



**TÜRKİYE'DEKİ AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ
POLİTİKALARININ İNCELENMESİ**

Rümeysa TORTUM

Danışman: Doç. Dr. Ahmet ATALAY

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2025

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**TÜRKİYE'DE AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ POLİTİKALARININ
İNCELENMESİ**

(Investigation of Intelligent Transportation Systems Policies in Turkey)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rümeysa TORTUM

Danışman: Doç. Dr. Ahmet ATALAY

Erzurum
Eylül, 2025



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

TÜRKİYE'DEKİ AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ POLİTİKALARININ İNCELENMESİ

Doç. Dr. Ahmet ATALAY danışmanlığında, Rümeysa TORTUM tarafından hazırlanan bu çalışma, 27/08/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Mahir GÖKDAĞ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Doç. Dr. Ahmet ATALAY <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Emre KUŞKAPAN <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

Enstitü Yönetim
Kurulunun .../.../.... tarih
ve sayılı kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr. Alper NUHOĞLU

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak *Doç. Dr. Ahmet Atalay* danışmanlığında sunulan “Türkiye’deki Akıllı Ulaşım Sistemleri Politikalarının İncelenmesi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	1	30
Kuramsal Temeller	6	30
Materyal ve Metot	4	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	16	20
Sonuçlar ve Öneriler	0	20
Tezin Geneli	25	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5’den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Rümeysa Tortum	Doç. Dr. Ahmet Atalay
27.8.2025	27.8.2025
İmza:	İmza:
Aslı Islak İmzalıdır	Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

- ☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.
- ☐ Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

Not: Bu form, Tezin son şekline uygun olarak bilgisayar ortamında doldurulmalı, çıktısı imzalanıp Tezin sonuna eklenmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanma sürecinde bilgi, deneyim ve akademik rehberlikleriyle katkı sunan tüm kişilere içtenlikle teşekkür ederim.

Her şeyden önce, tez danışmanım Doç. Dr. Ahmet Atalay’a, çalışmanın tüm aşamalarında sunduğu bilimsel yönlendirme, yapıcı eleştiriler ve özveriyle desteği için en derin şükranlarımı sunarım. Kendisinin akademik rehberliği, çalışmamın bilimsel niteliğinin gelişmesine önemli katkılar sağlamıştır.

Ayrıca, akademik hayatımda bana her zaman örnek olan ve bu süreçte teşvik edici yaklaşımıyla yanımda bulunan değerli amcam Prof. Dr. Ahmet Tortum’a ve akademik anlamda katkı sunan Öğr. Gör. Şeyma Sünbül’e desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu sürecin manevi yükünü hafifleten, her zaman yanımda olarak sabır ve anlayışla destek veren başta sevgili annem olmak üzere aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Özellikle zorlu dönemlerde gösterdikleri sabır ve sağladıkları motivasyon, bu çalışmanın tamamlanmasında belirleyici olmuştur.

Son olarak, tez sürecinde bilgi, moral ve dayanışmalarıyla bana güç veren değerli arkadaşlarıma da gönülden teşekkür ederim.

Bu çalışmanın alana katkı sunmasını temenni eder, tüm katkı sağlayan kişilere tekrar teşekkür ederim.

Rümeysa TORTUM

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE’DE AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ POLİTİKALARININ İNCELENMESİ

Rümeysa TORTUM

Danışman: Doç. Dr. Ahmet ATALAY

Amaç: Bu tez çalışmasının temel amacı, Türkiye’de Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) politikalarının mevcut durumunu incelemek, karşılaşılan kurumsal, teknik ve toplumsal sorunları belirlemek ve bu sorunları dünya ülkelerinin başarılı AUS uygulamalarıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirerek, Türkiye’deki eksiklikleri ortaya koymaktır. Son yıllarda kentleşme, nüfus yoğunluğu, çevresel sürdürülebilirlik ve dijitalleşme süreçlerinin hız kazanmasıyla birlikte, ulaşım altyapılarının akıllı sistemlerle entegrasyonu stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu doğrultuda AUS, yalnızca teknik bir uygulama alanı olarak değil; yönetim, kullanıcı katılımı, sürdürülebilirlik ve veri politikalarını da kapsayan çok boyutlu bir kamu politikası aracı olarak ele alınmıştır.

Yöntem: Araştırmada nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiş olup, belge analizi yöntemiyle ulusal ve uluslararası strateji belgeleri, akademik yayınlar, resmi raporlar ve politika dokümanları sistematik biçimde incelenmiştir. Bu süreçte, Türkiye’nin AUS alanındaki politikaları ve uygulamaları, dünya genelindeki örnek uygulamalarla karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde kurumsal yapı, teknolojik altyapı, toplumsal farkındalık düzeyi ve veri yönetimi kapasitesi gibi temel temalar esas alınmıştır.

Bulgular: Araştırma sonucunda elde edilen bulgular, Türkiye’de AUS politikalarının çeşitli açılardan ilerleme kaydettiğini göstermektedir. Bununla birlikte, uygulama süreçlerinde kurumsal eşgüdüm eksiklikleri, veri yönetimi sorunları, toplumsal farkındalık düzeyinin düşüklüğü ve teknolojik uyum kapasitesindeki sınırlılıklar gibi önemli sorunların varlığı da tespit edilmiştir. Ayrıca, dünya genelinde Singapur, Kopenhag, Barselona ve Helsinki gibi şehirlerin AUS uygulamaları, kullanıcı odaklılık, dijitalleşme ve çevresel sürdürülebilirlik açısından Türkiye için örnek teşkil edebilecek uygulamalardır.

Sonuç: Elde edilen veriler doğrultusunda, Türkiye’nin AUS alanında uluslararası düzeyde rekabetçi, bütünleşmiş ve sürdürülebilir bir ulaşım sistemi oluşturabilmesi için çok boyutlu bir stratejik dönüşüme ihtiyaç duyduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu dönüşümün sağlanabilmesi için kurumsal yapılanmadan veri politikalarına, toplumsal katılımdan finansman modellerine kadar uzanan kapsamlı politika reformları gerekmektedir. Bu tez çalışması, teknik odaklı literatürden farklı olarak AUS politikalarına eleştirel ve bütüncül bir bakış açısı kazandırmakta; özellikle Türkiye’nin dijital, sürdürülebilir ve katılımcı ulaşım sistemlerine geçiş sürecine yönelik politika önerileri sunarak hem literatüre hem de karar alıcılara katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), Akıllı Şehirler, Sürdürülebilir Ulaşım, Dijitalleşme, Veri Yönetimi, Kamu Politikası, Kentleşme.

Eylül 2025, 210 sayfa

ABSTRACT

MASTER'S DISSERTATION

INVESTIGATION OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS POLICIES IN TURKEY

Rümeysa TORTUM

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet ATALAY

Purpose: The primary aim of this thesis is to evaluate the current state of Intelligent Transportation Systems (ITS) policies in Türkiye, identify the institutional, technical, and societal challenges faced, and assess Türkiye's shortcomings through a comparative analysis with exemplary global practices. In recent years, due to the acceleration of urbanization, population density, environmental sustainability, and digitalization processes, the integration of transportation infrastructure with intelligent systems has become a strategic necessity. From this perspective, ITS is addressed not merely as a technical domain, but as a multifaceted public policy instrument encompassing governance, user participation, sustainability, and data policy dimensions.

Method: This study adopts a qualitative research approach and employs document analysis by systematically reviewing national and international strategy papers, academic publications, official reports, and policy documents. Türkiye's current ITS policies and practices are comparatively analyzed alongside global examples. The evaluation process focuses on key themes such as institutional structures, technological infrastructure, public awareness, and data management capacity.

Findings: The findings indicate that while Türkiye has made progress in certain aspects of ITS policy development, there are critical challenges in implementation, including a lack of institutional coordination, data management difficulties, low levels of public awareness, and limited technological adaptation capacity. In addition, successful ITS practices from cities such as Singapore, Copenhagen, Barcelona, and Helsinki offer valuable examples in terms of user-centered design, digitalization, and environmental sustainability.

Results: The study concludes that in order for Türkiye to develop a competitive, integrated, and sustainable ITS framework on an international level, a comprehensive strategic transformation is required. This transformation must include reforms in institutional structuring, data governance, societal engagement, financing models, and technological infrastructure. Unlike technically focused literature, this thesis offers a critical and holistic perspective on ITS policies and aims to contribute to both the academic literature and policy-making processes by providing practical policy recommendations that support Türkiye's transition toward a digital, sustainable, and participatory transportation system.

Keywords: Intelligent Transportation Systems (ITS), Smart Cities, Sustainable Transportation, Digitalization, Data Management, Public Policy, Urbanization.

September 2025, 210 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1
KURAMSAL TEMELLER	4
Akıllı Ulaşım Sistemlerine (AUS) Giriş	4
Tanım ve kapsam.....	4
AUS'un temel amacı ve bileşenleri.....	5
AUS'un ulaşım politikaları içindeki yeri	10
Akıllı Sistemler ve Teknoloji Kavramı	13
Akıllılık kavramı: tanımı boyutları ve evrimi.....	13
Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) temelli sistemler	16
Siber-fiziksel sistemler ve otomasyon	19
Ulaşım Sistemlerine Kuramsal Yaklaşımlar	21
Sistem kuramı ve ulaşım	21
Karmaşık adaptif sistemler olarak ulaşım altyapıları	24
Ağ teorisi ve ulaşım ağlarının modellenmesi	28
Akıllı Şehir ve Ulaşım İlişkisi	31
Akıllı kent bileşenleri ve AUS'un yeri	31
Ulaşımın kent yaşantısı, ekonomi ve çevreyle ilişkisi	40
Sürdürülebilir ulaşım ve AUS entegrasyonu	46
Disiplinlerarası Yaklaşım ve AUS	53
Ulaşım mühendisliği	53
Şehir ve bölge planlama	55
Bilişim ve yazılım mühendisliği.....	56
Sosyoteknik sistemler olarak AUS.....	58

MATERYAL VE METOT	61
Araştırma Yöntemi	61
Nitel araştırma yaklaşımı	61
Durum çalışması deseni	65
Karşılaştırmalı politika analizi yaklaşımı	71
Veri Toplama Teknikleri.....	73
Literatür taraması	73
Doküman analizi.....	74
Resmî rapor ve strateji belgelerinin incelenmesi	76
Veri Kaynakları	76
Ulusal ve uluslararası akademik yayınlar	76
Türkiye Cumhuriyeti resmî kurum belgeleri	77
Dünya’da seçilmiş ülke örnekleri.....	77
Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, belediyeler ve ilgili kurumlar	77
Veri Analiz Süreci	78
Tematik analiz yöntemi.....	78
Karşılaştırmalı ülke analizi	81
Zaman serisi yaklaşımı (geçmiş, şimdi, gelecek)	81
Bulguların yorumlanması süreci.....	82
ARAŞTIRMA BULGULARI	83
Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Türkiye’deki Gelişim Süreci	83
Günümüz Türkiye’inde Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Mevcut Durumu.....	90
Türkiye’de Karşılaşılan Temel Sorunlar ve Başarılar.....	96
Dünya’da Seçilmiş Ülke Örnekleri ile Karşılaştırmalı Analiz	102
Japonya.....	107
Amerika Birleşik Devletleri (ABD)	110
Güney Kore.....	112
Almanya	115
Hollanda	119
Singapur	119
İngiltere	120
Avustralya	121
Geleceğe Yönelik Öngörüler ve Stratejik Eğilimler	128
Yapay zekâ.....	128
Otonom ulaşım	140

Veri temelli planlama	146
Sürdürülebilir AUS hedefleri.....	151
Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Geleceğine İlişkin Türkiye Perspektifi	155
Karşılaştırmalı Politika Analizi ve Tematik Analiz Sonuçları	158
Karşılaştırmalı analiz bulguları	158
Tematik analiz bulguları	159
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	165
KAYNAKLAR.....	168
ÖZGEÇMİŞ.....	197



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. V2X Pazarı Büyüme Oranları	9
Tablo 2. Akıllı Şehir Bileşenleri ve Özellikleri	36
Tablo 3. Küresel Düzeyde Ulaşım Modlarına Göre Karbon Emisyonlarının Karşılaştırılması	50
Tablo 4. Yıllara Göre Dünyadaki AUS Gelişimi	106
Tablo 5. Japonya AUS Hedefleri	110
Tablo 6. ABD'nin AUS Stratejik Amaçları Özet Tablosu	111
Tablo 7. AUS Güney Kore'nin Stratejik Amaçları Özet Tablosu	115
Tablo 8. Almanya'nın AUS Stratejik Amaçları Özet Tablosu	118
Tablo 9. Öncü Ülkeler ve Türkiye'deki AUS Uygulamalarının Karşılaştırılması	126
Tablo 10. AUS Uygulamalarının Dünya ve Türkiye Temelinde Karşılaştırılması	160
Tablo 11. Türkiye-Singapur AUS Karşılaştırması	162
Tablo 12. AUS Uygulamalarının Karşılaştırılması	164

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Akıllı ulaşım sistemlerinin tanımı	5
Şekil 2. Akıllı şehirlerin temel unsurları	15
Şekil 3. Karmaşık uyumlanabilir sistemlerin şematik gösterimi	27
Şekil 4. Ağırlıklı taşıma ağı örneği	29
Şekil 5. Sürdürülebilirliğin temel boyutları	51
Şekil 6. ABUS (Akıllı Bisikletli Ulaşım Sistemi)	101
Şekil 7. Japonya ulusal AUS projesi	107
Şekil 8. ITS Japonya'ya liderlik eden üyeler	109
Şekil 9. Güney Kore AUS stratejisi plan dönemleri	113
Şekil 10. OLEV-Seul	123
Şekil 11. Smou-Barselona	124
Şekil 12. Otomatik metro sistemi Kopenhag, Danimarka	141
Şekil 13. Potsdam, Almanya'daki ilk otonom tramvay	142
Şekil 14. Helsinki, Finlandiya'daki robot otobüs 'GACHA'	143
Şekil 15. Volvo'nun otonom otobüsü	143
Şekil 16. Otonom helikopter	144
Şekil 17. Harry – Otonom servis aracı	144
Şekil 18. Otonom sürüş seviyeleri	145

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
AI	: Yapay Zekâ
AIoT	: Nesnelerin Yapay Zekâsı
ATI	: Akıllı Trafik Işıkları
AUS	: Akıllı Ulaşım Sistemleri
Big Data	: Büyük Hacimli Veriler
BİT	: Bilgi ve İletişim Teknolojileri
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DL	: Derin Öğrenme
ERGS	: Elektronik Rota Kılavuzlama Sistemi
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IoT	: Nesnelerin İnterneti
K-AUS	: Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri
MaaS	: Hareketlilik Servisi
ML	: Makine Öğrenimi
NFC	: Yakın Alan Haberleşmesi
OBU	: Araç İçi Ünite
SKUP	: Sürdürülebilir Kentsel Ulaşım Planı
TKM	: Trafik Kontrol Merkezleri
TSI	: Teknik Şartnameler için Birlikte Çalışabilirlik
UAM	: Kentsel Hava Hareketliliği
UYM	: Ulaşım Yönetim Merkezi
V2X	: Araçtan Her Şeye
VMS	: Değişken Mesaj İşaretleri
YÖK	: Yükseköğretim Kurulu

GİRİŞ

Küresel ölçekte artan kentleşme, motorlu taşıt sahipliğindeki hızlı yükseliş ve ulaşım talebindeki çeşitlenme, şehir içi trafik yönetimini büyük bir dönüşüm sürecine sokmuştur. Geleneksel trafik sistemleri, dinamik ve gerçek zamanlı veri gereksinimlerine yanıt vermekte yetersiz kalırken; dijitalleşme ve ileri teknolojilerle desteklenen AUS, sürdürülebilir, güvenli ve verimli ulaşım modelleri için öncü bir rol üstlenmektedir. AUS trafik sıkışıklığını azaltmak, genel sistem verimliliğini yükseltmek ve yol güvenliğini artırmak amacıyla ulaşım altyapısına ve araçlara entegre edilen geniş bir yelpazede kablosuz ve kablolu iletişim tabanlı bilgi, kontrol ve elektronik teknolojilerini kapsamaktadır. AUS, 21. yüzyılda sürdürülebilir ve çevre dostu ulaşım çözümlerine ulaşmanın temel yollarından biri olarak değerlendirilmektedir. Bu sistemler; modern bilgisayar teknolojileri, iletişim ağları, izleme sistemleri ve gelişmiş trafik kontrol tekniklerinin bütünleşik şekilde uygulanması sayesinde, yolculara daha güvenli ve bilgilendirilmiş bir seyahat deneyimi sunmakta, araçları ve altyapıyı daha akıllı ve etkin hale getirmektedir. Böylece, trafik operasyonları daha akıllıca yönetilirken, çevresel etkiler de azaltılarak ekolojik dengeye katkı sağlanmaktadır. Özellikle kentsel alanlarda, trafik sistemlerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve yönetilmesi için yenilikçi teknolojilerin kullanımı giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Ramos vd 2012). Sensör teknolojileri, kablosuz iletişim ağları, kızılötesi veri iletimi, veri analitiği, yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi ileri teknolojiler AUS uygulamalarının temel bileşenleri arasında bulunmaktadır. Söz konusu teknolojiler, ulaşım ağlarının daha akıllı, güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir şekilde işletilmesine katkı sağlamak amacıyla sistematik biçimde entegre edilmektedir (Talih ve Çelikok 2023). Ayrıca bu sistemler dinamik trafik yönetimi, otonom sürüş teknolojileri, mikromobilité uygulamaları, veri tabanlı karar destek sistemleri ve kullanıcı odaklı mobilité hizmetleri aracılığıyla kent içi ulaşımında dönüşüm yaratmaktadır. Türkiye’de ise bu dönüşüm, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı öncülüğünde yayımlanan ulusal strateji belgeleri, eylem planları ve mevzuat düzenlemeleri ile desteklenmekte; AUS uygulamalarının ülke genelinde yaygınlaştırılmasına yönelik çok boyutlu politikalar geliştirilmektedir. Bununla birlikte, Türkiye’deki AUS uygulamaları hâlâ gelişim sürecindedir ve ulusal düzeyde kurumsal koordinasyon eksiklikleri, teknolojik altyapı, veri yönetiminde standartlaşma sorunları, toplumsal farkındalık yetersizliği, kullanıcı alışkanlıkları, sürdürülebilir finansman modellerine duyulan ihtiyaç, AUS sistemlerinin etkinliğini sınırlayan temel meseleler arasında yer

almaktadır. Bu durum, AUS'un sadece teknolojik değil, aynı zamanda yönetsel ve mevzuatsal boyutlarıyla da ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu tez çalışması, Türkiye'de AUS'un mevcut durumunu, kurumsal yapısını, uygulama düzeyini ve karşılaşılan sorunları ele alarak, AUS politikalarının stratejik düzeyde analizini sağladıktan sonra dünya genelinde öne çıkan AUS stratejilerinin incelenip, çeşitli ülkelerin politika belgeleri, uygulama modelleri ve teknolojik adaptasyon süreçleri ile Türkiye'nin yaklaşımı karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. AUS sistemlerinin sadece teknik bir alan değil, aynı zamanda sosyo-teknik ve yönetsel bir bütün olarak ele alınması gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca AUS'un dünya genelindeki öncü ülkelerde ve Türkiye'deki tarihsel gelişim süreci incelendiğinde, Türkiye'de kullanıcı hizmetine sunulan uygulamaların sayıca sınırlı olduğu görülmektedir. Mevcut uygulamaların çoğunun dünya örneklerine kıyasla ülkemizde ancak yıllar sonra hayata geçirilebildiği görülmektedir. Bu durum, Türkiye'nin AUS teknolojilerini benimseme sürecinde zamansal bir gecikme yaşadığını ortaya koymaktadır (Katanalp vd 2018).

Bu çalışmanın temel katkısı, Türkiye'deki AUS politikalarının güçlü ve zayıf yönlerini sistematik biçimde ortaya koyarak, sürdürülebilir, dijital ve kullanıcı odaklı ulaşım sistemleri geliştirilmesine yönelik stratejik öneriler sunmasıdır. Özellikle ulusal düzeyde uygulanan AUS politikalarının mevcut durumu, kurumsal koordinasyon düzeyi, veri yönetim kapasitesi, finansal sürdürülebilirlik mekanizmaları ve toplumsal katılım süreçleri üzerinden kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. Bu kapsamda dünya ülkelerinin uyguladığı stratejiler ve AUS ile entegre şekilde uygulanan teknolojilerin kapsamlı bir şekilde incelenmesi çalışmanın önemli bir boyutudur. Ayrıca giderek karmaşıklaşan yapılarıyla çeşitli sorunlara çözüm üretme kapasitesine sahip olması gereken kentler, hızlı teknolojik gelişmeleri kendi altyapılarına entegre ederek daha akıllı bir yapıya evrilme çabası içindedir. Çalışma kapsamında akıllı şehir kavramı detaylı bir şekilde değerlendirilmiş, Türkiye'deki şehirlerin akıllılığa evriminde engel oluşturan noktalar açıklanmıştır. Örneğin Türkiye'de teknik standartların yetersizliği nedeniyle aynı işlevi yerine getiren uygulamalarda farklı donanım ve yazılım çözümlerinin kullanıldığı ve bu durumun birbirleriyle uyumsuz AUS yatırımlarına yol açarak ek maliyetlerin ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca, bu tür uygulamalara ilişkin yatırım kararlarında standartlaşması gereken fayda-maliyet analizlerinin etkili ve ayrıntılı bir şekilde gerçekleştirilmeden uygulama aşamasına geçildiği ve bu nedenle AUS teknolojilerinin potansiyelinin tam anlamıyla değerlendirilemediği gözlemlenmektedir (Tufan 2014). Literatürdeki teknik ağırlıklı yaklaşımlardan farklı olarak, bu tez çalışması hem kurumsal yapı hem de toplumsal boyutu esas alan bütüncül bir analiz ortaya koymaktadır. Aynı zamanda AUS politikalarının uygulamadaki

etkilerini kavramsal çerçevede hem ulusal hem de uluslararası düzeyde değerlendiren ve stratejik planlamaya yönelik öneriler sunan nitel bir perspektif içermektedir. Bu perspektif doğrultusunda AUS'un gelecek vizyonu, bilgisayar teknolojilerinin hem araçlara hem de altyapıya entegrasyonunu sağlayarak, verimli bir mobilite yapısı için birbirine bağlı sistemler oluşturmayı ve bu sayede uzun vadeli ulaşım sorunlarına çözüm üretmeyi amaçlamaktadır (Mathew 2019). Ayrıca Türkiye'nin AUS altyapısını yalnızca teknik bir dönüşüm olarak değil, aynı zamanda sosyal, ekonomik ve yönetsel boyutları içeren entegre bir strateji çerçevesinde ele alması gerektiği, böylece dijital dönüşüme uyumlu, çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle entegre, kullanıcı odaklı ve uluslararası ölçekte rekabet edebilir bir akıllı ulaşım ekosistemine ulaşılabileceği saptanmıştır.

