve kentsel planlama gibi birçok uygulama alanında kullanımı giderek artan bir teknolojidir. Yakın gelecekte özellikle dijital ikiz sistemleri ile birlikte gelişmesi beklenen sarmal arayüzler, gün geçtikçe gelişen grafik işlemci sistemleri ve oluşturma (rendering) süreçlerinin optimizasyonları ile pratikte daha hızlı şekilde kendisine yer bulabilecektir. Ayrıca açık veri, haritalama sistemleri, bağlantılı araçlar gibi veri kaynaklarından elde edilebilecek her türlü veri, bu teknolojinin modelleme ve oluşturma sistemlerinin ilerlemesine katkı sağlayacaktır. Gelişmiş sarmal arayüzler, çevre modelleme gerektiren her türlü sistemin ise temel taşı olacaktır.

3.3. Nesnelerin interneti (IoT)

IoT, çeşitli haberleşme protokolleri sayesinde birbirleri ile haberleşen ve birbirine bağlanarak bilgi paylaşımı ile akıllı ağ oluşturmuş cihazların oluşturduğu sistemler bütünüdür. IoT teknolojilerinin AUS alanında çeşitli kullanım alanları mevcuttur. Altyapıya yerleştirilmiş ve internet bağlantısı sağlanmış sensörler ve kameralar ile trafik verisinin gerçek zamanlı olarak kaydedilmesi, araçlara entegre IoT cihazları ile araç verilerinin kaydedilmesi, yol kenarına yerleştirilmiş cihazlar ile çevresel verilerin toplanması ve IoT kapsamında kullanılan trafik sinyalizasyon sistemleri, örnekler arasındadır. Bu sistemler ile elde edilen veriler, AUS uygulamalarında kullanılabilir. Böylelikle, toplanan veriler doğrultusunda daha verimli ve ihtiyaca yönelik uygulamalar hayata geçirilebilir. IoT'nin AUS alanındaki kullanımının yanı sıra K-AUS alanında da çeşitli kullanım alanları mevcuttur. Bu yıkıcı ve yenilikçi teknoloji ile nesnelere internet bağlantısı sağlandığı için veri alışverişi mümkün olmaktadır. K-AUS uygulamaları da temelde veri alışverişi gerektirdiği için bu teknolojinin mevcut sistemlere entegrasyonu, K-AUS uygulamaları için oldukça önemli hale gelmektedir.

IoT, günümüzde AUS'un ve çoğu sistemin temel taşlarından birisidir. Birçok bileşenden oluşan sistemlerin, tek bir bileşen üzerinde tüm işlemleri gerçekleştirebiliyor olması hem verimli hem de etkili olmayabilmektedir. Bu nedenle, nesnelere kendi içlerinde bu görev dağılımını yaparak birbirleriyle haberleşebilmesi önemlidir. IoT; K-AUS alanında haberleşme, sensör sistemleri, bağlantılı araçlar, robotik, blokzincir teknolojileri ve bulut bilişim teknolojilerinden oluşan bir entegrasyon teknolojisidir. Bu entegrasyon teknolojisi; her biri tek başına anlam ifade etmeyen sistemleri, çok etkili sistemlere dönüştürme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, her bir bileşen sistem alanında gerçekleşecek gelişmelerin, tam verime yakın çalışabilmesi için bu entegrasyon teknolojisinin de bu gelişmeler seviyesine gelmesi gerekmektedir.

IoT; K-AUS bileşenlerinin birbirleri ile veri alışverişinde bulunması ihtiyacı çerçevesinde kullanılan en temel teknolojilerden biridir. IoT sistemleri sadece veri akışı için değil, aynı zamanda veri iletimi ve depolama sistemleri için de önemli bir yere sahiptir. IoT tabanlı teknolojiler; mobil internet tabanlı seyahat uygulamalarında, gerçek zamanlı trafik ve yol verisi uygulamalarında veya otonom araçlarda kullanılmak üzere ciddi miktarda ulaşım verisi sunabilecektir. K-AUS alanında genel olarak veri toplama, işlenmiş veriyi iletme ve veri işleme yolunu belirtme konularında kullanılmaktadır. Bu nedenle IoT'nin gelişimi, diğer teknolojilerin de potansiyellerine erişmesi için önemli bir rol oynamaktadır (Krasniqi & Hajrizi, 2016). Şekil

4, IoT teknolojilerinin farklı sektörlerde ve alanlarda kullanılabilceğini, kullanıldıkları alanın akıllı hale getirilmesinde rol aldıklarını göstermektedir (Midas, 2022).



Şekil 4. Nesnelerin İnterneti

IoT teknolojisi AUS'ta farklı yöntemlerle kullanılabilmekte olup Bojan ve arkadaşlarının 2014 yılında “Nesnelerin interneti tabanlı akıllı ulaşım sistemi” başlıklı çalışmasında IoT platformunu kullanarak bir akıllı ulaşım için verilerin toplanabileceği altyapı modeli fikri ortaya koyulmuştur. Bu doğrultuda, bir otobüsün üzerinde üç bileşeni olan bir sistem kurulmuştur. Bunlar; sensör sistemi, izleme sistemi ve görüntüleme sistemidir. Sensör sistemi, otobüsün konumunu, rotayı ve ambiyansı takip etmek için bir GSM ağı üzerinden internete bağlı olan GPS, yakın alan iletişimi (NFC), sıcaklık ve nem sensörlerine sahiptir. İzleme sistemi, sensör veri tabanından gelen ham verileri kullanarak anlamlı bir veriye dönüştürmek, veri yolu içindeki bazı olayları tetiklemek ve veri yolu sürücüsüne bilgi sağlamak için kullanılmıştır. Görüntüleme sistemi, otobüs durağındaki tüm yolculara bağlam verilerini (otobüs ve yolculukla ilgili bilgiler) göstermek için kullanılmıştır. Bu çalışma, AUS için gerekli verilerin toplanması amacıyla bir altyapı prototipi önermektedir (Bojan vd., 2014).

2016 yılında Kljaic ve arkadaşları tarafından hazırlanan “5G haberleşme teknolojisine dayalı hücreli K-AUS hizmetlerinin zorluğu” başlıklı çalışma, hücreli haberleşme ağları, yazılım tanımlı ağlar (SDN'ler) ve ağ fonksiyonu sanallaştırma (NFV) gibi yeni teknolojiler ve kavramları tanıtmaktadır. Bu ileri düzey yazılım tanımlı haberleşme ağları, ağ fonksiyonlarını sanallaştırarak yeni bir yapılandırma, denetim ve yönetim yolu sağlamaktadır. Hız ve otomasyonu artırmak, mobil ödeme ve bağlamsal hizmet gibi en zorlu hizmetleri desteklemek ve “Makine” kullanıcılarının tanıtımı için gerekli olan anahtar gereksinimlerdir. SDN ayrıca

IoT ve büyük veri kavramlarına dayalı dinamik hizmetlerin uygulanmasında yardımcı olmaktadır. NFV; insanlar, süreçler, veriler ve cihazlar arasında yeni bir bağlantı yolunu sunan IoT hizmetlerini etkinleştirmektedir. Hücresel haberleşme ağlarının gelişimi ile birlikte K-AUS, haberleşme sağlayıcısı firmalar için önemli bir pazar ve genişleme alanı haline gelmiştir (Kljaic vd., 2016).

Büyük şehirlerde artan araç ve kişi yoğunluğu ile birlikte trafik sıkışıklıkları, önemli bir problem haline gelmiştir. Mevcut altyapılar, trafik sıkışıklıklarının kontrolü için sınırlı kaynaklar sunmaktadır. 2016 yılında yapılan “Nesnelerin internetini kullanarak gerçek zamanlı trafik yönetimi” başlıklı çalışmada, gerçek zamanlı olarak trafik durumu, IoT teknolojisi kullanılarak tahmin edilmiştir. Trafik akışını yönetmek için IoT teknolojisi entegre edilerek gerçek zamanlı bir çözüm yöntemi kullanılmıştır. Trafik akışının kontrol edilmesine ve sıkışıklığın önlenmesinde yardımcı olan bu teknoloji, aynı zamanda trafik durumunun görüntülenebilmesini de sağlamaktadır. Böylece insanlar önceden bilgi edinebilmekte, farklı rotalar kullanabilmekte ve trafik sıkışıklığından kaçabilmektedir. Ayrıca, acil durum anında, araçların varış noktalarına erkenden ulaşmaları sağlanabilmektedir (Thakur vd., 2016).

Datta ve arkadaşlarının hazırladığı “Bağlantılı Araçların IoT Ekosistemlerine Entegrasyonu: Zorluklar ve Çözümler” başlıklı çalışma ile bağlantılı araçların IoT ekosistemlerine entegrasyonundaki zorluklar ve çözümler incelenmiştir. IoT ve K-AUS uygulamalarının kullanılması sırasında ortaya çıkabilecek birçok potansiyel sorun ortaya çıkabilmektedir. Bu sorunlar arasında güvenlik ve gizlilik konuları, veri doğruluğu ve güvenilirliği, ölçeklenebilirlik, uyumlu çalışabilirlik ve maliyet yer almaktadır. Ayrıca, Wi-Fi, LTE ve 5G gibi farklı haberleşme protokollerinin entegrasyonu ile ilgili zorluklar da bulunmaktadır. Bu araştırmaların ortak sonucu olarak K-AUS projelerinin IoT teknolojisi ile yakından ilişkili olduğu, güvenilir ve operasyonel hizmetlere büyük faydalar ve ayrıcalıklar katabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, V2X’in IoT ile birleşmesi; araç izleme ve otonom araçlar gibi akıllı hareketlilik uygulamalarını, akıllı şehirlerin inşası, akıllı enerjinin oluşturulması ve akıllı üretimde yer alma gibi doğal bir süreci temsil etmektedir. Araçlarda gelişmiş sensör altyapısı ve acil durum yanıt sistemlerinin uygulanması da sürüş emniyetini ve güvenliğini artırabilmektedir (Datta vd., 2016).

Im ve Kim’in 2017 yılında yayınlanan “K-AUS Ortamlarında Araçlar İçin Otoyolda Durumun Gerçek Zamanlı Trafik Bilgileri ve Yol İşareti Tanımları” başlıklı çalışmada, tam otonom sürüş gerçekleştiren araçların çevreyi algılaması bağlamında, otoyol üzerindeki trafik işaretlerinin tanınması konusunda bir araştırma yapılmıştır. Trafik işaretlerinin sabit standart ve

kurulum konumu özellikleri sayesinde, araçların trafik işaretlerini ve bununla ilgili ek bilgileri nasıl fark edeceği konusunda bir öğrenme teorisi ve bu teoriye dayalı deney sonuçları sunulmuştur (Im & Kim, 2017).

Javaid ve arkadaşlarının 2018 yılındaki “Nesnelerin İnternetini kullanan akıllı trafik yönetim sistemi” başlıklı çalışmasında IoT teknolojisi kullanılarak akıllı trafik yönetimi hedeflenmiştir. Bu çalışmanın amacı; IoT kullanan akıllı bir trafik yönetim sistemi ile yollardaki trafiği optimize etmek için merkezi olmayan bir yaklaşım ve tüm trafik durumlarını daha doğru bir şekilde yönetmek için akıllı algoritmalar önermektir. Sistem, trafik yoğunluğunu dijital görüntü işleme tekniğiyle kameralardan toplanan veriler ve sensör verilerinden elde edilen girdileri kullanarak önerilen algoritmalarda kullanılmaktadır. Trafik sıkışıklığını azaltmak için gelecekteki trafik yoğunluğunu tahmin eden bir algoritma kullanılmıştır. Bunun yanı sıra ambulans, itfaiye vb. acil durum araçlarına radyo frekansları etiketleri uygulanarak bu tür araçlara öncelik verilmesi sağlanmıştır. Acil durumlar için ise yollara yangın ve duman sensörleri yerleştirilmiştir. Ayrıca, merkezi bir sunucuya bağlı olan bir mobil uygulama, yakındaki kurtarma departmanına acil durumlar hakkında bilgi vererek daha fazla önlem alınmasını sağlamıştır. Böylelikle sensörler, araçlar, mobil cihazlar ve merkezi sunucu arasında iş birliği oluşturulmuştur. Önerilen sistem, Pakistan’da, bir prototip olarak pratikte denenmiştir. Bu çalışma yol altyapısı oluşturulurken kurulabilecek bir sistem önerisi sunmaktadır (Javaid vd., 2018).

Hernandez-Ramos ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptığı “K-AUS için Nesnelerin İnternetini Etkinleştiren Sis Ortamında Politika Tabanlı Platform” başlıklı çalışmada, son yıllarda konum bilgisi odaklı hizmetlerin gerçekleştirilmesi için bulut bileşenlerinin tamamlanması amacıyla sis işleme önerilmiştir. Milyarlarca IoT cihazının birbirine bağlandığı bir gelecekteki dijital ortam; veri işleme ve dağıtmayı uç cihazlara daha yakın yaparak daha dağıtık ve esnek bir yönetimi mümkün kılma şansına sahiptir. Sis senaryolarındaki önemli bir zorluk ise uç cihazlar ve bileşenlerin, ölçekli yaklaşımlarla otomatik olarak koordine edilmesi gerekliliğidir. Bu çalışma, sis koordinasyonuna ilişkin sorunların azaltılmasına yönelik politika tabanlı yaklaşımların potansiyel uygulaması ile ilgili devam eden bir çabayı temsil etmektedir. Özellikle, IoT cihazlarının yönetiminin kolaylaştırılmasına yönelik model tabanlı bir yaklaşım kullanılarak politika belirleme süreci önerilmektedir. Ayrıca, önerilen yaklaşımın avantajları hakkında fikir sahibi olabilmek için bir K-AUS kullanım senaryosu üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Çalışma sonucunda, hedeflenen merkeziyetsiz yönetim sistemine ulaşılabilmesi

için sis bilişim teknolojisinin IoT teknolojilerine entegrasyonu sırasında karşılaşılan zorlukların giderilmesi gerektiği belirtilmiştir (Hernandez-Ramos vd., 2019).

Frotscher ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptığı “K-AUS Yol Kenarı Altyapı Kurulumlarının siber güvenliğinin iyileştirilmesi: SerIoT – Emniyetli ve Güvenli IoT yaklaşımı” başlıklı çalışma, SerIoT projesinden bahsetmektedir. Bu projede, bağlantılı ve otonom araç ortamında kullanılan güvenlik teknolojilerinin analizi ve doğrulanması için yaşayan laboratuvar ortamında uygulama yapılmıştır ve test verileri toplanmıştır (Yaşayan laboratuvar, yapay olmayan ve yaşamın uygulama öncesinde ve sonrasında belirli rutinler ile devam ettiği ortamlara verilen addır. Örneğin bir şehrin belirli bir alanında bağlantılı ve otonom araç testleri gerçekleştirildiği durumda bu alana, yaşayan laboratuvar denilmektedir). Çalışma kapsamında elde edilen veriler, tespit edilen saldırıların önlenmesi ve sistemlerinin zayıflıkları hakkında K-AUS hizmet sağlayıcıları ve araç üreticilerine veri sağlamak için kullanılmıştır. Bu projede, ortaya çıkabilecek olası sorunlar, yeterli işlem kaynağını sağlamak için kullanılan hibrit yaklaşım sisteminin ek tehditlere maruz kalmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, kötücül araçları tespit etmek için kullanılan bal peteği yaklaşımı, belirli bir göndericinin tanımlanması ve izlenmesi mümkün olmayacağı için K-AUS’un gizlilik koruma mekanizmalarına açık olabilecektir (Frotscher vd., 2019).

IoT teknolojilerine dayalı bulut tabanlı bir akıllı park sistemi, K-AUS ortamında park yerlerini izleme ve yönetmeye yardımcı olabilmektedir. Ayrıca, trafik ve hareketlilik verilerini analiz etmek için veri analitiği kullanılabilen, bu sayede K-AUS uygulamalarının güvenilirliğini iyileştirebilmektedir. Simülasyon sonuçları, günün farklı zamanlarında belirli bir yol kesiti üzerinde seyahat eden araçlarda kooperatif farkındalık mesajlarının (CAM) paket teslim oranını ölçmek için kullanılabilceğini göstermiştir (Javed vd., 2019).

Yoo ve arkadaşlarının 2020 yılında yaptığı “Otonom Araçlar için Sensör Büyük Veri İşleme Sisteminin K-AUS Ortamında Uygulanması” başlıklı çalışmada, önerilen K-AUS ortamında araç sistemi, araca yerleştirilen ekipmanlardan ve araç sürüş verilerinden veri toplamakta ve gerçek zamanlı işleme yaparak otonom olarak sürüş yapmaktadır. Ayrıca, çevresindeki araçlar ve araç sistemi içindeki bileşenler ile iletişim kurarak kooperatif sürüş gerçekleştirmektedir. Platform; toplanan büyük verilerin saklanması, işlenmesi ve analiz edilmesi için birçok modül içeren, önerilen K-AUS ortamının çekirdek sistemidir. Analiz sonuçları, bir mesajlaşma sistemi kullanılarak araçlara ve kullanıcılara tekrar gönderilmekte veya K-AUS dışındaki ilgili kuruluşlar için kullanılabilir bir yapıya dönüştürülmektedir. Bu veriler, merkezi yerel dinamik haritaya (LDM’ye) analiz sonuçlarını sunan bir mesajlaşma sistemi ile kullanıcıların sunucuya

erişebildiği ve verileri doğrudan kontrol edebildiği bir arama modülünden oluşan bir hizmet sistemi tarafından sağlanmaktadır. Arama modülü, toplanan verilerin farklı araştırma amaçlarına uygun olarak kontrol edilmesi ve indirilmesi için bir işlev sunmaktadır (Yoo vd., 2020).

Zhang ve Lu'nun 2020 yılında yaptıkları "Nesnelerin İnternetine dayalı akıllı ulaşım sisteminde araç iletişim ağı" başlıklı çalışma, IoT'ye dayalı akıllı ulaşım sistemindeki araç iletişim ağını incelemektedir. Bu çalışma, bir araç hareket modeli oluşturmak için OPNET Modeler yazılımını kullanmıştır. OPNET Modeler, bilgisayar ağı modelleme ve simülasyonu için kullanılan bir yazılım aracıdır ve katmanlı bir ağ simülasyon yöntemini kullanmaktadır. Protokol açısından düğüm modülü, açık sistem ara bağlantı modeli standartlarına uygun olarak tasarlanmıştır. IoT'ye dayalı akıllı bir ulaşım sisteminde otonom aracın düşük hızlarda seyahat ettiği senaryolarda, RSU'ların 500-600m arasında tutulması gerektiği, öteki durumlarda kapsamanın bir problem haline geldiği görülmüştür. Bu işlemde iki farklı protokol karşılaştırılmış ve bu protokoller; verim, ortalama ağ gecikmesi, yönlendirme yükü, paket kayıp oranı ve ortalama yönlendirme atlamaları açısından karşılaştırılmıştır (Zhang & Lu, 2020).

IoT uygulamalarının iletişim taleplerini karşılamaya yönelik IEEE 802 standart seti kullanılabilir. K-AUS uygulamalarında kullanılacak radyo, Wi-Fi, mobil şebekeler, alıcılar, vericiler, gerekli kablo formasyonları ve manyetik/elektronik cihazların her birinin entegrasyonunu ve tanımlamalarını içeren bu standart seti, özellikle IoT entegrasyonunda önemli bir yere sahiptir (D'Ambrosia, 2022). Standart setinde bulunan orta mesafeli Zigbee teknolojisi, 75MHz frekanslı DSRC teknolojisi, araç ve mobil cihazlar arası bağlantı kurulmasını sağlayan kısa mesafeli bluetooth teknolojileri, 4G ve 5G gibi hücreli haberleşme teknolojileri, farklı mesafelerde haberleşmeyi sağlamaktadır. IoT uygulamalarında gerekli iletişim mesafesine göre bu teknolojilerden uygun olanı seçilebilmekte ve belirtilen uygulamanın iletişim talebi karşılanabilmektedir.

3.4. Yeni Nesil Haberleşme Teknolojileri

Ulaştırma sektöründe büyüyen ve gelişen talep hızla ilerleyen teknolojiyle birlikte yeni nesil haberleşme teknolojileri; kişiler, araçlar ve yol arasında tam bağlantı sağlamada temel bir rol oynamaktadır. Birçok AUS uygulamasının temelinde trafik, çevre, sinyalizasyon vb. verilerin toplanması, bu verilerin gerekli konuma iletilmesi ve bu veriler ışığında aksiyon alınması yatmaktadır. Bu nedenle, haberleşme teknolojilerinin AUS uygulamalarındaki yeri çok önemlidir. AUS uygulamalarına ek olarak K-AUS uygulamalarında da haberleşme teknolojileri

büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, yüksek hızlı ve düşük gecikmeli yeni nesil haberleşme teknolojilerinin kullanılması ile K-AUS uygulamaları da daha verimli ve sorunsuz bir şekilde hayata geçirilebilmektedir.

K-AUS; bağlantılı araçlar ile altyapı da dahil olmak üzere çevreleri arasındaki iletişimi giderek daha fazla kolaylaştırmaktadır. K-AUS ile trafik akışını, hızını ve yoğunluğunu tespit edebilmektedir. Sensörler ve araçlar tarafından toplanan veriler, daha sonra araçlara hız sınırları hakkında sinyal vermek, trafik şeritlerinin açılıp kapatılmayacağını belirlemek ve kazaları önlemeye yardımcı olmak için kullanılabilir (Monserrat vd., 2020).

K-AUS çalışmalarında araçlar, farklı kablosuz teknolojiler kullanarak diğer araçlarla ve ağ altyapısıyla iletişim kurabilmektedir. Daha düşük gecikmeler ve daha az veri kaybı ile gerçekleştirilebilen haberleşme teknolojileri, K-AUS'un performansını artırmaktadır.

İletim menziline bağlı olarak teknolojiler; uzun menzilli, orta menzilli ve kısa menzilli olarak üç ana kategoride gruplandırılmaktadır. Kısa menzilli grup; Bluetooth, ZigBee ve ultra geniş bant (UWB) haberleşmenin gelişimini sunmaktadır. Orta menzilli grup; kablosuz yerel alan ağı (WLAN) ve DSRC'nin özelliklerini incelemektedir. Son olarak uzun menzilli grup hücreler-aracardan her şeye (C-V2X) ve 5G-yeni radyoyu (5G-NR) sunmaktadır. Her bir kategoriyi ve uygulamalarını birbirinden ayıran önemli bir özellik gecikme süresidir (Ahangar vd., 2021).

Kısa menzilli haberleşme teknolojileri, çeşitli araç uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu uygulamalara örnek olarak araç konumlandırma, gerçek zamanlı sürüş desteği, araç tanıma, düşük hızlarda önden çarpışma uyarı sistemi verilebilmektedir. Kablosuz yerel alan ağı (WLAN) veya DSRC kullanan orta menzilli iletişim, onlarca veya yüzlerce feet'lik bir menzilde V2V ve V2I iletişimi için kapsama alanı sağlayabilmektedir (Ahangar vd., 2021). Uzun menzilli teknolojiler ise araçların birbirlerinden kilometrelerce uzaktayken veri iletebilmelerini sağlamaktadır; bunlara örnek olarak C-V2X ve 5G-NR iletişimi verilebilmektedir.

Bağlantılı cihaz sayısındaki artış, beraberinde daha hızlı ve daha güçlü mobil altyapılara olan ihtiyacı da oluşturmaktadır. Günümüzde bu ihtiyacı karşılayacak teknolojileri geliştirmek için yeni nesil iletişim teknolojilerinin altyapı geliştirmeleri konusunda çalışmalar yürütülmekte, yatırımlar yapılmakta ve gerekli spektrum tahsisleri gerçekleştirilmektedir. Şekil 5'te yeni nesil bağlantı teknolojileri ve bu teknolojilerin özellikleri yer almaktadır (McKinsey Global Institute, 2019)

	Teknoloji	Özellik
Öncü	 LEO Haberleşme Uydular Sistemleri	Mevcut uydu sistemlerine kıyasla küresel kapsama alanı ve düşük gecikme
	 Yüksek Bant 5G	Yüksek hız, düşük gecikme ve güvenli hücreli bağlantı
Gelişmiş	 Düşük ve Orta Bant 5G	Mevcut 4G altyapısında yüksek hız ve düşük gecikmeli hücreli bağlantı
	 Wi-Fi 6	Geliştirilmiş hız, cihaz yoğunluğu ve özellikler ile artırılmış cihaz verimliliğine sahip yeni nesil Wi-Fi
	 Fiber/DOCSIS 3.x	Diğer bağlantıları destekleyen, yüksek hız ve düşük gecikmeye sahip ağlar
	 LPWAN	Yüksek sayıda bağlı cihaz kapasitesine sahip, düşük güç ve düşük bakım gereksinimi olan ağlar
	 Kısa Mesafe (RFID/Bluetooth vb.)	Kısa mesafeli ve verimli cihaz-cihaz bağlantısı

Şekil 5. Yeni Nesil Bağlantı Teknolojileri

Bluetooth ve RFID gibi teknolojiler, radyo sinyallerine dayanmaktadır. Bluetooth, radyo dalgalarını kullanarak ve kişisel alan ağları kurarak sabit ve mobil cihazlar arasında, kısa mesafelerde veri alışverişi sağlamaktadır. Bu teknoloji; 2.4 GHz frekans bandında, etrafındaki dalgalarla çok fazla kesişim yaşanmaması için çok düşük bir güç kullanımı ile çalışmaktadır. Ayrıca Bluetooth teknolojisi başka dalgalarla kesişim yaşamamak için kullanılan kanallara otomatik olarak geçiş yapma özelliğine sahip olması dolayısıyla oldukça pratik bir haberleşme sistemidir. Bu haberleşme sistemi, K-AUS çalışmalarında, araç ağında kısa süreli haberleşmeler için kullanılmaktadır. Bluetooth teknolojisinin; araç içi sensörlerin iletişimi ve oluşturulan araç konvoyunda araçların birbirleriyle haberleşmesi gibi K-AUS çalışmaları sırasında kullanılması önerilmiştir (Friesen & McLeod, 2015).