Bu doğrultuda çalışmanın temel amacı, Türkiye'de AUS'un mevcut durumunu ve uygulama zorluklarını analiz ederek, geleceğe yönelik stratejik öneriler sunmak; akıllı şehir olarak nitelendirilen şehirlere sahip dünya ülkeleri ile karşılaştırmalı bir analiz ışığında Türkiye için uygulanabilir ve sürdürülebilir AUS politikaları geliştirmektir. Böylece bu tez, mevcut politikaların uygulanabilirliği, sürdürülebilirliği ve toplumsal etkilerine ilişkin nitel bir çerçeve sunmakta; teknik uygulamaların ötesinde AUS sistemlerinin sosyo-teknik bütünlüğünü göz önünde bulundurarak alternatif bir bakış açısı geliştirmektedir. Çalışma, Türkiye'nin AUS alanında geleceğe yönelik vizyonunu şekillendirebilecek politikaların, sadece teknolojik değil aynı zamanda kurumsal yapılanma, dijital boyut, etik veri yönetimi ve vatandaş temelli hizmet tasarımı gibi çok boyutlu bir yapıda ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Dolayısıyla tez, Türkiye'nin AUS alanındaki dönüşümüne hem kuramsal hem de uygulamalı düzeyde katkı sunmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'de AUS alanındaki mevcut durumu ve geleceğe yönelik gelişim potansiyelini analiz etmek amacıyla çeşitli araştırma sorularına yanıt aranmaktadır. Bu doğrultuda araştırma, öncelikle Türkiye'de AUS uygulamalarının ne düzeyde gelişim gösterdiğini ortaya koymayı hedeflemektedir. Ardından, uygulamaların hayata geçirilmesi sürecinde karşılaşılan kurumsal, teknik ve toplumsal nitelikli sorunların neler olduğu incelenmektedir. Türkiye'nin AUS stratejileri açısından dünya örnekleriyle karşılaştırmalı konumunun belirlenmesi ve bu alandaki güçlü ve zayıf yönlerinin analiz edilmesi çalışmanın temel odaklarından birini oluşturmaktadır. Ayrıca Türkiye'nin dijitalleşme, sürdürülebilirlik ve toplumsal katılım ekseninde şekillenen AUS vizyonuna ulaşabilmesi için benimsemesi gereken stratejik yol haritasının nasıl yapılandırılması gerektiği değerlendirilmektedir.

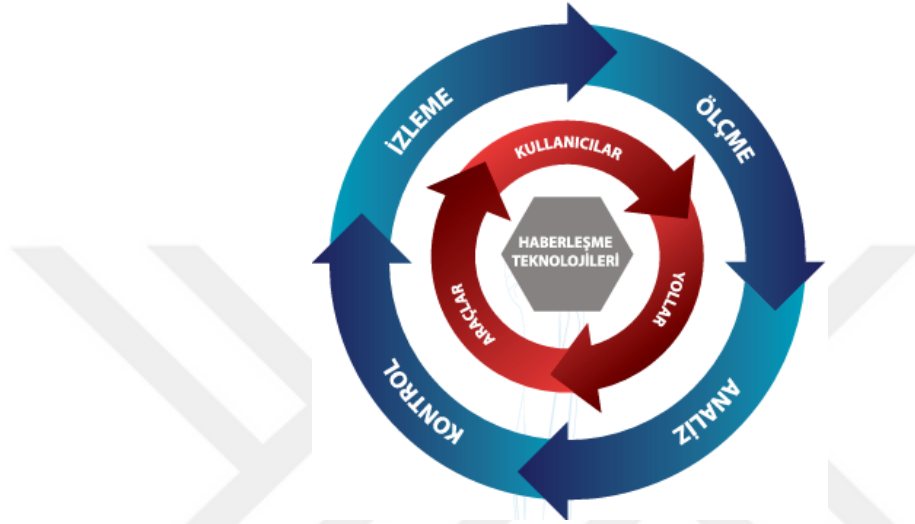
KURAMSAL TEMELLER

Akıllı Ulaşım Sistemlerine (AUS) Giriş

Tanım ve kapsam

Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (2020), Akıllı Ulaşım Sistemlerini (AUS), mevcut yol kapasitelerinin en verimli şekilde kullanılması, seyahat sürelerinin azaltılması, trafik güvenliği ve hareketliliğin artırılması gibi hedeflere ulaşmak amacıyla geliştirilen; kullanıcılar, altyapı, araçlar ve merkezler arasında çok yönlü veri alışverişini mümkün kılan, bilgi ve iletişim tabanlı sistemler olarak tanımlamaktadır. Bu çerçevede AUS uygulamaları, özellikle hareketlilik, güvenlik ve çevre olmak üzere üç temel alanda yoğunlaşmaktadır (Khan vd 2017). AUS alanında yürütülen araştırmalar, tüm ulaşım modlarını kapsamakta ve söz konusu üç temel alanın yanı sıra ulaşım ile ilgili çok sayıda farklı konuyu da ele alarak hem ulusal hem de küresel ölçekte artan bir ilgi görmektedir (Talih ve Çelikok 2023). Aynı zamanda sistemsal bir bakış açısına sahip olan AUS, güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir hareketlilik ortamı sağlamanın yanı sıra, bireylerin üretkenliğini artırmayı ve trafik kaynaklı olumsuz etkileri azaltmayı hedefleyen bir dizi teknoloji ve uygulamalar bütünüdür (Meneguet vd 2018). Bir disiplin olarak ise AUS, stratejik planlama, sistem mimarisinin oluşturulması, teknolojilerin, verilerin ve iletişimin farklı modlarda ve yetki alanlarında birlikte çalışabilirliğin (interoperabilite) sağlanması, ayrıca gerçek zamanlı verilerin izlenmesi ile doğru ve zamanında kullanıcı bilgileri sunulması gibi unsurları da içermektedir (Tufan 2014). Ayrıca AUS, tüm ulaşım modlarında (karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu) yenilikçi mobilite çözümleri geliştirilmesi için temel bir araç olarak değerlendirilmektedir. Dünyanın birçok bölgesinde, bilgi ve sistem kontrol teknolojileri ile yapay zekâ gibi ileri düzey teknolojilerin entegre bir şekilde uygulanmasıyla oluşturulan AUS, mobilite, dijitalleşme, ulaşım, altyapı, yol güvenliği ve bölgesel uyum gibi alanlardaki kamu politikası zorluklarına ve ulaşım problemlerine etkili bir çözüm olarak kabul edilmektedir (Talih ve Çelikok 2023). Başka bir açıdan ifade etmek gerekirse AUS teknolojisi, bilgi teknolojilerinin kara taşımacılığına entegre edilmesi yoluyla, ulaşım güvenliğini ve hareketliliğini artırırken aynı zamanda çevresel etkilerin azaltılmasını amaçlayan bir uygulama alanı olarak tanımlanabilir (Mallik 2014). Teknolojiyle bütünleşik olmasından dolayı AUS, Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin (BİT) ulaşım ile ilişkili tüm yatay ve dikey sektörler tarafından geliştirilen uygulama ve çözümlerde birlikte çalışabilirliği sağlamak amacıyla izleme, ölçme,

analiz ve kontrol mekanizmalarını içerecek şekilde bütüncül olarak kullanılmasını ifade etmektedir. Bu yönüyle AUS; bilgisayar bilimleri ve bilişim, telekomünikasyon ve iletişim teknolojileri, ulaştırma mühendisliği, sensör ve kontrol sistemleri, finans sektörü, elektronik ticaret ve otomotiv endüstrisi gibi çok çeşitli disiplinlerin kesişim noktasında yer almaktadır (Talih ve Çelikok 2023). Buna ek olarak gelişmekte olan bir araştırma alanı olan AUS, sensör ağları, makine öğrenimi (ML), inşaat mühendisliği gibi farklı disiplinlerin entegrasyonunu da içermektedir (Garg ve Kaur 2023).



Şekil 1. Akıllı ulaşım sistemlerinin tanımı (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020)

AUS kapsam açısından değerlendirildiğinde, trafik sıkışıklığını azaltmak, yol güvenliğini artırmak ve genel sistem verimliliğini yükseltmek amacıyla, ulaşım altyapısına ve araçlara entegre edilen geniş bir yelpazede kablosuz ve kablolu iletişim tabanlı bilgi, kontrol ve elektronik teknolojilerini kapsamaktadır. AUS, 21. yüzyılda sürdürülebilir ve çevre dostu ulaşım çözümlerine ulaşmanın temel yollarından biri olarak değerlendirilmektedir. Bu sistemler; modern bilgisayar teknolojileri, iletişim ağları, izleme sistemleri ve gelişmiş trafik kontrol tekniklerinin bütünleşik şekilde uygulanması sayesinde, yolculara daha güvenli ve bilgilendirilmiş bir seyahat deneyimi sunmakta, araçları ve altyapıyı daha akıllı ve etkin hale getirmektedir. Böylece, trafik operasyonları daha akıllıca yönetilirken, çevresel etkiler de azaltılarak ekolojik dengeye katkı sağlanmaktadır. Özellikle kentsel alanlarda, trafik sistemlerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve yönetilmesi için yenilikçi teknolojilerin kullanımı giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Ramos vd 2012).

AUS'un temel amacı ve bileşenleri

Türkiye'nin AUS vizyonu, "İleri bilişim teknolojileri ile insan ve çevre odaklı bir ulaşım sistemi" olarak belirlenmiştir. Bu vizyona ulaşmak için ortaya konulan misyon ise, "Ülkemizde tüm ulaşım modlarına entegre, güncel teknolojileri kullanan, yerli ve milli kaynaklardan

yararlanan, verimli, güvenli, etkin, yenilikçi, çevreci, dinamik, sürdürülebilir ve katma değer sağlayan akıllı bir ulaşım ağı oluşturmak” şeklinde tanımlanmıştır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020). AUS’un temel amacı; tüm ulaşım türlerinde bilgi ve iletişim teknolojilerinden etkin biçimde yararlanarak, entegre, güvenli, etkin, verimli, yenilikçi, insan odaklı ve çevre dostu bir ulaşım altyapısının oluşturulmasıdır. Bu kapsamda AUS, sürdürülebilir ve akıllı bir ulaşım ağına erişmeyi ve yolcu ile yük hareketliliğini kolaylaştırmayı hedeflemektedir (Altınörs vd 2022). AUS, güvenliği, hareketliliği ve çevresel performansı en üst düzeye çıkarmayı hedefleyerek, her türden araç, altyapı ve yolcuya ait cihazların etkileşim içinde olduğu bağlantılı bir ulaşım ortamı oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu sistem, kamu yararını gözeterek, ulusal ölçekte çok modlu kara taşımacılığı altyapısının daha etkin, entegre ve sürdürülebilir bir biçimde işlemesini kolaylaştırır (Mallik 2014). Sistemsel bir işleyişe sahip olan AUS’un parçaları olan insan, araç, altyapı, trafik yönetim merkezleri, sinyalizasyon, değişken mesaj işaretleri vb. koordine bir şekilde çalışır. Bu entegrasyon sayesinde, ulaşım alanında sürdürülebilirlik, güvenlik ve erişilebilirlik gibi temel faydaların sağlanması hedeflenmektedir (Peak 2020). Ayrıca AUS’un temel hedefleri arasında hareketlilik, sürdürülebilir ulaşım ve kullanıcı kolaylığı yer almaktadır. Hareketlilik kavramı, ulaşım sistemlerinin verimliliği ile kapasitesinin artırılmasını ön plana çıkarırken; sürdürülebilir ulaşım, trafik güvenliğinin sağlanması ve çevre dostu kalkınmanın desteklenmesi üzerinde durmaktadır. Kolaylık ise, bireylerin ulaşım hizmetlerine daha erişilebilir ve kullanıcı dostu bir biçimde ulaşabilmesini amaçlamaktadır (Karlı ve Çelikyay 2022). Yeni dönem strateji belgesine göre beş stratejik hedef önerilmiştir. Bu hedefler; AUS altyapısının geliştirilmesi, sürdürülebilir akıllı ulaşım ve hareketliliğin sağlanması, ulaşım emniyeti ve güvenliğinin temin edilmesi, verilere erişim, paylaşım ve yönetim, AUS teknolojilerinin geliştirilmesi ve etkinleştirilmesidir. Bu stratejik hedeflere ulaşabilmek için, her bir hedefin ve buna bağlı eylemlerin dikkatli bir şekilde tanımlanması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca bu hedeflerin gerçekleştirilmesi ve etkin bir şekilde uygulanması, AUS yaygınlaşmasını destekleyecek kritik bir yaklaşım olacaktır (Talih ve Çelikok 2023). Bu noktada AUS’un BİT ile iş birliği de önem arz etmektedir. AUS, büyük ölçüde BİT’e dayalı olarak işleyen, yolcu bilgilendirme hizmetleri, trafik izleme ve yönetimi ile navigasyon gibi bilgiye dayalı uygulamaları içeren bir yapıya sahiptir. Bu doğrultuda, bilgi toplumu, mikro ölçekte son kullanıcı düzeyine odaklanan ve bilginin her yerde erişilebilir olduğu bir yapıya evrilmektedir. Ulaşım sistemleri, gerçek zamanlı, şeffaf ve kullanıcı odaklı mobil BİT hizmetlerine dayalı olarak daha esnek, kişiselleştirilmiş çözümler sunma eğilimindedir. Konuyla ilgili araştırmacılar, 2025 ile 2050 yılları arasında ulaşım sistemlerinin küresel ölçekte, tüm düzeylerde sürekli iletişim halinde olan bir ağ sistemine dönüşeceğini öngörmektedir. Bu sistemin insan-insan, insan-makine ve makine-makine arasında kesintisiz

bir etkileşim sağlayacağı vurgulanmaktadır (Ramos vd 2012). Ayrıca AUS, BİT'i ulaşım altyapılarına entegre ederek, altyapıya ve araçlara yerleştirilen çeşitli ekipman ve sensörler aracılığıyla veri toplama, izleme, ölçme, analiz etme, kontrol sağlama ve sistem performansını iyileştirme işlevlerini yerine getirmeyi amaçlamaktadır (Alam vd 2016). AUS, enerjinin daha verimli kullanılmasına ve çevresel bozulmanın azaltılmasına da katkı sağlamayı hedeflemektedir (Talih ve Çelikok 2023). Özellikle bu katkı günümüz dünyasında sahip olduğumuz kaynakların günden güne eridiğini, ekosistemin yapısının azımsanamayacak şekilde bozulduğunu, gelecek nesillerin ciddi bir tehdit altında olduğunu göz önünde bulundurunca çok değerli bir hal almaktadır. Başka bir açıdan da değerlendirmek gerekirse trafik yoğunluğunun azaltılması, yol kapasitelerinin daha etkin kullanılması, seyahat sürelerinin kısaltılması gibi trafik verimliliğini artırma hedefleri, trafik kazalarının önlenmesi, riskli durumların önceden tespit edilmesi, kaza sonrası acil müdahale sürelerinin azaltılması gibi yol güvenliğini iyileştirme hedefleri, çevre dostu taşımacılığın desteklenmesi, ulaşım kaynaklı karbon emisyonlarının ve enerji tüketiminin azaltılması, toplu taşımaya teşviklerin artırılması gibi enerji verimliliğinin ve çevresel performansın artırılması hedefleri, yolculara gerçek zamanlı bilgi sunarak seyahat planlamasını kolaylaştırmak ve daha konforlu bir ulaşım deneyimi sağlamak, veri paylaşımıyla kullanıcılar ve kurumlar arasında devamlı ve anlık iletişim kurma gibi kullanıcı deneyiminin geliştirilmesi hedefleri AUS'un başlıca amaçlarından olmalıdır. Ancak bu amaçlar göz önünde bulundurularak hayata geçirilen AUS stratejileri iyi sonuçlar verebilir. Günümüzde geliştirilen ve uygulanan AUS çözümleri sayesinde, insan kaynaklı hataların tüm taşıma modlarında en aza indirgenmesi mümkün olmakta; böylece trafiğe bağlı zaman kayıpları, ölüm ve yaralanmalara neden olan kazalar, maddi zararlar, hava kirliliği gibi birçok olumsuz etki önlenabilmektedir. AUS'da gerçekleşen bu kontrollü değişim ve sürekli gelişim süreci, taşımacılık hizmetlerinde genel kabul görmüş optimum performans ölçütlerine ulaşılmasını mümkün kılmaktadır (Talih ve Çelikok 2023).

AUS, bilgi ve haberleşme teknolojilerinin ulaşım sektöründe, ekonomik, sosyal ve enerji gibi çeşitli alanlarda fayda sağlamak için kullanılan birçok uygulama ve bileşeni içermektedir. Ayrıca AUS araçlar, altyapı ve kullanıcıları içeren ulaşımın farklı türlerine de uygulanabilir. AUS sayesinde elde edilen iyileştirmelerle sunulan hizmetlerin operasyonel verimliliği ve güvenilirliği artırılmakta, etkin bir ulaşım altyapısı yönetimi sağlanmaktadır. AUS, daha güvenli ulaşım sistemlerinin oluşturulmasına ve ulaşım kaynaklı çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlarken ulaşım kullanıcılarına çeşitli bilgi hizmetleri de sunmaktadır. Ulaşım sistemlerinde sağladığı emniyet, verimlilik, sürdürülebilirlik ve konfor ile AUS, insanların ve yüklerin hareketliliğini iyileştirmede kilit bir rol oynamaktadır (Perallos vd 2015).

AUS gibi büyük ve karmaşık sistemler bazı ortak özelliklere sahiptir. Bunlar; uyumluluk, genişletilebilirlik, birlikte çalışabilirlik, entegrasyon, standardizasyondur (Dilek vd 2023).

AUS'un en temel özelliği; bilgi sistemleri, iletişim teknolojileri, sensörler, kontrol birimleri ve ileri düzey matematiksel yöntemlerdeki yüksek teknoloji ve yenilikleri, geleneksel ulaşım altyapısıyla bütünleştirmesidir (Sussman 2008). Bu teknolojiler, ulaşım altyapısına ve araçlara entegre edildiğinde, trafik sıkışıklığının azaltılması, güvenliğin artırılması ve sistemin genel üretkenliğinin iyileştirilmesi gibi önemli katkılar sağlamaktadır (Yan vd 2012). Bu durumda sensör teknolojileri, kablosuz iletişim ağları, kızılötesi veri iletimi, veri analitiği, yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi ileri teknolojiler AUS uygulamalarının temel bileşenleri arasında bulunmaktadır. Söz konusu teknolojiler, ulaşım ağlarının daha akıllı, güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir şekilde işletilmesine katkı sağlamak amacıyla sistematik biçimde entegre edilmektedir (Talih ve Çelikok 2023). Özetle AUS, ulaşım güvenliğini ve hareketliliği artırmakta; konfor ve esneklik düzeyini yükseltmektedir. Aynı zamanda çevresel olumsuzlukları azaltarak enerji tasarrufuna katkı sağlamakta, seyahat sürelerini kısaltmakta ve sürdürülebilir ulaşım anlayışını desteklemektedir. BİT'in ulaşım altyapılarına entegre edilmesi sayesinde AUS, genel sistem verimliliğini ve üretkenliği önemli ölçüde geliştirmektedir (Karlı ve Çelikyay 2022). AUS ve BİT'in bu entegrasyonu ve sağladığı faydalar örneklendirilebilir. İlk olarak algılama ve izleme sistemleri yani yollardaki trafik akışını, hız değişimlerini, araç yoğunluğunu ve çevresel koşulları tespit etmek amacıyla kullanılan CCTV kameralar, akıllı sensörler, hava durum istasyonları, radarlar AUS'un bileşenleri içerisinde önemli bir paya sahiptir. Örnek olarak akıllı kavşak sistemlerinin araç yoğunluğuna göre trafik ışık sürelerini dinamik olarak ayarlaması verilebilir. İkinci olarak iletişim teknolojileri yani V2V (Araçtan Araca), V2I (Araçtan Altyapıya) ve V2X (Araçtan Her Şeye) iletişim sistemleri sayesinde araçlar ve altyapı öğeleri arasında hızlı veri paylaşımı sağlanır. Örneğin 5G ağlarının yaygınlaşmasıyla veri iletim hızları artmış ve gecikme süreleri azalmıştır. Hücresel Araçtan Her Şeye (C-V2X) teknolojisini biraz detaylandırmak gerekirse araçların hücresel ağları kullanarak birbirleriyle, yayalarla ve çevredeki altyapılarıyla iletişim kurmalarını sağlayan kablosuz iletişim teknolojisidir. C-V2X'in ortaya çıkışı, AUS alanında önemli ilerlemeler kaydedilmesine olanak tanımıştır. Bu teknoloji, yol güvenliğini artırmak, trafik sıkışıklığını azaltmak ve ulaşım sisteminin verimliliğini iyileştirmek amacıyla geliştirilmiştir. C-V2X, gelişmiş güvenlik, trafik verimliliğinde artış ve çevresel etkilerin azaltılması gibi önemli faydalar sunmaktadır. C-V2X teknolojisi, yüksek hızlı veri iletimi için yaygın olarak kullanılan Uzun Vadeli Evrim (LTE) ve 5G hücresel iletişim teknolojilerinin dayandığı heterojen ağ ortamlarına dayanır. C-V2X'in geliştirilmesi ve standartlaştırılması, başta 3. Üretim Ortaklığı Projesi (3GPP), Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (ETSI), Elektrik ve Elektronik Mühendisleri

Enstitüsü (IEEE) ve 5G Otomotiv Dernekleri (5GAA) gibi birçok kuruluş tarafından sürdürülmektedir. Sonuç olarak, C-V2X'in yakın gelecekte AUS ve bağlantılı araçların gelişiminde kritik bir rol oynaması beklenmektedir (Rammohan 2023).

Tablo 1. V2X Pazarı Büyüme Oranları (Erceylan ve Akcayol 2022)

Araştırma Kuruluşu	Yıl Aralığı	Miktar (Milyon ABD Doları)	Yıllık Bileşik Büyüme Oranı (CAGR)
Precedence Research	2020-2027	12,93	%43,7
Markets and Markets	2020-2028	12,859	%44,2

Üçüncü olarak veri işleme, analiz ve yönetim sistemlerine değinilmelidir. Bu sistemler toplanan büyük hacimli verilerin (Big Data) analiz edilerek trafik akış modellerinin çıkarılmasını ve anlık durum analizlerinin yapılmasını sağlar. Örneğin yapay zeka ve makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak trafik tahminleri yapılmakta ve otonom karar destek sistemleri geliştirilmektedir. Büyük veri teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, özellikle büyük veri temelli modelleme yöntemleri açısından, AUS gibi karmaşık sistemlerde hem önemli fırsatlar hem de çeşitli zorluklar ortaya çıkarmıştır. Son yıllarda büyük veriyle ilişkili teknolojilerdeki bu ilerleme, akıllı yönetim ve karar alma süreçlerine yeni araçlar ve bakış açıları kazandırmıştır. Veri madenciliği teknikleri, karmaşık sistemlerin simülasyonu ve karar destek sistemleri için modelleme çalışmalarında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Büyük verinin sunduğu kapsamlı kayıt imkânı, sistemlerin işleyişine dair neredeyse tüm faaliyetlerin izlenebilmesini mümkün kılmış; bu da modelleme, tahmin ve optimizasyon alanlarında büyük avantajlar sağlamıştır. Son dönemde, veri ve modelin birlikte veya eşgüdümlü kullanıldığı hibrit yaklaşımlar, sistem simülasyonu alanında öne çıkan stratejilerden biri haline gelmiştir. Warren Cornwall, daha isabetli tahminler elde edebilmek için verilerle modellerin entegre edilmesi gerektiğini vurgulayarak “karma model” kavramını geliştirmiştir (Cornwall 2016). Trafik yönetimi özelinde, BİT'in yaygın biçimde kullanılmasının etkisiyle AUS'un gelişimi hız kazanmış; GPS, CCTV, dedektörler, akıllı kartlar, mobil cihazlar gibi kaynaklardan toplanan veriler sayesinde altyapı, araçlar ve sürücü davranışlarını kapsayan geniş hacimli trafik verisi elde edilmiştir. Bu tür büyük veriler, AUS için daha hızlı ve esnek modelleme yapabilme imkânı sunmakta, böylece sistemin simülasyon kabiliyetlerini geliştirmektedir. Özellikle araç hareketlerini anlamaya yönelik sürücü davranış modellemesi, AUS yönetiminin temel yapı taşlarından biri olarak kabul edilmekte; büyük veri ise sürücüler arasındaki ve aynı sürücünün farklı zamanlardaki davranış farklılıklarını yansıtan zengin içerikleriyle bu modelleme sürecinde kritik bir rol üstlenmektedir (Zeyu vd 2017). Dördüncü olarak kullanıcı bilgilendirme ve destek sistemleri yani navigasyon

uygulamaları (Google Maps, Waze vb.), değişken mesaj işaretleri (VMS), mobil bilgilendirme servislerinin de katkısı oldukça fazladır. Bu uygulamalar sürücülere trafik yoğunluk uyarıları, kaza bilgilendirmeleri ve güzergâh önerileri sağlayarak daha bilinçli ve güvenli bir sürüş deneyimi sunmaktadır.

AUS'un ulaşım politikaları içindeki yeri

Ulaşım politikalarının fiziksel kapasiteyi sürekli artırma yönündeki çalışmaları hem ekonomik hem de çevresel maliyetlerinin yükselmesi nedeniyle ulaşım alanında daha yenilikçi ve akıllı çözümlerin geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu durumda AUS, ulaşım altyapılarının daha etkin, sürdürülebilir ve güvenli bir şekilde yönetilmesi için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. AUS, geleneksel ulaşım sistemlerinin ötesinde, yeni bilgi teknolojileri ve diğer ileri teknolojiler kullanarak ulaşım altyapısını iyileştirmeyi hedefler. Ulaşım sistemlerinin daha verimli kullanılması ve iyileştirilmesi amacıyla BİT'in kullanımıyla geliştirilen AUS, enerji verimliliği sağlamakla birlikte çevre ve hava kalitesinin iyileştirilmesine de katkıda bulunmaktadır. AUS'u geleneksel ulaşım politikalarından ayıran birçok özellik bulunmaktadır. AUS, mevcut ulaşım modlarıyla birlikte otonom, bağlantılı, kooperatif ve paylaşımlı mobilite gibi yenilikçi yaklaşımlara hibrit ve etkili çözümler sunabilen önemli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Aynı zamanda AUS, tüm paydaşların kendi uzmanlık alanlarını sergiledikleri ve belirlenen standart çerçeve ile politikalara bağlı kalarak iş birliğine dayalı bir yaklaşım benimsedikleri çok disiplinli bir sektör niteliği taşımaktadır (Talih ve Çelikok 2023). Son yıllarda ulaştırma politikaları, giderek daha fazla inovasyon ve teknoloji ekseninde şekillenmektedir (Cassetta vd 2017). Bu kapsamda, paylaşımlı mobilite platformları ve mikro mobilite çözümleri, farklı ulaşım modları arasında entegrasyon sağlayarak kullanıcı dostu, esnek ve sürdürülebilir çözümler sunmak amacıyla hayata geçirilmiştir (Zhu vd 2023). Trafik akışını optimize etmek ve tıkanıklığı azaltmak üzere otonom araçlar ve akıllı trafik yönetim sistemleri geliştirilmektedir (Faisal vd 2019). Aynı zamanda, çevresel etkileri azaltmak adına sıfır emisyonlu araçların (örneğin hidrojenle çalışan otomobiller) teşviki ile biyofilik tasarım gibi sürdürülebilir şehir planlama politikaları benimsenmektedir (Keith ve Farrell 2003; Cabanek vd 2020). Buna ek olarak, trafik sıkışıklığı ve emisyonların daha etkin yönetimi için hareketlilik kredileri ve kentsel hava ulaşımı gibi yenilikçi stratejiler gündeme gelmektedir (Aziz vd 2015; Straubinger vd 2020). Ulaştırma politikalarının bu evrimi, daha sürdürülebilir ve verimli ulaşım sistemlerine duyulan artan bağlılığı göstermektedir. Bununla birlikte, ulaştırma politikalarının sürekli değişim içinde olduğu ve uygulamalarda ulusal ve bölgesel farklılıkların önemli bir rol oynadığı göz ardı edilmemelidir (Mehdizadeh vd 2024). Ayrıca ulaşım sektörü diğer sektörlerden ayrılan özellikler bulundurmakta ve yine kendi bünyesinde

sahip olduğu bazı zorluklar barındırmaktadır. Ulaşım sektörü, uygulanabilir politikaların etkileri bakımından diğerk sektörlere göre daha hızlı tepki verebilen bir yapıya sahiptir. Zorluklara değinmek gerekirse de Deloitte, ulaştırma sektörünün karşı karşıya olduğu önemli zorlukları ele alırken beş temel trend belirlemiştir. Bunlar; ulaştırma için sürdürülebilir finansman mekanizmalarının oluşturulması, elektrikli araçlar (EV) ve şarj altyapısının geliştirilmesi, ulaşım sistemlerinin kapsayıcı ve eşitlikçi bir şekilde modernize edilmesi, ulaşım ağlarının daha dayanıklı hale getirilmesi, dijital ve teknolojik inovasyonun hızlandırılmasıdır (Deloitte, 2022). AUS, trafik sıkışıklığını ve kazaları azaltmak, ayrıca geleneksel AUS'un verimliliğini artırmak ve sürücülere kolaylık sağlamak için önemli faydalar sunmaktadır. (Khorasani vd 2013) Bu faydalar, şu şekilde açıklanabilir; İlk olarak, hareketlilik, ulaşımın insanlar için önemli bir faktör olduğunu vurgular. Hem ulusal ekonomiler hem de bireylerin ekonomik faaliyetleri, ulaşımın etkinliğine dayanır. AUS, yolculara karayolu trafik koşulları hakkında önceden bilgi sağlayarak, onların en uygun güzergâhı seçmelerine yardımcı olur. Bu şekilde AUS, dünya çapında insanların ve ürünlerin hareketliliğinde hayati bir rol oynar. Trafik sıkışıklığı ise, AUS'un önemli bir çözüm alanıdır. Sistem, yol koşulları, iklim koşulları, trafik ışıkları gibi faktörler hakkında bilgi sağlayarak, trafik sıkışıklığını önlemeye yardımcı olur. Bu sayede sürücüler, en uygun rotalarla yönlendirilerek, trafik sisteminin daha verimli çalışmasını sağlar. Kirlilik kontrolü, AUS'un bir diğerk avantajıdır. Artan araç sayısı, yol üzerindeki trafik yoğunluğunun artmasına yol açmakta ve bu durum çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Araçlardan kaynaklanan kirleticiler, hava kirliliği ve gürültü kirliliği gibi olumsuz etkiler yaratmaktadır. AUS, sürücülere araç bakımları ve çevre dostu sürüş alışkanlıkları konusunda rehberlik ederek, çevresel etkilerin minimize edilmesine katkı sağlar. Kazaların önlenmesi, AUS'un sunduğu bir diğerk kritik avantajdır. Artan karayolu trafiği, kazaların sayısında da bir artışa neden olmaktadır. AUS, sürücülere kazaları önleyecek şekilde yönlendirmeler yaparak, güvenli sürüşün sağlanmasına yardımcı olur ve insanların hayatlarını korur. Seyahat süresinin güvenilirliği de AUS sayesinde iyileştirilir. Sistem, seyahat için en iyi optimize edilmiş rotayı sunarak, varış noktasına ulaşmak için gereken süreyi kısaltır. Bu da sürücülere daha hızlı ve verimli bir ulaşım deneyimi sağlar (Newman-Askins vd 2003). AUS'un ulaşım politikalarına verdiği yönle birlikte sağladığı imkanları biraz daha detaylandırmak gerekirse örneğin AUS, kullanıcıları yolun gerçek zamanlı durumu hakkında bilgilendirerek trafik sıkışıklığı, trafik yönetimi ve kazalarla ilgili hizmetleri güçlendirmek için çeşitli teknolojiler kullanarak ulaşım sistemlerini iyileştirmektedir (Khorasani vd 2013). Ayrıca AUS, yol koşulları, iklim koşulları ve trafik durumu hakkında kullanıcıları önceden bilgilendirip yol güvenliğini artırarak hayat kurtarmaktadır (Bélinová vd 2010). Bu sayede ulaşım ağlarının kalitesi artırılarak sistem daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmektedir (Garg

ve Kaur 2023). Buna ek olarak AUS, farklı teknolojilerin bir araya getirilerek entegre bir şekilde yönetilmesiyle, ulaşım sisteminin genel operasyonel kapasitesini artıran işlevsel bir sistem bütünüdür. Çoğu birey, resmi anlamda AUS sistemleri hakkında sınırlı bilgiye sahip olmasına rağmen, bu teknolojilerden her gün dolaylı olarak yararlanmaktadır. Örneğin, toplu taşıma araçlarının tahmini varış süresini gösteren ve bir sonraki otobüse yetişmeden önce ne kadar beklemeniz gerektiğini bildiren mobil uygulamalar, AUS'un günlük yaşamdaki örneklerinden biridir. Aynı şekilde, tekerlek hızını izleyerek fren basıncını otomatik olarak ayarlayan gelişmiş fren sistemleri, araç güvenliğini AUS teknolojileri aracılığıyla sağlamaktadır. Ücret toplama gişeleri üzerinden araçların durmaksızın otoyolda ilerlemesine olanak tanıyan elektronik geçiş sistemleri ve çevrimiçi alışverişlerin teslimat konumu ile tarihini birkaç tıklamayla öğrenme imkânı da AUS'un sağladığı kolaylıklardandır. Ayrıca, haritalama ve konumlandırma için GPS gibi teknolojiler ile koordineli trafik yönetim merkezleri gibi operasyonel uygulamalar sayesinde, kurumlar arasında gerçek zamanlı trafik akışı, güzergâh durumu, hava koşulları ve tehlikeli madde bilgileri paylaşılmakta; bu da acil durum ekiplerinin olaylara daha hızlı ve etkin bir şekilde müdahale edebilmesini mümkün kılmaktadır (Auer vd 2016). AUS teknolojileri, taşımacılığı daha güvenli ve daha verimli hale getirmiştir. Çoğu kişi, ulaşım sistemlerinin iyileştirilmesini yalnızca mevcut altyapının onarılması ya da yeni yolların inşası olarak değerlendirse de ulaşımın geleceği bu fiziksel müdahalelerin ötesinde, giderek daha fazla AUS teknolojilerinin entegrasyonuna dayanmaktadır. AUS'un sağladığı faydalar yalnızca büyük şehirlerle sınırlı kalmayıp kırsal bölgeleri de kapsamakta; motorlu taşıt sürücülerinden ticari kamyon operatörlerine, yayalardan bisikletlilere ve toplu taşıma kullanıcılarına kadar geniş bir kullanıcı yelpazesi için uygulanabilir çözümler sunmaktadır. Yıllara dayanan AUS araştırmaları ve saha uygulamaları göstermektedir ki, çok yakın bir gelecekte araçlar ve yol kenarı altyapısı arasında karşılıklı veri alışverişine dayalı sistemler, çarpışmaların önlenmesi, trafik sıkışıklığının azaltılması ve çevresel etkilerin minimize edilmesi gibi kritik alanlarda önemli kazanımlar sağlayacaktır. AUS teknolojileri ayrıca, otomatik ve otonom araçların ulaşım altyapısıyla etkileşimini mümkün kılarak, uzun yıllardır hem araştırmacıların hem de toplumun hayal gücünü meşgul eden bu yeniliği, artık yaygın kullanım aşamasına her zamankinden daha da yakınlaştırmaktadır (Auer vd 2016). Özetle AUS'un ulaşım politikaları üzerindeki etkisi dört ana başlıkla ifade edilebilir. Birincisi, trafik güvenliğinin artırılmasıdır. Trafik akışının gerçek zamanlı izlenmesi, yönetimi ve anlık veri akışları sayesinde acil durumlara daha hızlı müdahale edilmesi, kazaların önlenmesi ve sürücülerin bilinçlendirilmesi mümkün olmaktadır. İkincisi, sürdürülebilirlik hedeflerinin önemsenmesi ve oluşturulan stratejilerde göz önünde bulundurulmasıdır. AUS uygulamaları yakıt tüketiminin optimize edilmesine, karbon emisyonlarının azaltılmasına ve çevreye verilen zararın minimize edilmesine önemli etkiler

sağlamaktadır. Üçüncüsü, sosyal erişilebilirliğin ve kapsayıcılığın ayrıca birlikte çalışabilirlik ve genişletilebilirlik özelliklerinin artırılmasıdır. Akıllı ulaşım çözümleri, farklı kullanıcı gruplarının (yaşlılar, engelliler, düşük gelirli bireyler vb.) ulaşım sistemlerinden aynı şekilde faydalanmasına imkân sağlamaktadır. Ayrıca oluşturulan stratejiler sisteme entegre edilebilir, daha sonrasında eklenip çıkarılabilir, farklı bölgelerde uygulanabilir olup sistemin işleyişini aksatmayacak şekilde planlanmalıdır. Dördüncü ve sonuncusu, veri tabanlı yönetim yaklaşımlarının benimsenmesidir. AUS sayesinde elde edilen büyük veri setleri, ulaşım altyapısı ve hizmetlerinin sürekli izlenmesini, performans değerlendirmelerinin yapılmasını ve kanıta dayalı politika geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu kapsamda AUS, sadece sunduğu teknolojik yeniliklerle değil paydaşların sunduğu çözüm önerileriyle, her biri ayrı işleve sahip olan kurumlarıyla, altyapıda yaptığı iyileştirmeler sonucunda devamlı veri akışıyla, çeşitli sektörlerde sunduğu ekonomik hareketlilik ile sağladığı istihdamla, sistematik ve bütüncül yaklaşımıyla geleneksel ulaşım politikalarından keskin bir şekilde ayrılmaktadır. Bu yüzden önümüzdeki dönemde AUS politikalarının yaygınlaştırılması ve üzerine yapılan çalışmaların yoğunlaştırılması ulaşım sektörü ve dolayısıyla ona bağlı olan birçok sektörün geleceği açısından kritik bir öneme sahiptir.

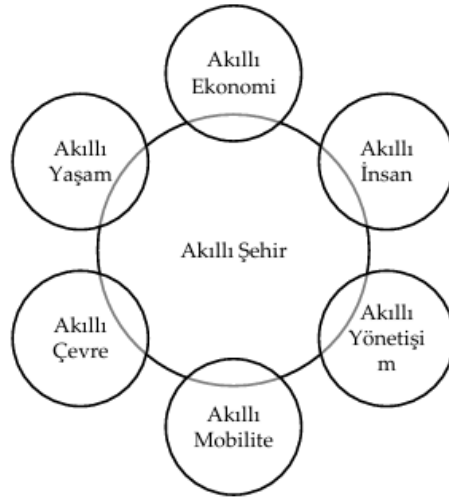
Akıllı Sistemler ve Teknoloji Kavramı

Akıllılık kavramı: tanımı boyutları ve evrimi

"Akıllı" terimi, genellikle teknoloji tabanlı çözümleri tanımlamak amacıyla kullanılmakta olup; akıllı ev, akıllı kampüs, akıllı şehir gibi kavramlar ya da daha geniş anlamda akıllı sistemler bu kapsama girmektedir. Merriam-Webster Sözlüğü'nde bu terim, otomasyonla çalışan yapılar olarak tanımlanmakta ve otomatik işlev gören cihazlara ya da sistemlere atıfta bulunmaktadır. Jason ve çalışma arkadaşları, "akıllı" kavramını değişen koşullara uygun olarak ayarlama yapabilme kabiliyeti çerçevesinde değerlendirmektedir (Ng vd 2010). Costa ve arkadaşları ise akıllılığı, bilişsel yeteneklerle donatılmış olma; diğer sistemleri algılama, analiz etme ve onlarla etkileşim kurabilme kapasitesi olarak tanımlamaktadır (Costa vd 2022). Akıllılık, yalnızca bilgiye erişmekle sınırlı kalmayıp, bu bilginin anlamlandırılması, yorumlanması ve karar süreçlerine entegre edilmesi gibi çok boyutlu bir işlevselliği içerir. Bu noktada akıllı sistem kavramından bahsetmek doğru olacaktır. Bazı kaynaklara göre akıllı sistemler, Nesnelerin İnterneti (IoT), büyük veri ve yapay zekâ uygulamalarını içeren sistemler olarak tanımlanmaktadır (Kumar vd 2019; Ghani vd 2022). Bu tanım geçerli olsa da, yalnızca bu teknolojileri kullanmayan sistemlerin "akıllı" sayılamayacağı anlamına gelmemelidir. Romero ve çalışma arkadaşları, akıllı sistemleri öğrenme yeteneğine sahip ve yeni durumlara uyum sağlayabilen yapılar olarak tanımlamaktadır (Romero vd 2020). Bu sistemler, çeşitli

algılayıcılardan gelen verileri bir araya getirerek, kullanıcıların karar alma süreçlerini destekleyen ve akıllı eylemleri gerçekleştiren yapılardır. Akıllı eylemler, kullanıcının kararlarını veya eylemlerini destekleyen ek bilgi ya da donanım aracılığıyla gerçekleştirilir. Bir akıllı sistem, çeşitli girdilere göre performansını optimize edebilmeli ve belirsiz durumlar karşısında hızlı bir biçimde toparlanabilmelidir. International Business Machines (IBM)'in tanımına göre ise akıllı sistemler, çevresel durumu algılayabilen ve anlayabilen, böylece bu verilere dayalı olarak uyarlanabilir bir eylem tarzı geliştirebilen sistemlerdir (Arman vd 2023). Akıllı sistemlerin evrimi, bilgi işleme yeteneğinden öngörü ve adaptasyon kabiliyetine, ardından da karar verme ve eyleme geçme becerisine uzanan çok katmanlı bir dönüşüm sürecine işaret etmektedir.

Araştırmacılar, akıllı sistemlere ilişkin çeşitli tanımlamalardan yola çıkarak, bu tür sistemlerin belirli temel özelliklere sahip olması gerektiği sonucuna ulaşmaktadır. Bu özelliklerin başında, sistemin çevresinden gelen girdileri algılayabilme yeteneği, yani bir algılama ya da sezgi kabiliyeti gelmektedir. Ayrıca, değişen koşullara uyum sağlayabilecek düzeyde zekâyâ sahip olması da kritik bir gerekliliktir. Akıllı bir sistem; mevcut durumu tanıyıp analiz edebilmeli, bu analizlere dayalı olarak kararlar alabilmeli ve bu kararları otomatik eylemlere dönüştürebilmelidir. Bu nitelikler doğrultusunda, akıllı sistemlerin tıpkı insanlar gibi sorunlara akılcı çözümler üretebilen ve tüm bu akıllı süreçleri otomatik biçimde gerçekleştirebilen yapılar olduğu anlaşılmaktadır. Bir akıllı sistem modeli, öncelikle “algılama” olarak adlandırılan süreç aracılığıyla bir formdan ya da mevcut bir sensörden giriş verilerini alır. Bu algılama sürecini takiben, sistem elde ettiği verileri yorumlayarak “anlama” aşamasına geçer; bu aşama, bir sonraki adımda kullanılacak alternatif eylem planlarının oluşturulmasına imkân tanıyan bilgi dönüşüm sürecidir. Ardından gelen “karar verme ve harekete geçme” adımı ise sistem, tanımlanmış çeşitli kriterler doğrultusunda mevcut seçenekler arasından en uygun çözümü belirler ve hedeflenen çıktıya ulaşmak için gerekli eylemi gerçekleştirir. Tüm bu süreç boyunca (algılamadan harekete geçmeye kadar) sistem, bilgi işleme deneyimlerinden yararlanarak bilişsel yeteneklerini geliştirmeye yönelik bir öğrenme döngüsü içinde çalışır (Arman vd 2023).



Şekil 2. Akıllı şehirlerin temel unsurları (Giffinger vd 2007; Cohen 2014; Letaifa 2015)

Akıllılık kavramıyla ilişkili olarak son dönemde önem kazanan kavramlardan biri de akıllı mobilite kavramıdır. Küresel ölçekte artan nüfus, insan ve mal taşımacılığı lojistiği ile entegre edilmiş akıllı ve sürdürülebilir şehir planlamasını zorunlu hale getirmekte; bu durum, gelecekte toplumların hareketlilikle nasıl başa çıkacağını önemli ölçüde etkilemektedir. Akıllı mobilite kavramı, akıllı şehirlerin yükselişiyle birlikte önem kazanmış ve Birleşmiş Milletler’in belirlediği sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyum içinde gelişmiştir. Trafik yoğunluğunu azaltmaya yönelik yeni rota optimizasyonları ve ekolojik ayak izinin küçültülmesi, akıllı mobilitenin temel unsurları arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, aktif ve kapsayıcı hareketliliğin desteklenmesi, çevre dostu yakıt türlerinin kullanımının teşvik edilmesi ve vatandaşlarla güçlü bir etkileşim kurulması da dikkate alınması gereken diğer önemli boyutlardır. Nesnelerin İnterneti (IoT), Yapay Zekâ (AI), Blockchain ve Büyük Veri teknolojileri, şehirler ve sakinleri için mevcut şehircilik anlayışını dönüştürecek yenilikçi çözümler üretme noktasında ana giriş noktaları ve temel dayanaklar olarak işlev görecektir. Mobilite hizmetleri, trafik akışının optimizasyonu, lojistik sistemler ve otonom araçların etkinleştirilmesi, mevcut şehirlerin akıllı şehir yapısına geçişiyle birlikte önümüzdeki yıllarda hayatımıza girecek hizmet ve uygulamalardan sadece birkaçıdır (Paiva vd 2021). Gelecekte akıllı mobilitenin dönüşüm sürecinde belirleyici iki temel unsur öne çıkacaktır. Bunlar malların taşınması ile bireylerin ulaşım ihtiyaçlarının karşılanmasında “hizmet olarak mobilite” (Mobility as a Service - MaaS) anlayışına geçiştir. Malların taşınmasına ilişkin olarak, temel ihtiyaçların bireylerin evlerine ulaştırılmasında kullanılan robot prototipleri, dünya genelinde halihazırda bazı örneklerle karşımıza çıkmaktadır. Bu durum; süpermarketler, teslimat hizmetleri ve benzeri işletmelerin çalışma şekillerinde köklü değişiklikler yapılmasını gerektirecektir. Bu alanda IoT, Büyük Veri ve AI, yeni nesil çözümlerin geliştirilmesinde temel teknolojik bileşenler olarak kritik roller üstlenecektir. Bu gelişmeler, sadece mobilite alanında

değil, aynı zamanda geleceğin meslek yapılarında da köklü ve kaçınılmaz değişimleri beraberinde getirecektir. İnsanların hareketliliği bağlamında ise, özel araç sahipliğinde önemli bir azalma ile birlikte elektrikli, paylaşımlı, daha hafif ve kompakt araçlara yönelim dikkat çekmektedir. Bunun yanı sıra, otonom sürüş teknolojilerinin de yaygınlaşmasıyla, bireylerin ulaşımından bir hizmet olarak faydalanacağı, kullanıcı merkezli ve esnek bir mobilite paradigmaya geçiş kaçınılmaz hale gelmektedir (Paiva vd 2021).

Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) temelli sistemler

Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT), iletişim sağlamak amacıyla kullanılan farklı teknolojik donanımlar ve kaynaklardan oluşan bir topluluktur. Aynı zamanda, bilgi üretme, dağıtma, toplama ve yönetme süreçlerinde de etkin bir şekilde kullanılırlar (Sarkar 2012). BİT, akıllı sistemlerin temelini oluşturan altyapısal bir unsurdur. BİT temelli sistemler, verilerin elde edilmesinden iletilmesine, analizinden saklanmasına kadar çok katmanlı bir süreci kapsar. BİT, yaşam tarzımızın birçok yönünü dönüştüren önemli bir güçtür. BİT, bilginin (ses, veri, metin, görüntü) toplanması, depolanması, işlenmesi, iletilmesi ve sunulması için kullanılan donanım, yazılım, ağ ve ortamlar gibi hizmetlerden oluşmaktadır. BİT, iki temel bileşenden oluşmaktadır: Birincisi, hücresel, yayın, kablo, uydu ve posta gibi fiziksel telekomünikasyon sistemleri ve ağları ile bu altyapılar üzerinden sunulan internet, ses, posta, radyo ve televizyon gibi hizmetleri içeren Bilgi ve İletişim Altyapısı'dır (BİA). İkincisi ise, bilgilerin toplanması, depolanması, işlenmesi ve sunulmasında kullanılan donanım ve yazılımları kapsayan Bilgi Teknolojisi (BT) bileşenidir. (Sarkar 2012). Günümüzde BİT, özellikle AUS, sağlık hizmetleri, akıllı şehir uygulamaları, enerji yönetimi ve endüstriyel otomasyon gibi birçok sektörde, karar destek mekanizmalarının önemli bir bileşeni haline gelmiştir. BİT sayesinde farklı kaynaklardan elde edilen büyük hacimli veriler, gerçek zamanlı olarak işlenebilmekte ve sistemlerin proaktif şekilde yönetilmesine imkân tanınmaktadır. Bu teknolojilerin doğru entegre edilmesi, süreçlerin hem daha etkin hem de kullanıcı odaklı bir yapıya kavuşmasını sağlar.

Dijitalleşme çağında mobilitenin sürekli değişen yapısı, BİT ile ulaşım sistemleri arasındaki çok katmanlı ve dinamik ilişkiyi derinlemesine analiz etmeyi zorunlu kılmaktadır. Teknolojik gelişmeler, yalnızca kentsel bölgelerde değil, aynı zamanda kırsal alanlarda da ulaşımın dönüşümünde belirleyici bir rol oynamaktadır. Ancak, BİT'in ulaşım altyapılarına entegrasyonunun kapsamlı etkilerini değerlendirebilmek için daha bütüncül ve disiplinler arası bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu etkiler; ekonomik kalkınmadan sosyal etkileşime, kültürel değişimlerden etik sorumluluklara ve çevresel sürdürülebilirliğe kadar uzanan çok çeşitli boyutları içermektedir (Abdullahi vd 2024). Ekonomik boyut açısından "ekonomi" kavramı, BİT'in yalnızca mevcut endüstrileri dönüştürmekle kalmayıp aynı zamanda yeni

ekonomik fırsatlar yarattığını da ortaya koymaktadır (Wallius vd 2022). Bu dönüşüm, özellikle ulaşım sektöründe belirgin şekilde hissedilmektedir. Araç çağırma hizmetleri ve paylaşım dayalı mobilite platformlarının yükselişi, geleneksel taksi sektörünü sarsarak, dijital ekonomi ve yenilikçi iş modellerinin hızla yayılmasına olanak sağlamıştır (Inturri vd 2019). Bununla birlikte, akıllı araç teknolojileri ve bu teknolojilere yönelik araştırma-geliştirme yatırımları, yalnızca otomotiv endüstrisini dönüştürmekle kalmayıp, aynı zamanda daha geniş ölçekte ekonomik yapılar üzerinde de etkili olmaktadır (Abdullahi vd 2024). BİT'in ulaşım etkisi yalnızca ulaşım sistemleriyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda şehir planlaması ve arazi kullanımı üzerinde de belirleyici bir rol oynamaktadır. Teknolojinin ulaşım altyapılarına entegrasyonu ile birlikte, veriye dayalı şehir planlama yaklaşımlarının ulaşım sistemleriyle bütünleştiği yeni bir şehir anlayışı ortaya çıkmaktadır. Klopp ve Cavoli (2019)'nin de ifade ettiği gibi, BİT araçları aracılığıyla toplanan veriler; altyapı yatırımları, imar planlaması ve toplu taşıma güzergâhlarının belirlenmesi gibi alanlarda önemli fikirler sağlamaktadır. Bununla birlikte, bisiklet paylaşım sistemleri ve e-scooter gibi BİT tabanlı mikromobilite çözümleri, hem trafik yoğunluğunu azaltmakta hem de kentsel peyzajların dönüşümüne katkıda bulunmaktadır (Nwankwo vd 2019; Abdullahi ve Mohamud 2023). Bu noktada, daha yaşanabilir ve sürdürülebilir şehirler inşa edebilmek için BİT ile şehir planlaması arasındaki entegrasyon büyük önem taşımaktadır (Abdullahi vd 2024). Kashinath ve arkadaşları (2021), trafik akışını optimize edebilmek adına gerçek zamanlı veri toplama ve analiz etmenin kritik önemine dikkat çekmektedir. Günümüzde sensörlerin, GPS cihazlarının ve akıllı telefonların yaygınlaşmasıyla birlikte ulaşım sistemleri daha duyarlı ve etkileşimli hâle gelmiştir (Stockx vd 2014). Bu teknolojik altyapı sayesinde, trafik tıkanıklıkları önceden tahmin edilip hafifletilebilmekte; böylece seyahat süreleri kısalmakta ve yakıt tüketimi önemli ölçüde azalmaktadır (Gadsby ve Watkins 2020). Waze ve Google Haritalar gibi gerçek zamanlı navigasyon uygulamaları ise, BİT'in yolculara bilinçli tercihler yapma ve en verimli rotaları belirleme konusunda nasıl katkı sağladığını somut örneklerle göstermektedir (Abdullahi vd 2024). Bu noktada BİT'in ulaşımın önemli unsurlarından biri olan yolcular ile ilişkisi daha fazla detaylandırılmalıdır. BİT'in yolcu taşımacılığındaki rolü nispeten daha yenidir, ancak önemi azımsanamaz. Evlerde ve işletmelerde BİT'in giderek daha fazla benimsenmesi, işletmelerin coğrafi erişimini ve iletişim ağlarını genişletmiş, 1990'ların sonlarından itibaren çalışma, alışveriş ve eğlence gibi geleneksel insan faaliyetlerini yeniden şekillendirmiştir. Hızla genişleyen ağ bağlantıları ve küçük ölçekli tüketici teknolojilerinin yaygınlaşması, kullanıcıların daha iyi bilgilendirilmesini ve ulaşım ağlarının daha güvenli, daha koordineli ve daha akıllı bir şekilde kullanılmasını sağlayan AUS'da önemli ilerlemeler kaydedilmesine yol açmıştır. Bu gelişmeler, daha iyi yolculuk planlamasından rota koşullarının gerçek zamanlı

güncellemelerine ve birden fazla ulaşım hizmetinde kesintisiz seyahate kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır (Schofer ve Mahmassani 2016). Ayrıca yine ulaşımın önemli parametrelerinden birisi olan güvenlik kavramının BİT ile iş birliği önem arz etmektedir. Ulaşım güvenliğini artırmaya yönelik olarak BİT'in entegrasyonu, son yıllarda araştırmacıların yoğun ilgisini çeken bir konu haline gelmiştir. Literatürde, araçlar arası (V2V) ve araçtan altyapıya (V2I) iletişimi mümkün kılan sistemlerin, ulaşım ağında güvenliğin sağlanmasına yönelik potansiyeli ele alınmaktadır (Marantis vd 2018). Bu tür sistemler, çarpışma riski, şerit ihlali veya benzeri tehlikeli durumlar karşısında sürücülerini anlık olarak bilgilendirerek kazaların önlenmesine katkı sağlamaktadır. Böylece, trafik kazalarının meydana gelme olasılığı önemli ölçüde azaltılabilmektedir (Abishu vd 2021). Ancak bu teknolojilerin sunduğu güvenlik avantajlarının yanı sıra, özellikle etik sorumluluklar ve yasal düzenlemeler bağlamında ortaya çıkan belirsizlikler ve endişeler de dikkate alınması gereken önemli hususlardır (Wallius vd 2022). Ayrıca çevrimiçi işlemlerde güven eksikliği ve değiş tokuş edilecek bilgilerle ilgili güvenlik ve sorumluluk konuları, İnternet tabanlı uygulamaların benimsenmesini engelleyebilir. İnsanların, kargoların ve araçların izlenebilirliği önemli bir dizi potansiyel fayda sunarken, bu yetenekler aynı zamanda şirketleri, müşterilerinin güvenini kaybetmemek ve böylece bilgi paylaşımını daha da kısıtlamamak adına kişisel bilgilerin korunmasını sağlamak zorunda bırakır (Schofer ve Mahmassani 2016). Özetle BİT'in ulaşım sistemlerine entegrasyonu, bazı olumsuz yönleri de beraberinde getirmektedir. Öne çıkan temel sorunlardan biri, eşitlik ve erişilebilirlik konularıdır. BİT tabanlı ulaşım hizmetleri, dijital okuryazarlığa veya teknolojiye erişim imkânına sahip bireyler için çeşitli kolaylıklar sunarken, bu imkânlardan yoksun grupları sistemin dışında bırakma riski taşımaktadır. Buna ek olarak, mahremiyet ve veri güvenliği konuları da önemli bir endişe kaynağıdır. Sensörlerin, GPS cihazlarının ve izleme teknolojilerinin yaygın kullanımı; veri sahipliği, bireysel rıza ve olası gözetim uygulamaları gibi etik ve hukuki soruları gündeme getirmektedir. Bu durum, BİT destekli ulaşım sistemlerinin sosyo-teknik boyutlarının dikkatle ele alınmasını gerekli kılmaktadır (Abdullahi vd 2024).

Veri kavramı ve BİT ilişkisi kapsamında BİT'in ulaşım entegrasyonu, veri odaklı bir karar verme sürecini beraberinde getirerek ulaşım planlaması ve yönetiminde yeni bir dönemin başlangıcını teşkil etmiştir. BİT tabanlı sistemler aracılığıyla üretilen ve genellikle “veri” olarak tanımlanan büyük hacimli bilgi yığınları, seyahat desenleri, trafik yoğunluğu yaşanan bölgeler ve mevcut altyapının kullanım düzeyi hakkında önemli fikirler sağlamaktadır (Suryani vd 2020). Bu doğrultuda, veri analitiği araçları, karar vericilere darboğazların belirlenmesi, güzergâhların optimizasyonu ve altyapı iyileştirmelerinin planlanması gibi çeşitli alanlarda stratejik destek sunmaktadır. Ayrıca, makine öğrenmesi gibi ileri düzey analiz tekniklerinin

ulaşım verilerine uygulanması, seyahat talebinin tahmin edilmesini mümkün kılmakta ve bu sayede kaynakların etkin bir biçimde tahsisini kolaylaştırmaktadır. Tüm bu gelişmeler, ulaşım sistemlerinde operasyonel verimliliğın artırılmasına katkı sağılarken, aynı zamanda kanıta dayalı politika geliştirme süreçlerine de yön vermektedir (Abdullahi vd 2024).

Siber-fiziksel sistemler ve otomasyon

Dijital teknolojilerin durmaksızın ilerleyişinde bir sonraki önemli dönüm noktası, Siber-Fiziksel Sistemler (SFS) olarak öne çıkmaktadır. Dünya genelinde SFS'lerin hızlı benimsenmesiyle birlikte, bilişim, siber bilim ve fiziksel süreçlerin entegrasyonu olağanüstü bir ivme kazanmıştır. Siber bilim, Abelson ve Sussman (1996) tarafından prosedürel epistemoloji olarak tanımlanmakta olup, yazılım gibi sistemlerin önceden tanımlanmış talimatlara göre işlem yapmasını esas alır. Buna karşılık, fiziksel sistemler çoğunlukla içsel belirsizlikler barındıran, eşzamanlı ve dinamik süreçlerden oluşur. Bu fiziksel dinamiklerin, siber sistemler aracılığıyla ölçülmesi, izlenmesi ve kontrol edilmesi; gerçek zamanlı karar mekanizmalarının kurulmasını ve etkin geri bildirim döngülerinin uygulanmasını zorunlu kılar. Bu noktada ileri düzey hesaplama yetenekleri ve yapay zekâ uygulamaları devreye girerek daha doğru, tepkisel, verimli ve güvenilir sistemlerin tasarlanmasını mümkün kılar. Sanal ve fiziksel dünyaların bu senkronize bütünlüğü, SFS kavramını doğurur. Bu teknolojik orkestrasyonun sağladığı sinerji, insanların teknolojik sistemlerle etkileşim biçimini kökten dönüştürecektir potansiyele sahiptir. SFS'ler, geleceğın akıllı şehirlerinin temel yapı taşlarını oluşturarak, akıllı cihazlar ve stratejik altyapılar aracılığıyla yeni bir teknolojik devrimi tetikleyebilir (Kaplan ve Haenlein 2019; Zhou vd 2020). Pek çok gerçek dünya sisteminde, bilgi akışı ve fiziksel kaynaklar birbirine sıkı şekilde entegre olmuştur. Gömülü bilgisayar sistemleri ve iletişim ağıları, dış dünyadan sensörler aracılığıyla veri toplayan ve bu veriler doğrultusunda fiziksel aktüatörleri yöneten yapılarla birlikte çalışarak, adaptasyon yeteneğı yüksek, özerk ve verimli bir kontrol döngüsü oluşturur. Bu tür entegre yapılar, genel olarak SFS olarak adlandırılır ve günümüzde geniş bir uygulama yelpazesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Zanero 2017).

SFS yükselişi, kaynak yönetimi, akıllı ulaşım sistemleri, iş süreçlerinin optimizasyonu, enerji yönetimi (özellikle büyük ölçekli akıllı şebeke sistemleri), eğitim, ticaret, sanayi, akıllı üretim ve çevresel izleme gibi pek çok alanda yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesini, mevcut yapıların yeniden tasarlanmasını ve yeni sistemlerin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır. Akıllı bilgi işlem kabiliyetleri ile yaygın fiziksel süreçler arasındaki çok boyutlu ve karmaşık karşılıklı etkileşimlerin sorunsuz entegrasyonu sayesinde, SFS'ler özellikle ulaşım sektöründe çarpıcı dönüşümler gerçekleştirme potansiyeline sahiptir. Bu yönüyle, geleceğın akıllı şehirlerinde SFS'lerin hayati bir rol üstleneceğı öngörülmektedir (Puliafito vd 2021; Paiva vd

2021). SFS'nin hızlı ve yaygın bir biçimde konuşlandırılması, beraberinde bu sistemlerin güvenli, emniyetli ve hataya dayanıklı bir şekilde tasarlanması, uygulanması ve işletilmesine yönelik karmaşık mühendislik problemlerini gündeme getirmektedir. Bu çok boyutlu zorluklar, SFS'leri yalnızca teknolojik açıdan değil, aynı zamanda disiplinler arası araştırmalar açısından da stratejik ve öncelikli bir çalışma alanı konumuna taşımaktadır. SFS'lerle çalışmanın önemli zorluklarından biri, bu sistemlerin giderek daha fazla insan müdahalesi olmadan, yani tamamen özerk şekilde çalışacak biçimde tasarlanması gerekliliğidir. Bu durum, özellikle kontrol döngüsünde insanın yer almadığı senaryolarda belirginleşmektedir. Örneğin, kendi kendine sürüş yeteneğine sahip araçlar; yol altyapısına bağlı, genellikle internet erişimi bulunan ve çok sayıda sensör ile aktüatör barındıran son derece karmaşık SFS örnekleri olarak öne çıkmaktadır. Bu araçlar, özerk SFS'nin geliştirilmesine yönelik yoğun araştırmaların merkezinde yer almaktadır (Zanero 2017). SFS, siber bileşenler (örneğin sensörler, hesaplama birimleri, iletişim ağları) ile fiziksel süreçlerin (örneğin mekanik sistemler, çevresel unsurlar, insan etkileşimi) entegre biçimde çalışmasını ve sürekli etkileşim içinde bulunmasını esas alır. Bu sistemlerde, siber bileşenler fiziksel süreçleri algılar, analiz eder ve kontrol eder; aynı zamanda geri bildirim döngüleri yoluyla fiziksel ortamda meydana gelen değişikliklere anlık tepki verebilir. Otonom araçlar, SFS'lerin en belirgin örneklerinden biridir. Bu araçlar; kamera, radar ve LIDAR gibi çeşitli sensörler vasıtasıyla çevresel verileri toplar, bu çok modlu verileri GPU'lar, özel amaçlı sistem çipleri (SoC) ve çok çekirdekli işlemciler aracılığıyla gerçek zamanlı olarak işler ve analiz eder. Elde edilen veriler doğrultusunda otonom kararlar alarak planlama ve kontrol işlemlerini yürütür, ilgili mekanik bileşenleri yönlendirir. Otonom araçlarda yer alan siber bileşenler, geleneksel taşıtlara kıyasla çok daha gelişmiş ve karmaşık bir yapıya sahiptir ve fiziksel çevre ile daha yoğun ve doğrudan bir etkileşim içindedir. Otonom araçların yanı sıra, endüstriyel robotlar, giyilebilir teknolojiler, akıllı yapılar ve altyapılar gibi diğer SFS örnekleri de teknoloji dünyasında önemli potansiyeller sunmaktadır (Zhu vd 2018).

Otomasyon kavramı ise bu sürecin insan müdahalesine gerek kalmaksızın sürdürülebilirliğini ifade eder. Özellikle ulaşım sistemlerinde SFS tabanlı otomasyon, örneğin adaptif trafik ışıkları, sürücüsüz araçlar, dijital sinyalizasyon sistemleri ve acil durum yönetim altyapıları gibi alanlarda kritik rol oynamaktadır. Otomasyonun gelişimi, hataya açık manuel süreçlerin yerini daha tutarlı, hızlı ve enerji verimli çözümlere bırakmasını sağlamıştır. SFS ve otomasyonun birleşimi, geleceğin ulaşım altyapılarında akıllı, özerk ve sürdürülebilir sistemlerin temelini oluşturmaktadır. Günümüzde Otonom Araçlar (OA'lar), ulaşım sistemleri üzerindeki potansiyel etkileri nedeniyle araç üreticileri, politika yapıcılar ve araştırmacılar tarafından yoğun ilgi görmektedir. OA'ların gelecekteki mobiliteye olumlu katkılar sağlayacağına dair güçlü beklentiler bulunmaktadır (Gruel ve Stanford 2016). Ancak, bu yeni

teknolojinin yaygınlaşmasıyla ilgili bazı belirsizlikler ve zorluklar da söz konusudur (Wadud vd 2016). OA'ların paylaşımlı mobilitayı teşvik etme potansiyeline sahip olduğu ve bu yolla bireysel araç sahipliğini azaltabileceği ifade edilmektedir. Bununla birlikte, bu teknolojilerin özellikle yaşlı bireyler ve ulaşım hizmetlerine erişimi sınırlı olan diğer gruplar için yeni ulaşım imkânları sunması nedeniyle, genel seyahat talebinde bir artışa yol açması da beklenmektedir. Karayolu taşımacılığı sisteminde yarattıkları önemli etkiler nedeniyle OA'lar, araç üreticileri, politika yapımcılar ve araştırmacılar arasında artan bir ilgiyle karşılanmaktadır. Her ne kadar çeşitli belirsizlikler bulunsun da, OA'ların ulaşım sistemleri üzerinde olumlu dönüşümler yaratma potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Beza ve Zefreh 2019). Vahidi ve Sciarretta (2018) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, eko-sürüş konusundaki literatür incelenmiş ve enerji verimli sürüş stratejileri, temel prensiplere dayalı analizler ışığında değerlendirilmiştir. Çalışmada, OA'nın yol geometrisi ve trafik koşullarını önceden tahmin etme yeteneklerinin enerji verimliliği üzerinde önemli bir etkisi olduğu vurgulanmıştır. OA'lar, eğim, kavşaklar, hız limitleri ve yol eğriliği gibi sabit yol verilerini önceden analiz edebilme kabiliyeti sayesinde, enerji tüketimini azaltan optimize edilmiş hız geçişlerini gerçekleştirebilir. Ayrıca, araçtan araca (V2V) ve araçtan altyapıya (V2I) iletişim teknolojileri sayesinde araçlar daha gelişmiş verilere erişebilir ve bu sayede enerji tasarrufu sağlamak amacıyla kooperatif sürüş stratejileri uygulayabilirler (Vahidi ve Sciarretta 2018).