Radyo frekansı tanımlama (RFID) teknolojisi; gelişimini hızla sürdüren ve birçok sektörde uygulama alanı bulan kablosuz iletişim teknolojisidir. Düşük güç tüketen bu teknoloji; RFID tarayıcı, RFID etiketi ve anten olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır. RFID etiketi genelde bir kâğıt inceliğindedir ve herhangi bir güç kaynağı bulundurmamaktadır. Gerektiğinde tarayıcının gönderdiği gücü kullanarak yayın yapmaktadır. Her etiket kendi içinde bir bilgiye

sahiptir ve tarayıcı tarafından gönderilen dalgayı kullanarak bu bilgiyi tarayıcıya iletmektedir. Bu şekilde tarayıcı etiketi tanımakta ve gerekli bilgiyi de etiketten almaktadır. Bu düşük güç tüketimli sistem, ulaşım kartlarından takip sistemlerine kadar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Akıllı trafik denetimi ve yönetimi için RFID ile elektronik plaka uygulaması, RFID teknolojisini kullanarak akıllı park uygulamaları, trafik sinyali kontrolü ve yönetimi, hızlı geçiş sistemi (HGS), RFID tabanlı elektronik ücret toplama teknolojisi, bu uygulamalardan bazılarıdır (Ahmed & Kumar, 2019). Şekil 6’da RFID teknolojisinin bir uygulama örneği mevcuttur (Odak Arge Merkezi, 2020).



Şekil 6. RFID Uygulaması Örneği

GPS teknolojisine sahip cihazlar, dünyanın yörüngesinde bulunan navigasyon uydularıyla iletişim halindedir ve uyduların kendilerine göre konumlarını kullanarak dünya üzerindeki konumları hakkında bilgi sahibi olur. Konumlandırma servisleri; aracın tam konumunu belirleyebilmekte ve navigasyonuna yardımcı olabilmektedir. K-AUS’ta araçların konumu genellikle GPS koordinatlarından çıkarılmaktadır. GPS teknolojisi, dünya üzerinde bir anten sistemi kurulmadan çalıştığından yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir, fakat özellikle tünellerde, kapalı ve yoğun kentsel ortamlarda, çok hassas sonuç verememektedir (Amini vd., 2014).

Yeni nesil haberleşme teknolojilerine örnek olarak hücresel ağlar verilebilir. Hücresel ağlar, belli bir bölgenin daha küçük hücrelere bölünmesiyle elde edilmektedir. Her bir hücrenin içinde bir tane baz istasyonu bulunmakta ve bu baz istasyonu, hücre içerisindeki tüm haberleşme trafiğini yönlendirmektedir. Hücrelerde bulunan baz istasyonları ise uydular yardımı ile diğer baz istasyonlarıyla haberleşmekte ve böylece iki farklı hücre arasında iletişim sağlanmaktadır. Bu ağlar, mobil cihazların haberleşme kontrolünü yönetmekte kullanılmaktadır. Öncelikle cep telefonları için ortaya çıkmış olan hücresel ağlar, jenerasyonların ilerlemesiyle telefonlar

dışında birçok nesne, makine ve cihaz için de kullanılabilir hale gelmiştir. Bu gelişmeler; 4G teknolojisiyle ortaya çıkmış, 5G teknolojisiyle beraber daha da ileriye taşınmıştır. 5G teknolojisine sahip mobil ağlar, geleceğin mobil haberleşme altyapısının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Mevcut 4,5G sistemlerine göre çok daha yüksek kapasiteye ve daha az gecikme sürelerine sahip olan 5G teknolojisi, aynı bölgede yoğunluk oluşturmamasından dolayı da gerçek zamanlı iletişime çok daha uygundur. Bu ağların sağlayacağı kablosuz geniş bant altyapısı, sadece akıllı ulaşım hizmetleri için değil, birçok IoT uygulaması için de bağlanabilirlik imkânı sunacaktır.

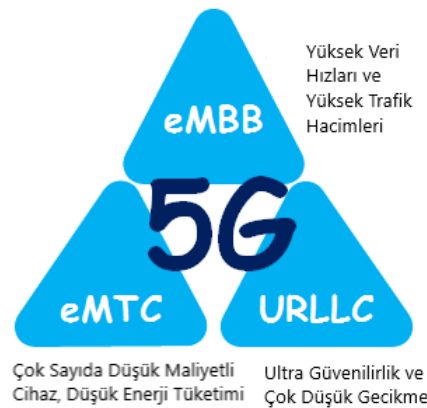
5G mobil standartların kullanıma sunulması, teknolojiye yaşanan değişim hızını daha da artıracak ve mevcut gelişmeleri ileriye taşımak ve diğerlerinde devrim ortaya çıkarmak için bir fırsat oluşturacaktır. 5G; daha yüksek bant genişliği, daha düşük gecikme süresi, kritik işlevler için kaynak ayırma kapasitesi, büyük ölçüde genişletilmiş cihaz sayısı potansiyeli ve verilerin kolay paylaşımı dahil olmak üzere önceki nesil kablosuz bağlantılara göre çeşitli avantajlar sunmaktadır. 5G özelliklerinin her biri ulaştırma sektöründe etkili olacak ve ulaştırmaya özgü uygulamalara katkıda bulunacaktır. Bu katkılara; araçların potansiyel bağlanabilirliğinde ilerlemeler, bağlı cihazların sayısında ve yaygınlığında artış ve ulaştırma operasyonları ve yönetimi için gelişmiş veri kullanılabilirliği örnek verilebilir (Monserrat vd., 2020).

Mevcut akıllı video teknolojilerine dayanarak 5G'nin sunduğu artan bant genişliği hem araç hem de yol ağı kameraları dahil olmak üzere geniş bir bağlı sensör ağını mümkün kılmaktadır. Akıllı sistemler, uç bilişimin işlem gücüyle birleşerek örneğin tahmini yönlendirme, gerçek zamanlı yol tehlikesi ve kaza uyarıları ve çok daha fazlası için araç ve çevresindeki video verilerini kullanabilecektir. Akıllı araçlar, ayrıca emniyet ve güvenliği artırmak için bisikletliler, yayalar ve diğer yol kullanıcıları ile iletişim kurabilmektedir. Örneğin, V2P teknolojileri, araçların trafik geçitlerinde otomatik olarak durmasını veya bir araç güvenli olmayan hızlarda yaklaştığında, yaya cihazlarının uyarılmasını sağlayabilmektedir. Bu teknoloji, yol kullanıcıları için emniyeti artırırken gerçek zamanlı araç takibini ve yönlendirmeyi teşvik edebilmektedir (Monserrat vd., 2020).

5G projesi hayata geçirilirken üç kilit teknolojiyi temel almıştır. Bu teknolojilerden ilki bant genişliğini olabildiğince artırmaya çalışan gelişmiş mobil geniş bant (eMBB) teknolojisidir. Bu teknoloji sayesinde ağ kapasitesi artırılarak aynı zaman diliminde daha çok verinin aktarılması sağlanmaktadır. Bu da video, hologram gibi yüksek boyutlara sahip verilerin daha hızlı bir şekilde bir uçtan diğer uca iletilmesine olanak sağlamaktadır. eMBB; video yayınları, sanal gerçeklik ya da oyunlar gibi yüksek veri içeriğine ihtiyaç duyan uygulamalar için oldukça

önemli bir teknolojidir. Bir diğer 5G teknolojisi ise ultra güvenli düşük gecikmeli haberleşme (uRLLC) teknolojisidir. Bu teknolojinin amacı ise haberleşmede yaşanan gecikmeyi ve veri aktarımı esnasında yaşanan bilgi kaybını olabildiğince azaltmaktır. Zamanın son derece kritik olduğu sanal gerçeklik ya da operasyonel teknolojiler gibi uygulamalarda, oldukça önemli bir teknolojidir. 5G'nin üçüncü temel teknolojisi ise büyük makine tipi haberleşme (mMTC) teknolojisidir. mMTC, son zamanlarda hayatımıza giren IoT teknolojisinden sonra oldukça önem kazanmıştır. Bu teknolojinin amacı ise son zamanlarda sayısı artan internete bağlanan nesnelere, birbirleriyle sorunsuz haberleşmesini sağlamak ve bu haberleşme ağını yönetmeye çalışmaktır. Genel olarak 5G teknolojisi; hücrel ağ kapasitesini artırmak, veri aktarımında güvenilirliği artırmak, veri aktarımı esnasında yaşanan gecikmeyi düşürmek ve çok fazla sayıda internete bağlı nesnenin ağlara sorunsuz bağlanmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

5G teknolojisiyle tanımlanan eMBB, uRLLC ve mMTC teknolojilerinin, K-AUS sistemlerinde de kullanım alanları oldukça fazladır. K-AUS alanında özellikle büyük boyutlara sahip verilerin taşınmasında yüksek kapasite önemli bir yere sahip olduğundan, eMBB teknolojileri ön plana çıkmaktadır. K-AUS haberleşmesi sırasında gönderilen kritik güvenlik mesajlarında ya da otonom araçların yüksek seviye otonom sürüş sırasında karar verme mekanizmalarında düşük gecikme oldukça önemli olduğundan, bu alanda da uRLLC teknolojileri ön plana çıkmaktadır. Son olarak K-AUS haberleşmesine dahil olan araçların sayısı arttıkça, daha güvenilir bir sistem elde edilebileceği için mMTC teknolojisi ön plana çıkmaktadır. Böylece yayalar, bisikletliler, bulut sistemleri ve trafikte bulunan her türlü sensör; kapasite problemi oluşturmadan K-AUS haberleşmesine katılabilecektir. Şekil 7'de bu teknolojilerin 5G kapsamında sağladıkları avantajlar özetlenmiştir (Anisimov, 2019).



Şekil 7. eMBB, eMTC ve URLLC

Türkiye’de farklı kuruluşlar tarafından 5G’ye geçiş kapsamında çalışmalar yürütülmektedir. Bu doğrultuda; Turkcell, Türk Telekom ve Vodafone Türkiye tarafından İstanbul Havalimanı içerisinde 5G teknolojisinin test edildiği bir çalışma alanı bulunmaktadır (Anadolu Ajansı, 2022). Buna ek olarak 2017 yılında Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı ve Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu’nun (BTK’nın) koordinasyonunda “5G Vadisi Açık Test Sahası” projesine başlanmıştır. Bu proje kapsamında Hacettepe Üniversitesi Beytepe Kampüsü, Bilkent ve ODTÜ yerleşkeleri ile Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu Merkez Binası arasında yer alan bölgenin, altyapısal olarak 5G’ye hazır hale getirilmesi ve 5G konusunda çalışmalar yürütmek isteyen tarafların, test çalışmaları yapabileceği bir alanın oluşturulması hedeflenmiştir. Bu projenin protokolü 2017 yılında BTK, Hacettepe Üniversitesi, İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Turkcell, Türk Telekom ve Vodafone tarafından imzalanmıştır ve çalışmalara başlanmıştır (BTK, 2018). Bu tarz çalışmalar ile gelecekte birçok alanda avantaj sağlayacak bir teknoloji olan 5G’nin test edilmesi ve yaygın kullanıma geçildiğinde, sorunsuz ve etkili bir şekilde çalışmasının sağlanması hedeflenmektedir.

Hücresel ağları ve K-AUS haberleşmesini birbirine bağlayan sisteme C-V2X ismi verilmiştir. Bu sistemde, K-AUS haberleşmesinde kullanılmak üzere 4G ve özellikle 5G’nin kabiliyetlerinin kullanılması amaçlanmaktadır. Bu kabiliyetlere başta yüksek veri aktarım hızı, düşük gecikme ve çok sayıda nesneyi ağa bağlayabilme kabiliyetleri dahildir. C-V2X teknolojileri, LTE-V2X ve NR-V2X olarak ikiye ayrılmaktadır.

C-V2X teknolojisi, ilk olarak 2017 yılında 3. Nesil Ortaklık Projesi (3GPP) tarafından yayınlanan Sürüm 14 teknik raporunda (Release 14) tanıtılmıştır (3gpp, 2017). Bu rapordan önce yayınlanan Sürüm 12 (Release 12) ve Sürüm 13 (Release 13) raporunda yer alan hücresel haberleşme teknolojisi 4G tabanlı LTE-V2X teknolojisidir. C-V2X sistemlerinin LTE’den 5G ya da yeni radyo (NR) teknolojisine geçişi ise 2020 yılında 3GPP tarafından yayınlanan Sürüm 16 (Release 16) teknik raporu ile standardize edilmiştir (3gpp, 2020).

Colorado eyaletinde C-V2X uygulamalarını 2018 yılında hayata geçirmek için Panasonic, Qualcomm ve Ford, bir stratejik iş birliği imzalamıştır. Bu uygulama, ABD kapsamında hayata geçirilen ilk gerçek dünya uygulamalı C-V2X projesidir. Seçilen uygulama bölgelerinde kullanıma sunulan C-V2X teknolojisi ile bu teknolojinin kabiliyetlerini somut olarak analiz edebilmek ve C-V2X teknolojisinin gelişimine katkıda bulunmak hedeflenmiştir. Proje kapsamında, seçilen yol ağına RSU’lar yerleştirilmiştir ve Ford tarafından temin edilen araç filosu bağlantılı hale getirilmiştir. Bu sayede V2V ve V2I uygulamaları hayata geçirilebilecek hale gelmiştir. Panasonic’ın bağlantılı araç veri platformu, C-V2X verilerini toplayacak ve

yayınlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu platformun kullanılması ile yol işletmecilerine daha iyi bir durumsal farkındalık kazandırılmıştır ve güvenlikle ilgili kritik bilgilerin doğrudan araçlara iletilmesi sağlanabilmiştir. Aynı zamanda, projenin duyurulduğu basın bildirisinde, C-V2X'in kabiliyetlerine değinilmiştir. Bu kapsamda, yapılan saha çalışmalarının sonuçları incelendiğinde C-V2X teknolojisinin DSRC teknolojilerine kıyasla daha geniş bir kapsama alanına sahip olduğu ve daha güvenilir olduğu belirtilmiştir (Qualcomm, 2018).

Bir diğer K-AUS haberleşme teknolojisi olan DSRC; IEEE 802.11p tabanlı bir kablosuz haberleşme teknolojisidir ve araçlar ile çevredeki altyapı arasında yüksek güvenilirlikli, hızlı ve doğrudan iletişimi sağlamaktadır. IEEE 802.11p, K-AUS uygulamalarını desteklemek için IEEE 802.11 standardından türetilmiş bir standarttır (everythingRF, 2019). DSRC, araçlar ve altyapı arasında düşük gecikmeli bilgi alışverişini sağlamak için 5,9 GHz bandında çalışmaktadır. 5,9 GHz frekans bandı genel olarak yüksek hızlı ve düşük gecikmeli bir haberleşmenin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Fakat yüksek frekans bandı aynı zamanda kapsama alanını düşürdüğünden dolayı DSRC teknolojileri 1 kilometre civarında bir kapsama alanına sahiptir (Arena vd., 2020; Morgan, 2010). Bu haberleşme teknolojisi yüksek güvenilirlikli bir iletişim kanalı sağlamakta olup bu sistemde, iletilen bilgiler araçların kimliği ile bağlantılı değildir. Bu bağlamda, sürücülerin gizliliği de korunmaktadır. Böylelikle her araç, konumunu, yönünü ve hızını, güvenli ve anonim bir şekilde yayınlatabilmektedir.

DSRC kapsamında K-AUS alanında kullanılan farklı haberleşme teknolojileri mevcuttur. Bunlardan en yaygın olanları WAVE ve ITS-G5'tir. İkisi de IEEE 802.11p tabanlı K-AUS haberleşme teknolojisidir. Bu nedenle, çalıştıkları frekans bandı 5,9 GHz'dir. Bu bant üzerinde toplam 75 MHz genişliğindeki bir frekans bandı V2X için özel olarak ayrılmıştır.

WAVE ve ITS-G5 teknolojilerini birbirinden ayıran özellik ise geliştirildikleri ve kullanıldıkları bölge ve tahsis edilmiş bant genişliği dağılımıdır. WAVE, ABD'de geliştirilmiş bir DSRC teknolojisidir ve büyük çoğunlukla bu bölgede kullanılmaktadır. ITS-G5 ise Avrupa'da Avrupa Haberleşme Standartları Enstitüsü (ETSI) tarafından geliştirilmiştir.

WAVE teknolojisinde kullanılmakta olan 75 MHz'lik bant genişliğinin ilk 5 MHz'lik kısmı koruma görevi görmektedir ve boş bırakılmaktadır. Her iki taraftan 10 MHz'lik kısım acil durumlarda kullanılması için ayrılmıştır. İleride bir kaza olması gibi çok acil durumlarda ağ trafiğine yakalanmamak için bu tarz bir uygulama yapılmaktadır. Her iki taraftaki 20 MHz'lik bantlar da K-AUS sistemindeki bileşenler için servis görevi görmektedir. Kalan 10 MHz'lik bölüm ise ağa bağlı cihazların sık bir şekilde bağlandığı ortak kullanım alanı olarak belirlenmiştir (Kenney, 2011).

ITS-G5 sisteminde de 5 MHz'lik bölüm, koruma bandı olarak kullanılmaktadır. 20 MHz'lik bir bant aralığı, sadece acil durumlar oluştuğunda kullanılacak bir biçimde ayrılmıştır. WAVE'den farklı olarak 30 MHz'lik bir bölüm acil olmayan servislerin kullanımına sunulmuştur. Kalan 20 MHz'lik bölüm ise ileride geliştirilebilecek yeni uygulamalar için rezerve edilmiştir (European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 2013; Mannoni vd., 2019).

“Bağlantılı Araç Uygulamalarında DSRC ve 4G-LTE'nin Kıyaslanması” başlıklı 2017 yılında yapılan çalışmada, DSRC ve 4G-LTE teknolojilerinin saha testlerinde karşılaştırılması yapılmıştır. Bu çalışmada, DSRC yol kenarı birimleri, 4G-LTE hücrel haberleşme istasyonları ve araç içi birimlerin entegre edildiği bir bağlantılı araç test platformu oluşturulmuştur. Çarpışma Önleme, Mesaj İletimi ve Multimedya Dosya İndirme olmak üzere üç farklı bağlantılı araç uygulama senaryosu belirlenmiştir. Test araçlarının konumlarını, hızlarını kaydetmek ve belirli kablosuz iletişim performans göstergelerini kaydetmek için bir yazılım geliştirilmiştir. Deneyler farklı koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre trafik bilgisi iletimi, dosya indirme veya internet erişimi gibi güvenlik ve yüksek hız gerektirmeyen uygulamalar için 4G-LTE tercih edilebilmektedir, fakat Çarpışma Önleme gibi güvenlik uygulamaları için DSRC, 4G-LTE'yi geride bırakmaktadır (Xu vd., 2017).

C-V2X ve DSRC'ye ek olarak görünür ışık haberleşmesi (Li-Fi) de K-AUS alanında kullanılabilen bir yeni nesil haberleşme teknolojisidir. Li-Fi, kablosuz bir iletişim teknolojisidir ve veri aktarımı için genellikle 380 nm ile 750 nm dalga boyu arasında görünür ışık kullanılmaktadır (Utmel, 2021). Li-Fi kapsamında veri iletimi için radyo frekansı yerine ışık kullanıldığından dolayı diğer kablosuz iletişim teknolojilerine göre daha hızlıdır. Veri iletimi, LED'lerin yanıp sönmeleriyle gerçekleştirilmektedir. Gönderici olarak bir LED ve alıcı olarak bir optik filtre, optik toplayıcı veya amplifikatör devre kullanılabilir (LiFi, 2023).

“Denetleyici Alan Ağları Kullanılarak Sağlanan Araçlar Arası İletişim İçin Dış Mekân Görünür Işık Haberleşmesi” başlıklı 2012 yılında gerçekleştirilen çalışmada, bağlantılı araçlar kullanılarak Li-Fi teknolojisi test edilmiştir. Bu çalışmada, araçların ön ve arka farları, veri alışverişinde kullanılmıştır. K-AUS kapsamında iletilecek mesajlar, bu farlardan yayılan ışık ile diğer araçlara iletilmiştir. Çalışma sonuçları incelendiğinde, Li-Fi ile iletilen verilerin yüksek hız ve düşük gecikme ile iletilebildiği görülmüştür, fakat güneş ışığı gibi dış etkenler dolayısıyla sisteme dahil olan ışık nedeniyle sistemde zaman zaman sorun yaşandığı da tespit edilmiştir (Kim vd., 2012).

K-AUS için önemli olan bir diğer haberleşme teknolojisi ise düşük güç geniş alan ağları (LPWAN) teknolojisidir (Singh, 2019). Özellikle IoT'nin hayatımıza girmesiyle önem kazanan bu teknolojinin, uzun batarya ömrü ve geniş çekim alanı gerektiren nesnelere için kullanılması amaçlanmıştır. IoT cihazlarının bir bölümü internete sık bağlanmayan, sık bağlansa da çok büyük veri aktarımı gerçekleştirilmeyen nesnelere oluşmaktadır. Bu nesnelere internete bağlanması, belli bir bant kaynağının boşa kullanılmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle sadece bu cihazların kullanabileceği daha dar bir banda sahip bir ağın oluşturulması gündeme gelmiştir. Sonuç olarak daha düşük güç tüketen ve daha geniş alanlara ulaşabilen, aynı zamanda çok fazla kaynak kullanmayan teknolojiler oluşturulmuştur. LPWAN, bu gereksinimleri karşılayan teknolojilerin bütünü için kullanılmaktadır. K-AUS haberleşmesinde de çok fazla kaynak istemeyen sensörler için bu teknolojinin kullanılması, verimli bir sistem oluşturacağı için önerilmektedir (Dirnfeld vd., 2020).

Yukarıdaki örneklerde görüldüğü gibi yeni nesil haberleşme sistemlerinin getirdiği her türlü avantajı kullanarak K-AUS haberleşme ağlarının gelişmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir. Yüksek veri aktarma kapasitesi, düşük gecikme, yüksek güvenilirlik, düşük güç kullanımı ve verimli kapasite kullanımı, sunulan avantajlar arasında sayılabilir.

Literatürde ulaşımı akıllı hale getirmek için yeni nesil haberleşme teknolojilerini kullanarak yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. "Nesnelerin İnternetini kullanan akıllı trafik yönetim sistemi" başlıklı 2018 yılında yapılan çalışmada, yeni nesil kablosuz haberleşme teknolojisine dayalı bir AUS kurmak için süreç odaklı yapılandırılmış sistem analizi, mevcut akıllı ulaşım mimarisi üzerinde genişletilmiştir. Bu analizler; kullanıcı, işlev, bilgi, bağlantı ve iletişim açısından ağ hizmetlerinin ve uygulama desteğinin gerekli ek özelliklerini değerlendirmiştir. Yeni nesil AUS'un teknik özelliklerini ve gelişimini kapsamlı bir şekilde anlamak için yeni nesil haberleşme teknolojilerinin AUS'a entegrasyonu için bir altyapı önerilmiştir (Javaid vd., 2018).

Çoğu AUS uygulamalarının her biri veya bir parçası için son derece özelleştirilmiş iletişim kanalına olan talep artmaktadır. Bu talep, ulaştırma sistemlerinin her parçasının farklı gerekliliklerde iletişim kanalına ihtiyaç duymasından kaynaklanmaktadır. Bir kanalda tüm gereklilikleri toplamak hem verimli hem de sürdürülebilir değildir. Bu nedenle bu talebe ilişkin 2016 yılında yapılan "AUS uygulamaları için kablosuz iletişim teknolojileri" başlıklı çalışmada, tek bir uygulama veya benzer uygulamalardan oluşan bir profil için uygun taşıyıcıları seçerken bir kazan-kazan durumu oluşturmak için mevcut kablosuz haberleşme teknolojilerinin kapasiteleri araştırılmıştır. Bu çalışmada, gelecekteki AUS uygulamalarında

kullanılmak üzere iletişim gereksinimlerini karşılamak ve hedef uygulamalar için en iyi iletişim arayüzünü seçebilecek bir sistem önerilmiştir (Dar vd., 2010).

AUS, ulaşım sektöründe yol emniyet ve güvenliği ile verimliliği artırmayı amaçlamakta olup araçların internetine (IoV'ye) dayalı çözümlerde, AUS unsurları arası veri paylaşımı V2V ve V2I kanallarında ele alınmaktadır. K-AUS; AUS bileşenlerinin birbirleri ile iletişime geçerek aynı amaca hizmet ettiği sistemler olup bu iletişimin doğru, eksiksiz ve hızlı gerçekleşmesi tüm sistemin performansını artırmaktadır. Bir aracın internet çözümünün etkinliği, kablosuz iletişim teknolojisinin iletim hızı ve veri kaybı performansına bağlıdır. IoV sisteminde değerlendirme için ZigBee, Wi-Fi ve DSRC iletişim teknolojilerinin performansı, tanımlanmış bir platformda simülasyonlar gerçekleştirilerek incelenmiştir. ZigBee'nin düşük frekanslı iletişim paketleri için %1'den daha düşük veri kaybı oranıyla başarılı veri alışverişi sağlayabildiği, Wi-Fi ve DSRC'nin ise daha yüksek veri kaybı ile bu görevi tamamladığı gözlemlenmiştir. Araştırma, farklı iletişim teknolojileri için bir karşılaştırma yöntemi önermektedir (Zhang & Lu, 2020).

3.5. Algılama ve Görüntüleme Teknolojileri

Algılama ve görüntüleme teknolojileri, AUS unsurlarının, kamera görüntülerini, anlık fotoğrafları; lazer sistemler ve manyetik dalgalar ile diğer nesnelerin konumu ve hızı gibi değişken özellikleri elde etmek için kullanılan teknolojilerdir. Özellikle bilgisayarlı görü tekniklerinin gelişmesi, derin öğrenme algoritmalarının tahmin ve eğitim süreçlerinin grafik işlemci teknolojileriyle paralel bir şekilde hızlanması ve lazer teknolojilerinde yaşanan gelişmeler ile video görüntüleri ve lazer sistemlerinden kolayca ve hızlıca veri elde edilebilmektedir. Bu teknolojiler çoğunlukla veri elde etmek ve karar verici mekanizmalara bu verileri direkt olarak iletmek için kullanılmaktadır. Şekil 8'de algılama ve görüntüleme teknolojilerinin kullanımına yönelik örnek bir görsel mevcuttur (Türk, 2021).



Şekil 8. Algılama ve Görüntüleme Teknolojisi Uygulaması

Yeni nesil araçlarda araçsal algılama, görüntüleme ve iletişim teknolojilerinin uygulanması, geleneksel araçlara kıyasla emniyet ve güvenlik, hareketlilik ve çevresel faydalar sağlamaktadır. Sensör ve haberleşme teknolojileri, otonom araçların çevrelerini algılamalarını ve diğer araçlar veya altyapı ile iletişim kurmalarını sağlamakta, böylece araçlar mesajları zamanında alabilmekte / gönderebilmekte ve buna göre hareket edebilmektedir. Örneğin halihazırda mevcut olan birkaç gelişmiş çarpışma önleme teknolojisi, araçların çevresini izlemek için farklı yerleşik sensör teknolojilerini (örneğin RADAR, kameralar ve LIDAR) kullanmaktadır. Bu mevcut “araç içi” teknolojiler, yakındaki diğer araçları algılamak için bir aracın içine yerleştirilmiştir. Aracın içine yerleştirilen RADAR, kameralar ve LIDAR, çevreyi algılayarak doğrudan bilgi toplayabilmektedir. Sonuç olarak bu çarpışma önleme teknolojileri sürücüyü olası tehlikeler hakkında uyarmak için çevredeki bilgileri kullanabilmekte, böylece sürücü, tehlikeleri önlemek veya azaltmak için gerekli önlemleri alabilmektedir (Sarker vd., 2020).

Araç içi sensörlerle birlikte araçtan araca haberleşme, araçlara 360 derecelik kapsamlı bir görünüm sağlamakta ve araçların sensör menziline ötesinde çalışmasına olanak tanımaktadır. Kablosuz bağlantı; trafik sinyali faz ve zamanlama bilgileri, trafik kazası ve kuyruk bilgileri gibi gerçek zamanlı karayolu bilgilerinin iletilmesini sağlayarak araçların operasyonel verimliliğini de artıracaktır.

ABD Ulaştırma Bakanlığı tarafından, 2004-2008 kaza verileri kullanılarak yapılan bir analiz, araçların içindeki iletişim ve algılama teknolojilerinin tüm trafik kazalarının %79'una kadarını önlemeye yardımcı olabileceğini göstermektedir (United States National Highway Traffic Safety Administration vd., 2014). Araçlar için sensör ve haberleşme teknolojileri kullanılarak farklı emniyet ve güvenlik uygulamaları (örneğin ileri çarpışma uyarısı, acil durum elektronik fren lambası, kör nokta uyarısı, sola dönüş asistanı ve şeritten ayrılma uyarısı) sunulabilmektedir. Ayrıca, sensör ve iletişim teknolojileri her bir aracın yoldaki hızını ayarlamak, trafik sinyallerini kontrol etmek, kullanıcıların sürüş deneyimini iyileştirmek ve çarpışma uyarısı sağlamak için kullanılabilirlerdir.

Literatürde algılama ve görüntüleme teknolojilerinin AUS uygulamalarında kullanıldığı çeşitli çalışmalar mevcuttur. Chintalacheruvu ve Muthukumar tarafından 2012 yılında yapılan “Video Tabanlı Araç Tespiti ve Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Uygulaması” başlıklı çalışma, verimli bir video tabanlı araç algılama sistemi önermektedir. Geliştirilen algoritma, anlık resimlerdeki köşe noktalarını algılamakta ve o köşelerin resimdeki görece koordinatlarını çıktı olarak verebilmektedir. Algoritma, ana yollarda ve otoyollarda, araç sayısını ve hızlarını belirleyen bağımsız bir araç algılama ve takip sistemi geliştirmek için kullanılmıştır. Önerilen video tabanlı araç algılama sistemi; karmaşık kalibrasyon ihtiyacını ortadan kaldırmak, kontrast varyasyonlarına dayanıklılık ve düşük çözünürlüklü videolarla daha iyi performans sağlamak için geliştirilmiştir. Araç sayıları ve hızlarındaki doğruluk için algoritmanın performansı değerlendirilmiştir. Önerilen sistemin performansı, bir ticari araç algılama sistemine kıyasla iyileşme olduğunu göstermiştir. Geliştirilen araç algılama ve takip sistemi kullanılarak iş bölgelerinde, özel etkinliklerde, hız düşüşleri ve sıkışıklık durumlarında, işe gidip gelenleri önceden uyararak için önceden uyarı veren AUS uygulaması tasarlanmış ve hayata geçirilmiştir. Ön uyarı sisteminin etkinliği değerlendirilmiş ve kullanıcılar tarafından olumlu geri dönüşler alınmıştır (Chintalacheruvu & Muthukumar, 2012).

Tek kameralı sistemlerde sağlam ve verimli nesne algılama, sürekli karşımıza çıkabilecek önemli bir potansiyel zorluktur. Bilgisayarlı görü tekniklerinin gelişmesi ve bunun sonucunda video görüntü verilerine erişilebilirlikle birlikte, karayolu taşıt algılama yöntemlerinde gelişmeler sağlanmıştır.

2017 yılında yapılan “Çok seviyeli sınıflandırıcı ve blok yerel ikili örüntüler (LBP) kullanılarak termal yaya tespiti” başlıklı bir diğer çalışmada ise sıcaklık sensörleri üzerinden yürüyen insanların tespit edilmesi için yöntemler tanımlanmıştır. Bu amaçla çok seviyeli bir sınıflandırıcının tasarımı önerilmiştir. Önerilen yöntem, eğitim ve tespit aşamalarından

oluşmaktadır. Eğitim aşamasında, öncelikle tüm olası bloklardaki eğitim örneklerinin doku bilgileri LBP kullanılarak kodlanmaktadır. Belirli bir bloğa ait pozitif ve negatif örneklerin yamaları, aynı LBP koduna sahip olduğunda, bir destek vektör makinesi (SVM) sınıflandırıcısı tarafından ayırt etmek için eğitilmiştir. Yapılan veri kümesindeki deneysel sonuçlar, önerilen yöntemin literatürdeki sonuçlardan daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir (Liu vd., 2017).

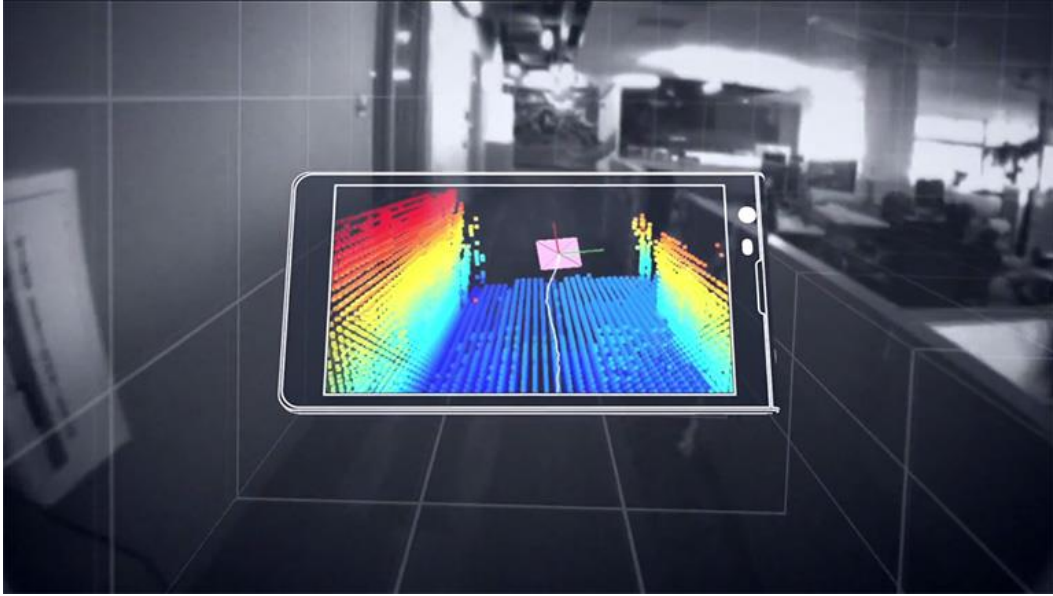
“Akıllı ulaşım sistemlerinde araç tespiti ve çeşitli ortamlardaki uygulamaları: Bir inceleme” başlıklı çalışma ise değişen ortamlarda araç algılama konusundaki literatürün bir incelemesini sunmaktadır. Yolda sürüş ortamlarının değişkenliği nedeniyle araç algılamada, farklı sorunlar ve zorluklarla karşılaşabilmektedir. Bu nedenle, birçok yaklaşım önerilmiş olup bu yaklaşımlar, görünüm tabanlı yöntemler ve hareket tabanlı yöntemler olarak ikiye ayrılmıştır. Ayrıca özel aydınlatma, hava durumu ve sürüş senaryoları, metodoloji ve nicel değerlendirme açısından ele alınmıştır (Z. Yang & Pun-Cheng, 2018).

“Akıllı Ulaşım Sistemleri için Sensör Teknolojileri ile Araç Tespiti ve Trafik Tahmini” isimli çalışma ile müdahaleci (invaziv) ve müdahaleci olmayan sensörleri kullanarak araç algılama yöntemleri gözden geçirilmiştir. Araç ve nesne tespit ve tahmin algoritmalarının incelendiği bu literatür taramasında, bu teknolojilerin AUS’un doğru entegrasyonunun; özellikle yol emniyeti, güvenliği ve optimizasyonu konusunda gerekli verilerin sağlanmasında, önemli rol oynayacağı belirtilmiştir. Bu gerekli veriler; araç sayısı, sınıflandırması, anlık konumu, hızı, trafik hacmi, yoğunluğu, trafik tahmini gibi modern trafik mühendisliğinin temel değişkenleridir. Sensör teknolojileri ile entegrasyon da performansı artıracaktır (Tasgaonkar vd., 2020).

“Perspektif görünüm yamalarının kompozisyonlarını kullanarak üstten balıkgözü görüntülerde verimli yaya algılama” başlıklı çalışmada, üstten balıkgözü kameralarla çekilen görüntülerde yürüyen insanların tespit edilmesi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Mevcut olan düzenekler, perspektif görüntüler için tasarlanmış olsa da üstten hem sabit hem hareketli kamera işlevi gören kameralardan elde edilen görüntülerde, insanların yön değişikliği nedeniyle başarılı bir şekilde çalışmamaktadır. Önerilen yaklaşımda, balıkgözü görüntüsünden birçok perspektif görünüm oluşturulmuş ve bu görünüm birleştirilerek bir kompozit görüntü elde edilmiştir. Bu kompozit görüntüdeki insanlar, daha fazla dik durdukları, perspektif görüntüler için tasarlandığı ve eğitildiği için mevcut düzenekler direkt olarak uygulanabilmekte, ek eğitim gerektirmemektedir. Ayrıca, perspektif görünüm kullanılarak balıkgözü karedeki tespit sınırlamalarının nasıl haritalanacağı üzerine geliştirilmiş yöntem de açıklanmıştır. Birçok genel

veri kümesindeki tespit performansının, mevcut son durum teknolojisi sonuçlarıyla karşılaştırıldığında avantajlı olduğu gözlenmiştir (Chiang vd., 2021).

“K-AUS uygulaması için yapay zekâ tabanlı araç tespit ve takip sisteminin geliştirilmesi” başlıklı araştırmada önerilen takip yöntemi; araç tespit oranı, araç tipi sınıflandırması, yol durumu tahmini, trafik hacmi tahmini ve kuyruk uzunluğu tahmininden oluşan beş farklı değerlendirme kriterine göre binlerce farklı örnekle test edilmiştir. Sonuçlar, araç tespit performansının %99, araç tiplerinin sınıflandırılmasında %20’nin altında hata oranı olduğunu göstermiştir. Yöntem; yol tahmini, trafik hacmi tahmini ve kuyruk uzunluğu tahmini konularında da yüksek doğruluk göstermektedir. Önerilen yöntemde, araç tespiti ve araç türü sınıflandırması için derin öğrenme tabanlı bir yaklaşım kullanılmıştır. AI’yı ve yüksek çözünürlüklü haritalama tekniklerini birleştiren yaklaşım, araç tespit ve takip sistemlerinin geliştirilmesi adına büyük bir potansiyele sahiptir (Tak vd., 2021). Şekil 9’da görüntü algılama teknolojisi konseptini içeren örnek bir görsel yer almaktadır (TechInside, 2014).



Şekil 9. Görüntü Algılama Teknolojisi Konsepti

Görüntü algılama teknolojileri kapsamında gerçekleştirilen nesne algılama, bilgisayarlı görü alanında temel bir araştırma konusudur ve akıllı ulaşımında kısa, orta ve uzun vadede önemli bir rol oynama potansiyeline sahiptir. Kamera görüntüleri üzerinden yapılan nesne algılama, akıllı araçlarda çevre algısı için kullanılan teknolojilerden birisidir. Nesne algılamanın, araçlar ve K-AUS unsurlarının görsel veriyi algılama ve işleminde önemli bir teknoloji olduğunu göstermek amacıyla 2021 yılında yapılan “Akıllı ulaşım sistemlerinde araç tespiti için derin öğrenme tabanlı algoritma” başlıklı çalışmada, derin öğrenme teknolojilerine, özellikle

evrişimli sinir ağı (CNN) ve sinir ağı modellemesine dayalı bir hedef tespit algoritması geliştirilmiştir. Bu model, araç tanıma için gerçek trafik alanı kullanılarak test edilmiştir. Klasik hareketli cisim algılama algoritmalarının temeli olan CNN derin öğrenme tabanlı bir modelle eğitilen sistemle %99,82 nesne tanıma başarısı elde edilmiştir (Qiu vd., 2021).

“K-AUS Toplu Algısı için Bir Prototipin Uygulanması ve Gecikme Değerlendirmesi” başlıklı araştırmada, ETSI standartlarına göre toplu algılama hizmetinin bir prototipinin uygulanması üzerine çalışılmıştır. Prototip, belirli K-AUS mesajları aracılığıyla bilgilerin paylaşılmasına yönelik bir haberleşme olanağının yanı sıra, paylaşılacak kullanılabilir bilgiler elde etmek için sensörlerin ham verilerini işleyen bir platformun geliştirilmesini içermektedir. Diğer bir katkı; geliştirilen prototipte, uygulama sırasında elde edilen uçtan uca gecikme verisinin değerlendirilmesidir. Ölçümler, yol kenarı biriminden araçlara bilginin sağlanma süresinin, ilgili standartlarda önerilen eşik altında olduğunu göstermiştir. İlk kez tespit edilen nesnelere için 250 ms’lik bir gecikme tahmin edilirken zaten izlenen nesnelere için gecikme 157 ms olarak ölçülmüştür. Bu durum, prototipin, bağlantılı araçlara faydalı bilgi sağlamak için etkili bir şekilde çalışabileceğini göstermiştir (Pacella vd., 2021).

Algılama ve görüntüleme teknolojilerinin, geleneksel radar veya döngü dedektörleri teknolojilerine göre en büyük avantajları, uygun kurulum koşullarında daha yüksek doğrulukta tespit yapmaları ve bakım maliyetlerinin düşük olmasıdır. Bu teknolojiler, özellikle derin öğrenme algoritmalarının doğruluk ve süre veriminin artması ile önemli veri kaynaklarından biri haline gelmiştir. K-AUS alanında, özellikle bağlantılı ve otonom araçların algılama ve görüntüleme sistemleri, kamera görüntülerinden veri toplayan, derinlik algılayan, nesne tespit eden vb. sistemlerin veri kaynağıdır. Günümüzde bu teknolojilerin temel işlevlerini yerine getirirken filtreleme gerektirmesi, ışığa bağımlı olması ve çevresel hareketlerden etkilenmesi gibi karşılaştığı zorluklar bulunmaktadır. Genel olarak araç içi sensörler, belirli dış hava koşullarında (örneğin şiddetli yağmur, sis ve kar) düşük performans sergilemektedir. Kamera tabanlı sensörler, daha yüksek hesaplama gücü gerektirmekte ve ışık koşullarına karşı hassastır. Ayrıca, kamera sistemlerinin performansı, gölgeler ve ışık geçişleri nedeniyle azalmaktadır. Aktif sensörler (örneğin radar ve LIDAR); farklı hava ve aydınlatma koşullarında makul performans gösterir, ancak diğer sensörlerin oluşturduğu parazitlerden etkilenir (Sarker vd., 2020). Sisli veya yağışlı havalarda düşen görüntü kalitesi, görüntü kaynağının hareketleri veya görüntü kaynağının zarar görmesi gibi konular, güncel sorunlar arasındadır. Bu sorunların üstesinden gelinmesi; robotik, otonom araç teknolojileri ve veri kaynağı oluşturabilecek her türlü teknolojinin daha ileriye gitmesine olanak sağlayacaktır.

3.6. Büyük Veri ve Açık Veri

Son yıllarda, teknolojideki hızlı ilerlemenin bir sonucu olarak verilerin hacmi, çeşitliliği ve kullanılabilirliği hızla artmaya devam etmektedir. Trafik güvenliği konusunda yapılan araştırmaların çoğunda kullanılan veriler; daha önce çoğunlukla polis kaza raporu verileri (elle yazılmış ancak dijital ortama aktarılmamış) gibi manuel olarak toplanan veriler ve tahmini toplanmış statik trafik hacmi (örneğin, AADT) verileridir. Bu durumda, dinamik trafik akışı verileri ve sürüş davranışı verileri gibi verilerin mevcut olmaması nedeniyle bazı güvenlik analizleri gerçekleştirilememiştir. Dedektörlerin ve diğer veri kaynaklarının kurulumlarının yaygınlaşması; AUS'un hızla gelişmesine, bağlantılı ve otonom araçların ortaya çıkmasına yol açmış; insan, araç, yol ve çevre ile ilgili toplanan veri miktarının hızla artmasına neden olmuştur (Lian vd., 2020).

AUS alanında veriler akıllı kart, GPS, sensörler, video dedektörleri, sosyal medya gibi çeşitli kaynaklardan elde edilebilmektedir. Sensörler, araçlar ve diğer veri kaynaklarından toplanan veriler; AUS uygulamalarını ve hizmetlerini daha verimli, emniyetli ve güvenli bir hale getirmeyi amaçlamaktadır. AUS'un hızla yaygınlaşmasıyla birlikte, trafik alanındaki büyük veri, geniş coğrafi ölçekte, birden fazla kaynaktan sürekli olarak toplanmaktadır. Ancak veriler büyüdükçe, bu verinin iletilmesi ve işlenmesi de zorlaşmaktadır. Bu nedenle büyük verileri depolama, işleme ve aktarım sistemlerinde yaşanan gelişmeler; AUS konusunda önemli zorlukların aşılmasına büyük katkı sağlamaktadır. Böylelikle yol emniyeti, güvenliği, sürücü konforu, trafik güvenliği ve yolculuk verimi konularında önemli bir iyileşme gözlenebilmektedir. AUS'un gelişmesiyle birlikte, AUS'ta üretilen veri miktarı Trilyonbayt seviyesinden Petabayt'a kadar yükselmektedir. Bu miktarda veri göz önüne alındığında, geleneksel veri işleme sistemleri verimsizdir ve veri analitiği ihtiyacını karşılayamamaktadır.

AUS'un, büyük veri analitiğinden faydalandığı alanlar aşağıda özetlenmiştir:

- AUS'ta üretilen çok miktarda çeşitli ve karmaşık veriler, büyük veri analitiği ile analiz edilebilir. Büyük veri analitiği üç sorunu adreslemektedir: i) veri depolama, ii) veri analizi ve iii) veri yönetimi. Apache Hadoop ve Spark gibi büyük veri platformları, büyük miktarda veriyi işleme kapasitesine sahiptir, akademi ve endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Büyük veri analitiği, AUS operasyon verimliliğini artırabilir. AUS'un birçok alt sisteminde, bilgi vermek veya trafiği yönetmek için karar vermek üzere büyük miktarda veriyi işlemesi gerekir. Hızlı veri toplama ve mevcut ve geçmiş büyük trafik verilerinin

analizi yoluyla, trafik yönetimi birimi, trafik akışını gerçek zamanlı olarak tahmin edebilir. Toplu taşıma büyük veri analitiği, yönetim biriminin, ulaşım ağındaki binicilerin yolculuk modellerini öğrenmesine yardımcı olabilir ve bu da daha iyi toplu taşıma hizmeti planlaması için kullanılabilir. Ulaşım uygulama geliştiricilerinin büyük veri analitiği, kullanıcıların hedeflerine en uygun rotada ve mümkün olan en kısa sürede ulaşmalarına yardımcı olabilir.

- Büyük veri analitiği, AUS uygulamalarının emniyet ve güvenlik seviyesini artırabilir. Gelişmiş sensör ve algılama teknikleri kullanılarak büyük miktarda gerçek zamanlı ulaşım bilgisi elde edilebilir. Büyük veri analitiği sayesinde, trafik kazası oluşumu etkili bir şekilde tahmin edilebilir. Kazalar meydana geldiğinde veya acil kurtarma gerektiğinde, büyük veri analitiği tabanlı sistemdeki gerçek zamanlı yanıt yeteneği, acil kurtarma yeteneğini büyük ölçüde geliştirebilir. Büyük veri analitiği, ayrıca üstyapı bozulması, balast yaşlanması gibi varlık sorunlarını tespit etmek için yeni fırsatlar sunabilir. Uygun bir zamanda bakım kararı alınmasına yardımcı olabilir ve aracın veya altyapının arıza durumuna geçmesini önleyebilir (Zhu vd., 2019). Şekil 10'da büyük veri konseptini temsil eden bir görsel yer almaktadır (Riskinsight, 2022).

“Akıllı ulaşım sisteminde büyük veri algoritmaları ve uygulamaları: Bir inceleme ve bibliyometrik analiz” başlıklı 2021 yılında yayınlanan çalışmada, K-AUS kapsamında kullanılan ve en çok tanınan büyük veri algoritmaları gözden geçirilmiştir. Bibliyometrik analiz, belirli bir alanda belirli bir dönemde üretilmiş yayınlar ve bu yayınlar arasındaki ilişkinin sayısal olarak incelenmesi sürecidir. Bu amaçla 1997-2019 arasında yayınlanmış 586 tez incelenmiş, büyük veri algoritmalarının uygulamalarına ilişkin derin bir analiz ortaya çıkarılmıştır (Kaffash vd., 2021). Bu incelemede ve bibliyometrik analiz kapsamında yapılan tüm çalışmalarda; büyük verinin K-AUS'un geleceği ile ilgili en değerli faktörlerden biri olduğu, aynı zamanda diğer faktörlerin teknolojik olarak ilerlemesinde de önemli bir eşik oluşturduğuna değinilmektedir.



Şekil 10. Büyük Veri

2022 yılında yapılan “K-AUS Kapsamında Verimli Büyük Veri İletimi için Analitik Sayfa Yayma Modeli” başlıklı çalışmada, gelecekteki servis ve bulut tabanlı AUS’un, büyük ölçüde gelişmiş veri işleme yeteneklerinden yararlanabileceği belirtilmektedir. Bu nedenle karar verme yeteneklerini desteklemek için yeni büyük veri işleme ve madencilik tekniklerinin geliştirilmesinin ve uygulanmasının gereklilikleri tartışılmıştır. Bu çalışma, AUS uygulamalarında, gerçek dünya senaryolarının gerekliliklerini belirtmekte ve sonraki nesil büyük veri analizi ve optimizasyon stratejilerinin önemini vurgulamaktadır. Çalışmada, merkezi olmayan kooperatif veri işleme ve madencilik yöntemleri incelenmiş ve gerçek dünya veri modelleri olan Hannover şehrinin verileri kullanılarak modelin etkisi değerlendirilmiştir. Aynı zamanda, K-AUS alanındaki hızlı gelişmeler, sensör ağları için dağıtık taşımada (DTSN’de), ağ kodlaması kullanan kod dağıtım protokollerinin veri iletim verimliliğini etkin bir şekilde değerlendirmeyi bir aciliyet haline getirmiştir. DTSN; tek veya birden çok sensörden veri toplayan sensör ağları haberleşmesi için güvenilir bir taşıma protokolü olup bu çalışmada, öncelikle K-AUS içinde demiryolu altyapısını uzaktan izlemek için DTSN’nin genel yapısı inşa edilmiştir. İkinci olarak var olan modellerin, tahmin verileri ile gerçek dünya verileri arasındaki sapmasını azaltmak için yayma zaman modeli önerilmiştir. Üçüncü olarak veri iletim verimliliğini daha da iyileştirmek için ateş böceği algoritması tasarlanmıştır. Algoritma, kısıtlamaların işlenmesi için uygulanabilirlik kuralları oluşturmakta ve veri parçalanmasından dolayı kaybedilecek olan zamanını azaltmak için en uygun veri parçasını döngülerle aramaktadır. Deneyler, önerilen modelin tahmini sonuçları ile simülasyon sonuçlarının uyumlu olduğunu ve kod görüntülerinin DTSN içinde hızlı ve verimli bir şekilde dağıtılabildiğini göstermiştir (L. Yang vd., 2022).

Büyük veri analitiğinin en sık araştırılan uygulaması olan insan hareketliliğinin mekânsal-zamansal özellikleri; akıllı trafik, akıllı şehir planlaması, akıllı sağlık, akıllı güvenlik, akıllı ticaret vb. gibi birçok disiplinde, akıllı şehir gelişimini kolaylaştırmak için kullanılabilir. Örneğin; sensörlerden toplanan ulaşım verisi ile coğrafi bilgi teknolojilerinden ve sosyal medyadan elde edilen veriler, insanların katılımını ve ortak karar verme süreçlerini birleştirebildiği için kooperatif ulaşımın kolaylaştırılmasında kilit rol oynamaktadır. Bu kapsamda, insan hareketliliğinin akıllı şehir planlamasında dikkate alınabilecek olması, önemli bir adımı temsil etmektedir (Wang vd., 2020).