Ulaşım Sistemlerine Kuramsal Yaklaşımlar

Sistem kuramı ve ulaşım

Sistem kavramı belirli bir amaca ulaşmak üzere birlikte çalışan ve karşılıklı bağımlılık ilişkisi içinde olan bileşenlerden oluşan bir bütün olarak tanımlanmaktadır (Gürsakaç 2007). Bu tanım, ulaşım sistemleri açısından ele alındığında; kara, deniz, hava ve demiryolu gibi çeşitli taşıma modlarının yanı sıra, bu modlara hizmet eden altyapılar, yönetim yapıları, teknoloji bileşenleri ve kullanıcı davranışlarının bir arada ve eşgüdüm içinde işlemesi gerektiğini ortaya koyar. Ulaşım sisteminin her bir parçası birbirine bağımlı olarak çalışır ve bu ilişkisel yapı, sistemin genel işleyişini doğrudan etkiler. Dolayısıyla, ulaşım sistemlerinin planlanması ve yönetimi, yalnızca bireysel bileşenlerin değil, bu bileşenler arasındaki etkileşimlerin de sistematik bir bütünlük içinde ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Çok modlu ulaşım sistemleri; milyonlarca yolcunun taşınmasını, geniş ölçekli altyapı ağlarını ve özel araçlar, otobüsler, demiryolları, bisiklet ve yaya ulaşımı gibi birbirinden farklı ulaşım modlarını kapsayan yapıyla, en karmaşık sistemler arasında yer almaktadır. Bu sistemler, hem fiziksel altyapının hem de kullanıcı davranışlarının eşzamanlı ve uyumlu biçimde işlemesini gerektiren dinamik bir bütünlük sunar (Song vd 2013). Örneğin, İstanbul, çok modlu ulaşım altyapısına sahip

karmaşık bir kenttir. Şehirde kara yolu taşımacılığı (otobüs, minibüs, taksi), raylı sistemler (metro, tramvay, metrobüs), deniz ulaşımı (vapur, deniz otobüsü) ve özel araç kullanımı gibi çeşitli ulaşım modları mevcuttur. Bu modlar birbirlerine yalnızca fiziksel altyapı üzerinden değil, aynı zamanda dijital bilgi sistemleri, ücretlendirme entegrasyonu ve zamanlama koordinasyonu üzerinden de bağlıdır. İstanbultkart aracılığıyla entegre ücretlendirme, farklı ulaşım modları arasında geçiş yapmayı kolaylaştırmakta; toplu taşıma kullanıcılarının yolculuk deneyimini daha verimli ve planlanabilir hale getirmektedir. Aynı zamanda İstanbul Ulaşım Yönetim Merkezi (UYM), trafik yoğunluğu, hava durumu, yol çalışmaları gibi değişkenleri dikkate alarak sistemin farklı bileşenleri arasında gerçek zamanlı koordinasyon sağlamaktadır. (Anonim 2025) Yani ulaşım sisteminin yalnızca fiziksel taşıma araçlarından ibaret olmadığı; altyapı, kullanıcı, yönetim ve teknoloji gibi çeşitli alt sistemlerin birbiriyle etkileşimli ve bağımlı bir biçimde çalıştığı görülmektedir. İstanbul gibi metropollerde ulaşımın sürdürülebilirliğini sağlamak için bu sistemsel bütünlüğün gözetilmesi kritik bir öneme sahiptir. Bir sistem; belirli bir amaç ya da amaçlar doğrultusunda, bir zaman dilimi içerisinde veri, bilgi, enerji, konu ya da organizmalar üzerinde işlem gerçekleştiren ve bu işlemler sonucunda çıktı olarak bilgi, enerji ya da organizmalar üreten bileşenler bütünüdür. Bu tanım, sistemin yalnızca teknik bir yapı olmadığını, aynı zamanda işlevsel olarak bilgi üretme, enerji dönüşümü sağlama ya da organizmalar oluşturma gibi farklı çıktı türlerine yönelik olarak yapılandırılmış, birbiriyle ilişkili unsurların bütünsel bir düzenini ifade ettiğini göstermektedir (Yenisu vd 2019). Sistem teorisi, çok disiplinli bir yapıya sahip olup, büyük ölçüde disiplinler arası karşılaştırmalara olanak tanımak amacıyla geliştirilmiştir. En genel anlamıyla sistem, belirli fenomenlerin tanımlanabilir bir organizasyonunu ifade eder. Sistem tanımları, fiziksel varlık, mekânsal ya da zamansal ölçek gibi sınırlayıcı unsurlardan bağımsız olabilir; ancak alt sistemler, bileşenler ve bu unsurlar arasındaki hiyerarşik düzenlemeler, sistem kavramının anlaşılmasında temel öneme sahiptir. Sistem modelleri, belirli bir sistem olarak tanımlanan yapı içerisindeki bileşenlerin karşılıklı etkileşimlerini ve topolojik ilişkilerini incelemek amacıyla kullanılır. Karmaşıklık yaklaşımı, bir bileşenin anlamının ancak diğer bileşenlerle olan ilişkileri bağlamında kavranabileceğini öne sürer (Ackoff 2005). Ayrıca, çevreleriyle enerji ve bilgi alışverişi yapan yapılar olan açık sistemler yalnızca onları çevreleyen diğer ilgili sistemlerle birlikte ele alındığında anlam kazanır. Özellikle kentsel çalışmalar çerçevesinde sistem teorisinin dikkat çeken bir yönü, bilimsel indirgemeciliğe karşıt bir duruş sergilemesi ve bu doğrultuda bütüncül bir yaklaşımın zorunluluğunu vurgulamasıdır (Sengupta 2017). Sistem yaklaşımı, problemi yalnızca kendi sınırları içerisinde değerlendirmek yerine, onunla ilişkili tüm bileşenleri ve dinamikleri göz önünde bulunduran kapsamlı bir problem çözme metodolojisi olarak tanımlanabilir. Bu yaklaşım, bir problemin çözümüne yönelik süreçte; problemin oluşum

koşulları, onu etkileyen iç ve dış faktörler, alt sistemler arasındaki karşılıklı ilişkiler ve bu ilişkilerin sonuca etkileri gibi çok sayıda değişkeni bütüncül bir çerçevede değerlendirir. Sistem düşüncesi, yalnızca teknik bir analiz aracı değil, aynı zamanda olayları yorumlama ve çözüm geliştirme biçimidir. Bu bakış açısı, günümüzde hem uluslararası düzeyde hem de Türkiye özelinde, problemlere kantitatif ve model tabanlı çözümler getirme eğilimini desteklemektedir. Özellikle son yirmi yılda gelişen Sistem Bilimleri, Sistem Mühendisliği gibi disiplinler, sistem yaklaşımının yalnızca belirli bir alanla sınırlı olmadığını; aksine birçok farklı disiplini bir araya getiren, bütüleştirici bir metadisiplin olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca sistem yaklaşımı, karmaşık problemlere analitik, ilişki-temelli ve disiplinler üstü çözümler geliştirmek için vazgeçilmez bir çerçeve sunmaktadır (Yenisu vd 2019). Örneğin Ankara, kentsel ulaşım problemlerini çözmek amacıyla sistem yaklaşımını benimseyen şehirlerden biridir. Ankara Büyükşehir Belediyesi'nin hazırladığı Sürdürülebilir Kentsel Ulaşım Planı (SKUP), ulaşımı yalnızca trafik akışını optimize etmekle sınırlı tutmayıp, çevresel sürdürülebilirlik, toplu taşıma entegrasyonu, erişilebilirlik ve uzun vadeli kentleşme eğilimlerini de kapsamaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, karar alma süreçlerinde farklı disiplinlerden uzmanların katılımını sağlayarak, teknik altyapı, nüfus hareketliliği, kullanıcı davranışları ve enerji tüketimi gibi faktörleri birlikte analiz etmektedir. Ankara, ulaşımı tekil bir sorun olarak değil, bir sistemin parçası olarak değerlendirerek çözümler üretmektedir (Ankara Büyükşehir Belediyesi 2025). Benzer şekilde, Stockholm de sistem yaklaşımını yıllardır başarıyla uygulayan öncü şehirlerden biridir. Stockholm'de uygulanan trafiğe dayalı yol fiyatlandırma sistemi, araçların belirli zamanlarda şehir merkezine girişini sınırlayarak trafik sıkışıklığını ve karbon salınımını azaltmayı amaçlamaktadır. Bu politika, sadece trafik verilerine dayanarak değil, hava kalitesi ölçümleri, kullanıcı memnuniyeti, sosyo-ekonomik etki analizleri ve toplu taşıma kapasite artışları ile birlikte tasarlanmıştır. Stockholm şehri sistem stratejisinin hem teknik hem de sosyal boyutları entegre ederek nasıl etkin kentsel ulaşım çözümleri sunduğunu göstermektedir. Sonuç olarak her iki şehrin politikaları dikkate alındığında ulaşım sorunlarının çok boyutlu ele alınması ve çözüm süreçlerinin disiplinler arası iş birlikleriyle yürütülmesi gerekmektedir.

Ayrıca sistem kuramı, bir sistemi oluşturan bileşenler arasındaki ilişkileri ve bu ilişkilerin sistemin genel işleyişine etkisini inceleyen çok yönlü bir yaklaşımdır. Ulaşım sistemleri, birçok alt sistemin (yol ağı, trafik yönetimi, toplu taşıma, kullanıcı davranışları vb.) birbirleriyle temas halinde çalıştığı karmaşık sistemlerdir. Sistem kuramı kapsamında, bu ilişkinin modellenmesi ve analiz edilmesi, karar vericilere ulaşım planlamasında sistemsel düşünmeyi sağlayan bir çerçeve sağlar. Böylece sistemsel olarak değerlendirilen ulaşım politikalarının olası sonuçları tahmin edilebilir ve geri bildirim döngüleri sayesinde problemlerin yalnızca belirtileri değil temel nedenleri saptanıp ona göre çözümler üretmek

mümkün hale gelebilir. Bu noktada simülasyon modelleri, sosyal ilişkilerin yoğun biçimde etkili olduğu ulaşım sistemleri gibi karmaşık yapıları analiz etmek için son derece etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır (Osorio ve Bierlaire 2010). Özellikle ulaşım modu tercihi, güzergâh seçimi ve kalkış zamanı belirleme gibi seyahat davranışları, çok sayıda sosyal faktör tarafından şekillendiğinden, bu süreçlerin kesin matematiksel modellerle ifade edilmesi ve çözülmesi oldukça zordur. Simülasyon modelleri, bu tür karmaşık problemleri matematiksel olarak yapılandırmaya ve çeşitli senaryolar altında analiz etmeye olanak tanır (Barton ve Meckesheimer 2006; Batz 2007). Ulaşım sistemleri, doğaları gereği yüksek düzeyde belirsizlik ve rastgelelik içermektedir. Özellikle ağ düzeyindeki trafik akışlarının yapısal karmaşıklığı, çeşitli parametrelerin performansını ayrıntılı biçimde analiz etmeyi gerektirmekte ve bu doğrultuda simülasyon modellerini oldukça uygun ve etkili bir yöntem haline getirmektedir. Örneğin, Osorio ve Bierlaire (2009, 2010), İsviçre'nin Lozan kentinde yer alan bir ulaşım alt ağı için sabit zamanlı sinyal kontrol problemini, metamodel tabanlı bir algoritma aracılığıyla çözümlemişlerdir. Benzer şekilde, Bai ve He, otobüs hızlı geçiş sistemi için, Tabu arama algoritmasına dayalı optimize edilmiş bir ağ yapısı geliştirmişlerdir (Bai ve He 2007).

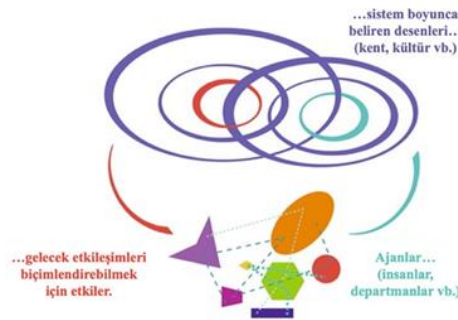
Karmaşık adaptif sistemler olarak ulaşım altyapıları

Karmaşık düşünce sistematığı, temelini belirsizliğin temsili üzerine kurmaktadır. Geleneksel planlama yaklaşımları, belirsizlikleri çoğunlukla müdahale gerektiren engeller olarak görmekte; bu nedenle planlamada istikrarı sağlamak amacıyla belirsizlikleri en aza indirmeye veya tamamen ortadan kaldırmaya odaklanmaktadır. Oysa içinde bulunduğumuz çağ; iklim değişikliği, küresel salgınlar ve çevresel bozulmalar gibi çok boyutlu ve derin etkiler yaratan keskin belirsizliklerle şekillenmektedir. Kentsel çevre, artık sabit ve öngörülebilir bir yapı olmaktan çıkmış; sürekli değişen, birbirini etkileyen bileşenlerden oluşan dinamik bir sistem haline gelmiştir. Bu tür sistemlerde, herhangi bir bileşenin değişimi, diğer bileşenlerin varlıklarını sürdürebilmek için uyum sağlama sürecine girmelerine neden olmaktadır. Bu çerçevede, planlama kuramlarının daha esnek, ilişkisel ve öngörülemez durumlarla baş edebilecek şekilde yeniden yapılandırılması; kentsel sistemlerin ise değişken koşullar altında sürdürülebilirliğini sağlayacak yeni stratejiler ve seçenekler geliştirmesi gerekmektedir (Eken 2019). Karmaşık Uyumlamalı Sistemler (Karmaşık Adaptif Sistem – KAS) kuramı, belirsizliğin dinamiklerini kavramaya ve değişken koşullara uyum sağlayabilen sistem refleksleri geliştirmeye yönelik tamamlayıcı bir kuramsal araç sunmaktadır. Bu yaklaşım, stratejik mekânsal planlama çerçevesini temel almakla birlikte; karmaşıklık, doğrusal olmama, kendi kendine örgütlenme ve karşılıklı bağımlılık gibi sistem davranışlarını açıklayan temel kavramlardan da beslenmektedir (Rauws 2017). KAS perspektifine göre, uyumlanabilir bir

sistem; ani geri bildirim döngülerine karşı kendini yeniden yapılandırma kapasitesine sahiptir. Bu sistem mantığı, bir yandan toplumsal ve ekonomik hedefleri gerçekleştirmeye yönelik işlevsel bir yapı sunarken, diğer yandan belirsizlikler karşısında dirençli ve esnek bir tepki mekanizması geliştirme yeteneği ile ön plana çıkmaktadır (Rauws 2017). Doğal ve toplumsal sistemlerin kendi kendine örgütlenme süreçlerini ve dinamik yapılarını anlamaya yönelik geliştirilen KAS kuramı, temelde karmaşıklık kuramına “yeni koşullara uyum sağlama” bakış açısını kazandıran alternatif bir paradigma olarak ortaya çıkmıştır (Notarnicola vd 2017). Bu kuram, çok sayıda bağımsız ajanın (her biri yalnızca yerel düzeydeki bilgiye ve etkileşim kurallarına göre hareket eden birimler olarak) bir araya gelerek oluşturduğu sistemleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Söz konusu sistemler KAS olarak adlandırılmakta ve öngörülemeyen dış koşullara karşı esneklik ve adaptasyon yetenekleriyle dikkat çekmektedir (Burnes 2005). KAS, gerçek dünya sistemlerinde kritik rol oynayan ek özellikleri barındıran karmaşık sistemlerin özel bir alt grubudur. Bu sistemler, deneyim yoluyla edinilen bilgiden öğrenme yeteneğine sahiptir. John H. Holland’a göre, KAS’lar yalnızca tekrar eden durumlara adapte olma ve öğrenme becerisine sahip değildir; aynı zamanda gelecekte karşılaşılması muhtemel koşulları öngörebilme yetisi de geliştirebilirler (Holland 1992). Geçici hedeflere sahip olmaları, çoklu aktörlerin, çeşitli eylem biçimlerinin ve motivasyonların bir arada bulunmasıyla tanımlanan kentsel yaşam, aslında öğrenme ve öngörüye dayalı bir dönüşüm sürecidir. Bu yönleriyle şehirler, muhtemelen en kapsamlı ve gelişmiş KAS örneğini oluşturmaktadır (Sengupta 2017). Karmaşık sistemler perspektifinden ele alınan kentsel olgular, genellikle zamana bağlılık, dinamik yapı, ilişkisellik ve doğrusal olmayan etkileşimler gibi özellikler gösterir. Bu tür sistemler, yalnızca çeşitli disiplinlerin yöntemlerinin bir araya getirilmesinden ibaret olmayıp, aynı zamanda özgün bir araştırma sahası da sunmaktadır (Laszlo ve Krippner 1998). Kentsel süreçlerde, detaylı bileşen, öge ya da ajan etkileşimlerine odaklanmak; daha büyük mekânsal ve zamansal ölçeklerde ortaya çıkan davranış kalıplarını gözlemlemeye olanak tanır. Bu yaklaşım, kentsel örüntülerin ve akışların ardındaki mantığı çözmeyi hedefler; ancak bu mantık, indirgemeci yöntemlerle tam olarak kavranamaz. Von Bertalanffy’nin ortaya koyduğu gibi, mühendislik dışındaki tüm gerçek dünya sistemleri “açık sistemler” olarak değerlendirilmelidir (Von Bertalanffy 1950). Bu bakış açısı, farklı sistemler ile onların çevreleri arasındaki etkileşimleri dikkate almayı zorunlu kılar; çünkü bu çevreler, sistemlerin daha geniş bağlamlarını oluşturur. Bu durum, klasik indirgemeci bilimsel yaklaşımlarla yapılan izole laboratuvar deneylerini geçersiz kılar ve sahadan, yani gerçek dünyadan elde edilen verilerle şekillenen özgün bir kentsel araştırma disiplininin doğmasına yol açar. Kentsel dönüşüm süreçlerinde insan algısı, motivasyonu ve davranışı, karmaşık sonuçlar doğurur. Kentsel karmaşıklık çalışmaları; sürekli değişen ve gelecekte de

evrimleşmeye devam edecek sistemler içinde kalıpları, eğilimleri ve dönüşüm dinamiklerini incelemeye odaklanır (Sengupta 2017). Günümüzde planlama sistemlerinin, değişen kentsel dinamikleri ve giderek artan belirsizlikleri göz önünde bulundurması gerekmektedir. Bu durum, geleneksel ve doğrusal temelli planlama yaklaşımlarının yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmakta ve doğrusal uyum anlayışına karşı alternatif arayışları gündeme getirmektedir (Birkmann vd 2014). Kentlerin sosyal adaletin sağlandığı ve ekonomik olarak rekabet edebilir yapılar hâline gelmesi, dışsal şoklar karşısında biçimsel ve işlevsel olarak kendini yenileyebilen, yani kendi kendini örgütleyebilen yapılar kazanmalarıyla doğrudan ilişkilidir (Nickayin vd 2022). Değişken koşullara ve şoklara karşı başarılı yanıt verebilen kentsel sistemlerin inşasında esnek mekânsal planlama önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır (Kruse ve Pütz 2014). Karmaşık uyumlanabilir kentsel sistem yaklaşımının planlamaya en büyük katkısı, karmaşıklık, doğrusal olmayan etkileşimler ve öğrenmeye dayalı süreçleri odağına alan esnek bir planlama ve yönetim anlayışı sunmasıdır. Bu yaklaşımda temel olan, farklı düzeylerden ve sektörlerden aktörlerin sürece sürekli katılımı ile bu süreçte elde edilen geribildirimlerin ışığında sistemin kendini yenilemesidir (Greenhill vd 2020). Böylece plan, farklı kullanıcı gruplarının değişen ihtiyaçlarıyla daha iyi örtüşebilir hâle gelmektedir (Walsh vd 2013). Planlama süreçlerinde geniş katılım kadar, katılan aktörlerin ve kamusal otoritelerin yetki ve sorumluluklarının net biçimde tanımlanması da büyük önem taşır. Ayrıca dijital teknolojilerin bu katılım süreçlerine entegre edilmesi, daha fazla paydaşın sürece dâhil olabilmesi açısından etkili bir yöntemdir (Turken ve Eyuboglu 2021). Uyumlanabilir planlama anlayışı, BİT'in desteğini esas alarak, bağlamsal veri toplayabilen ve bu verilerle karar süreçlerini sürekli iyileştirebilen bir sistem öngörür. Bu sistem, mekânsal yönetim araçlarının, sürekli değişen kentsel yapılara uygun biçimde yeniden düzenlenmesine olanak tanır. Bu çerçevede izleme ve değerlendirme süreçleri yalnızca mevcut planlamanın revizyonunda değil, gelecekteki planlama faaliyetlerinin daha etkin kurgulanmasında da yol gösterici bir rol üstlenir. Uyumlanabilirliğin etkin biçimde hayata geçirilebilmesi ise, bu süreci sürekli gözlemleyen ve değerlendiren metodolojik yaklaşımların geliştirilmesiyle doğrudan bağlantılıdır (Kruse ve Pütz 2014). Karmaşık ortamlarda yukarıdan aşağıya işleyen komuta ve kontrol stratejileri etkili değildir; çünkü bu ortamlarda bilgi oldukça dağılmış durumdadır ve hızla değişen koşullar altında merkeziyetçi bir kontrol yaklaşımı sürdürülebilir değildir. Bu nedenle, bu tür ortamlarda uyum yeteneğini artırmak için deneme-yanılma yoluyla öğrenmeye dayalı bir yaklaşım benimsenmelidir. Bu çerçevede, altyapı kurumlarının, kamuoyunun ve yatırımcıların belirli düzeyde başarısızlığı tolere edebilmesi gerekmektedir. Örneğin, bir bölge, ulaştırma altyapısı bütçesinin bir kısmını alternatif malzemelerin kullanımı ya da yeni trafik yönetimi teknolojilerinin test edilmesi gibi yenilikçi uygulamalara ayırabilir. Bu uygulamaların çoğunun

geniş ölçekte hayata geçirilemeyeceği önceden kabul edilse bile, bu tür girişimler kurumlara belirsiz koşullara karşı nasıl hazırlık yapılacağına dair önemli bilgiler sunabilir. Ayrıca, altyapıdan sorumlu aktörler, yönetim süreçlerini ağ temelli yapılar üzerinden yürütebilme becerisini geliştirmelidir; karar alma süreçleri, mümkün olan en yerel düzeyde gerçekleşmelidir. Bu yaklaşım, özellikle Avrupa Birliği çerçevesinde bilinen "yetkinin yerelliğe bırakılması" ilkesiyle uyumludur (Chester ve Allenby 2019). Altyapılar çoğunlukla, belirli bir sorunu çözmek amacıyla tasarlanmış ve işleyen fiziksel yapılar olarak değerlendirilir. Ancak, çevresel ve toplumsal koşulların hızla değiştiği günümüzde, bu çözümler zamanla geçerliliğini yitirebilir ve sürekli olarak yeniden şekillendirilmesi gerekebilir. Bu durumda, altyapı yöneticilerinin değişimi benimseyen bir anlayış geliştirmeleri zorunludur. Çünkü bir sistemin sunduğu çözüm yalnızca belirli bir zaman dilimi için uygun olabilir; kısa süreliğine geçerli olan bir çözüm, gelecekte işlevsiz veya yetersiz hale gelebilir. Bu nedenle altyapı yönetimi, mevcut yapıların değişen koşullara nasıl uyum sağlayabileceğine odaklanmalıdır. Böyle bir yaklaşım, yoğun belirsizlikler altında karar almayı da beraberinde getirir. Altyapılar geçmişte durağan nesneler, yani "artifaktlar" olarak tanımlanırken, günümüzde ve gelecekte onları bir süreç olarak yeniden düşünmek gerekmektedir (Chester ve Allenby 2019). KAS olarak ulaşım altyapıları, dinamik çevresel faktörlere, teknolojik gelişmelere ve kullanıcı taleplerine sürekli uyum sağlamaktadır. Bu sistemler birbirinden bağımsız ama temas halinde olan çok sayıda bileşenin (sürücüler, trafik kontrol merkezleri, sensör ağları, araçlar vb.) eylemleriyle şekillenir ve zamanla dönüşüm geçirir.



Şekil 3. Karmaşık uyumlanabilir sistemlerin şematik gösterimi (Anonim 2025)

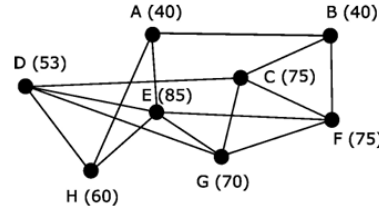
KAS perspektifi, ulaşım altyapılarının sadece fiziksel unsurlarını değil, aynı zamanda bu altyapılarla etkileşime giren sosyal, teknolojik ve ekonomik bileşenleri de dikkate alır. Bu yaklaşım özellikle otonom araçlar ve AUS gibi yenilikçi teknolojilerin entegrasyonu sürecinde önemli bir kuramsal araç sunar. Sistemin kendi kendine öğrenme, uyum sağlama ve beklenmedik durumlara tepki verme kapasitesi, ulaşım ağlarının daha dirençli, esnek ve sürdürülebilir şekle gelmesine katkıda bulunur. Örneğin Amsterdam, KAS yaklaşımını benimseyerek mikro mobilité, bisiklet altyapısı, dinamik trafik sinyalizasyon sistemleri ve

otonom toplu taşıma denemelerini entegre etmiştir. Şehirde farklı modlar (yürüyüş, tramvay, bisiklet, araç) arasındaki geçişler esnektir ve kullanıcı davranışlarına göre sistem uyum sağlamaktadır. Amsterdam'ın bazı semtlerinde trafik sinyalleri gerçek zamanlı yaya ve bisiklet trafiği verilerine göre ayarlanmakta, böylece yoğun saatlerde sistem kendini otomatik olarak yeniden düzenlemektedir. Bu yaklaşım, insan ve teknolojiyi birbiriyle ilişkilendiren, değişken koşullar altında sürdürülebilirliği amaçlayan, adaptasyon yeteneği yüksek bir ulaşım sistemi modelidir.