Büyük veri teknolojileri, işlemci teknolojileri ve haberleşme teknolojileri ilerlese de veri boyutundan dolayı çözülmesi gereken sorunlara sahiptir. Bu teknoloji, şu anda Hadoop⁴, Spark⁵, Skala⁶ gibi sektörde ve akademide kullanılan büyük veriyi, hızlı şekilde depolayan ve işleyen sistemler ile verimli şekilde işlenmektedir. Ayrıca belirli yazılım dilleri için bu sistemlerin entegre olduğu pyspark⁷ gibi kütüphaneler bulunmaktadır. Ancak bu büyük verilerin depolanması, işlenmesi ve sonuçların takip edilmesi konusundaki gelişmeler, daha hızlı tepki verebilen sistemlerin ortaya çıkmasına aracı olma potansiyeline sahiptir. Daha hızlı iletilen büyük veriler daha hızlı şekilde işlendiği takdirde; anlık duruma göre daha doğru tahminler yapabilen AI algoritmaları, dinamik otonom sürüş sistemleri veya daha refleksif akıllı sinyalizasyon sistemleri geliştirilebilecektir.

Açık veri, herhangi bir şahıs veya kuruluş tarafından toplanmış veya üretilmiş verilerin, özel bir amaç için değil, herkes tarafından kullanılabilir ve dağıtılabilir olarak yayınlanmasıdır. Açık veri, birçok farklı alanda kullanılabilir ve genellikle verilerin toplandığı ve işlendiği alanların verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır.

Açık verilerin kullanımı, şehir yetkilileri ve denetçileri tarafından, uygun maliyetli tasarımlar ve uygulamalar geliştirilerek belirli bölgelerde yaşayan bireylerin seyahat davranışlarına ilişkin küresel düzeyde bir anlayış oluşturmayı amaçlamaktadır. Açık veri ve açık kaynak ulaşım çerçeveleri; toplu taşıma bağlantısını modellemek, bisiklet paylaşım sistemlerini geliştirmek ve modellemek, toplu taşıma güzergâh verilerini toplamak, gerçek zamanlı alternatif rota bilgileri

⁴ Hadoop, MapReduce programlama modelini kullanan, JAVA programlama dili ile geliştirilmiş popüler, açık kaynaklı bir Apache projesidir.

⁵ Spark, büyük verileri analiz eden uygulamaların performansını artırmak için bellek içi işlemeyi destekleyen açık kaynaklı bir paralel işleme çerçevesidir.

⁶ Skala, Java geliştirme topluluğuna işlevsel programlamayı getirmek üzere 2004 yılında hayata geçirilmiş bir programlama dilidir.

⁷ Pyspark, Spark sistemlerinin python diline entegrasyonunu sağlayan kütüphanedir.

sunmak, trafik güvenliği verilerini izlemek ve belgelemek ve seyahat süresi anketleri yapmak için kullanılabilir (Biyik vd., 2021).

“Yeni Nesil Akıllı Ulaşım Sistemleri İçin Büyük Veri İşleme ve Madenciliği” başlıklı 2013 yılında yapılan çalışma, gelecekte haberleşme teknolojilerinin uygulamaya alınmasının; AUS’a yönlendirilmesi, iletilmesi, yorumlanması, birleştirilmesi ve analiz edilmesi gereken büyük miktarlarda gerçek zamanlı veri oluşturacağından bahsetmektedir. Bu teknolojiler, AUS’un etkinliğini ve kullanıcı dostu olma özelliğini büyük ölçüde artırmakta ve önemli ekonomik ve sosyal etki sağlamaktadır (Fiosina vd., 2013).

Germany Trade and Invest şirketinin 2016 yılında yapılan “Büyük Veride Mükemmellik” başlıklı kapsamlı çalışmasında, Almanya’daki K-AUS çalışmalarından ve Almanya’daki şirketlerin bu alandaki ilerleme durumları ele alınmıştır. 2016’nın başlarında HERE isimli şirket, dünyanın en gelişmiş bulut tabanlı uygulamalarından olan HERE HD Live Map’i tanıtmıştır. Sürekli güncellenen haritalama varlıkları sağlayan haritalama hizmeti, ADAS’ı ve yüksek oranda otonom sürüş çözümlerini desteklemektedir. Katmanlar neredeyse gerçek zamanlı olarak güncellenmektedir. Bu katmanlar, gerçek zamanlı karayolu ağı değişikliklerinin veri akışı ile verimli bir şekilde iletilmesinde büyük veri modelinden yardım almaktadır (Bitkom, 2016).

“D2D (cihazdan cihaza) Tabanlı Kooperatif Araç Ağlarında Güvenilir İçerik Dağıtımı: Büyük Veriye Entegre Bir Koalisyon Oyunu Yaklaşımı” başlıklı 2018 yılında yapılan araştırmada, büyük veri tabanlı araç yörünge tahmini ile araçların iş birliği içerisinde olduğu bir sistem birleştirilerek V2V ile kooperatif araç ağlarında güvenilir içerik dağıtımının nasıl elde edileceği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmanın, diğer sezgisel şemalara kıyasla ortalama ağ gecikmesi ve içerik dağıtım verimliliği açısından üstün performans elde edebileceğini göstermiştir (Z. Zhou vd., 2018).

Birleşik Krallık Ulaştırma Departmanı’nın 2018’de yayınladığı “Birleşik Krallık’ta Akıllı Ulaşım Sistemleri” başlıklı ilerleme raporu, Birleşik Krallık’ta AUS alanında yapılan çalışmaları ve gelecek perspektifini incelemiştir. Rapora göre trafik ve seyahat verileriyle ilgili erişilebilir bilgiler, insanların ve işletmelerin faaliyetlerini planlamalarını, pazarlara daha kolay erişmelerini ve stratejik yatırım kararları almalarını sağlamada hayati öneme sahiptir. Bu nedenle bu tür veriler; daha etkin lojistik, altyapı planlaması ve karayolu ve toplu taşıma ağlarının daha iyi çalışmasını desteklemektedir. Verimsiz seyahat ve ulaşımın ekonomik maliyeti yüksektir ve seyahat, trafik ve yol kesintisi verilerine açık erişim ile bu yük hafifletilebilir. Açık veri gündemi, kamu maliyesinde şeffaflık ve kamu hizmetlerinin işleyişine

olan bağılılığın yanı sıra, halka daha iyi hizmet sunma ve seyahat tercihlerini bilgilendirme fırsatları da sunmaktadır. Trafik koşullarına ilişkin açık veriler, tüm yol kullanıcılarına fayda sağlayabilmektedir. Örneğin Cycle Streets, Yol Ağları için Açık Veri, Londra için Ulaşım Açık Verisi girişimleri ile ulaşım sektörüne yönelik açık veri paylaşımı yapılmaya başlanmıştır. Bu açık veri platformları üzerinden yayınlanan açık veri ile yol kullanıcılarına sağlanan hizmetlerin geliştirilmesi ve faydaların artırılması hedeflenmiştir. (UK Department for Transport, 2017).

“Otonom Araçlar için Sensör Büyük Veri İşleme Sisteminin K-AUS Ortamında Uygulanması” başlıklı 2020 yılında yapılan çalışmada, daha önce tanımlanmış merkezi yerel dinamik haritanın (LDM'nin), araç ve yol durumu bilgilerini sağlama işlevini geliştirmek için bir platform tasarlanması ve geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu platform, yol kenarı yerleşik birimi ve denetleyici alan ağlarından; kamera, lazer ve GPS sensörlerine bağlı otomobil büyük verisini toplama ve depolama yelpazesini genişletmeyi hedeflemektedir. Platformda toplanan araç verileri kullanılarak yapılan analizlerle mevcut yolların kapsamı genişletilebilecek ve potansiyel geliştirilmiş yol durumu belirleme yöntemleri elde edilebilecektir. Bu platform, bağlantılı otomobil büyük verilerini toplamak ve depolamak için Hadoop ve Spark sistemlerine uygun olarak tasarlanmıştır (Yoo vd., 2020).

Avrupa Veri Portalı tarafından 2020 yılında yayınlanan “Açık Veri Olgunluğu Raporu 2020” çalışmasında, Avrupa ülkelerinin açık veri yaklaşımları üzerine bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme kapsamında, üç farklı trend tespit edilmiştir. Bunlar; Covid-19 pandemisine bağlı olarak açık verinin gerekliliğinin farkına varılmış olması dolayısıyla ülkelerin veri paylaşmaya başlaması, ülkelerin paylaştığı verilerin kalitesinin artması ve açık veri kullanılarak uygulamaya alınan aksiyonların etkilerinin düzenli olarak incelenmesidir. Buna ek olarak ülkelerin açık veri paylaşımı olgunluğu üzerine de bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmeye göre Avrupa ülkeleri 2019 yılına kıyasla 2020 yılında daha çok ve daha kaliteli açık veri paylaşımı yapmıştır (European Data Portal, 2018).

Açık veriler, AUS'un daha büyük kitlelere erişebilmesi için önem arz etmektedir. Bu konudaki ilerlemeler; akademi, özel sektör, kullanıcılar ve her türlü paydaşın belirli bir teknolojiyi kullanabilmeleri ve geliştirebilmeleri için gereklidir. Birçok paydaşın kaynağını oluşturacağı açık veri kaynakları ise verilerde gürültü, hatalı veri girişi gibi problemleri beraberinde getireceği için filtreleme sistemleri ile birlikte, ürün olarak sunulması faydalı olacaktır. Bu sayede geliştiriciler ve kullanıcılar doğru, hatasız ve uygun veriye ulaşabileceklerdir.

3.7. Blokzincir Teknolojisi

Blokzincir, 2008 yılında anonim bir kişinin (veya grubun) bir blokzincir uygulaması olan Bitcoin'i tanıtan tanıtım yazısını yayınlamasıyla popülerlik kazanan merkezi olmayan bir teknolojidir (Avalanche, 2024). Blokzincir, hiçbir üçüncü tarafın verileri kontrol etmediği ve paydaşlar arasında güvenin gerekli olmadığı, merkezi olmayan bir ortam sunmaktadır (Karger vd., 2021). Blokzincir, aşamalı olarak şifrelenmiş bir veri oluşturma ve saklama teknolojisidir. Bu şifrelenmiş veri akışları, birbirlerine bağlı bir dizi bloktan oluşur ve bu bloklar birbirlerine kriptografik bir bağlantı ile bağlıdır. Bu sayede, her blok bir önceki bloğun değiştirilemez bir kopyasını saklar ve bu bloklar arasındaki bağlantılar sayesinde, veri tabanındaki herhangi bir verinin değiştirilmesi veya eklenmesi diğer blokları etkilemektedir. Bu teknolojinin güvenilir ve değiştirilemez bir veri saklama yapısı sunması nedeniyle AUS dahil birçok farklı alanda da kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 11'de blokzincir teknolojisini temsil eden bir görsel yer almaktadır (Patriot Software, 2022).



Şekil 11. Blokzincir

Blokzincirin ağ içindeki katılımcılara sunduğu avantajlar aşağıda listelenmiştir:

- İşlemler şeffaftır ve merkezi bir otoriteye ihtiyaç duymadan herkesin kontrol etmesi ve doğrulaması için halka açıktır.
- İlgilerin şeffaflığı taraflar arasındaki orta katmanın ortadan kaldırılması nedeniyle işlemlerin ve bilgi alışverişinin daha hızlı işlenmesine olanak tanır.

- Bir hesapla ilişkili bir dizi genel ve özel anahtarın varlığından dolayı bilgiler kamuya açık olmasına rağmen anonim kalır.

Blokzincir; sağlık hizmeti, tedarik zincirlerinin iyileştirilmesi, akıllı şehir uygulamaları ve e-ticaret gibi birçok farklı alan ve kullanım durumu için potansiyel oluşturmaktadır. Örneğin blokzincir ile doğrudan bağlantılı olarak kullanılan akıllı sözleşmeler⁸, ödemelerin ve para birimlerinin veya diğer varlıkların transferinin yürütülmesine ve otomatikleştirilmesine izin vermektedir (Karger vd., 2021).

Akıllı şehirler ve blokzincir konusunda yapılan araştırmalar, akıllı hareketlilik kapsamında blokzincirin potansiyeline işaret etmektedir. Örneğin, bu teknoloji bireylerin kişisel hareketlilik bilgilerini ve mahremiyetlerini koruyabilir.

Akıllı şehirlerde blokzincir teknolojisi uygulama alanlarından bazıları aşağıdaki gibidir (Ullah vd., 2023):

- Gıda Tedarik Zinciri
- Turizm Sektörü
- Akıllı Sağlık
- Telekom Endüstrisi
- Enerji Yönetimi
- Akıllı Ulaşım Sistemi (Bağlantılı ve otonom araç, elektrikli araç, V2I, V2V, V2N, V2G vb.)

Blokzincir; merkezi olmaması, şeffaflığı ve değişmezliği nedeniyle otomotiv ağlarında merkezi olmayan bir güven yönetim sistemi kurmak için uygun bir teknolojidir. Blokzincir teknolojisi ve akıllı sözleşmeler, elektrikli araçlar ve şarj istasyonları arasında merkezi olmayan ve şeffaf enerji ticaretini kolaylaştırma potansiyeline sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları da izlenebilirlik ile desteklenebilmekte ve yakıt ikmali için kullanılan enerji türü hakkında bilgi sağlayabilmektedir. Blokzincir, merkezi olmayan AUS'un ve merkezi olmayan araç uygulamalarını etkinleştirme potansiyeline sahiptir (Karger vd., 2021).

Akıllı ulaşım endüstrisinde blokzinciri konusunda yapılan çalışmalar, henüz araştırma aşamasındadır ve birçok çalışma, blokzincir tabanlı trafik güvenliği veri paylaşım sistemlerinin kurulması gibi konulara odaklanmaktadır.

⁸ İlk olarak Nick Szabo tarafından önerilen akıllı sözleşmeler, belirli koşullar karşılandığında sözleşme maddelerini otomatik olarak uygulayan bilgisayarlı protokollerdir. Bir uygulamaya örnek olarak, bir sevkiyat teslim edilir edilmez bir tedarikçiye yapılan ödeme verilebilir.

Akıllı ulaşım sistemlerinde, geleneksel güvenlik ve gizlilik yöntemleri yetersiz kaldığı durumlar olabilmektedir. Geleneksel bir veritabanı sistemi yerine, blokzincir kullanıldığında çözülebilecek başlıca sorunlar aşağıda özetlenmiştir (Abbas vd., 2021):

- *Görev Dağılımı:* Dağıtık sistemler, hatadan çok etkilenmemektedir. Blokzincir ağındaki düğümler, bir düğümün arızalanması durumunda tüm sistemi yok etmemektedir. Ağda blokzinciri yönetebilen başka düğümler vardır. Blokzincir düğümünde saklanan bilgiler, ağdaki tüm düğümlere kopyalanmaktadır. Bir düğümün güvenliği ihlal edildiğinde, bir bilgisayar korsanının verileri işlemek için tüm düğümlerin bilgilerini değiştirmesi gerekirken; veritabanı sunucusunun güvenliğinin ihlal edilmesi durumunda tüm sistem etkilenmektedir.
- *Genel Maliyet Azaltma:* Kurumlar, dağıtık düğümlerden oluşan bir ağ aracılığıyla bir blokzincir defteri tutarak barındırma, güvenlik ve bakım maliyetlerini düşük tutabilir. Çok sayıda bilişim personel maliyetini ve çok sayıda operasyonel ve altyapı yükünü ortadan kaldırabilir.
- *Değişmezlik:* Blokzincir; değiştirilemeyen bilgileri depolar. Bu, blok onaylandıktan sonra artık değiştirilemeyeceği anlamına gelir. Pek çok düğüm, bilgileri güvenli bir dijital defterde sakladığından, manipülasyona ve kurcalamaya karşı koyabilir.
- *Şeffaflık:* Blokzinciri, geleneksel veritabanlarına kıyasla güvenilir kılan temel bir işlevidir. Bu, herhangi bir blokzincir denetimini esnek hale getirmektedir.
- *Güvenlik:* Blokzincir, gelişmiş kriptografik teknoloji ve merkezi olmayan bir ağ kullandığı için güvenli bir ortam sağlamaktadır. Bir bloktaki verileri düzenlemek çok fazla bilgisayar kaynağı gerektirmektedir. Bu ideal değildir çünkü potansiyel bir bilgisayar korsanı ağdaki her düğümün verilerini değiştiremez. Bu özellik, blokzincirin bilgisayar korsanlarından korunmasına yardımcı olmaktadır.

K-AUS ve blokzincir teknolojisi, birbirleriyle entegre olarak kullanılma potansiyeli yüksek unsurlardır. Örneğin, K-AUS uygulamalarında kullanılan sensörler ve araçlar arasındaki haberleşme verileri, bir blokzincir veri tabanında saklanabilir. Bu sayede, verilerin güvenilir bir şekilde saklanması ve değiştirilememesi sağlanabilir. Ayrıca, verilerin paylaşılması ve kullanılması için bir merkezi otoriteye ihtiyaç duyulmaz.

Araç şirketlerinden Hyundai, 2019 yılında akıllı telefon tabanlı performans kontrol teknolojisini tanıtmıştır. Bu teknoloji, sürücülerin akıllı telefonlar aracılığıyla yedi ana performans özelliğini ayarlamasına olanak tanımaktadır. Kullanıcıların bilgileri blokzincir teknolojisi ile korunurken kullanıcının özel ayarları çevrimiçi olarak paylaşılabilir (Hyundai, 2019).

“Blokzincir Tabanlı Trafik Adli Verileri İçin DID Uygulama Yöntemleri Üzerine Çalışma” başlıklı 2021 yılında yapılan bir araştırmada, blokzincir tabanlı trafik adli verileri için DID (merkezi olmayan kimlik) uygulama yöntemlerinden bahsedilmiştir. DID, merkezi bir otoriteye bağlı olmadan, internet üzerinde kendinizi tanımlamanın bir yöntemidir. Bu çalışmada, sensörler tarafından üretilen dijital verileri kullanarak bir trafik soruşturma çerçevesi önerilmektedir (Yoon vd., 2021).

Blokzincir ve K-AUS arasındaki mevcut ve gelecekteki muhtemel ilişkiler hakkında yapılan ve 2022 yılında yayınlanan “GOLIATH: Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Veri Toplama için Merkezi Olmayan Bir Çerçeve” başlıklı çalışmada, yalnızca hizmet sağlayıcının toplanan verilere tam erişime sahip olduğu merkezi model yerine, gerçek zamanlı bilgi toplamak için Araç İçi Bilgilendirme ve Haberleşme Sistemini (ABHS) kullanan Blokzincir tabanlı merkezi olmayan bir altyapı modeli sunulmuştur (Maffiola vd., 2022).

Araçlar için geçici ağlarda (VANET’lerde), blokzincir tabanlı merkezi olmayan trafik bilgisi yönetimi ile ilgili 2022 yılında yayınlanan “VANET’te Blokzincir Tabanlı Merkezi Olmayan Yol Trafik Veri Yönetiminin İncelenmesi ve Tasarımı” başlıklı çalışmada, VANET’ler sayesinde, araçlar arasında trafik akışının düzenlenebilir ve bu sayede kazaların önlenilebilir olduğu görülmüştür. VANET; trafikte kablosuz ağ ile birbirine bağlanmış, hareket eden veya duran tüm araçları içeren sistemlerdir. Ayrıca, VANET’ler sayesinde; araçlar arasında, araç yolculuğu sırasında ortaya çıkan sorunlar veya yol koşulları gibi bilgiler paylaşılabilir. Bu sayede, araç sürücüleri bilgilendirilerek yolculuklar daha güvenli hale getirilebilmektedir. Önerilen şemaların performans analizi ve doğrulaması, gerçek senaryoların çeşitli simülasyonları yoluyla bu çalışmada gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, veri akışının blokzincir teknolojisi ile korunmasının, sistem elemanlarının veri gizliliği ve veri koruması konusunda daha güvende olmasını sağladığını göstermektedir (Diallo, 2022).

“Akıllı Ulaşım Sistemleri için Blokzincir Teknolojisi: Sistemik Bir Literatür İncelemesi” başlıklı 2022 yılında yapılan araştırmada, blokzincir tabanlı akıllı ulaşım sistemlerinde birleşik saldırı tespiti incelenmiştir. Bu çalışma, öğrenme sürecini, sunuculardan dağıtık araç uç düğümlerine aktararak saldırıları, verimli bir şekilde tespit etmek için bir derin öğrenme tabanlı bir saldırı tespit çerçevesi önermektedir. AUS ağlarını siber saldırılara karşı korumanın güvenilirliği tartışılmış ve iki farklı veri seti kullanılarak yapılan test çalışmaları ile doğrulaması yapılmıştır (Jabbar vd., 2022).

Araç blokzincir ağları tabanlı GPS hatası paylaşma çerçevesi ile ilgili 2022 yılında yapılan “Blokzincir Tabanlı Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Birleşik Saldırı Tespiti” başlıklı çalışma,

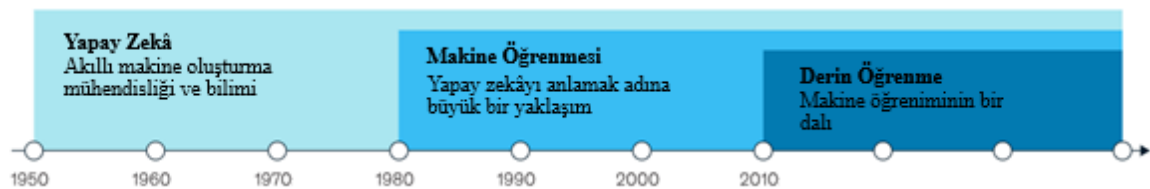
araçlar arasında GPS hatalarını paylaşmayı ve düzeltmeyi amaçlayan bir çerçeve önermektedir. Mevcut araç tabanlı GPS pozisyon doğruluğu, otonom sürüş ve AUS uygulamalarını desteklemek için yeterli olmadığından, önerilen çerçeve ile bir blokzincir ağı üzerinde çalışarak araçlar arasında GPS hatalarını paylaşmak ve düzeltmek amaçlanmıştır. Bu çözüm ayrıca, araçlar arasında veri paylaşımını ve iletişimini kolaylaştırmaktadır. Yol koşulları veya trafik durumu gibi veriler de GPS bilgilerinin yanı sıra paylaşılabilir ve bu sayede, araç sürücülerine daha güvenli ve detaylı bilgi sağlanmaktadır (Abdel-Basset vd., 2022).

Çalışmalardan görüldüğü gibi blokzincir teknolojileri AUS alanında yaygın kullanılmaya başlanan bir veri güvenliğini ve bütünlüğünü koruma teknolojisidir. Bu teknoloji, özellikle veri kaybını önlemek ve kişisel/kurumsal verilerin gizliliğini üst düzeyde korumak için yararlanılmaktadır. Bu da robotik, otonom sürüş teknolojileri veya trafik koordinasyon merkezlerinin, olası hatalı verilerin farkında olarak doğru kararlar vermesi için önemlidir. Bu nedenle blokzincir teknolojilerinin gelişimi, sistemlerin hata payını azaltarak daha güvenli veri akışını sağlayacaktır.

3.8. Yapay Zekâ, Makine öğrenmesi ve Derin Öğrenme

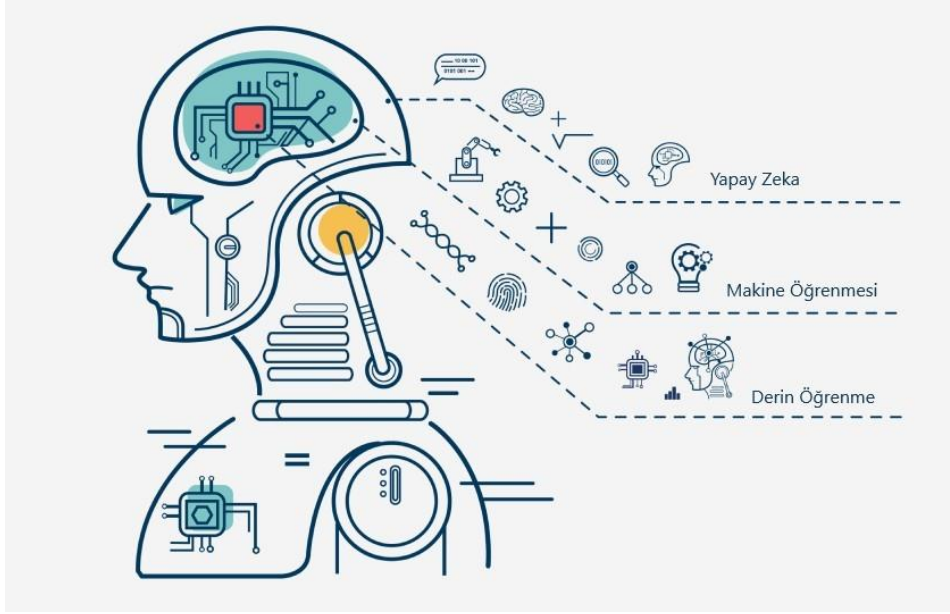
Yapay zekâ (AI); bilgisayarların ve makinelerin, insan zekasını ve problem çözme yeteneklerini taklit etmesini sağlayan bir teknolojidir. Tarih boyunca insanların yaptığı gibi yüz ve ses tanıma, karar verme ve çeviri gibi karmaşık görevleri yerine getirmek, optimize etmek, tahmin etmek gibi birçok farklı amaçla kullanılmaktadır.

Makine öğrenmesi ise AI'nın bir alt kümesidir. Doğru bir şekilde yapılandırıldığında, kör tahmin üzerinden alınan kararlardan kaynaklanan hataları en aza indiren doğru tahminleri yapmanıza yardımcı olmaktadır. Derin öğrenme, makine öğrenmesinin bir alt kümesidir. Makine öğrenmesi ile derin öğrenme arasındaki temel fark, algoritmaların kullandığı öğrenme yöntemleri ve ne kadar veri ile eğitildikleridir (IBM, 2023). Şekil 12'de bu teknolojilerin gelişimini özetleyen bir zaman çizelgesi yer almaktadır (McKinsey & Company, 2021)



Şekil 12. Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenmenin Tarihsel Gelişimi

Şekil 13'te, AI'nın makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknolojilerini kapsadığı görülmektedir (Insiris, 2019).



Şekil 13. Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme

AI, makine öğrenmesi ve derin öğrenme, doğru kullanıldıklarında sağladıkları faydalar ile birçok sektöre etkili çözümler sunmakta olup AUS, bu sektörlerden biridir. Bu yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler kullanılarak oluşturulan tahmin ve tespit algoritmaları, AUS alanında sıkça kullanılan sistemler arasında yer almaktadır. Örneğin, sensör verileri ve AI algoritmaları kullanılarak kaza, trafik sıkışıklığı vb. trafik olaylarının tespiti yapılabilmektedir. Gerçek zamanlı trafik verilerini kullanarak yakın gelecekteki trafik durumunun tahmini ise güncel olarak araştırılan ve yararlanılan sistemler arasındadır. Bu teknolojilerin AUS alanında kullanımının yanı sıra, K-AUS uygulamalarında kullanımı da büyük potansiyele sahiptir.

AI ve K-AUS, ulaşım sistemlerinin verimliliğini, güvenliğini ve çevre dostu yapısını daha yüksek kaliteye getirmeyi amaçlayan teknolojik çözümlerdir ve birbiriyle etkileşim içindedir. Örneğin, AI kullanılarak K-AUS sistemlerinde, makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri yardımı ile trafik akışını tahmin etmek ve bu bilgiyi araçlar arasında paylaşarak daha verimli bir şekilde yolculuk yapılmasını sağlamak mümkündür.

AI'nın K-AUS uygulamalarında kullanımında, makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknolojilerinden yararlanılacağı söylenebilir. Ayrıca, AI teknikleri ile K-AUS sistemlerinin güvenliğini artırmak ve kaza riskini azaltmak da K-AU ile AI etkileşiminin amaçları arasındadır. Bu şekilde, AI ve K-AUS teknolojileri, birbirlerini destekleyen ve tamamlayan teknolojilerdir.

“Akıllı ulaşım sistemlerinde yapay zekâ tekniklerinin kullanımı üzerine” başlıklı 2018 yılında yapılan araştırmada, nüfusun giderek artması ve hareketlilik ihtiyaçlarının karmaşıklığı nedeniyle gelişmiş hareketlilik sorunlarını çözmek için klasik ulaşım sistemlerinin, daha modern ve veri destekli sistemlerle geliştirilmesinin gerekliliği, temel bir problem olarak ele alınmıştır. Ayrıca, örneğin araç içi sensörlerden ve ağ cihazlarından toplanan büyük miktarda verinin işlenmesi gerektiğinde, geleneksel çözümlerin uygulanmasının tamamen etkili olmadığı birçok durumun olduğu da belirtilmiştir. Bu sorunların üstesinden gelmek için ulaşım ortamıyla ilgili farklı alanlara AI teknikleri uygulanmıştır. Bu araştırmada, AUS unsurlarının performanslarını iyileştirmek için uygulanan çeşitli AI teknikleri üzerine bir çalışma sunulmuştur. Özellikle uygulandıkları ana alana bağlı olarak bunlar, üç ana alanda gruplandırılmıştır: i) Araç kontrolü, ii) trafik kontrolü ve tahmini, iii) yol emniyeti, güvenliği ve kaza tahminidir. Bu çalışmanın sonuçları, özellikle ulaşımında üretilen büyük miktardaki verileri yönetmek ve analiz etmek için farklı AI tekniklerinin entegrasyonunun, AUS unsurlarının çalışma verimini ve performansını artırmakta etkili birer seçenek olduğu sonucuna varılmıştır (Machin vd., 2018).

Son yıllarda, gelişen trafik verisi toplama teknolojileri ile birlikte, büyük veri işleme ve modelleme konularında gereken altyapının en önemli parçası olan “büyük veri” altyapısı sağlanmaya başlanmıştır. Bu da trafik tahmini, araçların yol tahminleri, otonom sürüş yazılımları gibi birçok alanda, AI modellerinin eğitilmesine olanak sağlamaktadır. Trafik akışı için mevcut tahmin yöntemlerinin bazıları gerçek dünya uygulamalarını işlemek için hala yetersiz kalmaktadır. “Makine Öğrenmesi Kullanarak Akıllı Ulaşım Sistemleri İçin Trafik Tahmini” başlıklı 2020 yılında yayınlanan çalışma ise doğru ve zamanında trafik akışı bilgisini tahmin etmek için bir AI destekli ortam geliştirmeyi amaçlamıştır. Trafik ortamında; trafik sinyalleri, kazalar, mitingler ve tıkanıklığa neden olabilecek onarımlar gibi yolda akan trafiği etkileyebilecek her şey yer almıştır. Bu çalışmada, karmaşıklığı çok daha azaltılmış ulaşım sistemi için büyük verileri analiz etmek üzere makine öğrenmesi, genetik algoritma, veri ön işleme süreçleri ve derin öğrenme algoritmalarının kullanılması planlanmıştır. Bu algoritmaların birbiri ile doğru entegrasyonu, girdi-çıkış sekanslarının doğru atanması ve sistemin en uygun şekilde kurulumu sayesinde, trafik akış tahminleri için daha kuvvetlendirilmiş bir sistem ortaya koyulmuştur (Meena vd., 2020).

“Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Araçlar Arası Ad Hoc Ağları İçin İHA Destekli Yapay Zekâ Algoritmalarına Dayalı Verimli ve Güvenli Yönlendirme Protokolü” başlıklı 2021 yılında yapılan çalışmada; AUS uygulamalarında, AI algoritmalarına dayalı, İHA destekli etkin ve

güvenli rota protokolü kullanılması araştırılmış ve bu protokolda VANET kullanılması öngörülmüştür. Bu protokol, AI algoritmalarını kullanarak araçlar arasında etkin ve güvenli bir rota seçimi yapmayı amaçlamaktadır. Ayrıca bu protokol, İHA adı verilen hava araçlarını da kullanarak araçlar arası iletişimin sağlanmasına yardımcı olmaktadır (Fatemidokht vd., 2021).

“Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Dijital İkizlerinde Güvenlik İçin Derin Öğrenme” başlıklı 2022 yılında yayınlanan çalışmada ise K-AUS dijital ikizlerinin (DT’lerin) güvenlik sorunlarını, derin öğrenme teknolojileri ile çözmek amaçlanmıştır. Bu çalışmada seçilen derin öğrenme yöntemi olan CNN, eğitildikten sonra başka bir makine öğrenmesi yöntemi olan SVM ile birleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, güvenlik performansı ve etkisi, simülasyon ortamıyla analiz edilen CNN-SVM’ye dayalı olarak bir K-AUS DTs modeli oluşturulmuştur. Diğer algoritmalarla karşılaştırıldığında, önerilen algoritmanın güvenlik tahmin doğruluğunun %90,43’e ulaştığı gözlenmiştir. Ayrıca, önerilen algoritmanın hassasiyet (sensitivity) ve geri çağırma (recall) metriklerinde de ilgili diğer algoritmalarından daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Önerilen algoritma, acil durum mesajlarına 1,8 saniyeden daha kısa bir gecikmeyle zamanında yanıt verilmesini sağlayabilmektedir. Ayrıca, yol ortamına daha iyi uyum sağlayabilmekte, yüksek veri iletim hızını koruyabilmekte ve araçların hedeflerine daha hızlı ulaşabilmesi için araçlara makul yol planlaması oluşturabilmektedir (Lv vd., 2022).

Özetle AI, makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri, günümüzde öne çıkan teknolojiler arasındadır. Otonom sürüş, trafik tahmini, trafik planlama, haberleşme sistemleri, sarmal arayüzler ve dijital ikizler gibi sistemler, makine öğrenmesi veya derin öğrenme algoritmalarından farklı amaçlarla yararlanmaktadır. Özellikle veri toplama, depolama, işleme sistemlerinin gelişmesi ve yaygınlaşmasıyla derin öğrenme algoritmalarının; AUS uygulamalarında daha fazla yaygınlaşması beklenmektedir. Bu algoritmalar ve geliştirilecek AI sistemleriyle daha yüksek doğruluk oranına sahip tahminler yapılabilecek, gelecek senaryolar hakkında bilgiler verilebilecek, veriye dayalı karar alma sistemlerinin gelişmesi ile daha güvenli ve efektif bir ulaşım ortamı oluşturulabilecektir.

3.9. Bulut Bilişim

Bulut bilişim; sunucular, depolama birimleri, veritabanları, ağ altyapısı, yazılımlar, analitik ve AI gibi bilişim hizmetlerinin internet (bulut) üzerinden sunularak daha hızlı inovasyon ve esnek kaynaklar sağlamayı hedeflemektedir (Ranger, 2022). AUS kapsamında hayata geçirilen çeşitli uygulamalarda, bilişim süreçleri yürütülmektedir. Bunun için veritabanları, yazılımlar, AI algoritmaları vb. kullanılmaktadır. Bulut bilişimin AUS alanında kullanımı, bilişim süreçlerinin

daha verimli ve sorunsuz bir şekilde yürütülebilmesini sağlamaktadır. AUS uygulamalarının büyük çoğunluğu, veri operasyonu içeren sistemleri kullanmaktadır. Örneğin, trafik yönetimi için trafik verisinin toplanması ve işlenmesi, sinyalizasyon sistemleri için trafik verisi kullanılması ve toplu taşıma sistemlerinin optimizasyonunda veri kullanımı gibi birçok uygulama mevcuttur. Bulut bilişim; AUS alanında kullanıldığında, uygulamaların veri operasyon süreci bulut üzerinden gerçekleştirilebilmektedir. AUS alanında bulut bilişim çözümlerinden yararlanılmasının yanı sıra K-AUS alanında da bulut bilişimin oldukça geniş bir kullanımı mevcuttur.

K-AUS alanında kullanılan bulut bilişim sistemleri, sensörler tarafından elde edilen verilerin işlenmesi, analiz edilmesi ve anlamlandırılması için kullanılan sanal bilgisayarlar ve bulut sistemler üzerinde çalışan sistemler bütünü olarak değerlendirilebilir. Bulut bilişim sayesinde, K-AUS sistemlerinin yapılandırılması ve yönetimi daha esnek hale getirilebilir ve bu sayede, sistemlerin kolayca güncellenmesi veya yeniden yapılandırılması mümkün hale gelir. Şekil 14'te bulut bilişimin, trafik sistemlerinde kullanımını temsil eden bir görsel yer almaktadır (GSMA, 2020).



Şekil 14. Bulut Bilişim

“Akıllı Ulaşım Sistemleri için Bulut Bilgi İşlem Konsepti” başlıklı, 2011 yılında yapılan çalışmada, bulut bilişim tabanlı bir kentsel trafik kontrol sistemi önerilmiştir. Çalışmada; yol hacmini ve kullanıcıların emniyetini ve güvenliğini artırmak, yakıt tüketimini ve karbon emisyonlarını azaltmak için trafik kontrolünü optimize etmek hedeflenmiştir. Kentsel araç kontrol senaryosu; kontrollü alandaki her aracın hızının, her trafik kavşağını denetleyen araç dışı bir kontrol birimi tarafından ayarlandığını varsaymaktadır. Bundan sorumlu olan yazılım bileşeni kavşak kontrol hizmeti (ICS) olup araçlar bulut hizmetleri olarak ele alınmakta ve bir

bulut bilgi işlem metodolojisi kullanılarak keşfedilmekte ve çağrılmaktadır. ICS'ler, kavşaklar arasındaki trafik akışını koordine eden şehir/bölge çapında bir bulut sisteminin parçasıdır. Sistemin optimizasyon hedefi, birkaç planlama düzleminde aynı anda gerçekleştirilmektedir. En düşük seviyedeki düzlem tek bir kavşak iken ve en yüksek seviye tüm şehir veya bölgedir. ICS; kavşak çevresindeki çeşitli sensörlerden ve araçlardan trafik verilerini toplayarak yol durumunu değerlendirmek ve araç kontrolü amacıyla kısa süreli tahminler yapmak için kullanılabilir dinamik bir durum haritası oluşturmaktadır (Jaworski vd., 2011).

Son yıllarda modern toplum; sıkışık trafik, daha yüksek yakıt fiyatları ve karbon emisyonlarının artışıyla karşı karşıya kalmıştır. Ulaşımın emniyet, güvenlik ve verimliliğini iyileştirmek zorunluluk haline gelmiştir. Sürdürülebilir bir akıllı taşımacılık sistemi oluşturmak; bağlantılı araçlar, bulut bilişim ve IoT gibi yenilikçi teknolojilerle entegrasyon ve uyumluluk sağlamayı gerektirmektedir. 2015 yılında yayınlanan "Akıllı ulaşım sistemlerinin bağlantılı araç, bulut bilgi işlem ve IoT teknolojileri ile entegrasyon zorlukları" başlıklı çalışmada, bir akıllı taşımacılık sistemini oluşturmak için ele alınması gereken bazı entegrasyon zorlukları sunulmuştur. Yüksek yakıt fiyatları, yüksek karbon emisyonları, artan trafik sıkışıklığı ve iyileştirilmiş yol emniyeti ve güvenliği gibi ulaşım sektörünün karşı karşıya olduğu sorunları çözmek için ele alınması gereken entegrasyon zorluklarından bazıları ele alınmış ve bulut bilişim sistemleri ile nasıl bunların kolaylaştırılabileceğine değinilmiştir (Ibáñez vd., 2015).

Akıllı bağlantılı araçlardaki ve AUS teknolojilerindeki son gelişmeler, büyük miktarda sensör verisinin toplanmasına ve işlenmesine olanak sağlamaktadır. Modern araçlar, çok çeşitli mekanik ve elektronik sensör içermektedir. AUS; yol kameraları, trafik yoğunluk sensörleri, trafik hız sensörleri, acil durum aracı ve toplu taşıma alıcı-vericileri gibi mevcut sensörler ile bu büyük veri havuzunda işlenebilecek veriler üretmektedir. Bu veriler, daha sonra yol ağının birleşik durum farkındalığını oluşturmak için işlenmekte ve karar vermenin büyük bir kısmının otomatikleştirildiği gerçek zamanlı yönetim sağlamak için kullanılmaktadır. Ancak geleneksel bulut veri merkezlerindeki gecikme süresi çok yüksektir ve bant genişliği yetersizdir. Ağın ucunda, araca ve AUS sensörüne yakın olan bulut bilişim sistemleri ise gecikme ve bant genişliği kısıtlamaları için bir çözüm sağlayabilmektedir. Diğer yandan, araçların yüksek hızlı hareketliliği ve altyapının bölgesel yeterlilikleri, ele alınması gereken konular arasındadır. "Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Bağlantılı Araçlar için Uç Bulut Bilişimin Taksonomisi ve Araştırması" başlıklı, 2022 yılında yayınlanan çalışmada, AUS ve bağlantılı araçlarla bulut bilişim kullanımına ilişkin kapsamlı bir literatür taraması yapılmış ve bunun için sınıflandırmalar yapılmış ve bunların kullanım durumları sunulmuştur. Araçların ve AUS

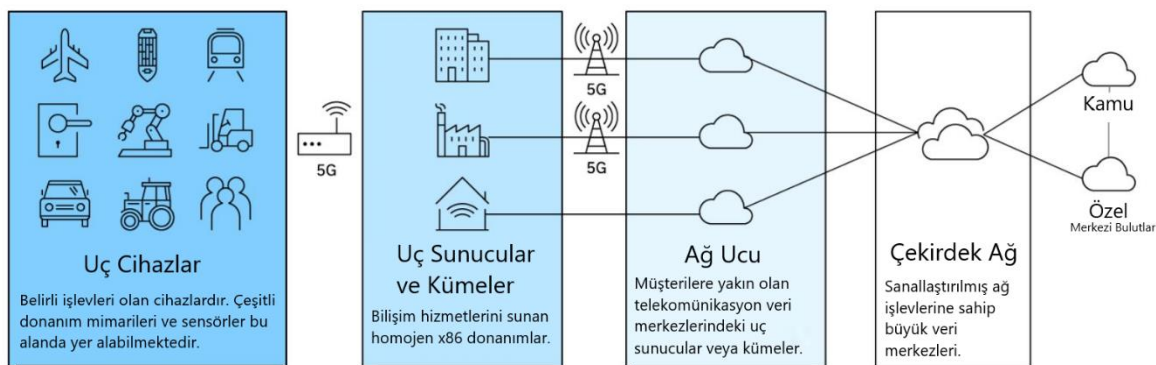
bileşenlerinin, uç bulut bilişim ile tam olarak yönetimi ve otomatikleştirilmiş bir şekilde kullanımı amacıyla bulut teknolojileri ve AUS elemanları entegrasyonundaki eksiklikler ve geliştirilmesi gereken alanlar belirtilmiştir (Arthurs vd., 2022).

Özetle günümüzde verilerin daha güvenli ve erişilebilir olması için artık yerel sistemler yerine bulut sistemlerin kullanımı tercih edilmektedir. K-AUS unsurlarına esneklik ve daha kolay erişilebilirlik sağlayan bulut bilişim sistemlerinin K-AUS alanındaki etkinliği, elektronik haberleşme teknolojileri ile paralel bir şekilde ilerlemektedir. Bağlantılı araçlar, RSU'lar, koordinasyon merkezleri gibi K-AUS unsurlarına verinin akışı daha etkili ve hızlı bir şekilde sağlanacak, bu sayede yaşanabilecek gecikme süreleri azalacaktır.

3.10. Uç Bilişim

Bilişim sistemi uygulamalarındaki iş yüklerini (hem donanım hem de yazılım) mümkün olduğunca uç noktaya, yani verilerin oluşturulduğu ve eylemlerin gerçekleştiği yere en yakın şekilde konumlandırılan teknolojilerdir. Yapılan işlemlerin veri kaynağına yakınlığı, düşük gecikme süreleri ve daha iyi bant genişliği kullanılabilirliği gibi avantajlar sağlamaktadır (IBM, 2022).

AUS ve K-AUS uygulamalarında veri operasyonları önemli bir yere sahiptir. Bu operasyonlar merkezi bir noktada gerçekleştirildiğinde; toplanan verinin bu merkeze iletilmesi, verinin merkezde işlenmesi ve ilgili noktaya gönderilmesi gecikmelere neden olabilmektedir. Uç bilişim teknolojisi ile verilerin toplandığı noktada belirtilen operasyonların gerçekleştirilmesi ve direkt olarak kullanılması mümkün kılınmaktadır. Böylelikle gecikme süreleri azalmakta, verimlilik artmaktadır. Şekil 15'te uç bilişim sisteminin yapısı yer almaktadır (Darling, 2022).



Şekil 15. Uç Bilişim Yapısı

Araç uygulamalarının taleplerini karşılamak için bulut bilişim hizmetlerinin; ağların ucuna kadar genişletildiği bir paradigma olan uç bilişim, çeşitli AUS ve K-AUS uygulamalarını mümkün kılmaktadır. Şekil 16’da da görüldüğü üzere araçlar da uç cihaz olarak uç bilişim kapsamında yer alabilmektedir (Lanner, 2017). Uç bilişimin yıkıcı ve yenilikçi bir teknoloji olarak araç uygulamalarında kullanılabilmesi ile AUS ve K-AUS alanında önemli gelişmeler kaydedilebilecektir.



Şekil 16. Uç Bilişim

“Akıllı Ulaşım Sistemi için Uç Bilişim: Bir İnceleme” başlıklı 2019 yılında yapılan çalışmada, uç bilişim teknolojileri hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Çalışmada, uç bilişim tabanlı AUS ve bu konuda gerçekleşen gelişmeler incelenmiştir. Bu gelişmeler esnasında yaşanan zorluklar ve gelecekteki araştırma konuları belirtilmiştir. Bu çalışmada, gelecek vadeden bir teknoloji olan uç bilişimin, AUS alanında kullanımı hakkında araştırma konuları yer almaktadır (Li vd., 2019).

“Bilgi Fiziksel Füzyona Dayalı Akıllı Ulaşım Sisteminin İşbirlikçi Optimizasyonunda Uç Bilişim Teknolojisinin Uygulanması” başlıklı 2020 yılında yapılan çalışmada, uç bilişim teknolojisi ve AUS alanında kullanımının optimizasyonu için gerekli yöntemler belirtilmiştir. Çalışmada farklı trafik kavşaklarında izleme noktaları kurulmuştur ve her trafik kavşağında veri toplamak için uzun ve kısa süreli bellek ağları oluşturulmuştur. Derin öğrenme tabanlı izleme teknolojilerinin yanı sıra geleneksel izleme sistemleri kullanılmıştır ve iki yöntemle izlenen yerlerde iş verimliliği karşılaştırılmıştır. Teorik veriler, uç bilişim teknolojisinin bilgi fiziği ile entegre edilmesiyle ulaşım verimliliğinin yaklaşık %20 ve kentsel güvenliğin yaklaşık %35 oranında iyileştiğini göstermiştir. Bu değerler akıllı, emniyetli ve güvenli şehirler kurmak için önemli ölçüde olumlu etkiye sahiptir (Yan & Qin, 2020).

“Akıllı Ulaşım Sistemleri Algılama Uç Bilişimle Buluştuğunda: Vizyon ve Zorluklar” başlıklı 2021 yılında yapılan çalışmada, AUS alanında kullanılan uç bilişim sistemlerinin algılama için

kullanımı ve temel zorlukları ele alınmıştır. Uç bilişim teknolojisindeki ve K-AUS araştırmalarındaki araştırma sayılarının artışına rağmen, mevcut literatürde büyük boşluklar tespit edilmiştir. Bu iki gelecek vadeden teknoloji arasındaki kesişim, henüz yeterince araştırılmamıştır. Bu çalışmada, AUS'un kritik bir bölümü olan algılama ve bu alandaki uç bilişim uygulamalarına ilişkin bir inceleme yapılmıştır. Bu esnada karşılaşılan temel zorluklar belirtilmiş, uç bilişim entegrasyonu ile gelecekte gerçekleştirilecek iyileştirmeler belirtilmiştir (X. Zhou vd., 2021).

“Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Çevik Optimizasyon için Uç Bilişim ve IoT Analitiği” başlıklı 2021 yılında yapılan çalışmada, IoT'nin son durumu incelenmiş, AUS alanında bulut ve uç bilişimin ortaya çıkardığı zorluklar belirtilmiştir. Çalışmada dinamik bir sürüş paylaşım problemini (DRSP) çözmek için çevik optimizasyon algoritmalarına dayalı bir yöntem geliştirilmiştir. Kullanılan algoritmalar, şehir ulaşım sistemlerindeki otomatik kararları optimize etmek için IoT sisteminden toplanan verilerin gerçek zamanlı işlenmesine olanak tanımaktadır. Bunlar arasında araç rota optimizasyonu, özelleştirilmiş ulaşım yöntemleri, verimli yolculuk paylaşımı oluşturulması, elektrikli araçlar için en uygun şarj istasyonu tespiti yer almaktadır. Ek olarak bir DRSP'ye yönelik sayısal örnek verilmiş ve bu örnekte; uç bilişim, açık veri ve çevik algoritmaların kullanım potansiyeli gösterilmiştir (Peyman vd., 2021).

2022 yılında yapılan “Akıllı Uç Bilişim Altında Araçların İnternetinde Çeşitlendirilmiş Teknolojiler” başlıklı çalışmada, akıllı uç bilişim sisteminin, IoV alanında sağladığı kazanımlar belirtilmiştir. Çalışmada, yazılım tanımlı araç ağları (SDVN) mimarisi optimizasyonu altında, akıllı uç bilişimden faydalanan bir görev tamamlama ve geçiş modeli önerilmiştir. Çalışma sonuçları, farklı stratejilerin IoV üzerindeki etkisinin analizinde ve toplam enerji tüketiminde, diğer yöntemlerden üstün olduğunu göstermiştir. Bu algoritmanın paket kayıp oranı yaklaşık 0,1 saniyedir ve iletim gecikmesi sabit 0,2 saniyedir. Bu nedenle akıllı uç bilişim tarafından oluşturulan IoV'deki görev aktarımı⁹ ve geçiş modelinin, yük paylaşım oranını ve görev aktarımı verimliliğini¹⁰ artırırken paket kaybı oranını önemli ölçüde azalttığı gözlenmiştir (Lv vd., 2021).

“Akıllı Şehirler için Uç Bilişim ve AI-IoT Entegreli Enerji Verimli Akıllı Ulaşım Sistemi” başlıklı 2022 yılında yapılan çalışmada, akıllı şehirler için dağıtık, çok etmenli bir sistem

⁹ Görev aktarımı; özellikle bilgi işlem, bulut bilişim ve IoT gibi alanlarda kullanılan bir terimdir. Bu kavram, bir cihazın veya sistemin kendi üzerinde yapması gereken hesaplama görevlerini, daha güçlü bir işlem gücüne sahip başka bir cihaza, sunucuya veya bulut ortamına transfer etmesi anlamına gelir.

¹⁰ Görev aktarımı verimliliği: Görev aktarımı sırasındaki enerji ve zaman tüketiminin, performans etki etmeden azaltılmasıdır.

kullanılarak yeni bir uç bilişim tabanlı AI-IoT entegre enerji tasarruflu bir AUS önerilmiştir. Bir kentsel alan birden fazla bölgeye bölünmüştür ve her bölge daha küçük bölgelere ayrılmıştır. Her bölgede, uç bilişim iletişim cihazlarının yanı sıra RSU kurulmuştur. Uç bilişim cihazları; toplanan ham verileri işlemek, analiz etmek ve tahminler için kullanılmıştır. Bilgiler, IoT aracılığıyla bölgedeki RSU'lar, araçlar ve bulut ile paylaşılmıştır. Bu bilgiler; araçlar tarafından bir yolculuğu gerçekleştirmek için kullanılmış ve enerji tüketiminde azalma sağlanmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen veriler, önerilen sistemin etkinliğini göstermiştir (Chavhan vd., 2022).