Ağ teorisi ve ulaşım ağlarının modellenmesi

Kentsel ulaşım ağlarının karmaşıklığını ele alan araştırmalar, büyük ölçüde bu ağların topolojik yapılarının yapısal özelliklerine odaklanmaktadır. Özellikle ağ yapısının trafik akışları üzerindeki etkisinin daha görünür hâle gelmesiyle, farklı kentsel ulaşım ağlarının planlanması, tasarımı ve yönetimi açısından belirli teorik çerçevelere ve yönlendirici ilkelere duyulan ihtiyaç artmıştır. Bu doğrultudaki çalışmalar, farklı şehir tipolojilerine özgü genel prensiplerin ve özgül yapısal özelliklerin ortaya çıkarılmasına katkı sunmaktadır. Ayrıca, kentsel ulaşım ağlarının zaman içinde nasıl evrildiğini anlamaya yönelik mekanizmaların belirlenmesiyle, bu ağların hem zamansal hem de mekânsal karmaşıklığı daha derinlikli bir biçimde incelenebilir hâle gelmektedir (Pternea vd 2015). Karmaşık ağ teorisi, sistemlerin evrimsel mekanizmalarını, yapısal yasalarını ve işlevsel özelliklerini grafik teorisi ile birlikte çeşitli istatistiksel yöntemler aracılığıyla modellemek ve analiz etmek için etkili bir araç olarak kullanılmaktadır (Háznagy vd 2015; Li ve Han 2017). 20. yüzyılın sonlarına gelindiğinde, karmaşık ağlara yönelik çalışmalar yalnızca matematik disiplini ile sınırlı kalmamış; disiplinler arası nitelik kazanarak farklı bilim alanlarına da yayılmıştır. Karmaşık sistemlere ilişkin artan araştırma ilgisiyle birlikte, gerçek dünya olgularının çok boyutlu yapısı, sosyal bilimlerden mühendisliğe kadar geniş bir yelpazede analiz edilmeye başlanmıştır. Bu bağlamda; sosyal ağlardaki iş birliği yapıları, şirket yöneticileri arasındaki organizasyonel ilişkiler, akademik alıntı ağları, dilsel yapıların ağ temsilleri, bilgisayar ve bilgi teknolojileri altyapıları, biyolojik sinir ağları, elektrik ve telefon iletişim sistemleri ile kentsel ulaşım ağları gibi pek çok farklı alan, karmaşık ağ teorisinin uygulama sahasına dâhil olmuştur (Lu ve Shi 2007). Bu çeşitlilik, teorinin yalnızca soyut matematiksel bir araç değil, aynı zamanda çok yönlü bir analiz yaklaşımı olarak önemini ortaya koymaktadır (Jia vd 2019). Kansky, 1960'lı yıllarda ulaşım ağlarının yapısal analizinde grafik teorisini temel alarak iki düzeyde (ağ ve düğüm) çeşitli göstergeler geliştirmiştir. Bu göstergelerin temel amacı, ulaşım ağlarının yapısı ile bu yapıyı tanımlayan parametreler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak, farklı zamanlarda ya da farklı coğrafyalarda

bulunan ulaşım sistemlerini karşılaştırmak ve zaman içindeki gelişim süreçlerini analiz etmektir (Kanksy 1963; Friedrich ve Restel 2020).



Şekil 4. Ağırlıklı taşıma ağı örneği (Guze 2019)

Ağ düzeyinde kullanılan göstergeler, sistemin genel performansını ortaya koyar. Bunlardan maliyet, toplam taşıma bağlantılarının uzunluğunu gerçek mesafeler üzerinden ifade ederken, çevreleme indeksi, ağın mesafeye dayalı sürtünmeyi ne ölçüde minimize ettiğini gösterir. Ağ yoğunluğu, bir ulaşım ağının belirli bir alandaki fiziksel yayılımını; Pi indeksi, toplam bağlantı uzunluğu ile ağın çapı boyunca olan mesafe arasındaki ilişkiyi yansıtır. Eta indeksi, bağlantı başına düşen ortalama uzunluğu ifade ederken, Theta indeksi, ağ üzerindeki düğümlerin ortalama trafik yükünü ölçerek fonksiyonel yoğunluğu tanımlar. Alfa indeksi, mevcut döngülerin teorik olarak mümkün olan maksimum döngü sayısına oranını belirtir; Beta indeksi, bağlantı (kenar) sayısının düğüm sayısına oranı ile ağın bağımlılık düzeyini gösterir; Gamma indeksi ise gerçekleşen bağlantıların teorik maksimum bağlantı sayısına oranı olarak ifade edilir. Düğüm düzeyindeki göstergeler ise ağ üzerindeki bireysel noktaların (düğümlerin) yapısal ve fonksiyonel önemini ortaya koyar. Örneğin, bir düğümün derecesi, ona bağlı olan bağlantı sayısıdır ve düğümün ağdaki topolojik ağırlığını yansıtır. Koenig sayısı ya da eksantriklik, bir düğümün en uzak diğer düğüme ulaşmak için ihtiyaç duyduğu bağlantı sayısı üzerinden adalet veya eşitlik düzeyini ifade ederken; hub bağımlılığı, yüksek trafik akışlarının bir düğüm üzerindeki baskısını ölçer ve bu yolla düğümün kırılabilirliğini belirler. Ortalama en yakın komşu derecesi, bir düğümün yer aldığı çevresel bağlamı ifade eder; birleşme indeksi ise iki düğümün ortak komşularının toplam komşularına oranıdır ve yerel yoğunluğu analiz eder. Modül içi derece (z-skoru), bir düğümün ait olduğu topluluk içindeki bağlantı gücünü, katılım katsayısı ise bir düğümün diğer modüllerle olan ilişki düzeyini ortaya koyar. Shimbil indeksi, bir düğümün tüm diğer düğümlere olan en kısa yollarının toplam uzunluğu üzerinden erişilebilirlik düzeyini ölçerken; aracılık merkeziyeti, bir düğümün ağ üzerindeki en kısa yollar boyunca ne sıklıkla geçtiğini hesaplayarak, stratejik konumunu değerlendirir. Bu göstergeler, ulaşım sistemlerinin analizinde ağın hem fiziksel hem de işlevsel yapısına dair güçlü ve karşılaştırılabilir bir değerlendirme imkânı sunar (Guze 2019). Karmaşık ağ teorisinin kentsel ulaşım ağlarının topolojik karmaşıklığını analiz etmek amacıyla uygulanması, hem karmaşık ulaşım sistemlerinin derinlemesine incelenmesi için temel bir anahtar işlevi görmekte hem de

kentsel ulaşım ağı araştırmalarının merkezî tartışma konularından birini oluşturmaktadır. Günümüzde, trafik sıkışıklığı gibi kent içi ulaşım sorunlarını çözmeye yönelik olarak yapılan yol planlamaları ve trafik analizlerinde yalnızca yerel verilere dayanmanın yetersiz kaldığı daha açık biçimde ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, ulaşım sistemlerinin etkin yönetimi için rotalar ya da yol ağı üzerinde daha bütüncül, sistematik ve çok düzeyli analizlerin yapılması gerekmektedir. Karmaşık ağ teorisi; kentsel ulaşım ağlarının yapısal karakteristiklerini anlamaya, bağlantısallık düzeylerini ortaya koymaya ve dolayısıyla daha etkili planlama stratejileri geliştirmeye olanak tanımaktadır (Jia vd 2019). Örneğin Tokyo gibi dünya çapında en yoğun ve karmaşık ulaşım sistemlerinden birine sahip bir şehirde, ulaşım altyapısının etkin planlaması ve trafik sıkışıklığının azaltılması yalnızca lokal verilere dayalı analizlerle mümkün değildir. Tokyo metrosu ve banliyö tren sistemleri, birbirine sıkı sıkıya bağlı yüzlerce durak ve onlarca hattın oluşturduğu çok katmanlı bir ağ yapısına sahiptir. Yalnızca bireysel güzergâhların ya da istasyonların değerlendirilmesi yetersiz kalmakta; rotalar arası etkileşimlerin, bağlantı yoğunluklarının ve ağın genel topolojik özelliklerinin sistem düzeyinde ele alınması gerekmektedir. Karmaşık ağ teorisi, Tokyo'nun ulaşım sisteminde yer alan istasyonlar arasındaki bağlantıların merkezilik, kümeleşme katsayısı, derece dağılımı ve erişilebilirlik gibi temel metriklerle analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Örneğin Shinjuku, Tokyo ve Ueno gibi yüksek dereceye sahip düğümler (istasyonlar), yalnızca ağın akışını değil, aynı zamanda kırılganlık noktalarını da belirler. Bu tür düğümler üzerinde oluşabilecek bir tıkanıklık ya da kesinti, tüm ağın işleyişine yayılabilecek zincirleme etkiler yaratabilir. Bu nedenle, karmaşık ağ temelli analizler, ulaşım planlamacılarına yalnızca mevcut durumu değerlendirme imkânı sunmakla kalmaz, aynı zamanda ağın daha esnek, dirençli ve sürdürülebilir biçimde yeniden yapılandırılması için de stratejik karar destekleri sağlar. Ayrıca teknoloji ve ağ teorisi kapsamında bilgisayar teknolojisinin hızlı gelişimiyle birlikte, karmaşık ağ teorisi yaşamın birçok alanında uygulanabilir bir araç hâline gelmiştir (Tian vd 2018; Fathollahi vd 2020). Kentsel toplu taşıma sistemlerinde, yol koşulları uygun olduğunda, gidiş ve dönüş yönlerindeki otobüs rotaları ile durak düzenleri genellikle simetrik bir yapı sergiler. Bu durum, toplu taşıma sistemlerinin yukarı yönlü ve aşağı yönlü transit ağlar olarak soyutlanmasını mümkün kılar. Karmaşık ağ teorisi, bu tür ulaşım sistemlerinin genel yapısını hem bilimsel hem de kapsamlı bir şekilde tanımlamakta; ayrıca otobüs hatları arasındaki güzergâhların ve durakların bağlantısallığını nesnel olarak analiz etme olanağı sunmaktadır (Li 2014). 2000'li yılların başlarında bazı araştırmacılar, karmaşık ağ kuramını ulaşım sistemlerine uygulamaya yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Örneğin Amaral ve arkadaşları, küresel hava yolu ağı modellemiş ve bu ağın topolojik özelliklerini analiz etmiştir. Elde edilen bulgular, ağ yapısının ölçekten bağımsız bir karakter taşıdığını göstermiştir (Amaral vd 2000). Toplu taşıma

sistemlerinde karmaşık ağ teorisinin uygulanmasına ilişkin bir diğer çalışma Sienkiewicz ve Holyst (2005) tarafından yapılan Polonya'nın 22 farklı kentinin toplu taşıma ağlarının, Space L ve Space P adlı iki yöntemle ayrı ayrı modellenmesi; ardından bu ağların istatistiksel-topolojik özelliklerinin sistematik bir şekilde analiz edilmesi çalışmasıdır (Sienkiewicz ve Holyst 2005).

Karmaşık ağ teorisi, kentsel ulaşım ağlarına ilişkin çalışmalara önemli ve yapıcı perspektifler sunmaktadır. Teorinin kapsamlı biçimde geliştirilmesi ve farklı uygulama alanlarında başarıyla uygulanmasıyla birlikte, giderek daha fazla akademisyen, ulaşım mühendisliğinin doğasında bulunan yapısal karmaşıklığı derinlemesine analiz etmeye yönelmektedir. Kentsel ulaşım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu, yalnızca teorik çerçeveye sınırlı kalmaksızın, uygulama pratikleri ve gerçek zamanlı operasyonel süreçlerle birlikte ele alınması gereken çok katmanlı bir yapı arz etmektedir. Bu nedenle, ağ analizlerinde yalnızca topolojik yapıların değerlendirilmesi yeterli olmayıp, aynı zamanda planlama süreçlerine yön verecek stratejik ve bütüncül bir rehberlik anlayışı da benimsenmelidir. Nihai hedef, hem ulaşım ağlarının işleyiş verimliliğini artırmak hem de kent toplumunun genel anlamda sürdürülebilirlik düzeyine katkı sağlayacak yapısal çözümler üretebilmektir (Jia vd 2019). Ayrıca, ağ tabanlı simülasyonlar sayesinde çeşitli ulaşım senaryoları test edilmeli, olası darboğazlar önceden belirlenmeli ve şehir planlamasında daha etkili kararlar alınmalıdır. Bu yaklaşım, özellikle büyük veri ve yapay zekâ destekli ulaşım planlamasında önemli araçlardan biridir.

Akıllı Şehir ve Ulaşım İlişkisi

Akıllı kent bileşenleri ve AUS'un yeri

Günümüzde küresel ölçekte, merkezi ve yerel yönetimlerin kentlere yönelik benimsediği yenilikçi politikalar, şehirleri verimlilik, etkililik, üretkenlik, şeffaflık ve sürdürülebilirlik gibi çeşitli açılardan daha akıllı bir yapıya kavuşturmayı amaçlamaktadır. Özellikle 21. yüzyılda yaşanan teknolojik ilerlemeler, kentlerde sorunlu alanlara yönelik hızlı ve etkin müdahalelerin hayata geçirilmesini kolaylaştırmakta, kentsel karar alma süreçlerinde uygulanabilir seçeneklerin artırılmasına olanak tanımaktadır. Bu gelişmeler doğrultusunda, kentlerin “akıllılık” temelli bir yaklaşımla sürdürülebilirliğinin sağlanması ve kent sakinlerinin yaşam kalitesinin yükseltilmesi hedefi, birçok modern kentsel gelişim modelinin temelini oluşturmaktadır (Uzer ve Özaslan 2023). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019-2022 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı kapsamında “akıllı şehir” kavramını; paydaşlar arasında iş birliğiyle geliştirilen, yenilikçi teknolojiler ve yaklaşımların etkin biçimde kullanıldığı, uzmanlık ve veriye dayalı gerekçelendirme ile şekillendirilen ve gelecekte ortaya çıkabilecek ihtiyaç ve sorunları öngörerek kent yaşamına değer katan çözümler üreten, daha yaşanabilir ve sürdürülebilir bir şehir modeli olarak tanımlamaktadır (Çevre ve Şehircilik

Bakanlığı 2019). Akıllı şehirler; yüksek düzeyde öğrenme ve yenilik potansiyeline sahip bölgeler olarak, sahip oldukları insan kaynağının yaratıcılığını, bilgi üreten kurumların varlığını ve dijital iletişim ile bilgi yönetimini mümkün kılan altyapılarını temel alarak şekillenmektedir (Komninos 2011). Bu durumda kentlerin sosyo-ekonomik, ekolojik, lojistik ve rekabet gücünü artırmayı amaçlayan bilgi temelli ve yaratıcı stratejilerin bir ürünü olarak ortaya akıllı şehirler çıkmaktadır. Bu şehirler; nitelikli iş gücünü temsil eden insan sermayesi, gelişmiş iletişim teknolojileri gibi altyapı sermayesi, açık ve yoğun etkileşim ağları aracılığıyla sosyal sermaye ve yenilikçi, risk alabilen ekonomik girişimleri yansıtan girişimci sermayenin dengeli ve umut vadeden bir birleşimine dayanmaktadır (Kourtit ve Nijkamp 2012). Kentsel büyümeye ilişkin çeşitli yenilikçi, sosyo-teknik ve sosyo-ekonomik boyutları ele alan entelektüel bir kapasite olarak değerlendirilebilen kentler akıllı şehir olarak nitelendirilebilir. Bu boyutlar, çevresel sürdürülebilirlik ve CO₂ emisyonlarının azaltımı bağlamında altyapının "yeşil" yönünü; geniş bant tabanlı dijital ekonominin gelişimiyle ilişkili "bağlantılı" yapısını; sensörler ve aktüatörler aracılığıyla toplanan kentsel verilerin işlenerek katma değerli bilgiye dönüştürülme kapasitesini ifade eden "akıllı" yönünü içermektedir. Ayrıca, "yenilikçi" ve "bilgi" kavramları çoğu zaman birbirinin yerine kullanılarak, akıllı şehirlerin bilgi temelli ve yaratıcı insan sermayesine dayanan yenilik üretme yeteneğine vurgu yapmaktadır (Zygiaris 2013). Bu noktada bilgi toplumu anlayışı ile dijital şehir yaklaşımlarının kesişim noktasında akıllı şehir kavramı ortaya çıkmaktadır (Yovanof ve Hazapis 2009). Komninos ve arkadaşlarına göre, akıllı şehirler; yaşam biçimlerini ve çalışma alışkanlıklarını dönüştürme amacı doğrultusunda, BİT'i bilinçli, stratejik ve entegre bir biçimde kullanmaya yönelik sistemli çabaları temsil etmektedir (Komninos vd 2013). Hedeflerini akıllı kent olma doğrultusunda belirleyen şehirler, bu doğrultuda belirlenen stratejik planlara ulaşmak amacıyla somut ve planlı adımlar atmaktadır. Bu süreçte, uygulamaların hayata geçirilmesi ve izlenmesi için belirli aşamalardan oluşan bir yol haritası izlenmektedir. Türkiye'de ortaya konan 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı kapsamında, "ekonomi, eğitim, enerji, çevre, finans, yangın ve acil müdahale, yönetim, sağlık, rekreasyon, güvenlik, barınma, katı atık, telekomünikasyon ve yenilik, ulaşım, şehir planlama, atık su ve suyun yeniden kullanımı" olmak üzere toplam 17 akıllı şehir bileşeni tanımlanmıştır. Bununla birlikte, Avrupa Parlamentosu'nun benimsediği akıllı kent teması çerçevesinde ise; akıllı ekonomi, akıllı insan, akıllı yönetim, akıllı yaşam, akıllı hareketlilik (ulaşım) ve akıllı çevre olmak üzere altı temel bileşen öne çıkmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2019). Akıllı kent olma sürecinde en hayati unsurlardan biri, birçok şehirde kronikleşmiş sorunlar arasında yer alan ulaşım alanıdır. Akıllı şehirlerin ulaşım sistemleri; çevreyle uyumlu, peyzajla bütünleşen, dayanıklı ve esnek yapılarıyla öne çıkan, sürdürülebilirlik ilkeleriyle şekillenen, rekabetçi ve yenilikçi çözümler sunan, yaşam kalitesini

merkezine alan, bilgi ve ileri teknolojileri barındıran entegre bir kentsel altyapı sunmayı amaçlamaktadır (Uzer ve Özaslan 2023). Akıllı kent bileşenlerinden biri olan AUS, günümüz teknolojisinin sunduğu imkânlarla donatılmış araçlar ve altyapı elemanları aracılığıyla hayata geçirilmektedir. Bu sistemler, sürdürülebilirlik ilkesine uygun olarak tasarlanmakta; çevre dostu, dirençli, enerji verimliliği yüksek ve yeşil alanları koruyan uygulamalarla desteklenmektedir (Townsend 2013). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2019 tarihli "Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı" çalışmasında, akıllı kentlerin ulaşım sistemlerine ilişkin eylem planları çeşitli başlıklarda yoğunlaşmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2019). Bu doğrultuda, çevre dostu ulaşım araçlarının teşvik edilmesi, yeni nesil ulaşım modellerinin benimsenmesi, acil durumlarda öncelikli araçların hızlı ve etkin şekilde hedef noktaya ulaşımının kolaylaştırılması, toplumun tüm kesimleri için ulaşımında erişilebilirliğin artırılması ve AUS'a yönelik altyapının geliştirilmesi ön plana çıkan temel alanlardır. Stratejik planlamalar kapsamında akıllı kentlerin sürdürülebilir ulaşım, trafik güvenliği ve çevre dostu kalkınma alanları öncelikli hedefler arasında yer almaktadır. Akıllı şehirler, ulaşım stratejilerini geliştirerek daha sağlıklı ulaşım süreçleri ortaya koymakta; kent içi hareketliliği desteklemekte ve çevresel etkileri azaltmayı amaçlamaktadır. Bu stratejik yaklaşım, hem sürdürülebilir ulaşım sistemlerine geçişi kolaylaştırmakta hem de dijital çağın gereksinimlerine uygun çözümlerle kent yaşamına değer katmaktadır (Karlı ve Çelikyay 2022). Komninos (2011), akıllı şehirlerin temel özelliklerini tanımlamaya çalışırken, bu kavramın dört temel boyutta ele alınması gerektiğini belirtmiştir. İlk boyut, dijital, siber, bilgi temelli veya kablolu bir kent oluşturmak amacıyla geniş bir elektronik ve dijital teknoloji yelpazesinin kent yaşamına entegre edilmesini ifade eder. İkinci boyut, bilgi teknolojilerinin bireylerin yaşam biçimlerini ve çalışma şekillerini dönüştürme aracı olarak kullanılmasına odaklanır. Üçüncü boyut, BİT'in doğrudan kentsel altyapı sistemlerine entegre edilmesini kapsar. Dördüncü ve son boyut ise, BİT'in insan faktörüyle bütünleştirilerek kentte öğrenme kapasitesinin, yenilikçiliğin ve bilgi üretiminin artırılmasını hedeflemektedir (Komninos 2011). Akıllı şehirler, teknolojik yenilikleri kullanarak kent yaşamını daha sürdürülebilir, verimli ve yaşanabilir kılmayı amaçlayan çağdaş şehircilik yaklaşımlarını kapsamaktadır (Şen 2020). Büyük veri analitiği, yapay zekâ, IoT ve bulut bilişim gibi ileri düzey teknolojiler, kamu hizmetlerinin daha hızlı, güvenilir ve etkin bir biçimde sunulmasına imkân tanıyarak şehir yönetiminde köklü dönüşümlere yol açmaktadır (Göçoğlu 2020; Efe ve Özdemir 2021; Karadağ 2024). Bu teknolojiler; AUS'dan enerji yönetimine, dijital kamu hizmetlerinden çevresel sürdürülebilirlik uygulamalarına kadar oldukça geniş bir alanda kullanılmakta olup, hem kent sakinlerinin yaşam kalitesini artırmakta hem de kamu yönetiminde karar alma süreçlerini daha etkili ve dinamik hâle getirmektedir (Batty vd 2012). Akıllı şehirlerde teknoloji ve veri yönetimi, en kritik bileşenler arasında yer

almakta ve kamu yönetimi ile bütünleşmesi giderek daha stratejik bir önem kazanmaktadır. Gerçek zamanlı veri analitiği, şehirlerin karşılaştıkları sorunlara daha hızlı, etkili ve isabetli çözümler geliştirmelerine olanak tanırken (Hashem vd 2015), dijital katılım platformları aracılığıyla vatandaşların karar süreçlerine daha aktif şekilde dâhil olması sağlanmakta ve kamu hizmetlerinde şeffaflık artırılmaktadır (Nam ve Pardo 2011). E-devlet uygulamaları, vatandaşlara çevrim içi ortamda kamu hizmetlerine kolay erişim imkânı sunarak bürokratik süreçleri basitleştirmekte (Gil-Garcia vd 2016) ; blok zinciri teknolojileri ve gelişmiş siber güvenlik çözümleri ise kamu hizmetlerinde veri güvenliği ve mahremiyetin güçlendirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Erbey 2025). Yeni teknolojilerin toplum üzerindeki etkisi oldukça derindir ve hem sanayi sektörlerinde hem de toplumsal yaşamın çeşitli alanlarında köklü dönüşümlere yol açmaktadır. Böylece birçok girişim hayata geçirilmekte ve IoT ile diğer yenilikçi teknolojilerin kamu hizmetlerine entegrasyonu, küresel ölçekte artan bir eğilim olarak öne çıkmaktadır. Günümüzde IoT kavramı, yalnızca nesneler arası iletişimden ibaret olmaktan çıkmış; bireylerin erişebildiği faydalı veriler aracılığıyla katma değer üreten bir sistem anlayışıyla “Her Şeyin İnterneti” (IoE) olarak genişletilmiştir. Akıllı şehir hizmetlerinin gelişiminde önemli rol oynayan diğer yenilikçi teknolojiler arasında ise büyük veri analitiği, bulut bilişim ve Blockchain teknolojisi yer almaktadır (Stępniaak vd 2021). Akıllı şehirler, IoT teknolojisinin; cihazlar, sensörler, elektronik etiketler ve gelişmiş iletişim ağları aracılığıyla nesneleri nasıl “akıllı” hale getirebileceğine dair somut bir örnek sunmaktadır. IoT teknolojisi, fiziksel cihazların internet üzerinden birbirine bağlanmasını sağlayarak akıllı şehirlerin temel taşlarından biri olmuştur (Al-Ali vd 2024). Cihazların bağlantılı hale gelmesi, şehir içi altyapıların daha verimli ve otomatik çalışmasını mümkün kılarken, kamu hizmetlerinin kesintisiz ve optimize edilmesine önemli katkılar sunmaktadır. Özellikle trafik yönetimi, hava kalitesi takibi, akıllı aydınlatma sistemleri ve su yönetimi gibi alanlarda yoğun olarak kullanılan IoT, şehirlerin sürdürülebilir ve yaşanabilir olmasını sağlamaktadır (Erbey 2025). Günümüz şehirlerinin yeni zekâsı, dijital telekomünikasyon ağlarının sinir sistemi gibi çalıştığı, her yerde gömülü zeka unsurlarının beyin işlevini üstlendiği, sensör ve etiketlerin duyuşsal organlar gibi veri topladığı, yazılım sistemlerinin ise bilgi işleme ve bilişsel yetenekleri sağladığı entegre bir yapı üzerine inşa edilmektedir. İnternet üzerinden birbirine bağlı dijital cihazlar, sürekli olarak büyük miktarda veri üretmekte; bu veriler, güçlü hesaplama teknolojileri ile işlenerek anlamlı bilgiye dönüştürülmekte ve bu süreç literatürde “Büyük Veri” olarak tanımlanmaktadır (Stępniaak vd 2021). Akıllı şehirlerde veri yönetimi, etkili karar alma süreçlerinin temelini oluşturmaktadır. Büyük veri analitiği, şehirlerde toplanan devasa veri yığınlarını işleyerek anlamlı bilgiye dönüştürmekte ve bu sayede kamu yöneticilerinin daha bilinçli ve etkin politikalar geliştirmesine olanak tanımaktadır (Okonta ve Vukovic 2024). Örneğin, toplu taşıma