3.11. Dijital İkiz

Dijital ikiz (DT), her ikisi de gerçek zamanlı veri alışverişi yoluyla birbirine bağlı olan herhangi bir fiziksel varlığın sanal kopyası veya modeli anlamına gelmektedir. Kavramsal olarak bir dijital ikiz, fiziksel ikizinin durumunu gerçek zamanlı olarak taklit etmekte olup bunun tersi de geçerlidir. Dijital ikiz uygulaması; gerçek zamanlı izleme, tasarım/planlama, optimizasyon, bakım, uzaktan erişim vb. konuları içermektedir. Şekil 17’de dijital ikiz kavramına örnek olarak gösterilebilecek bir görsel yer almaktadır (The Digital Speaker, 2022).



Şekil 17. Dijital İkiz Örneği

DT uygulamasının AUS ve K-AUS alanlarındaki yeri önemlidir. Hayata geçirilecek herhangi bir uygulamanın öncelikle test edilmesi gerekmektedir. Gerçek dünya testlerinin, maliyet ve uygulamaya göre güvenlik riski konularında zorlukları olabilmektedir. Bu nedenle, dijital ikiz olarak oluşturulmuş yapay bir ortamda, AUS ve K-AUS uygulamalarının test edilmesi büyük önem taşımaktadır. Böylelikle bu uygulamaların gerçek hayatta kullanılması durumunda etkilerinin neler olacağı düşük maliyetli bir şekilde ve güvenlik riskinin olmadığı bir ortamda gözlemlenebilmektedir.

“Akıllı Ulaşım Sistemi için Dijital İkiz İncelemesi” başlıklı 2021 yılında yapılan çalışmada, dijital ikiz teknolojisi ve akıllı ulaşım için kullanım senaryoları ve kazanımları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada dijital ikiz teknolojisinden faydalanan yeni bir trafik konsepti önerilmiştir. Bu konsept ile geleneksel trafik simülasyonları arasındaki farklar ve ilişkiler belirtilmiştir. Bu konseptin üç katmandan oluşan teknik mimarisi açıklanmıştır. Bu katmanlar veri erişim, hesaplama ve simülasyon katmanlarıdır. Çalışmada; akıllı otoyollar, otonom sürüş ve trafik optimizasyonu için dijital ikiz teknolojinin gelişen bir teknoloji olduğu ve güçlü yönlerinin fayda sağladığı görülmüştür (Bao vd., 2021).

“Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Dijital İkizlerinde Güvenlik İçin Derin Öğrenme” başlıklı 2021 yılında yapılan çalışmada, akıllı ulaşım için gerekli olan iletişimin güvenliği ve bu güvenliğin artırılması için kullanılan teknolojilerden bahsedilmiştir. Bu teknolojiler arasında derin öğrenme temelli dijital ikiz sistemleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, bir dijital ikiz algoritması geliştirilmiş ve bu algoritmanın güvenlik performansı ve etkisi simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları diğer algoritmalarla karşılaştırıldığında, önerilen algoritmanın güvenlik doğruluğunun %90’ın üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda, geliştirilen algoritmanın acil durum mesajlarına daha hızlı cevap veren, yüksek veri iletim hızına sahip bir yöntem olduğu görülmüştür (Lv vd., 2022).

“Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Dijital İkiz: Bir İnceleme” başlıklı 2022 yılında yapılan çalışmada, dijital ikiz teknolojinin, elektromobilite ve otonom araçlarda kullanımına odaklanılarak AUS için dijital ikiz teknolojisi konusunda yayınlanan son çalışmalar gözden geçirilmiştir. Bu inceleme; dijital ikiz teknolojinin, IoT ve 5G gibi farklı teknolojilerle birlikte kullanıldığına dikkat çekmiştir. Ayrıca, çalışma, elektrikli araç hizmetlerindeki pil yönetim sistemleri ve bağlantıları gibi güncel sorunları ve bunların dijital ikiz teknolojisi yardımıyla nasıl çözülebileceği konularını ele almıştır (Ali vd., 2022).

DT; özel araçlar, toplu taşıma ve enerji sistemleri gibi çeşitli dijital ikiz kullanıcılarının sağlığını ve güvenilirliğini korumak için akıllı şehirlerde yaygınlaşan AUS uygulamalarında kullanılan yeni nesil teknolojiler arasındadır. 2022 yılında yapılan “Akıllı Şehirlerde Blokzincir Etkin Akıllı Ulaşım Sistemleri için Dijital İkiz Mutabakat” başlıklı çalışmada, dijital ikiz teknolojinin AUS alanındaki kullanım alanları ve blokzinciri teknolojiyle birlikte kullanımı tartışılmıştır. Çalışmada, DT teknolojinin AUS alanında kullanımında her kullanıcının önceliğinin aynı olmadığı ve bu durumun halen çözülmesi gereken bir problem olduğu belirtilmiştir. Bu soruna çözüm olarak blokzincir teknolojisini içeren DT servisi (DTaaS)

önerilmiştir. Bu servisin kullanımına dair yapılan simülasyonlarda, işlemlerin verimli bir şekilde gerçekleştiği ve işlem önceliği atamasının kolaylaştığı görülmüştür (Liao vd., 2022).

3.12. Robotik

Robotik; bilim, mühendislik ve teknolojinin kesişim noktasıdır ve insan hareketlerini taklit eden veya insan faaliyetlerini yerine getiren makineler olan robotların üretim sürecini kapsamaktadır (Daley, 2022). İnsanlar tarafından yapılan işlerin otomatikleştirilmiş robotik sistemler tarafından gerçekleştirilmesi, zaman ve maliyet verimliliği açısından büyük bir potansiyele sahiptir. AUS ve K-AUS alanında da çeşitli kullanım alanları mevcut olan robotik teknolojileri, bu sistemlerin teknolojik olarak ilerlemesi ve sağladıkları kazanımların artırılmasında avantajlar sunmaktadır. AUS ve K-AUS alanlarında verilerin toplanması, iletilmesi, işlenmesi ve karar alma süreçlerinin otomatikleştirilmesi, potansiyel kullanım alanları olarak değerlendirilebilir. Böylelikle sorunsuz ve verimli bir şekilde çalışan AUS ve K-AUS uygulamaları hayata geçirilebilir.

Araç uygulamalarının taleplerini karşılamak için bulut bilişim hizmetlerinin, ağların ucuna kadar genişletildiği bir paradigma olan uç bilişim ile robotik teknolojilerinin entegrasyonu, daha gelişmiş AUS uygulamalarını mümkün kılmaktadır. Robotik; farklı yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler ile entegre edildiğinde, tamamen otomatikleştirilmiş, sorunsuz çalışan ve oldukça verimli sistemler elde edilebilmektedir.

K-AUS ve robot teknolojisinin ortak uygulaması, birden fazla robotu kinematik kısıtlamalarla koordine etmek için K-AUS'un kullanılmasıdır. Bu bağlamda K-AUS'un rolü; veri iletimi, gerçek zamanlı bilgilendirme ve gelişmiş haberleşme teknolojilerinin kullanılmasıdır. Bu, kavşak yönetiminin yanı sıra trafik sinyal optimizasyonu ve otonom araç koordinasyonu gibi diğer uygulamalar için de kullanılabilir.

Robotik K-AUS uygulamaları için çeşitli test veri kümeleri mevcuttur. Otonom sürüş için Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü ve Toyota Teknoloji Enstitüsü (KITTI) açık kaynaklı veri kümesi, otonom sürüş algoritmalarının test edilmesi için popüler bir referans noktasıdır. Robot destekli sürüş için Amerika Federal Karayolları Yönetiminin yayınladığı yeni nesil trafik simülasyonu (NGSIM) veri kümesi robot destekli sürüş algoritmalarının test edilmesi için popüler bir örnek veri setidir. Araç yerleştirme için Oxford RobotCar veri kümesi de yerleştirme algoritmalarının test edilmesi için popüler bir örnek veri setidir (Thrun vd., 2006).

“Akıllı Bir Ulaşım Sistemi için bir Segway Robotunun Geliştirilmesi” başlıklı 2012 yılında yapılan çalışmada, AUS'da kullanılmak üzere segway robotları önerilmiştir. Segway robotu,

kendi kendini dengeleyen ve kullanıcıyı, doğal eğimine göre taşıyan bir platform sağlamaktadır. Bu çalışma; segway kontrolünün çeşitli yönlerini tartışmakta ve sensörlerden toplanan verileri birleştirme, gürültü filtreleme, veri toplama ve aktarımında yaşanan gecikme zorluklarına ilişkin çözümler içermektedir. Hesaba katılmayan zaman gecikmeleri, istikrarlı ve kolayca hareket ettirilebilen bir segway elde edebilmek için analitik olarak türetilmiş kontrollerden farklı bir kontrol gerektirmektedir (Pinto vd., 2012).

“Akıllı ulaşım robotu için kalabalık iç ortamlarda değiştirilmiş dinamik pencere yaklaşımı” başlıklı 2012 yılında yapılan çalışmada, iç mekanlarda kullanılacak olan akıllı robotlar hakkında bilgiler ve öneriler sunulmuştur. Çalışmada yeni bir yaklaşım olan dinamik pencere yaklaşımı önerilmiştir. Bu sistem; robotun yönünü, engele olan mesafesini ve hızını algılayarak bunlara göre karar veren çarpışmadan kaçınma algoritmasıdır. Robotun etrafı kalabalık olduğunda, robotun hızını düşürmesi önerilmiştir. Bu ve buna benzer senaryolarda kullanılmak üzere kurallar tanımlanmış ve bu kurallar, yapılan deneylerle test edilmiştir (Choi vd., 2012).

“Akıllı ulaşım sistemi için çoklu robot simülasyon çalışması” başlıklı 2014 yılında yapılan çalışmada, kazaların meydana gelmesini önlemeye yardımcı olabilecek çoklu robot kullanımı önerilmiştir. Nüfus artışının ve plansız şehirleşmenin fazla olduğu bölgelerde ölümlü trafik kaza sayılarında artış gözlemlendiğinden, bu çalışmada, düzensiz sürüşün izlenmesine ve tespit edilmesine yardımcı olabilecek robotlar önerilmiştir. Trafik kazalarını engellemeyi amaçlayan bu robotlar hakkında Hindistan yol koşulları göz önünde bulundurularak simülasyonlar yapılmıştır (Sharan vd., 2014).

Karışık tam sayılı doğrusal programlama (MILP) tabanlı optimal robot koordinasyon yaklaşımı, ikinci dereceden dinamikleri hesaba katarak sabit yollar boyunca, çok robotlu koordinasyon problemini çözmek için karışık tam sayılı bir doğrusal programlama formülasyonu kullanılmaktadır. Kesin problemi çözmenin zorluğu, araç dinamiklerinin yaklaşık değerlerine ihtiyaç duyulması ve yoğun trafik durumları için optimal çözümler bulmak, MILP tabanlı optimal robot koordinasyon yaklaşımıyla ilgili olası problemler arasında yer almaktadır. Ayrıca, yaklaşım optimalliği garanti edilememekte ve büyük trafik akışlarına maruz kalan kavşaklar için uygun olmayabilmektedir (Bimbrow, 2015). Otonom araçlar için öne sürülen bu olası çözüm, aynı zamanda K-AUS alanında da koordinasyonu sağlamak amacıyla kullanılabilir bir uygulamadır.

“Otonom Kavşak Yönetim Politikalarını Geliştirmek İçin Robot Koordinasyon Problemlerine Optimal Çözümlerin Analizi” başlıklı 2016 yılında yayımlanan çalışmada, iki farklı robot koordinasyon yaklaşımı belirlenmiş ve simülasyon ortamında test edilmiştir. Simülasyon

sonuçları incelendiğinde, MILP tabanlı optimal robot koordinasyon yaklaşımının, verilerin sisteme giriş sırasına göre işlendiği ilk gelen ilk hizmet alır (FCFS) koordinasyon politikasına göre bekleme sürelerinde önemli bir azalma sağlayabileceği gözlenmiştir. Diğer koordinasyon politikalarındaki gecikmelerin, robotların sayısı ile birlikte artarken optimal politikanın daha düşük ortalama gecikmeye sahip olduğu görülmüştür. MILP tabanlı yaklaşımda, hesaplama süresi, robotların sayısı ile birlikte artmakta, ancak maksimum tolerans edilen boşluğun artırılmasıyla azaltılabildiği mümkün olmaktadır (Altche & de La Fortelle, 2016).

“IoT ve Robotik: Bir Sinerji” başlıklı 2017 yılında yapılan çalışmada, robotik IoT (IoRT) teknolojisinin akıllı ulaşımında kullanım alanları ve kazanımları anlatılmaktadır. IoRT, ilk olarak Dan Kara tarafından ABI Research’te tanıtılan ve mevcut IoT teknolojisini, aktif sensörleştirme ile geliştirmekten bahseden bir kavramdır. Bu çalışma, IoT ve robotik arasındaki bağlantıları ele almaktadır. Robotların özel bir uç cihaz sınıfı olması ve hareket yeteneğine sahip olmaları ile IoT’nin nasıl geliştirilebileceği anlatılmaktadır. IoT destekli robotik uygulamalarının, sağlık ve askeri alanların yanı sıra endüstriyel tesisler ve arama kurtarma gibi alanlarda kullanılmaları amaçlanmaktadır (Chowdhury, 2017).

“ITDP-Robot: Akıllı Bir Ulaşım Sevk Park Robotunun Tasarımı” başlıklı 2019 yılında yapılan çalışmada, araç sayısı ve park yeri sayısı arasındaki dengesizliğin sebep olduğu park etme sorunlarını çözmeyi amaçlayan yeni bir elektrikli otonom park robotu önerilmiştir. Farklı boyutlardaki araçlara uyum sağlamasına izin veren mekanik yapısının yanı sıra x-by-wire tabanlı elektrik sistemi bulunmaktadır. Otonom sürüşü gerçekleştirebilmek için robot işletim sistemi (ROS) tabanlı park robotu yazılımı; çevreyi algılama, kendi kendini konumlandırma ve yol planlama kabiliyeti ile tasarlanmıştır. Ayrıca, park robotunun otonom sürüş algoritmalarının geliştirilmesini basitleştirmek ve bu algoritmaların sağlamlığını doğrulamak için Gazebo kullanılarak bir simülasyon ortamı oluşturulmuştur. Bu park robotu, prototip aşamasında olmasına rağmen sevk stratejisi ve park etme kolaylığı da düşünülmüştür. Son teknoloji park robotuyla karşılaştırıldığında, bu park robotu yalnızca kapalı otoparklarda değil, aynı zamanda karmaşık dış ortamlarda da çalışabilmektedir (Qu vd., 2019).

“AUS’ta makine öğrenmesi tabanlı insan-robot etkileşimi” başlıklı 2022 yılında yapılan çalışmada, makine öğrenmesi destekli akıllı trafik izleme sistemi (ML-ITMS) önerilmiş ve çeşitli zorlukların üzerinden gelerek ulaşım güvenliğini ve güvenilirliğini iyileştirmek amaçlanmıştır. ML-ITMS, trafik akışının ve parametrik olmayan süreçlerin doğruluk tahminini iyileştirmek için matematiksel modeller kullanmaktadır. İnsan-robot etkileşimi (HRI), taşıma sisteminin her iki ucundaki hem kullanıcı hem de hizmet sağlayıcı seviyelerinde önemli

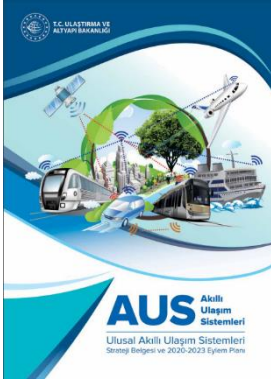
sorunların eş zamanlı olarak çözümlenmesine yardımcı olmaktadır. Deneysel sonuçlar, ML-ITMS'nin trafik izlemeyi %98,6'ya kadar iyileştirdiğini ve diğer mevcut yöntemlerden daha iyi trafik akışı tahmin sistemi olduğunu göstermiştir (Wang vd., 2022).

Robotik alanı, otonom araç teknolojilerinde potansiyelini yüksek oranda göstermiş olsa da trafik yönetimi, verilerin toplanması ve aktarımı, sürüş emniyeti ve güvenliğinin sağlanması, K-AUS gibi konularda henüz yeterli düzeyde kullanım alanı bulamamıştır. Bu teknoloji de IoT gibi birçok bileşenden oluşan bir entegrasyon teknolojisidir. Bu nedenle büyük veri, AI, görüntüleme ve algılama teknolojileri gibi alanların ilerlemesi ile bu teknoloji de gelişecektir.

BÖLÜM IV

4. TÜRKİYE’DE K-AUS ALANINDA KULLANILAN YIKICI VE YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLER

Türkiye’de çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından yürütülen K-AUS çalışmalarının büyük bir bölümünde yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler kullanılmaktadır. Bu bölümde, gerçekleştirilen anket çalışmaları kapsamında görüşülen kurumların yürüttükleri K-AUS projelerinde kullandıkları yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler ile yapılan detaylı kaynak taraması sonucunda ulaşılan çalışmalara yer verilmiştir.



Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı: “Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı” kapsamında yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin, AUS uygulamalarında kullanıldığında elde edilebilecek kazanımlara yer verilmiştir. Yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin kullanılmaya başlanması ile ulaşım modlarının daha entegre hale geleceği ve daha hızlı, verimli ve kolay hizmet sunacakları belirtilmiştir. Aynı zamanda, yeni nesil haberleşme teknolojilerinin

yaygınlaşması ile mevcut altyapıda yer alan AUS bileşenlerine olan ihtiyacın ortadan kalkacağı ve araç içerisinde bulunan bilgi sistemleri ve sarmal arayüzler ile bilgilerin doğrudan sürücülere iletilebileceği paylaşılmıştır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Haberleşme Genel Müdürlüğü, 2020). “Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı”nda zikredilen yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin AUS üzerindeki etkileri aşağıdaki özetlenmiştir:

- **Otonom Araç Teknolojileri:** RADAR, LIDAR, GPS, AI vb. sistemlerin kullanılması ile araçlar, gerçek zamanlı verileri kullanarak ve bir sürücüye ihtiyaç duymadan sürüş gerçekleştirebilmektedir.
- **Sarmal Arayüzler:** Bu teknolojinin kullanılması ile sürücülere iletmek istenen bilgiler sürücülerin dikkatini dağıtmadan araç-içi arayüzler aracılığı ile iletilebilmektedir.
- **IoT:** IoT teknolojisi ile trafik yönetim sistemlerinin, trafik hızını ve hacmini ölçerek gerçek zamanlı trafik verisi sağlayabilmeleri mümkün olmaktadır. Ayrıca, bu teknoloji ile navigasyon gibi seyahat uygulamaları veya otonom araçlar için büyük miktarda veri sağlanabilmektedir.

- *5.Nesil (5G) Mobil Ağlar:* 5G, 4.5G'ye kıyasla daha yüksek kapasiteye ve daha az gecikme süreslerine sahiptir. 5G teknolojisinin kullanılması ile birçok akıllı ulaşım ve IoT uygulaması için bağlanabilirlik imkânı sunulabilecektir.
- *Bulut Bilişim:* IoT ve bulut bilişim teknolojilerinin ulaşım sistemlerinde kullanılması ile trafik sıkışıklıkları ve trafik güvenliği gibi konularda kazanımlar elde edilebilecektir. Aynı zamanda, bulut bilişim teknolojisi ile V2V ve trafik güvenliği alanlarında iyileşmeler sağlanacağı öngörülmektedir.
- *Büyük Veri:* Büyük veri üzerinden yapılan hızlı ve dinamik modelleme ile daha iyi benzetim ve modelleme kabiliyetleri sağlanabilecek, böylece daha etkin ve etkili bir trafik yönetimi yapılabilecektir.
- *Blokzincir:* Bu teknoloji; bir hizmet olarak hareketlilik (MaaS), veri paylaşımı, yük ve lojistik hizmetleri alanında etkili bir şekilde kullanılabilir. Aynı zamanda, ulaşımda veri paylaşımını kolaylaştıracak, MaaS platformlarının oluşturulma aşamasında kullanılacak, bağlantılı araçların yazılımlarının ve yazılım güncellemelerinin daha güvenli bir şekilde yürütülmesini sağlayacak ve otonom araç teknolojilerinde rol oynayacaktır.
- *Yapay Zekâ, Makine öğrenmesi, Derin Öğrenme:* Bu teknolojiler daha güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir ulaşım sisteminin oluşturulmasında kullanılmaktadır. AI; ulaşım sisteminin davranışının tahmin edilmesinde, ulaşım problemlerinin çözülmesinde, ulaşım planlama sürecinde ve en uygun karar verme ve yönetim uygulamalarında rol almaktadır. Makine öğrenmesi, derin öğrenme ve büyük veri teknolojileri ise gerçek zamanlı algılama, trafik tahmini, akıllı karar verme gibi alanlarda kullanılmaktadır.

“Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı”nda sorumlu kuruluş olarak Haberleşme Genel Müdürlüğü'nün (HGM'nin) belirlendiği “1.10 AUS Alanında Yıkıcı ve Yenilikçi Teknolojiler ile Etkilerinin Araştırılması” eylemi yer almaktadır. Eylem kapsamında; HGM koordinasyonunda TÜRKSAT ile gerçekleştirilen “Uydu Destekli AUS Otomasyon Projesi” kapsamında bir iş paketi olarak “AUS Alanında Yıkıcı ve Yenilikçi Teknolojiler” raporları hazırlanmıştır. Raporlarda; uydu haberleşme teknolojileri, otonom/bağlantılı araç teknolojileri, sarmal arayüzler, IoT, 5G ve 6G haberleşme ağları, büyük veri, açık veri, blokzincir, AI, makine öğrenmesi ve derin öğrenme, dron, yüksek hızlı tren teknolojileri, hyperloop sistemi, K-AUS, MaaS, mikro hareketlilik, araç ve sürüş paylaşım sistemleri, hava taksi araçları, çevreci yeni nesil ulaşım araçları, elektrikli araçlar, yenilenebilir/akıllı enerji çözümleri, trafik talep yönetimi uygulamaları, sürdürülebilir kentsel hareketlilik planları, sanal/artırılmış gerçeklik uygulamaları, kripto para, Li-Fi, 3D yazıcılar,

robotik, bulut bilişim, Endüstri 4.0 gibi yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin, ülkemizdeki ve dünyadaki mevcut durumu, AUS alanında uygulamaları ve gelişimine yer verilmiştir.



Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı: “Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı 2020-2024 Stratejik Planı” kapsamında 12 adet sanayi ve teknoloji hedefi belirlenmiştir. Bu hedeflerden biri de yıkıcı teknolojilerin gelişmesi kapsamında, geleneksel ürün ve hizmetlerin yerini, akıllı ürün ve hizmetlere bırakması ile ilgilidir. Bu dönüşüm bağlamında, Türkiye’nin en az bir yıkıcı teknoloji alanında dünya lideri pazar payına sahip olması veya marka değerine sahip en az 23 adet akıllı ürün üretmesi hedeflenmektedir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020). Bu stratejik plan kapsamında çeşitli amaçlar, bu amaçlar doğrultusunda hedefler ve bu hedefleri hayata geçirecek proje grupları (PG’ler) oluşturulmuştur. Yıkıcı teknolojiler bağlamında oluşturulan PG ve bu PG’nin bağlı olduğu hedef ve amaçlara aşağıda yer verilmiştir:

AMAÇ 3: Sanayi ve Teknoloji Alanlarında Politika, Strateji, Plan, Program ve Projeler Geliştirmek, Uygulamak; Veri Analizleri ve Araştırmalar Yoluyla Bu Alanlardaki Gelişmeleri İzlemek ve Yönlendirmek

Hedef 3.1: Sanayi ve teknoloji alanlarında politika, program ve stratejiler geliştirilecek; araştırma ve analizler yapılacaktır.

PG 3.1.3) Yıkıcı teknolojilerin etkileri, dijital ekonomi eğilimleri, dijital dönüşüm ve bunların Türkiye ekonomisine etkisi gibi konularda yapılan analiz ve araştırma sayısının artırılması



Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: Bakanlık tarafından yayımlanan “Blokzincir ve Metaverse Teknolojisi Çalışma Heyeti Sonuç Raporu” başlıklı çalışmada, öncelikli olarak blokzincir ve metaverse teknolojilerine yönelik inceleme ve araştırma yapılmıştır. Bu kapsamda, ülkemizdeki ve dünyadaki mevcut durum tespit edilmiş; sosyal, beşerî, hukuki ve etik konulardaki gelişmeler incelenmiş ve toplumsal farkındalık oluşturmak için incelemelerde bulunulmuştur. Raporunda, blokzincir ve metaverse konularında çıkarımlar yapılmıştır. Hayata geçirilmesi gereken yasal, toplumsal, teknolojik ve operasyonel düzenlemelere ilişkin tespitler paylaşılmıştır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022).



Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM): Kurum bünyesinde mobil uygulama geliştirilmektedir. Bu uygulamanın operasyonel hedefleri arasında belirli yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin kullanımı ile sahadaki sistemlerin etkin yönetimi ve arızaların giderilmesi bulunmaktadır. Herhangi bir kaza durumunun, yol veya şerit kapatmasının bu uygulamayla merkeze iletilmesi hedeflenmektedir.



İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB): İBB tarafından yürütülen AUS çalışmalarında, AI ile araç sayımı ve mobil teknolojiler birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca IoT teknolojileri kapsamında bir proje de yürütülmektedir.

İBB'ye bağlı İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri (İETT), otobüslerde güvenliği sağlamak amacıyla AI'nın kullanıldığı bir projeyi İSBAK ile birlikte hayata geçirmiştir. Bu dijital dönüşüm projesi kapsamında otobüs şoförünün uykusuzluk, dikkat dağınıklığı gibi belirtiler gösterdiği durumlarda AI ile durumun tespit edilmesi ve şoförün sesli bir uyarı sistemi ile uyarılması hedeflenmektedir. Böylelikle toplu taşımada emniyet ve güvenliğinin artırılması planlanmaktadır (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2022).