sistemlerinin kullanım verilerinin analiz edilmesiyle güzergâh optimizasyonları yapılabilmekte; su tüketim desenleri incelenerek su tasarrufu sağlanabilmektedir. Ayrıca, büyük veri çözümleri, afet yönetimi ve kriz durumlarında hızlı müdahale için kritik bir araç olarak kullanılmaktadır. Büyük veri, akıllı şehirlerde etkin yönetim ve karar alma süreçlerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Şehir yönetimlerinin daha verimli ve sürdürülebilir politikalar geliştirebilmesi için bu verilerin doğru ve kapsamlı analiz edilmesi zorunludur. Büyük veri kaynakları, farklı disiplinlerden gelen yapılandırılmış ve yapılandırılmamış verileri içermekte olup; sensörler ve IoT cihazları aracılığıyla toplanan hava kalitesi, trafik akışı gibi pek çok veri, şehir yönetimine anlık bilgi sağlamaktadır (Erbey 2025). Akıllı şehirlerde teknoloji ve büyük veri politikalarının etkin uygulanması, şehir yönetiminde daha hızlı, güvenli ve sürdürülebilir çözümler geliştirilmesini sağlamaktadır. Böylelikle akıllı şehir projeleri yalnızca bir teknolojik dönüşüm olmanın ötesinde, vatandaşların yaşam kalitesini artıran yenilikçi bir yönetim modeli olarak ortaya çıkmaktadır. Tüm bu teknolojik unsurların uyumlu entegrasyonu, akıllı şehirleri daha yaşanabilir, çevreci ve güvenli kılarak hem bireylerin hem de kamu yönetimlerinin yaşamını kolaylaştırmakta ve bireylerin günlük yaşantısına pozitif katkılar sunmaktadır (Manfreda ve Mijač 2024). Yine yapay zekâ ve makine öğrenmesinin günlük yaşamdaki yaygın kullanımı, akıllı şehirlerin etkin ve verimli yönetimi açısından giderek daha büyük önem kazanmaktadır. Bu teknolojiler, özellikle büyük veri analitiği ile entegrasyon sağlanarak; ulaşım, enerji yönetimi, güvenlik ve sağlık hizmetleri gibi kritik alanlarda ileriye dönük tahmin ve karar verme süreçlerinde kullanılmaktadır. Yapay zekâ destekli trafik analiz sistemleri, trafik yoğunluğunu tahmin ederek sinyalizasyonu optimize etmekte; bu sayede seyahat süresi kısaltmakta ve karbon emisyonları azaltılmaktadır. Güvenlik alanında ise, görüntü işleme teknikleri kullanılarak şüpheli davranışların önceden tespiti mümkün olmakta ve böylece suç önleme ile halk güvenliği artırılmaktadır. Yapay zekâ, bu tür analizler sayesinde şehir planlamacılarına gelecekteki eğilimleri öngörme imkânı sunarak daha bilinçli kararlar alınmasına katkı sağlamaktadır. Bu teknolojilerin etkin kullanımı için 5G altyapısının sağladığı yüksek hız, düşük gecikme süresi ve geniş kapsama alanı kritik öneme sahiptir (Banerjee vd 2024). 5G teknolojisi, akıllı şehirlerde IoT cihazlarının verimli çalışmasını mümkün kılarak büyük veri aktarımını desteklemekte ve şehir içi iletişim sistemlerinin güvenilirliğini artırırken kamu hizmetlerinin etkinliğini önemli ölçüde yükseltmektedir (Erbey 2025). Şehir, vatandaşlarını müşteriler olarak gören ve onlara çeşitli hizmetler sunan bir organizasyon biçiminde değerlendirilebilir. Daha akıllı, etkili, verimli ve sürdürülebilir şehirler talebi, şehirlerin kolektif zekasını geliştirmekte; kentsel akışları tahmin etme ve yönetme kapasitelerini artırmakta ve bir bölgesel aglomerasyonun fiziksel, dijital ve kurumsal alanlarını bütünleştirmektedir. Kentsel gelişim ve şehir iyileştirmesi giderek teknoloji odaklı hale

gelmektedir. Akıllı şehirler, BİT kullanarak, genellikle akıllı altyapı, akıllı işletme, akıllı hizmetler, akıllı sanayi, eğitim sistemleri veya güvenlik sistemleri gibi çeşitli bileşenleri içeren geniş bir şehir ekosistemi sunar. Akıllı şehir kavramı, bir aglomerasyonun fiziksel, kurumsal ve dijital alanlarının entegrasyonunu ifade eder. Bu yaklaşım, şehirlerin neredeyse organik bir biçimde büyümesi, işleyişi ve evrimi hakkında anlayış sağlamak için bağlantılılık, geri bildirim, öz-organizasyon ve uyum gibi temel kavramları benimsemektedir. Akıllı şehirlerde gelecekteki internet hizmetleri, vatandaşlar, işletmeler ve kamu kurumlarını kapsayan yenilikçi süreçlerle şekillenmektedir. Bu bağlamda, akıllı şehirlerin sunduğu hizmetler, altyapılar, yöntemler ve BİT kullanıcıların erişimine açılmakta ve etkinliği doğrulanmaktadır. Şehirlerin sundukları hizmetlerin kalitesini belgelemeleri ve dayanıklılıklarını artırmaları, hem beklenen hem de beklenmeyen zorluklara karşı hazırlıklı olmalarını sağlamaktadır (Novotný vd 2014).

Tablo 2. Akıllı Şehir Bileşenleri ve Özellikleri (Giffinger vd 2007)

Akıllı Ekonomi (Rekabetçilik)	Akıllı İnsan (Sosyal Ve İnsan Sermayesi)
• İnovatif ruh • Girişimcilik • Ekonomik imaj ve markalar • Esnek işgücü piyasası • Verimlilik • Dönüşüm yeteneği	• Yaşam boyu öğrenme • Sosyal ve etnik çoğunluk • Esneklik • Yaratıcılık • Açık görüşlülük • Kamu yaşamına katılım
Akıllı Yönetişim (Katılım)	Akıllı Mobilite (Taşıma Ve Bilgi İletişim Teknolojileri)
• Karar vermede katılım • Kamu ve sosyal hizmetler • Şeffaf bir yönetim • Politik strateji ve perspektif	• Yerel ulaşılabilirlik • Ulusal-uluslararası ulaşılabilirlik • Bilgi iletişim teknoloji altyapısının kullanılabilirliği • Sürdürülebilir inovatif ve güvenli taşıma sistemleri
Akıllı Çevre (Doğal Kaynaklar)	Akıllı Yaşam (Yaşam Kalitesi)
• Doğal şartların çekiciliği • Kirlilik • Çevresel koruma • Sürdürülebilir kaynak yönetimi	• Kültürel tesisler • Eğitim tesisleri • Sağlık şartları • Bireysel güvenlik • Bina niteliği • Turistik çekicilik • Sosyal yapılaşma

Akıllı şehirlerde dijital altyapılar yaygın olarak kullanımıyla büyük ölçekli veri toplanmaktadır. Bu durum, siber güvenlik tehditlerine karşı kapsamlı ve güçlü önlemler alınmasını gerektirmektedir. Ağ güvenliği, veri şifreleme, güvenlik duvarları ve kimlik doğrulama sistemleri gibi yöntemler, nesnelerin interneti cihazlarından AUS'a ve diğer kamu hizmetlerine kadar ağ bağlantılı tüm bileşenlerin korunmasında hayati öneme sahiptir. Bu

teknolojilerin sağlıklı işlemesi için düzenli sızma testleri ve tehdit algılama sistemleri kullanılarak potansiyel saldırıların erken aşamada tespiti ve önlenmesi sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra, büyük veri analitiği, yapay zekâ ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerin yoğun kullanımı, veri gizliliği ve etik sorunları da gündeme getirmektedir. Toplanan verilerin anonimleştirilmesi, erişim yetkisinin sınırlandırılması ve kullanıcı rızasının alınması gibi tedbirler, bireylerin gizlilik haklarının korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, yapay zekâ algoritmalarının tarafsızlığını garanti altına almak ve veri kullanımının ayrımcılığa yol açmaması için etik prensiplerin belirlenmesi ve şeffaf veri politikalarının uygulanması gerekmektedir. Teknolojik altyapının yanı sıra etik değerlere ve vatandaşların güvenine dayanan akıllı şehir modelleri, sürdürülebilir bir şekilde gelişerek toplumsal refahın artırılmasına katkı sağlamayı hedeflemektedir (Erbey 2025). Ayrıca akıllı şehir girişimleri, kentlerin genel performansını artırmak amacıyla; verilerden, bilgiden ve bilgi teknolojilerinden (BT) yararlanarak, vatandaşlara daha etkin kamu hizmetleri sunmayı, mevcut kentsel altyapıyı izleyip optimize etmeyi, farklı ekonomik aktörler arasındaki işbirliğini güçlendirmeyi ve hem kamu hem de özel sektörde yenilikçi iş modellerinin gelişimini teşvik etmeyi amaçlamaktadır (Marsal-Llacuna vd 2015). Bu durumda, akıllı şehirlerin gelişimi, yalnızca teknolojik ilerlemeleri değil, aynı zamanda kamu yönetiminde de köklü dönüşümleri zorunlu kılmaktadır (Meijer ve Bolívar 2016). Geleneksel yönetim yaklaşımlarının yerini, veri odaklı, katılımcı ve şeffaf yönetim modelleri almaktadır (Kitchin 2016). Kamu yönetiminde açık veri uygulamaları, vatandaşların şehir yönetimi süreçlerine daha aktif katılımını sağlarken, yapay zekâ destekli karar alma sistemleri ise kamu politikalarının etkin ve etkili biçimde geliştirilmesine imkân tanımaktadır. Yerel yönetimler, akıllı şehir altyapılarını kullanarak karşılaştıkları sorunlara hızlı ve etkili çözümler üretebilmektedir. Özellikle trafik yönetimi, enerji kullanımı, su dağıtımı ve atık yönetimi gibi hizmetlerin optimizasyonu öncelikli alanlardır. Büyük veri analitiği sayesinde kamu yöneticileri, vatandaşların ihtiyaçlarını daha kapsamlı analiz edebilmekte ve geleceğe yönelik daha sağlıklı planlamalar yapabilmektedir (Chahal vd 2024). Böylelikle, akıllı yönetim sistemlerinin gelişimi, kamu hizmetlerinde kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayarak şehirlerin sürdürülebilir kalkınmasına önemli katkılar sunmaktadır (Erbey 2025). Bu noktada akıllı şehir yönetiminde dijitalleşme, vatandaşların kamu hizmetlerine daha kolay erişimini mümkün kılmakta ve bürokratik işlemleri önemli ölçüde azaltmaktadır (Demirhan 2024). Uzun vadede, akıllı şehir projelerinin yaygınlaşmasıyla kamu hizmetlerinde daha yenilikçi ve verimli çözümler hayata geçirilecek, bu sayede şehirlerin ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirliği önemli ölçüde artacaktır. Dolayısıyla, akıllı şehirlerin geleceği, sadece teknolojik altyapılarla değil, aynı zamanda insan merkezli ve kapsayıcı yönetim stratejileriyle şekillenecektir (Erbey 2025). Bu kapsamda akıllı

şehirler, yalnızca ileri teknolojilerin kullanıldığı mekanlar olmakla kalmayıp, aynı zamanda vatandaşların yaşam kalitesini yükseltmeyi, kaynakların etkin kullanımını sağlamayı, çevresel etkileri en aza indirmeyi ve veri temelli karar alma süreçlerini desteklemeyi amaçlayan kapsamlı sistemlerdir. Bu sistemler; enerji altyapıları, ulaşım ağları, bina yönetimleri ve sağlık hizmetleri gibi çok çeşitli bileşenleri entegre ederek işlev gösterir (Eremia vd 2017). Akıllı şehir konsepti, enerji, ulaşım, kamu hizmetleri, sağlık ve altyapı yönetimi gibi pek çok alanı kapsayan çok boyutlu bir yapıya sahiptir. Bu alanların birbirine entegre edilmesi, şehirlerin daha verimli, sürdürülebilir ve yaşanabilir olmasını sağlar. Akıllı sayaçlar, elektrik, su ve gaz gibi kaynakların tüketimini gerçek zamanlı olarak ölçüp geri bildirim vererek enerji kullanım alışkanlıklarının iyileştirilmesine katkıda bulunur. Verimli kamu aydınlatması sistemlerinde, akıllı sensörlerle donatılmış sokak lambaları çevresel koşullara göre aydınlatma seviyesini otomatik olarak ayarlayarak önemli enerji tasarrufları sağlar. Enerji verimliliği ise, üretimden tüketime kadar tüm süreçlerde bütüncül verimlilik artırıcı teknolojilerin uygulanmasını ifade eder ve hem bireysel hem de endüstriyel ölçekte fayda sağlar. Elektrikli araçların yaygınlaşması için şarj altyapıları oluşturulup enerji sistemleri ile entegrasyonu sağlanarak karbon salınımının azaltılması ve sürdürülebilir ulaşım desteklenir. Ayrıca, vatandaşların yalnızca veri sağlayıcı değil, karar alma süreçlerine aktif olarak katılan birer aktör olarak yer aldığı bir yapı, akıllı şehirlerin temel taşlarından biridir; bilgi teknolojileri sayesinde katılımcı yönetim anlayışı teşvik edilmektedir. Fiziksel altyapı ile bilişim, iletişim ve teknoloji altyapısı ise akıllı şehirlerin işleyişini destekleyen temel unsurlar olup, sensörler, veri merkezleri, kablosuz iletişim ağları ve bulut platformları gibi bileşenlerden oluşur. Son olarak, farklı sistemlerin birlikte çalışabilirliğini temin etmek için uluslararası teknik standartların benimsenmesi gerekmektedir; bu sayede akıllı şehir çözümleri daha hızlı yaygınlaşmakta ve şehirler arası entegrasyon kolaylaşmaktadır. Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında önemli bir araç olarak kabul edilen akıllı şehirlerde, enerji kaynaklarının etkin kullanımı, karbon salınımlarının azaltılması, ulaşım sistemlerinin optimize edilmesi ve çevresel kirliliğin en aza indirilmesini amaçlayan bütünleşik sistemler uygulanmaktadır. Böylece, şehirlerin sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarda daha dengeli ve uyumlu bir şekilde gelişmesi mümkün olmaktadır (Eremia vd 2017). Akıllı şehir projelerinin sürdürülebilirliğini sağlamak için kamu ve özel sektör arasındaki iş birliğinin güçlendirilmesi (Harrison ve Donnelly 2011), yenilikçi finansman modellerinin uygulanması (Anthopoulos 2017) ve akıllı altyapıların sürekli iyileştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik açısından, yeşil enerji çözümlerinin yaygınlaştırılması, enerji verimli binaların teşvik edilmesi ve etkin atık yönetimi uygulamalarının hayata geçirilmesi, akıllı şehirlerin daha yaşanabilir bir geleceğe ulaşmasında kritik rol oynayacaktır. Bununla birlikte, dijital okuryazarlık düzeyinin artırılması ve vatandaşların akıllı şehir

girişimlerine daha aktif katılımının sağlanması önemlidir (Gretzel vd 2015). Akıllı şehirler, kentlerin daha yaşanabilir ve sürdürülebilir olmasını sağlayan temel bileşenlerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu bileşenler çok boyutlu olarak ele alınabilir; bunlar arasında AUS, enerji kaynaklarının etkin kullanımı, dijital kamu hizmetleri ile sağlık ve güvenlik alanındaki yenilikçi uygulamalar ön plana çıkmaktadır (Karri vd 2024). AUS, trafik akışını optimize ederek toplu taşımanın kalitesini artırmakta ve şehir içi hareketliliği kolaylaştırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ise enerji verimliliğini artırmakta, akıllı şebeke sistemleri aracılığıyla sürdürülebilir enerji yönetimine katkıda bulunmaktadır. Dijital kamu hizmetleri sayesinde belediye hizmetleri dijitalleşmekte ve vatandaşların çevrimiçi olarak kamu hizmetlerine erişimi kolaylaşmaktadır. Çevre ve atık yönetimi süreçlerinde ise akıllı çöp toplama sistemleri, hava kalitesi izleme teknolojileri ve geri dönüşüm uygulamalarının dijitalleşmesi, çevresel sürdürülebilirliğe önemli katkılar sağlamaktadır (Yılmaz 2021). Sağlık ve güvenlik alanında ise akıllı hastaneler, tele-sağlık hizmetleri, afet yönetimi sistemleri ve güvenlik kameralarıyla entegre edilmiş suç önleme teknolojileri, şehirlerin daha güvenli ve yaşanabilir olmasını desteklemektedir. Tüm bu bileşenler, şehirlerin sürdürülebilirliğini artırırken vatandaş odaklı bir yaklaşımla yaşam kalitesini yükseltmektedir. Geleceğin şehirlerinde, yapay zekâ destekli yönetim sistemleri, blok zinciri tabanlı güvenlik çözümleri ve nesnelerin internetinin yaygınlaşması, kentlerin veri temelli karar alma mekanizmalarını güçlendirmektedir. Elektrikli ve otonom ulaşım teknolojileri ise sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemektedir. Dijital demokrasi uygulamalarının artmasıyla vatandaş katılımı yükselmekte ve şehir yönetimleri daha şeffaf, hesap verebilir hale gelmektedir. Açık veri platformları ve katılımcı yönetim sistemleri, toplumun tüm kesimlerinin karar alma süreçlerine etkin katılımını sağlayarak, şehirlerin kolektif akılla yönetilmesine katkıda bulunmaktadır (Erbey 2025). Barcelona, AUS'un akıllı şehir altyapılarıyla nasıl bütüncül biçimde entegre edilebileceğini gösteren örnek bir kenttir. Barcelona'da AUS uygulamaları; akıllı otobüs durakları, entegre toplu taşıma kartları, gerçek zamanlı toplu taşıma uygulamaları, sensör tabanlı otopark yönetimi ve dinamik trafik yönlendirme sistemleri gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Şehir genelinde kullanılan Sentilo adlı açık veri platformu, toplu taşıma, hava kalitesi, park durumu ve trafik yoğunluğu gibi çok sayıda veriyi entegre biçimde yönetmekte ve kamuya sunmaktadır. Bu platform, AUS'un şehirdeki diğer akıllı kent bileşenleriyle (örneğin akıllı enerji, akıllı çevre ve akıllı yönetim) veri düzeyinde etkileşimini mümkün kılmaktadır. Ayrıca süperblok modeliyle trafiğin yeniden düzenlenmesi, otomobil merkezli kentsel yapının dönüşümünü hızlandırarak AUS çözümlerinin etkinliğini artırmaktadır. Barcelona örneğinde AUS'un yalnızca ulaşımı değil, aynı zamanda kentsel çevreyi, kamusal alanları ve insan yaşamını doğrudan etkileyen bütüncül bir sistemin parçası olduğu görülmektedir. AUS, sadece teknolojik bir araç değil, aynı

zamanda akıllı kent vizyonunun temel yapıtaşlarından biridir. Sonuç olarak, akıllı şehirler sadece teknolojik gelişmelerle değil; aynı zamanda sürdürülebilirlik, iyi yönetim, toplumsal katılım ve kapsayıcı kalkınma gibi çok boyutlu ilkeler doğrultusunda şekillenmelidir. 21. yüzyılda şehirlerin geleceği, teknolojinin insan odaklı, çevreye duyarlı ve veri temelli yaklaşımlarla nasıl bütünleşeceğine bağlı olarak belirlenmektedir (Eremia vd 2017).