**MARMARA
ÜNİVERSİTESİ**

Marmara Üniversitesi: VeNIT Laboratuvarı ve laboratuvar çalışmalarının yürütüldüğü spin-off firması olan BigTRI, K-AUS alanında yürüttükleri projelerde

yıkıcı ve yenilikçi teknolojileri kullanmaktadır. Yararlanılan teknolojiler ve bu teknolojilerin kullanıldıkları alanlar, aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- AI
 - Büyük verinin işlenmesi ve anlamlandırılması, görüntü işleme, bulut-uç bilişim mimarisinde kaynak optimizasyonu ve kullanılabilirlik.
- IoT
 - Büyük verinin toplanması ve işlenir hale getirilmesi, yük dengeleme, uç bilişim.
- Makine öğrenmesi
 - Bilgisayarlı görü temelli tespit ve teşhis uygulamaları.



**OKAN ÜNİVERSİTESİ
İSTANBUL**

İstanbul Okan Üniversitesi: Üniversitede yürütülen Açık İnovasyon Otonom Araç Geliştirme ve Test Platformu Projesi (OPINA) kapsamında; akıllı otonom araç yazılımı ve donanımı geliştirmek için açık inovasyon metodolojisi kullanılarak yazılım geliştirme, simülasyon, test, sertifikasyon, eğitim ve mentorlük hizmetleri sunan teknik bir altyapı platformu ve aynı

zamanda ulusal ve uluslararası iş birliği geliştirme imkanları sunulmaktadır. Proje, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından Rekabetçi Sektörler Programı kapsamında uygulanmaktadır. Proje paydaşları arasında Doğu Marmara Kalkınma Ajansı (MARKA), Taşıt Araçları Tedarik Sanayicileri Derneği (TAYSAD), Türk Elektronik Sanayicileri Derneği (TESİD) ve Yazılım Sanayicileri Derneği (YASAD) bulunmaktadır.

Anadolu Isuzu: Yürütülen projeler kapsamında AI, makina öğrenmesi, büyük veri ve analizi ve Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılmaktadır.

Anadolu Grubu'nun yayınladığı “Anadolu Grubu Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Uyumluluk Raporu 2015-2020”de, Anadolu Isuzu'nun 14 farklı “Kampüs İçi Otonom Otobüs” projesi yürüttüğü belirtilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen bilgiler, yeni otonom araç teknolojilerine entegre edilebilecektir (Anadolu Grubu, 2020).

“Anadolu Grubu Sürdürülebilirlik Raporu 2021” kapsamında, Anadolu Isuzu'nun Endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm konusunda çalışmalar yaptığı, üretim sırasında üç boyutlu dijital ikiz teknolojilerinden yararlandığı ve ürün üretimi ile ilgili bilgilerin operatörlere IoT ile iletildiği bilgileri yer almaktadır (Anadolu Grubu, 2021).



Türk Telekom A.Ş.: Kurum bünyesinde AI, makine öğrenmesi, büyük veri, video analitiği ve sanal gerçeklik teknolojilerinin kullanıldığı, henüz fizibilite aşamasında olan bir proje yürütüldüğü belirtilmiştir.



Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK): Yürütülen bir projede blokzincir ve makine öğrenmesi teknolojileri kullanılmaktadır. Bu proje kapsamında yararlanılan yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler ile yenilenebilir enerji depolama sistemlerine ve elektrikli araçlarda şarj hizmeti esnasındaki bağlantılara katkı sağlanması hedeflenmektedir.



HAVELSAN A.Ş.: Bu raporda yer alan tüm yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler kullanılmaktadır. Bu kapsamda yürütülen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

HAVELSAN bünyesinde geliştirilen “Otomatik Park İhlal Tespit Sistemi (PİTS)” projesinde, şehrin belirli noktalarında yer alan güvenlik kameralarının kullanılması ve şirketin geliştirdiği AI yazılımı ile araç sayımı otomatik bir şekilde yapılabilmektedir. HAVELSAN'ın geliştirdiği bu teknoloji, Emniyet Genel Müdürlüğü'nün hizmetine sunulmuştur.

Bir diğerk AI projesi ise ‘‘Yanlış Okunan Plakaları Yeniden Okuma Sistemi’’dir (YOYO). Plakaları okumak için yerleştirilmiş kameraların yanlış okuduğu veya okuyamadığı plakaları, HAVELSAN’ın geliştirdiği YOYO yazılımını tekrardan işleyerek doğru okumayı sağlayabilmektedir.

Üçüncü proje ise henüz uygulamaya geçmemiş olan ‘‘Araç İçi İhlal Tespit Sistemi’’dir (ARİTS). Bu proje kapsamında plaka tanıma kameralarının çektiği görüntüler işlenerek sürücünün emniyet kemeri takıp takmadığı, ön koltukta çocuk bulunup bulunmadığı ve sürücünün telefonla konuşması gibi durumlar AI yardımı ile tespit edilebilmektedir (HAVELSAN, 2021).



TURKCELL A.ř.: Yürütölen çalışmalar kapsamında mobil teknolojiler ve AI kullanılmaktadır. Turkcell’in 2020 yılında başlattığı ‘‘Uzaktan Sürüş Desteği’’ Ar-Ge projesi kapsamında geliştirilen AI uygulamaları ile trafikte acil durum tespiti yapılabilmektedir. Acil durum tespiti gerçekteştiği anda 5G altyapısı üzerinden acil durum bölgesinde bulunan araç ile iletişim kurulabilmekte ve aracın uzaktan yönetilmesi sağlanabilmektedir. Gebze’de bulunan Bilişim Vadisi’nde bu projenin test çalışmaları yapılmıştır ve test kapsamında kullanılan akıllı otonom sürüş aracının kontrolü, İstanbul’da bulunan AI Laboratuvarı’ndan başarılı bir şekilde sağlanabilmıştir (Turkcell Medya, 2022).



TEMSA A.ř.: Kurum tarafından yürütölen çalışmalarda; araçtan toplanan bilgilerin büyük veri işleme araçları ile işlenmesi, batarya paketleri için blokzincir teknolojisi ile batarya pasaportu oluşturulması ve IoT teknolojileri gibi yıkıcı ve yenilikçi teknoloji uygulamaları kullanılmaktadır.



ULAK Haberleşme A.ř.: K-AUS ile ilişkili yürütölen çalışmalarda kullanılan yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler aşağıda listelenmiştir:

- Mobil Teknolojiler (4G ve 5G destekli OBU ve RSU)
- Uç Bilişim (Akıllı RSU- Görüntü işleme kabiliyetine sahip kameralar ve AI destekli RSU)

BÖLÜM V

5. SONUÇLAR

AUS ve K-AUS uygulamaları ve bileşenlerindeki ilerlemeler, bu sistemlerin performansını ve uygulanabilirliğini artırmaktadır. Özellikle gelişmiş işlemci teknolojileri sayesinde, popülerliği giderek artan veri depolama, işleme, iletme ve veriden anlam çıkarma, tahminleme yöntemleri ulaşım sektöründe daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Bu rapor; K-AUS alanında kullanım potansiyeli yüksek yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler hakkında bilgiler vermek, bu teknolojilerin sektördeki ve literatürdeki analizini yapmak ve gelecekte hangi hizmetleri etkileyebileceğini araştırmayı amaçlamaktadır.

Bu raporda ele alınan yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler, birbiri ile yakından ilişkilidir. Yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin odağında verilerin olduğu ve birbirlerini besleyen bütünleşik sistemlerin birer parçası oldukları göz önünde bulundurulmalıdır. Veri odaklı bu teknolojilerin her biri, verinin toplanmasından aksiyon alınmasına kadar geçen süreçte rol oynamaktadır. Her bir sistem; kendi içerisinde birden çok alan içermekte, diğer alanlardan destek alabilmekte veya diğer alanlarla entegre olduğunda daha yüksek verimle çalışabilmektedir. Tablo 3'te bu rapor kapsamında incelenen yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin, K-AUS uygulamalarında hangi alanlarda rol aldıkları özetlenmiştir.

K-AUS alanında özellikle son yıllarda büyük bir gelişme gösteren yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin ana hedefi; yolculuk verimini artırmak, yol emniyetini ve güvenliğini en üst seviyeye çıkarmak ve sürücülerin daha konforlu yolculuklar yapmalarını sağlamaktır. Ancak, bunların gerçekleşmesi için öncelikle sağlam ve sorunsuz çalışan alt yapılar gerekmektedir.

Bağlantılı ve otonom araç teknolojileri için gerekli altyapılar; yüksek hızlı veri taşıma ve depolama alanına sahip altyapılar, haritalama sistemleri, algılama sistem yardımcıları ve araçların AI modülleri ile uyumlu şekilde çalışan ulaşım sistemleridir.

Sarmal arayüzler ve dijital ikiz sistemleri için özellikle verimli 3-boyutlu görselleştirme yazılımları, 3-boyutlu haritalama sistemleri ve grafik işlemciler sağlanması gereken altyapıyı oluşturmaktadır.

IoT ve yeni nesil haberleşme teknolojileri için yüksek hızlı kablosuz mobil haberleşme ağları ve yerel ağlar en kritik altyapı gereksinimidir.

Tablo 3. Yıkıcı ve Yenilikçi Teknolojilerin K-AUS Uygulamalarında Rol Aldığı Alanlar

Teknoloji	Veri Toplama	Veri İletme	Veri Görselleştirme	Veri İşleme ve Depolama	Veriden Anlam Çıkartma	Uygulama ya Geçme
Bağlantılı ve Otonom Araç Teknolojileri	✓	✓	✓	✓		✓
Sarmal Arayüzler	✓		✓	✓		
Nesnelerin İnterneti	✓	✓		✓		✓
Yeni Nesil İletişim ve Haberleşme Teknolojileri		✓				
Algılama ve Görüntüleme Teknolojileri	✓		✓	✓	✓	
Büyük ve Açık Veri	✓			✓		
Blokzincir Teknolojileri		✓		✓	✓	
Yapay Zekâ, Makine öğrenmesi ve Derin Öğrenme			✓		✓	✓
Bulut Bilişim	✓	✓		✓		✓
Uç Bilişim	✓	✓		✓		✓
Robotik	✓	✓		✓	✓	✓
Dijital İkiz	✓	✓		✓	✓	✓

Algılama ve görüntüleme teknolojileri için yüksek kalitede görüntü sağlayabilecek kamera sistemleri, bu görüntüleri algılamayı öğrenecek sistemler için grafik işlemciler ve anlık görüntü algılama teknolojileri için yüksek performanslı işlemciler, gerekli altyapılar arasındadır.

Blokzincir, bulut bilişim, uç bilişim, açık veri ve büyük veri teknolojileri için yüksek hızlı veri iletim sistemleri, yüksek hızlı işlemciler, etkin veri işleme araçları (Spark, Skala vb.) ve yüksek kapasiteli veri depolama sistemleri önemli altyapı gereksinimleridir.

AI sistemlerinin gelişmesi için temel gereksinimler arasında yüksek kapasiteli işlemciler, AUS alanında deneyim sahibi AI mühendisleri, AI sistemlerinin kurulacağı yüksek performanslı bilgi işlem altyapısı gerekliliği sayılabilir.

Robotik sistemler; IoT sistemleri gibi diğer teknolojilerin entegrasyonu ile gelişen bir teknoloji olduğundan, yukarıda zikredilen teknolojiler için gerekli altyapılarının sağlanması ve bu teknolojilerin birbirleri ile uyumlu şekilde geliştirilmesi, robotik sistemler için elverişli altyapıları oluşturacaktır.

Yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler; uzun vadede, kurulum ve bakım alanlarında yeni iş kollarının doğmasına yol açacaktır. Özellikle büyük verileri toplamak, işlemek, verilerden analitik yapmak, AI ile çıkarımlarda bulunmak ve bunların gerçekleştirileceği sistemlerin kurulumları ve bakımları için deneyimli kişilere ihtiyaç duyulacaktır. AI sistemlerinin değişen şartlara karşı vereceği tepkiler, özellikle derin öğrenme modelleri ile eğitilmiş sistemlerde değişiklik gösterebileceği için düzenli olarak bu sistemlerin performanslarının ölçülmesinden veya ölçüm sistemlerinden sorumlu kişilere ihtiyaç olacaktır.

Bu raporda zikredilen teknolojiler, yeni iş alanları oluşturmanın yanı sıra hâlihazırdaki sistemlerin yerini alabilme veya ilgili sistemlerin önemli bir parçası olabilme potansiyeline sahiptir. Bağlantılı ve otonom araç teknolojilerinin, uzun vadede günümüzdeki sürücülü araçların yerini alabilme potansiyelinin yanında, hızlı veri transferi ve veriyi anlamlandırabilme yeteneklerinden dolayı, hâlihazırda var olan trafik yönetimi yöntemlerine alternatif çözümler getirerek akıllı trafik yönetimine katkı sağlaması muhtemeldir. Ayrıca bağlantılı ve otonom araçlar; hızlı tepki süreleri ve veri toplama/iletme hızları sayesinde, trafik yönetim merkezlerini veri ile besleyerek de trafik yönetimini kolaylaştırabilme potansiyeline sahiptir.

Sarmal arayüzler ve dijital ikiz sistemleri; araç içi veya araç dışı görselleştirme yöntemlerini, 3-boyutlu ve daha gerçekçi hale getirerek sanal sürücü eğitimini mümkün kılma, sürücünün anlık algılama kapasitesini artırma veya sürücünün görüş açısı kaybını önleme gibi faydalar sağlayarak geleneksel görselleştirme yöntemlerinin yerini alabilme potansiyeline sahiptir.

IoT ve yeni nesil haberleşme teknolojileri, geleneksel birçok sistemin yerini almış olup her geçen gün gelişmekte olan teknolojilerdir. Bu raporda zikredilen yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler içerisinde en yüksek gelişme hızına sahiptir. 5G teknolojisi geleceğin K-AUS alanındaki temel mobil haberleşme teknolojisi olarak değerlendirilmesine rağmen, gelecekte daha verimli bir teknolojisinin geliştirilmesi muhtemeldir.

Algılama ve görüntüleme teknolojileri, özellikle CNN ve varyantları ile hızlı bir şekilde ilerlemektedir. YOLO, ResNet gibi CNN temelli derin öğrenme ağlarının daha yüksek doğruluklu ve daha hızlı varyantları geliştirilmeye devam etmektedir. Ayrıca, artık sadece

hareketli cisim algılama değil, aksiyon algılama, araç tipi algılama, hız tespiti gibi özellikler de bu algoritmaların uygulanması ile elde edilebilmektedir.

Büyük veri, açık veri ve blokzincir teknolojileri, özellikle grafik işlemcilerin gelişmesi ve büyük miktarda verilerin üretilmesiyle sektörde popüler teknolojiler haline gelmiştir.

Bulut sistemleri ve uç bilişim yöntemleri, siber güvenlik risklerinin ve internet hızının artmasıyla artık günümüzde verimlilik avantajı azalan ve veri güvenliği konusunda zayıflayan yerel depolama ve işleme sistemlerinin yerini almaya başlamıştır.

AI destekli sistemler, insanların gözlemleyerek veya fiziksel aksiyon olarak yaptıkları işleri çok daha hızlı yapabilmektedir. Ancak AI'nın eğitildiği ortam, dünyada gerçekleşebilecek tüm durumları kapsayacak bir veri seti içermediği/içeremeyeceği için AI destekli sistemler tarafından üretilen çıktılar kontrol edecek nitelikli insanlara ihtiyaç vardır. Yani AI destekli trafik yönetimi, araç sürüşü, cisim algılama, parametre belirleme gibi işlerin çıktıları, nitelikli insanlar tarafından kontrol edilmelidir.

Robotik sistemler ise veri toplama, depolama ve işleme yöntemleri ile veri süreçlerini yürüten, elektronik ve haberleşme teknolojileri ile veri iletimini sağlayan, diğer cihazlara komut veya ara çıktı sunabilen, AI algoritmaları ile kararlar alarak ve tahminlerde bulunarak aksiyon alabilen dinamik, entegre ve amaç odaklı sistemlerdir. Birçok bileşenle entegre olan bir sistemin doğru karar vermesi ise yine bu bileşenlerin doğru modellenerek yerleştirilmesi ve birleştirilmesine bağlıdır. Ayrıca AI algoritmalarının; veri toplama sistemleri gibi hata payı olasılığına sahip sistemlerden üretilen verileri kullanarak çıktılar üretmesi, doğru sonuç üretememe veya zamansal gecikme risklerini beraberinde getirmektedir. Bu nedenle alt sistemlerin ilerlemesi, daha gelişmiş birleştirme teknolojilerinin uygulanması ve robotik sistemlerin, dinamik olarak kendini eğitebileceği ortamların oluşturulması, bu teknolojinin K-AUS alanında daha fazla ve güvenilir bir şekilde yer alabilmesini sağlayacaktır.

Sonuç olarak gelişmekte olan yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler hem birbirlerinin hem de K-AUS unsurlarının daha yüksek doğrulukta, daha hızlı ve etkin bir şekilde gelişmesine olanak sağlamaktadır. Gelişmekte olan bu teknolojilerin birbirlerine ve K-AUS teknolojilerine entegrasyon süreçlerinin; doğruluk, emniyet, güvenlik, verimlilik ve amaca uygunluk açılarından değerlendirilmesi ve sunulacak hizmetlerin herkes için kullanılabilir şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Katkı Beyanı

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

Sorumluluk Reddi Beyanı

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

KAYNAKÇA

- 3gpp. (2017). Release 14. <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-14>
- 3gpp. (2020). Release 16. <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-16>
- Abbas, K., Tawalbeh, L., Rafiq, A., Muthanna, A., Elgendy, I. A., & El-Latif, A. a. A. (2021). Convergence of blockchain and IoT for secure transportation systems in smart cities. *Security and Communication Networks*, 2021, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2021/5597679>
- Abdel-Basset, M., Moustafa, N., Hawash, H., Razzak, I., Sallam, K. M., & Elkomy, O. M. (2022). Federated Intrusion Detection in Blockchain-Based Smart Transportation Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(3), 2523-2537. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3119968>
- Ahangar, M. N., Ahmed, Q. Z., Khan, F. A., & Hafeez, M. (2021). A survey of Autonomous Vehicles: Enabling communication Technologies and challenges. *Sensors*, 21(3), 706. <https://doi.org/10.3390/s21030706>
- Ahmed, K. B., & Kumar, D. (2019). Intelligent Transportation System Using RFID to Reduce Congestion, Ambulance Priority and Stolen Vehicle Tracking. *2019 4th International Conference on Information Systems and Computer Networks, ISCON 2019*, 84-87. <https://doi.org/10.1109/ISCON47742.2019.9036164>
- Ali, W. A., Roccotelli, M., & Fanti, M. P. (2022). Digital Twin in Intelligent Transportation Systems: a Review. *2022 8th International Conference on Control, Decision and Information Technologies, CoDIT 2022*, 576-581. <https://doi.org/10.1109/CODIT55151.2022.9804017>
- Altche, F., & de La Fortelle, A. (2016). Analysis of optimal solutions to robot coordination problems to improve autonomous intersection management policies. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings, 2016-August*, 86-91. <https://doi.org/10.1109/IVS.2016.7535369>
- Amini, A., Vaghefi, R. M., de La Garza, J. M., & Buehrer, R. M. (2014). Improving GPS-based vehicle positioning for Intelligent Transportation Systems. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*, 1023-1029. <https://doi.org/10.1109/IVS.2014.6856592>
- Anadolu Ajansı. (2022). Türkiye'nin 5G yolculuğu İstanbul Havalimanı'ndan başladı. <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/turkiyenin-5g-yolculugu-istanbul-havalimanindan-basladi/2648567>
- Anadolu Grubu. (2020, Eylül). *Anadolu Grubu Sürdürülebilir Kalkınma Araçları Uyumluluk Raporu 2015-2020*. Erişim tarihi 20 Şubat 2023, gönderen https://www.anadolugrubu.com.tr/Upload/Docs/SKA_Uyumluluk_Raporu_2015_2020.pdf
- Anadolu Grubu. (2021). *Anadolu Grubu Sürdürülebilirlik Raporu 2021*. https://www.anadolugrubu.com.tr/Upload/Docs/Anadolu_Grubu_Surdurulebilirlik_Raporu_2021.pdf
- Anania, E. C., Rice, S., Walters, N. W., Pierce, M., Winter, S. R., & Milner, M. N. (2018). The effects of positive and negative information on consumers' willingness to ride in a driverless vehicle. *Transport Policy*, 72, 218-224. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.04.002>
- Anisimov, A. (2019). *5G / New Radio Use Cases and Requirements*. http://anisimoff.org/eng/5g/5g_uc_requirements.html
- Arena, F., Pau, G., & Severino, A. (2020). A Review on IEEE 802.11p for Intelligent Transportation Systems. *Journal of Sensor and Actuator Networks* 2020, Vol. 9, Page 22, 9(2), 22. <https://doi.org/10.3390/JSAN9020022>

- Arthurs, P., Gillam, L., Krause, P., Wang, N., Halder, K., & Mouzakitis, A. (2022). A Taxonomy and Survey of Edge Cloud Computing for Intelligent Transportation Systems and Connected Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(7), 6206-6221. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3084396>
- Avalanche. (2024). What is the history of blockchain? <https://support.avax.network/en/articles/4587339-what-is-the-history-of-blockchain>
- Bao, L., Wang, Q., & Jiang, Y. (2021). Review of Digital twin for intelligent transportation system. *Proceedings - 2021 International Conference on Information Control, Electrical Engineering and Rail Transit, ICEERT 2021*, 309-315. <https://doi.org/10.1109/ICEERT53919.2021.00064>
- Bimbraw, K. (2015). Autonomous cars: Past, present and future a review of the developments in the last century, the present scenario and the expected future of autonomous vehicle technology. *International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO)*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7350466>
- Bitkom. (2016). *Germany-Excellence in Big Data*. Erişim tarihi 03 Ocak 2023, <https://www.bitkom.org/sites/main/files/file/import/Germany-Excellence-in-Big-Data.pdf>
- Biyik, C., Abareshi, A., Paz, A., Ruiz, R. M. A., Battarra, R., Rogers, C. D. F., & Lizarraga, C. (2021). Smart Mobility Adoption: A Review of the literature. *Journal of Open Innovation*, 7(2), 146. <https://doi.org/10.3390/joitmc7020146>
- Bojan, T., Kumar, U., & Bojan, V. (2014). An internet of things based intelligent transportation system. *2014 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, ICVES 2014*, 174-179. <https://doi.org/10.1109/ICVES.2014.7063743>
- Broeders, W. (1995). *RDS-TMC A TRAFFIC MANAGEMENT TOOL AND A COMMERCIAL PRODUCT*. <https://trid.trb.org/View/463508>
- BTK. (2018, Aralık 10). 5G VADİSİ AÇIK TEST SAHASI TEST ŞEBEKE ALTYAPILARI FAYDALANICILARIN KULLANIMINA AÇILIYOR- Duyurular- Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. <https://www.btk.gov.tr/duyurular/5g-vadisi-acik-test-sahasi-test-sebeke-altyapilari-faydalanicilarin-kullanimina-aciliyor>
- Chavhan, S., Gupta, D., Gochhayat, S. P., N., C. B., Khanna, A., Shankar, K., & Rodrigues, J. J. P. C. (2022). Edge Computing AI-IoT Integrated Energy-efficient Intelligent Transportation System for Smart Cities. *ACM Transactions on Internet Technology*, 22(4), 1-18. <https://doi.org/10.1145/3507906>
- Cherchi, E., Farooq, B., & Sobhani, A. (2018). *Virtual Immersive Reality for Stated Preference Travel Behaviour Experiments: A Case Study of Autonomous Vehicles on Urban Roads*. <https://doi.org/10.1177/0361198118776810>
- Chiang, S. H., Wang, T., & Chen, Y. F. (2021). Efficient pedestrian detection in top-view fisheye images using compositions of perspective view patches. *Image and Vision Computing*, 105, 104069. <https://doi.org/10.1016/J.IMAVIS.2020.104069>
- Chintalacheruvu, N., & Muthukumar, V. (2012). Video Based Vehicle Detection and its Application in Intelligent Transportation Systems. *Journal of Transportation Technologies*, 02(04), 305-314. <https://doi.org/10.4236/JTTS.2012.24033>
- Choi, B., Kim, B., Kim, E., & Yang, K. W. (2012). A modified dynamic window approach in crowded indoor environment for intelligent transport robot. *International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*.

https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6393373?casa_token=viU1dkNlcIMAAAAA:4dnxTKiAu4ucGjZAN3nFkzETEUpHhEbtEHsoejntI7u2XVIgMv4VJC9plwVG-2pJXxqb0I06MMk

Chowdhury, A. R. (2017). IoT and Robotics: A Synergy. *PeerJ Preprints*. <https://peerj.com/preprints/2760.pdf>

CO-UMP. (2021). Why C-ITS? - CO-UMP. <https://co-ump.eu/why-c-its/>

Daley, S. (2022). Robotics: What Are Robots? Robotics Definition & Uses. *builtin.com*. <https://builtin.com/robotics>

D'Ambrosia, J. (2022). *IEEE802 LMSC*. <https://www.ieee802.org/>

Darling, G. (2022). What Is Edge Computing?. *IBM Developer*. <https://developer.ibm.com/articles/what-is-edge-computing/>

Dar, K., Bakhouya, M., Gaber, J., Wack, M., & Lorenz, P. (2010). Wireless communication technologies for ITS applications. *IEEE Communications Magazine*, 48(5), 156-162. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2010.5458377>

Datta, S. K., Da Costa, R. P. F., Harri, J., & Bonnet, C. (2016). Integrating connected vehicles in Internet of Things ecosystems: Challenges and solutions. *WoWMoM 2016 - 17th International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*. <https://doi.org/10.1109/WOWMOM.2016.7523574>

Diallo, E.-H. (2022). *Study and Design of Blockchain-based Decentralized Road Traffic Data Management in VANET (Vehicular Ad hoc NETWORKS)*. <https://theses.hal.science/tel-03840268>

Die Bundesregierung. (2022). *Strategy for Automated and Connected Driving*. 10-18. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/EN/publications/strategy-for-automated-and-connected-driving.pdf?__blob=publicationFile

Dirnfeld, R., Flammini, F., Marrone, S., Nardone, R., & Vittorini, V. (2020). Low-Power Wide-Area Networks in Intelligent Transportation: Review and Opportunities for Smart-Railways. *2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC 2020*. <https://doi.org/10.1109/ITSC45102.2020.9294535>

Doecke, S., Grant, A., & Anderson, R. W. G. (2015). The Real-World Safety Potential of Connected Vehicle Technology. <https://doi.org/10.1080/15389588.2015.1014551>, 16, S31-S35. <https://doi.org/10.1080/15389588.2015.1014551>

European Data Portal. (2018). Open Data Maturity Report 2020. https://data.europa.eu/sites/default/files/edp_landscaping_insight_report_n6_2020.pdf

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

everythingRF. (2019). What is DSRC (Dedicated Short Range Communication)? - everything RF. <https://www.everythingrf.com/community/what-is-dsrc>

Faas, S. M., Schoenhals, A., Kraus, J., Baumann, M., & Bau-mann, M. (2021). Calibrating pedestrians' trust in automated vehicles does an intent display in an external hmi support trust calibration and safe crossing behavior? *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. <https://doi.org/10.1145/3411764.3445738>

- Fatemidokht, H., Rafsanjani, M. K., Gupta, B. B., & Hsu, C. H. (2021). Efficient and Secure Routing Protocol Based on Artificial Intelligence Algorithms with UAV-Assisted for Vehicular Ad Hoc Networks in Intelligent Transportation Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(7), 4757-4769. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3041746>
- Fiosina, J., Fiosins, M., & Müller, J. P. (2013). *Big Data Processing and Mining for Next Generation Intelligent Transportation Systems DEcentral Collaborative Development View project Robotic FireFighters View project*. <https://doi.org/10.11113/jt.v63.1949>
- Friesen, M. R., & McLeod, R. D. (2015). Bluetooth in Intelligent Transportation Systems: A Survey. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 13(3), 143-153. <https://doi.org/10.1007/S13177-014-0092-1>
- Frotscher, A., Monschiebl, B., Drosou, A., Gelenbe, E., Reed, M. J., & Al-Naday, M. (2019). Improve cybersecurity of C-ITS road side infrastructure installations: The SerIoT - Secure and Safe IoT approach. *2019 8th IEEE International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2019 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ICCV45908.2019.8965056>
- GSMA. (2020). How can FiBoCom's C-V2X modules enable V2V communication and promise a safer and more efficient traffic?. <https://www.gsma.com/membership/cn/resources/how-can-fibocom-c-v2x-modules-enable-v2v-communication-and-promise-a-safer-and-more-efficient-traffic%EF%BC%9F/>
- HAVELSAN. (2021). *Dijital Dönüşüm | Verimlilik ve İnovasyonda Artışın Anahtarı*. <https://www.havelsan.com.tr/kurumsal/medya-merkezi/havelsan-dergi#7710>
- Hernandez-Ramos, J. L., Baldini, G., Neisse, R., Al-Naday, M., & Reed, M. J. (2019). A policy-based framework in fog enabled internet of things for cooperative ITS. *Global IoT Summit, GIOTS 2019 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/GIOTS.2019.8766360>
- Herrera-Quintero, L. F., Chavarriaga, J., Banse, K., Bermudez, D., & Proeller, G. (2019). Disruptive Technologies in Intelligent Transportation Systems. *IEEE*. <https://doi.org/10.1109/itslatam.2019.8721343>
- Hyundai. (2019, Nisan 23). *Hyundai Introduces Smartphone Based EV Performance Control Technology*. <https://www.hyundai.news/eu/articles/press-releases/hyundai-introduces-smartphone-based-ev-performance-control-technology.html>
- Ibáñez, J. A. G., Zeadally, S., & Contreras-Castillo, J. (2015). Integration challenges of intelligent transportation systems with connected vehicle, cloud computing, and Internet of Things technologies. *IEEE Wireless Communications*, 22(6), 122-128. <https://doi.org/10.1109/MWC.2015.7368833>
- IBM. (2023). AI vs. Machine Learning vs. Deep Learning vs. Neural Networks: What's the difference? IBM Blog. <https://www.ibm.com/blog/ai-vs-machine-learning-vs-deep-learning-vs-neural-networks/>
- IBM. (2022, Mart 21). What is edge computing? | IBM. <https://developer.ibm.com/articles/what-is-edge-computing/>
- <https://www.ibm.com/topics/edge-computing#:~:text=Edge%20computing%20is%20a%20distributed,times%20and%20better%20bandwidth%20availability>
- Ilgin Guler, S., Menendez, M., & Meier, L. (2014). Using connected vehicle technology to improve the efficiency of intersections. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 46, 121-131. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2014.05.008>

- Im, C., & Kim, D. (2017). Real-Time Traffic Information and Road Sign Recognitions of Circumstance on Expressway for Vehicles in C-ITS Environments. *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, 54(1), 55-69. <https://doi.org/10.5573/IEIE.2017.54.1.055>
- Insiris. (2019, Haziran). *Machine Learning in the Real World*. <https://www.insiris.com/blog/machine-learning-in-the-real-world>
- IoT World Today. (2022). *Audi Works to Make Roads Safer for School Buses, Emergency Vehicles*. <https://www.iotworldtoday.com/transportation-logistics/audi-works-to-make-roads-safer-for-school-buses-emergency-vehicles>
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (2022). *Ulaşımında “Yapay Zeka” Dönemi*. Erişim tarihi 20 Şubat 2023, gönderen <https://uym.ibb.gov.tr/kurumsal/haberler-ve-duyurular/ula%C5%9F%C4%B1mda-yapay-zek%C3%A2-d%C3%B6nemi>
- Jabbar, R., Dhib, E., Said, A. ben, Krichen, M., Fetais, N., Zaidan, E., & Barkaoui, K. (2022). Blockchain Technology for Intelligent Transportation Systems: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*, 10, 20995-21031. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3149958>
- Javaid, S., Sufian, A., Pervaiz, S., & Tanveer, M. (2018). Smart traffic management system using Internet of Things. *International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT, 2018-February*, 393-398. <https://doi.org/10.23919/ICACT.2018.8323770>
- Javed, M. A., Zeadally, S., & Hamida, E. Ben. (2019). Data analytics for Cooperative Intelligent Transport Systems. *Vehicular Communications*, 15, 63-72. <https://doi.org/10.1016/J.VEHCOM.2018.10.004>
- Jaworski, P., Edwards, T., Moore, J., & Burnham, K. (2011). Cloud computing concept for intelligent transportation systems. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 931-936. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2011.6083087>
- Kaffash, S., Nguyen, A. T., & Zhu, J. (2021). Big data algorithms and applications in intelligent transportation system: A review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Economics*, 231, 107868. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2020.107868>
- Karger, E., Jagals, M., & Ahlemann, F. (2021). Blockchain for Smart Mobility—Literature Review and Future Research Agenda. *Sustainability*, 13(23), 13268. <https://doi.org/10.3390/su132313268>
- Kenney, J. B. (2011). Dedicated Short-Range Communications (DSRC) standards in the United States. *Proceedings of the IEEE*, 99(7), 1162–1182. <https://doi.org/10.1109/jproc.2011.2132790>
- Kim, D., Yang, S., Kim, H. S., Son, Y., & Han, S. (2012). Outdoor Visible Light Communication for inter-vehicle communication using Controller Area Network. *IEEE*. <https://doi.org/10.1109/cce.2012.6315865>
- Kljaic, Z., Skorput, P., & Amin, N. (2016). The challenge of cellular cooperative ITS services based on 5G communications technology. *2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2016 - Proceedings*, 587-594. <https://doi.org/10.1109/MIPRO.2016.7522210>
- Krasniqi, X., & Hajrizi, E. (2016). Use of IoT Technology to Drive the Automotive Industry from Connected to Full Autonomous Vehicles. *IFAC-PapersOnLine*, 49(29), 269-274. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2016.11.078>
- Lanner. (2017). *5 Examples of Edge Computing Solutions in Use Today*. Erişim tarihi 19 Şubat 2023, gönderen <https://www.lanner-america.com/blog/5-examples-edge-computing-solutions-use-today/>

- Li, Q., Chen, P., & Wang, R. (2019). Edge computing for intelligent transportation system: A review. *Communications in Computer and Information Science*, 1138 CCIS, 130-137. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1925-3_10
- Lian, Y., Zhang, G., Lee, J. Y., & Huang, H. (2020). Review on big data applications in safety research of intelligent transportation systems and connected/automated vehicles. *Accident Analysis & Prevention*, 146, 105711. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105711>
- Liao, S., Wu, J., Bashir, A. K., Yang, W., Li, J., & Tariq, U. (2022). Digital Twin Consensus for Blockchain-Enabled Intelligent Transportation Systems in Smart Cities. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(11), 22619-22629. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3134002>
- LiFi. (2023). Visible light Communication - LiFi. <https://lifi.co/visible-light-communication/>
- Liu, Y. C., Huang, S. S., Lu, C. H., Chang, F. C., & Lin, P. Y. (2017). Thermal pedestrian detection using block LBP with multi-level classifier. *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Applied System Innovation: Applied System Innovation for Modern Technology, ICASI 2017*, 602-605. <https://doi.org/10.1109/ICASI.2017.7988495>
- Lv, Z., Chen, D., & Wang, Q. (2021). Diversified Technologies in Internet of Vehicles under Intelligent Edge Computing. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(4), 2048-2059. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3019756>
- Lv, Z., Li, Y., Feng, H., & Lv, H. (2022). Deep Learning for Security in Digital Twins of Cooperative Intelligent Transportation Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(9), 16666-16675. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3113779>
- Machin, M., Sanguesa, J. A., Garrido, P., & Martinez, F. J. (2018). On the use of artificial intelligence techniques in intelligent transportation systems. *2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops, WCNCW 2018*, 332-337. <https://doi.org/10.1109/WCNCW.2018.8369029>
- Maffiola, D., Longari, S., Carminati, M., Tanelli, M., & Zanero, S. (2022). GOLIATH: A Decentralized Framework for Data Collection in Intelligent Transportation Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(8), 13372-13385. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3123824>
- Mannoni, V., Berg, V., Sesia, S., & Perraud, E. (2019). A comparison of the V2X communication systems: ITS-G5 and C-V2X. *IEEE Vehicular Technology Conference*, 2019-April. <https://doi.org/10.1109/VTCSRING.2019.8746562>
- McKinsey & Company. (2021). Insurance 2030—The impact of AI on the future of insurance. <https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/insurance-2030-the-impact-of-ai-on-the-future-of-insurance#/>
- McKinsey Global Institute. (2019). Connected world - An evolution in connectivity beyond the 5G revolution. https://www.mckinsey.com/~/_media/mckinsey/industries/technology%20media%20and%20telecommunications/telecommunications/our%20insights/connected%20world%20an%20evolution%20in%20connectivity%20beyond%20the%205g%20revolution/mgi_connected-world_discussion-paper_february-2020.pdf
- Meena, G., Sharma, D., & Mahrishi, M. (2020). Traffic Prediction for Intelligent Transportation System using Machine Learning. *Proceedings of 3rd International Conference on Emerging Technologies in Computer Engineering: Machine Learning and Internet of Things, ICETCE 2020*, 145-148. <https://doi.org/10.1109/ICETCE48199.2020.9091758>

- Microchip Technology. (2021, Ağustos 2). *Current Trends in Autonomous Vehicle Adoption*. <https://www.microchip.com/en-us/about/media-center/blog/2021/current-trends-in-autonomous-vehicle-adoption>
- Midas. (2022, Ekim 30). *Nesnelerin İnterneti (IoT) Nedir? Neden Önemlidir?* <https://www.getmidas.com/blog/nesnelerin-interneti-nedir/>
- Monserrat, J. F., Diehl, A. S., Lamas, C. B., & Sultan, S. (2020). Envisioning 5G-Enabled transport. <https://doi.org/10.1596/35160>
- Mordue, G., Yeung, A., & Wu, F. (2020). The looming challenges of regulating high level autonomous vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132, 174-187. <https://doi.org/10.1016/J.TRA.2019.11.007>
- Morgan, Y. L. (2010). Managing DSRC and WAVE Standards Operations in a V2V Scenario. *International Journal of Vehicular Technology*, 2010, 1-18. <https://doi.org/10.1155/2010/797405>
- Odak Arge Merkezi. (2020, Ekim 20). *RFID Nedir?* Erişim tarihi 19 Şubat 2023, gönderen <https://www.odakarge.com/rfid-nedir>
- Oeltze, K., & Schiebl, C. (2015). Benefits and challenges of multi-driver simulator studies. *IET Intelligent Transport Systems*, 9(6), 618-625. <https://doi.org/10.1049/IET-ITS.2014.0210>
- Pacella, F., Bonetto, E., Castillo, G. A. G., Brevi, D., & Scopigno, R. (2021). Implementation and Latency Assessment of a Prototype for C-ITS Collective Perception. *2021 IEEE International Mediterranean Conference on Communications and Networking, MeditCom 2021*, 100-105. <https://doi.org/10.1109/MEDITCOM49071.2021.9647572>
- Packt. (2018, Haizran). *Components of a typical self-driving car | ROS Robotics Projects - Second Edition*. Erişim tarihi 01 Mayıs 2023, gönderen <https://subscription.packtpub.com/book/iot-and-hardware/9781838649326/10/ch10lv11sec93/components-of-a-typical-self-driving-car>
- Patriot Software. (2022, Ocak 14). *What Is Blockchain? | Definition, Structure, Uses, & More*. <https://www.patriotsoftware.com/blog/accounting/what-is-blockchain/>
- Peyman, M., Copado, P. J., Tordecilla, R. D., Martins, L. D. C., Xhafa, F., & Juan, A. A. (2021). Edge Computing and IoT Analytics for Agile Optimization in Intelligent Transportation Systems. *Energies* 2021, Vol. 14, Page 6309, 14(19), 6309. <https://doi.org/10.3390/EN14196309>
- Pinto, L. J., Kim, D. H., Lee, J. Y., & Han, C. S. (2012). Development of a Segway robot for an intelligent transport system. *2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, SII 2012*, 710-715. <https://doi.org/10.1109/SII.2012.6427308>
- Ranger, S. (2022). What is cloud computing? Everything you need to know about the cloud explained. ZDNET. <https://www.zdnet.com/article/what-is-cloud-computing-everything-you-need-to-know-about-the-cloud/>
- Riskinsight. (2022). Big Data. <https://riskinsightconsulting.co.in/big-data/>
- Qiu, L., Zhang, D., Tian, Y., & Al-Nabhan, N. (2021). Deep learning-based algorithm for vehicle detection in intelligent transportation systems. *Journal of Supercomputing*, 77(10), 11083-11098. <https://doi.org/10.1007/S11227-021-03712-9>
- Qualcomm. (2018). Panasonic, Qualcomm and Ford Join Forces on First U.S. Deployment for. <https://www.qualcomm.com/news/releases/2018/06/panasonic-qualcomm-and-ford-join-forces-first-us-deployment-c-v2x-vehicle>

- Qu, S., Xu, Z., Lu, F., Chen, G., & Yu, Z. (2019). ITDP-Robot: Design of An Intelligent Transport Dispatch Parking Robot. *智能城市应用*, 2(5). <https://journals.viserdata.com/index.php/sca/article/viewFile/816/726>
- Sarker, A., Shen, H., Rahman, M., Chowdhury, M., Dey, K., Li, F., Wang, Y., & Narman, H. S. (2020). A review of sensing and communication, human factors, and controller Aspects for Information-Aware Connected and Automated Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(1), 7–29. <https://doi.org/10.1109/tits.2019.2892399>
- Sharan, P., Mutyal, M., Agrawal, H., & Agrawal, P. (2014). Simulation study of multi-robot for Intelligent Transportation System. *11th IEEE India Conference: Emerging Trends and Innovation in Technology, INDICON 2014*. <https://doi.org/10.1109/INDICON.2014.7030617>
- Sharma, R. (2021). Big Data for Autonomous Vehicles. *Studies in Computational Intelligence*, 945, 21-47. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65661-4_2
- Singh, B. P. (2019, Şubat). A survey on LPWAN technologies in content to IoT applications. *IJARIT Journal*. https://www.researchgate.net/publication/330840657_A_survey_on_LPWAN_technologies_in_content_to_IoT_applications
- Sniezek, J. A., Wilkins, D. C., & Wadlington, P. L. (2001). Advanced training for crisis decision making: Simulation, critiquing, and immersive interfaces. *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences*, 83. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2001.926337>
- Tak, S., Lee, J. D., Song, J., & Kim, S. (2021). Development of AI-Based Vehicle Detection and Tracking System for C-ITS Application. *Journal of Advanced Transportation*, 2021, 78311-78319. <https://doi.org/10.1155/2021/4438861>
- Tarault, A., Bourdot, P., & Vézien, J.-M. (2005). LNCS 3515 - SACARI: An Immersive Remote Driving Interface for Autonomous Vehicles. *LNCS*, 3515, 339-342. https://link.springer.com/chapter/10.1007/11428848_44
- Tasgaonkar, P. P., Garg, R. D., & Garg, P. K. (2020). Vehicle Detection and Traffic Estimation with Sensors Technologies for Intelligent Transportation Systems. *Sensing and Imaging*, 21(1), 1-28. <https://doi.org/10.1007/S11220-020-00295-2/>
- TechInside. (2014). *Görüntü algılama teknolojisi neden önemli?* <https://www.techinside.com/goruntu-algilama-teknolojisi-neden-onemli/>
- Thakur, T. T., Naik, A., Vatari, S., & Gogate, M. (2016). Real time traffic management using Internet of Things. *International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2016*, 1950-1953. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2016.7754512>
- The Digital Speaker. (2022, Nisan 13). *Digital Twins Are a Building Block of the Metaverse*. <https://www.thedigitalspeaker.com/digital-twins-building-block-metaverse/>
- Thrun, S., Montemerlo, M., Dahlkamp, H., Stavens, D., Aron, A., Diebel, J., Fong, P., Gale, J., Halpenny, M., Hoffmann, G., Lau, K., Oakley, C., Palatucci, M., Pratt, V., Stang, P., Strohband, S., Dupont, C., Jendrossek, L. E., Koelen, C., ... Mahoney, P. (2006). Stanley: The robot that won the DARPA Grand Challenge. *Journal of Field Robotics*, 23(9), 661-692. <https://doi.org/10.1002/ROB.20147>

Turkcell Medya. (2022). *Turkcell'in yapay zeka uygulaması uzaktan sürüş desteğiyle hayatları kurtaracak*. Erişim tarihi 20 Şubat 2023, gönderen <https://medya.turkcell.com.tr/bulletins/turkcellin-yapay-zeka-uygulamasi-uzaktan-surus-destegiyle-hayatları-kurtaracak/>

Türk, M. (2021, Mart 6). *Hep duyduğumuz ama anlamadığımız Nesne Algılama Teknolojisi!* . <https://www.munirturk.com.tr/hep-duyduğumuz-ama-anlamadığımız-nesne-algılama-teknolojisi-mutlaka-bilmeniz-gereken-2-sey/>

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). BLOK ZİNCİR VE METAVERSE TEKNOLOJİSİ ÇALIŞMA HEYETİ SONUÇ RAPORU. 9-100 <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cbs/icerikler/blokz-nc-r-ve-metaverse-calisma-heyet-raporu-20220823173218.pdf>

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2020). T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Stratejik Plan 2020-2024. 16-70. http://www.sp.gov.tr/upload/xSPStratejikPlan/files/fmdJw+SANAYI_VE_TEKNOLOJI_BAKANLIGI_2020-2024_STRATEJIK_PLANI-YENILEME.pdf

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2022). *Akıllı Ulaşım Sistemleri Terimler Sözlüğü*. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemleri-aus/aus-terimler-sozlugu.pdf>

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Haberleşme Genel Müdürlüğü. (2020). *Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı*. <https://www.uab.gov.tr/uploads/announcements/ulusal-akilli-ulasim-sistemleri-strateji-belgesi-v/ulusal-akilli-ulas-im-sistemleri-strateji-belgesi-ve-2020-2023-eylem-planı.pdf>

U.S. Department of Transportation. (2023). HISTORY OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS. https://www.its.dot.gov/history/pdf/HistoryofITS_book.pdf

Ullah, Z., Naeem, M., Coronato, A., Ribino, P., & De Pietro, G. (2023). Blockchain applications in sustainable smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 97, 104697. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104697>

UK Department for Transport. (2017). *Intelligent Transport Systems in the UK Progress Report*. https://transport.ec.europa.eu/system/files/2018-06/2018_uk_its_progress_report_2017.pdf

United States Department of Transportation. (2020). *Intelligent Transportation Systems Joint Program Office Strategic Plan 2020-2025*. https://www.its.dot.gov/stratplan2020/ITSJPO_StrategicPlan_2020-2025.pdf

United States National Highway Traffic Safety Administration, Harding, J., Powell, G., Yoon, R., Fikentscher, J., Doyle, C., Sade, D., Lukuc, M., Simons, J., & Wang, J. (2014). Vehicle-to-vehicle communications: readiness of V2V technology for application (DOT HS 812 014). <https://rosap.nhtl.gov/view/dot/27999>

Utmel. (2021). What is Visible Light Communication(VLC)? Utmel. <https://www.utmel.com/blog/categories/optoelectronics/what-is-visible-light-communication-vlc>

Victoria State Government | Department of Transport and Planning. (2020). *Connected and automated vehicles*. Erişim tarihi 03 Ocak 2023, gönderen <https://transport.vic.gov.au/our-transport-future/future-directions-for-transport/our-strategic-directions/new-and-evolving-technologies/connected-and-automated-vehicles>

Von Sawitzky, T., Wintersberger, P., Riener, A., & Gabbard, J. L. (2019). Increasing trust in fully automated driving: Route indication on an augmented reality head-up display. *Proceedings - Pervasive*

Displays 2019 - 8th ACM International Symposium on Pervasive Displays, PerDis 2019.
<https://doi.org/10.1145/3321335.3324947>

Walz, E. (2021, Haziran 26). *Audi and its Partners Demonstrate C-V2X Connected Vehicle Technology to Increase Safety Around School Buses.* <https://www.futurecar.com/4629/Audi-and-its-Partners-Demonstrate-C-V2X-Connected-Vehicle-Technology-to-Increase-Safety-Around-School-Buses>

Wang, A., Zhang, A., Chan, E. H., Shi, W., Zhou, X., & Liu, Z. (2020). A review of human mobility research based on big data and its implication for smart city development. *ISPRS International Journal of Geo-information*, 10(1), 13. <https://doi.org/10.3390/ijgi10010013>

Wang, J., Pradhan, M. R., & Gunasekaran, N. (2022). Machine learning-based human-robot interaction in ITS. *Information Processing & Management*, 59(1), 102750. <https://doi.org/10.1016/J.IPM.2021.102750>

Xu, Z., Li, X., Zhao, X., Zhang, M. H., & Wang, Z. (2017). DSRC versus 4G-LTE for Connected Vehicle Applications: A Study on Field Experiments of Vehicular Communication Performance. *Journal of Advanced Transportation*, 2017, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2017/2750452>

Yan, G., & Qin, Q. (2020). The Application of Edge Computing Technology in the Collaborative Optimization of Intelligent Transportation System Based on Information Physical Fusion. *IEEE Access*, 8, 153264-153272. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3008780>

Yang, L., Xiong, Z., Liu, G., Hu, Y., Zhang, X., & Qiu, M. (2022). An Analytical Model of Page Dissemination for Efficient Big Data Transmission of C-ITS. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(9), 16524-16533. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3134557>

Yang, Z., & Pun-Cheng, L. S. C. (2018). Vehicle detection in intelligent transportation systems and its applications under varying environments: A review. *Image and Vision Computing*, 69, 143-154. <https://doi.org/10.1016/J.IMAVIS.2017.09.008>

Yiğit, E., Öner, A. E., & Yöntem, O. (2020). Otonom Araçların Otomotiv Sektörüne Etkileri ve Beraberinde Getirdiği Yenilikler. *European Journal of Science and Technology Special Issue*, 181-186. <https://doi.org/10.31590/ejosat.820722>

Yoo, A., Shin, S., Lee, J., & Moon, C. (2020). Implementation of a Sensor Big Data Processing System for Autonomous Vehicles in the C-ITS Environment. *Applied Sciences 2020, Vol. 10, Page 7858*, 10(21), 7858. <https://doi.org/10.3390/APP10217858>

Yoon, C., Hwang, J., Cho, M., & Lee, B. G. (2021). Study on DID Application Methods for Blockchain-Based Traffic Forensic Data. *Applied Sciences 2021, Vol. 11, Page 1268*, 11(3), 1268. <https://doi.org/10.3390/APP11031268>

Zhang, H., & Lu, X. (2020). Vehicle communication network in intelligent transportation system based on Internet of Things. *Computer Communications*, 160, 799-806. <https://doi.org/10.1016/J.COMCOM.2020.03.041>

Zhou, X., Ke, R., Yang, H., & Liu, C. (2021). When Intelligent Transportation Systems Sensing Meets Edge Computing: Vision and Challenges. *Applied Sciences 2021, Vol. 11, Page 9680*, 11(20), 9680. <https://doi.org/10.3390/APP11209680>

Zhou, Z., Yu, H., Xu, C., Zhang, Y., Mumtaz, S., & Rodriguez, J. (2018). Dependable Content Distribution in D2D-Based Cooperative Vehicular Networks: A Big Data-Integrated Coalition Game Approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(3), 953-964. <https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2771519>

Zhu, L., Yu, F. R., Wang, Y., Ning, B., & Tang, T. (2019). Big Data Analytics in Intelligent Transportation Systems: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(1), 383–398. <https://doi.org/10.1109/tits.2018.2815678>



K-AUS ALANINDA YIKICI VE YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLER RAPORU