Ulaşımın kent yaşantısı, ekonomi ve çevreyle ilişkisi

Kentsel ulaşım, kent hayatının ekonomik, sosyal ve çevresel dokusunu doğrudan etkileyen stratejik bir bileşendir. Ulaşım sistemleri, insanların gündelik yaşamdaki erişimini, ekonomik faaliyetlerin akışını ve çevresel yüklerin dağılımını belirler. Ulaşım, arazi kullanımı ve çevre arasındaki karşılıklı etkileşimin incelenmesi, çevresel yönetim yaklaşımını da kaçınılmaz kılmaktadır. Çevresel yönetim, gerek kentsel alanlarda gerekse bu alanların dışında, doğal çevrenin korunması ve sağlığının sürdürülebilir şekilde düzenlenmesi için yerel yönetimlerin, sanayi kuruluşlarının, şirketlerin ve bireylerin üstlendiği önemli bir süreçtir (Khanna ve Speir 2013). Bu süreç genellikle çevrenin doğrudan yönetilmesinden ziyade, çevresel kaynakların korunması ve doğru kullanımı yönünde davranışları teşvik eden politikaların geliştirilmesini kapsamaktadır (Mitchell 2013). Geçmişte, çevreyi kirleten sanayi tesisleri çoğunlukla atık arıtma teknolojilerinin kurulmasına odaklanmışken, zamanla çevresel yönetim anlayışı daha ileri bir düzeye taşınmış ve önleyici stratejilerin tasarlanması ve uygulanması yaygınlık kazanmıştır. Avrupa Birliği tarafından teşvik edilen Eco-Management and Audit Scheme gibi sertifikalı çevre yönetim sistemleri, bu alandaki iyi uygulama örneklerinden biridir (Earnhart 2013). Çevresel yönetim, sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir unsuru olarak değerlendirilmektedir ve bu rolü akademik literatürde de kapsamlı biçimde ele alınmaktadır (Ghai ve Vivian 1995; Comoglio ve Botta 2012; Schoenherr 2012; Brouhle ve Harrington 2014). Günümüzde otomotiv sektöründe yaşanan teknolojik gelişmeler (örneğin yakıt tasarruflu motorlar veya elektrikli araçlar) etkili çevresel yönetim politikalarıyla bir araya geldiğinde, çevresel dışsallıkların azaltılmasında önemli katkılar sağlamaktadır (Van Vliet vd 2011; Bellekom vd 2012). Gelişmekte olan ülkelerde yaşanan hızlı kentleşme süreci, çevresel sorunların ele alınmasında hem önemli zorluklar hem de çeşitli fırsatlar sunmaktadır (Kahn 2007). 2050 yılına kadar dünya nüfusunun üçte ikisinin kentsel alanlarda yaşayacağı öngörülmektedir ve bu süreçte kırsaldan kente yönelen göçlerin büyük çoğunluğu, gelişen ülkelerde yoğunlaşacaktır. Bu dönüşümün bir yönü, şehirlerdeki insan ve faaliyet yoğunluğunun ciddi trafik sıkışıklığına neden olabilmesidir. Özellikle gelişmekte olan ekonomilerde araç sahipliğinin artması, hava kirliliği seviyelerini yükseltme riskini de beraberinde getirmektedir. Ancak diğer yandan, şehirler, ekonomik faaliyetleri mekânsal olarak

daha etkin şekilde organize etme potansiyeli taşımaktadır. Bu organizasyon, enerji tüketimini ve çevresel etkileri azaltabilirken; aynı zamanda kamu taşımacılığı sistemlerinde ölçek ekonomilerinden daha etkili yararlanmayı da mümkün kılmaktadır. Ulaşımın kentsel çevresel sorunların çözümündeki rolünü doğru biçimde kavramak, yeşil şehirlerin gelişimini destekleyecek politika tasarımlarının oluşturulmasında kritik öneme sahiptir (Li vd 2020). Gelişmekte olan ekonomilerde yaşanan ekonomik büyümenin, araç kullanımını azaltmaya yönelik politikaların hayata geçirilmesi açısından ciddi bir tehdit oluşturduğu ifade edilmektedir. Özellikle Hindistan gibi ülkelerde gözlenen hızlı kentsel nüfus artışı, şehir merkezlerinde orta sınıfın yaygınlaşması ve düşük maliyetli araçların piyasada daha ulaşılabilir hale gelmesi, enerji talebinin artmasına ve kentsel kaynaklı emisyonların hızla yükselmesine neden olmaktadır. Ancak bu ülkelerde iklim değişikliği ile mücadele çoğunlukla öncelikler arasında yer almamaktadır; yerel ekonomik büyüme, kalkınma hedefleri ve hizmetlerin etkin sunumu gibi meseleler öncelikli gündem maddeleri olarak öne çıkmaktadır (Dulal ve Akbar 2013). Gelişmiş ülkelerde ise durum farklı zorluklarla şekillenmektedir. Örneğin, Birleşik Krallık'ta yapılan bir çalışmada (Argyriou vd 2012), sera gazı salınımlarını azaltmaya yönelik yerel düzeyde daha fazla eylem gerçekleştirilmesinin önündeki başlıca engellerin zaman ve kaynak eksikliği ile topluluklarla etkili iletişim kurmada yaşanan zorluklar olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda, yerel yönetimler arasında bilgi paylaşımının artırılmasının, iklim değişikliğiyle mücadelede daha güçlü yerel eylemleri teşvik edebileceği vurgulanmıştır. Öte yandan, hükümetin farklı kademeleri arasındaki yetersiz koordinasyon ile teknik ve kurumsal kapasite eksikliği, eş faydalar yaklaşımının uygulanmasında karşılaşılan temel engellerden bazıları olarak öne çıkmaktadır (Jiang vd 2013). Ulaşım ile ilgili yeni teknolojiler, gelişmekte olan ülkelerin çevresel sorunlarla başa çıkmasında hem fırsatlar hem de zorluklar yaratabilir. Otonom araçlar, ulaşım sektörünü ve genel ekonomiyi köklü şekilde dönüştürme potansiyeline sahiptir (Winston ve Karpilow 2020). Ancak, bu araçların araç pazarında önemli bir paya sahip olması zaman alabilir. Buna karşılık, paylaşımlı kullanıcı hizmetleri dünya genelinde birçok bölgede halihazırda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde seyahat talebi ve araç sahipliği arttıkça, paylaşımlı kullanıcı hizmetlerinin teşvik edilmesi, ciddi hava kirliliği ve trafik sıkışıklığı sorunlarıyla mücadelede önemli bir katkı sağlayabilir. Seyahat esnekliğini artırarak ve yeni seyahat seçenekleri sunarak, paylaşımlı kullanım tüketicilerin faydasını artırabilir (Cohen vd 2016). Ancak, tüketicilerin seyahat davranışları ve bunun çevre üzerindeki etkileri henüz tam anlamıyla anlaşılmış değildir. Çevresel etki, ikame edilen seyahat modlarının emisyonları ve toplam seyahat talebine kritik derecede bağlıdır (Li vd 2020). Dünya genelinde çevrenin korunmasına yönelik ortak bir toplumsal irade söz konusudur. İklim değişikliği, iklimsel aşırılıkların artmasına neden olurken çevre ile karayolu taşımacılığı arasında çift yönlü

güçlü bir etkileşim bulunmaktadır. Karayolu taşımacılığı, atmosfere kirletici maddeler ve sera gazları salarak çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratırken, aynı zamanda çevresel değişimler ve iklimsel dalgalanmalar da ulaşım faaliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu çerçevede, taşımacılık sektörü hem çevresel hem toplumsal hem de ekonomik boyutta karşılaştığı çok yönlü zorluklara karşı çözüm üretmek zorundadır. Özellikle taşıma faaliyetlerinde kullanılan enerji, fosil yakıtlara olan yüksek bağımlılık nedeniyle toplam karbon salınımının yaklaşık %25'ini oluşturarak çevresel kirliliğin başlıca kaynaklarından biri haline gelmektedir. Her ne kadar uluslararası ve ulusal düzeyde, bilimsel yaklaşımlarla geliştirilen hem sert hem de yumuşak çözümler sayesinde sera gazı salınımını azaltmaya yönelik birçok seçenek mevcut olsa da, Avrupa genelinde yalnızca birkaç çözüm (özellikle araba paylaşımı ve toplu taşıma uygulamaları) etkili bir şekilde hayata geçirilmeye başlanmıştır. Motorlu taşıt kaynaklı emisyonlar, yalnızca sera gazlarının salınımına neden olmakla kalmayıp, aynı zamanda fotokimyasal sis oluşumu ve karbon monoksit seviyelerinin yükselmesi gibi ciddi çevresel sorunlara da yol açmaktadır. Taşımacılık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarının zararlı etkilerini önemli ölçüde azaltmanın başlıca yolları, benzin tüketiminin azaltılması ve bireysel araç kullanımına olan bağımlılığın en aza indirilmesidir. Bununla birlikte, çevresel sürdürülebilirlik açısından bir diğer kilit unsur ise, alternatif ve çevre dostu ulaşım yakıtlarının daha yaygın ve etkin şekilde kullanıma sunulmasıdır. Bu stratejiler bir araya geldiğinde, ulaşımın çevresel etkilerini hafifletmek adına önemli katkılar sağlayacaktır (Tánczos ve Török 2008). Son yirmi yıl, enerji güvenliği ile ulaşım kaynaklı hava kirliliği ve sera gazı emisyonlarına dair artan kaygılar doğrultusunda alternatif yakıtlı araç (AYV) teknolojilerinde hızlı bir gelişim ve yaygınlaşma dönemine tanıklık etmiştir. Bu teknolojiler arasında esnek yakıtlı araçlar (FFV), hibrit elektrikli araçlar (HEV), batarya elektrikli araçlar (BEV), fişli hibrit elektrikli araçlar (PHEV), hidrojen yakıt hücresi araçlar (FCV) ve doğalgazlı araçlar (NGV) bulunmaktadır. AFV (Alternatif Yakıtlı Araç) teknolojileri, benzin kullanımını azaltmanın yanı sıra daha temiz yakıtlarla çalışarak, petrol tüketimine bağlı çevresel olumsuz etkileri azaltma veya tamamen ortadan kaldırma imkânı sağlamaktadır (Li vd 2020). Bu noktada yolcu ve yük taşımacılığının serbestçe hareket edebilmesini sağlamak amacıyla geliştirilen iletişim ve ulaşım sistemleri, yalnızca sosyo-ekonomik kalkınmanın temel dinamiklerinden biri olarak görülmemeli, aynı zamanda doğal ve yapısal çevre üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratan bir unsur olarak da değerlendirilmelidir. Bu görüş, özellikle araç trafiği sonucu meydana gelen kazalar, artan hava kirliliği, gürültü kirliliği, trafik sıkışıklığının neden olduğu gecikmeler, insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkiler ve biyolojik çeşitlilikteki bozulmalar gibi faktörlerle doğrulanmaktadır. Bu tür etkiler hem zaman hem de mekân açısından geniş bir yelpazeye yayılmakta ve nihayetinde insan yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Hareketliliğin

sebebe olduğu olumsuz etkilerin azaltılması ve gerektiğinde makul düzeyde sınırlandırılması, toplumsal fayda açısından ortak bir sorumluluk ve zorunluluk olarak ele alınmalıdır. Hareketliliğin yukarıda tanımlanan işlevlerine ek olarak, özellikle arazi kullanımı ve bölgesel planlama bağlamında ele alınması gereken önemli bir yönü de, hareketliliğin sosyal bütünleşmeye katkı sağlayan işlevidir. Uygun iletişim ve ulaşım olanakları, yalnızca işletmelerin yer seçimi ile lojistik ve dağıtım merkezlerinin konumlandırılmasında belirleyici rol oynamakla kalmaz; aynı zamanda mevcut ve gelecekte planlanan ulaşım altyapısı, bireylerin konut ve iş yeri tercihlerinde, alışveriş ve dinlenme alanlarının seçiminde de etkili olmaktadır. Bu etkileşimli yapı, çift yönlü bir ilişki doğurur çünkü söz konusu trafik üreten ya da çeken tesislerin mekânsal yerleşimi, bu noktalar arasındaki trafik akışlarını doğrudan etkiler. Sonuç olarak, bu durum hem şehirleşme süreçlerini hem de yerleşim yapılarının gelişimini ve işlevsel etkinliğini şekillendiren temel dinamiklerden biri hâline gelmektedir (Tánczos ve Török 2008). Ulaşım politikaları, hanehalklarının çeşitli tercihlerini değiştirmesi nedeniyle geniş çaplı sosyal ve ekonomik sonuçlara yol açabilir. Önceki araştırmalar, ulaşım maliyetlerindeki değişimlerin iş gücüne katılım kararları, doğurganlık oranları ve üretkenlik üzerinde etkili olabileceğini ortaya koymuştur (Duranton ve Turner 2012; Black vd 2014; Liu vd 2018). Ancak, gelişmekte olan ülkelerde ulaşım politikalarının geniş kapsamlı etkilerini ele alan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Hanehalkı konum tercihleri ile ulaşım politikalarının genel denge üzerindeki etkilerini anlamak, politika yapıcılarının bu politikaların çevre, kentsel yapı ve dağılım üzerindeki sonuçlarını daha iyi değerlendirmesine olanak tanıyabilir. Altyapı genişlemesi ve trafik yoğunluğu ücretlendirmesi gibi ulaşım alanındaki yenilikler ve politikalar, klasik kentsel modellerin öngördüğü gibi, ulaşım maliyetlerini ve hanehalkı konum tercihlerini etkiler (LeRoy ve Sonstelie 1983). Hanehalklarının mekânsal yerleşim düzeni, aynı zamanda seyahat tercihleri (seyahat türü ve mesafe dahil) ve çevresel etkiler üzerinde belirleyici rol oynar. Bu konuları incelemek amacıyla araştırmacılar, tüketici heterojenliğini göz önüne alan ve ekonomik ajanlar ile çevre arasındaki genel denge geri bildirimlerini dikkate alan denge sıralama modellerini kullanabilirler (Epple ve Sieg 1999; Sieg vd 2004; Kuminoff vd 2013). Bu tür modeller, ulaşım politikaları ile konut piyasaları arasındaki etkileşimleri açıklığa kavuşturabilir ve çevre, trafik sıklığı ile sosyal refah konularını ele almak üzere farklı ulaşım politikalarının etkinliğini analiz edip karşılaştırmak için kapsamlı bir çerçeve sunabilir (Li vd 2020). Kentsel sürdürülebilirlik, ekonomik, sosyal ve çevresel kaygılar arasında dengeli bir yaklaşım gerektirir. Bu kavramın güçlendirilmesi; nüfus dinamiklerini (sosyoekoloji), arazi kullanımını, kentsel yapıyı ve hareketlilik davranışlarını yani ulaşımı kapsayan çok yönlü bir perspektifi zorunlu kılar. Kentsel dinamikler, insan ile çevre arasındaki etkileşimi mekânsal ve zamansal bağlamlarda ortaya koymaktadır. Böylesine karmaşık bir sistem içerisinde, yalnızca mekânsal

yapı stratejilerine ya da tekil alanlara odaklanan politikalar (örneğin yalnızca ulaşım altyapısına yönelik stratejiler) sürdürülebilirliği sağlamak açısından yeterli değildir. Bu nedenle, entegre bir yaklaşımla arazi kullanımı, ulaşım ve çevresel stratejilerin bir arada ele alınması zorunludur. Arazi kullanımı yönetim sistemi, özellikle insan hareketliliğini yönlendirme gücüne sahip olduğunda, nitelikli bir kentsel çevre oluşturma potansiyeli taşır. Konut alanları, iş yerleri, ticaret merkezleri ve çeşitli aktivitelerin kent içindeki mekânsal dağılımı, ulaşım sistemlerinde seyahat başlangıç ve varış desenlerini şekillendirerek, yolculuk mesafesi, enerji kullanımı ve emisyon düzeylerini doğrudan etkilemektedir. Bu durumda, kentsel mekânsal yapı üzerinde yapılacak iyileştirmeler, hem yolculuk mesafelerini azaltabilir hem de çevresel kaliteyi artırarak sürdürülebilir bir kent yaşamına katkı sunabilir (Hasibuan vd 2014). Kentsel alanlardaki mekânsal yapı, sadece seyahat sayısını ve mesafesini değil, aynı zamanda ulaşım modlarının tercih edilme oranlarını da şekillendirerek ulaşım talebini doğrudan etkilemektedir. Kentleşmenin yayılcı bir şekilde büyüme eğilimi göstermesi ve bu sürece eşlik eden sosyo-kültürel faktörler, daha uzun mesafeli seyahatleri teşvik etmiş ve otomobil kullanımına olan bağımlılığı artırmıştır. Bu durum, çevresel, sosyal ve ekonomik açılardan çeşitli baskılar doğurmuştur. Çevresel açıdan bakıldığında, söz konusu baskılar; artan enerji tüketimi, yükselen karbon emisyonları ve bu emisyonların telafisi için gerekli olan yeşil açık alanların azalması gibi unsurlarla kendini göstermektedir. Bu çevresel etkilerin analizi, ulaşım kaynaklı karbon salınımının ve bu salınımın doğa üzerindeki yükünün belirlenmesiyle gerçekleştirilebilmektedir. Ulaşımın ekolojik ayak izi, sürdürülebilirlik düzeyini ortaya koyan önemli bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Bu sayede ulaşım sistemlerinin çevresel etkileri daha somut biçimde analiz edilebilmekte ve sürdürülebilir kentsel gelişim hedeflerine yönelik politikaların oluşturulmasına katkı sağlanmaktadır (Hasibuan vd 2014). Ekonomik büyümeyi teşvik etme, çevresel ve sağlık korumasını artırma, sosyal uyumu güçlendirme ve dengeli mekânsal gelişmeyi destekleme gibi karmaşık ve zaman zaman çelişen hedeflerin aynı anda gerçekleştirilmesi, sürdürülebilir hareketliliğin sağlanmasına yönelik sürekli ve kapsamlı bir çabaya ihtiyaç duymaktadır. Bu çerçevede, hareketliliğin serbestliği korunurken sosyal refahın azami düzeye çıkarılması amaçlanmakta ve gelecek nesillerin gelişim koşullarının tehlikeye atılmaması temel ilke olarak benimsenmektedir. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesi sadece ulusal düzeyde değil, aynı zamanda Avrupa Birliği düzeyinde ve kısmen küresel ölçekte de dikkatli, tutarlı ve kararlı bir ulaşım politikası kontrolünü zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda ortak ulaşım politikalarının hayata geçirilmesi için gerekli olan araçlar; entegre altyapı geliştirme çalışmalarıyla birlikte mevcut kapasitenin daha etkin kullanılmasını sağlayacak organizasyonel düzenlemeler, sosyal açıdan daha duyarlı bir hareketlilik kültürünü teşvik eden farkındalık ve pazarlama faaliyetleri, vergi sistemlerinin uyumlaştırılması, enerji tüketimini azaltmaya

yönelik ekonomik ve mali politikalar ile çevresel yükleri azaltmayı hedefleyen uygulamaları kapsamaktadır. Ayrıca, düzensiz ve geçici hareketlilik taleplerinin kontrol altına alınması amacıyla da stratejik müdahalelere yer verilmesi gerekmektedir (Tánczos ve Török 2008).

Ulaşım ve ekonomik gelişim arasındaki ilişkiyi incelemek için dört temel faktör önem taşır. Birincisi, analiz edilecek ulaşım yatırımı türünün belirlenmesidir. İkincisi, bu yatırımın ekonomik etkisini değerlendirebilmek için gerekli olan veri setlerinin sağlanmasıdır. Üçüncü olarak, ekonomik etkilerin doğru şekilde analiz edilmesi için uygun metodolojilerin kullanılması gerekmektedir. Son olarak, elde edilen sonuçların doğru biçimde yayılması ve ulaşım yatırımının ekonomik etkileri konusunda uzman profesyonellerin eğitilerek bilinçlendirilmesi büyük önem taşır (Eberts 2000). Ulaşım yatırımları giderek daha karmaşık bir hal almaktadır. Karar vericilerin, dikkate alması gereken faktörlerin kapsamını genişletmesi gerekmektedir. Bu faktörler arasında, ulaşım sistemlerinin ekonomik büyümeyi teşvik eden etkileri ile beraber bu büyümenin maliyetleri yer almaktadır. Ayrıca, ulaşım sisteminin hizmet verdiği bölgedeki çevre ve yaşam kalitesi üzerindeki etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bazı durumlarda ise, bir ulaşım projesinin belirli bir konuma yerleştirilmesi, o bölgedeki halkın onayına bağlıdır. Örneğin, eyaletler arası bir otoyolun kent içinden geçirilerek genişletilmesi veya yeni bir havalimanının inşa edilmesi, yerel halkın yoğun incelemesine maruz kalır ve genellikle dirençle karşılaşır. Süreci daha da karmaşıklaştıran bir diğer faktör ise, ulaştırma yatırımlarıyla ilgili kararların giderek daha fazla yerel düzeyde alınmasıdır. Ulaşım projelerinin sorumluluğunun yerel yönetimlere devredilmesi, sürece daha fazla paydaşın katılımını sağlar; bu paydaşlar yalnızca geleneksel olarak ulaşım projeleriyle ilgilenen kurumlar değil, aynı zamanda ekonomik kalkınma ve çevresel meselelerle ilgilenen kuruluşları da kapsar. Ulaşım yatırımlarının ekonomik gelişim üzerindeki etkisini tahmin etmek için analitik yaklaşımlar başlangıçta maliyet-fayda analizine dayanıyordu. Ancak, son dönemlerde alan, daha geniş bir fayda yelpazesini kapsamanın bir yolu olarak üretim ve maliyet fonksiyonlarına odaklanmaya başlamıştır. Günümüzde ise alan, ulaşım altyapısını mekânsal bir kavram olarak anlamaya yönelmektedir. Çünkü ulaşım tesisleri belirli bir konumda bulunur, belli bir coğrafi bölgedeki işletmelere ve hanelere hizmet verir ve kullanımları doğrudan malların ve insanların iki nokta arasında taşınmasıyla bağlantılıdır. Ayrıca, ulaşım hizmetleri bir ağ veya sistem içerisinde sunulduğundan, bir yerde gerçekleşen faaliyetler diğer bölgeleri etkileyebilir. Bu sebeple, uygun metodolojiler, mallar ve insanların iki nokta arasında taşınırken mekânsal ilişkileri dikkate almanın yanı sıra, bu hareketlerin bir ağ ya da sistem içindeki uyumunu da dikkate almalıdır (Eberts 2000).

Sürdürülebilir ulaşım ve AUS entegrasyonu

Kentleşme oranlarının dünya genelinde artmasıyla birlikte şehir içi hareketlilik de önemli ölçüde yükselmiştir. Bu artan hareketliliğe paralel olarak kent yaşamında çeşitli ihtiyaçlar doğmakta ve bu ihtiyaçları karşılamaya yönelik faaliyetler çevresel etkiler yaratmaktadır. Özellikle ulaşım sektörü, şehirlerdeki çevresel ve gürültü kirliliğinin en büyük kaynaklarından biri olarak öne çıkmaktadır (Ritchie ve Roser 2017). Ulaşım, sürdürülebilirlik üzerinde doğrudan ve belirleyici bir etkiye sahiptir; özellikle kara taşıtları, çevresel kirliliğin başlıca kaynaklarından biridir (Shi vd 2019). Sürdürülebilir ulaşım, küresel düzeyde benimsenmiş bir kavramdır (Hickman vd 2013; Köhler 2014). Bu anlayışın temel amacı, ekonomik açıdan verimli bir iletişim yapısı kurarken araçların çevreye olan zararlı etkilerini en aza indirmektir. Bu çaba, hem zararlı emisyonların kontrol altına alınmasını hem de toplu taşıma, bisiklet kullanımı ve araç paylaşımı gibi sürdürülebilir ulaşım yöntemlerinin teşvik edilmesini içerir (Bamwesigye ve Hlavackova 2019). Bu ulaşım modeli ve ona dayanan paradigma, bireysel otomobil kullanımının baskın olduğu kentlerde ortaya çıkan çevresel tahribatın azaltılmasını öngörmektedir (Malasek 2016). Uygun şekilde tasarlanmış ulaşım sistemleri, yalnızca hareketlilik ve insan ihtiyaçlarını karşılamakla kalmamalı, aynı zamanda güvenli ve çevre dostu ulaşım araçlarını da teşvik etmelidir (UNESCAP, 2013). Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun da belirttiği gibi, sürdürülebilir kalkınma; bugünün ihtiyaçlarını karşılarken, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerini tehlikeye atmadan ilerlemeyi gerektirir (Greene ve Wegener 1997; De Gruyter vd 2016). Ulaşım sistemleri de mekânsal sürdürülebilir kalkınmada kilit bir rol oynamaktadır. Çünkü ulaşım, tüm topluluklara ekonomik ve sosyal fırsatlara erişim sunar (Richardson 2005). Bu nedenle, farklı bölgelerde yaşayan bireylerin ekonomik, sosyal ve çevresel açılardan gelişebilmeleri için sürdürülebilir ulaşım altyapılarına (özellikle yol ağlarına) yatırım yapılması önemlidir (Miller vd 2016; Ogryzek vd 2018). Ancak ulaşım ağlarının oluşturulması sürecinde çevresel faktörler ve doğal engellerin aşılması gibi önemli zorluklarla karşılaşmaktadır (Wolny vd 2019). Litvanyalı araştırmacıların da vurguladığı gibi, ulaşım altyapısının modernizasyonu; sürdürülebilir hareketliliği desteklemeli, bireyler arasında iletişimi kolaylaştırmalı ve iş dünyasındaki aktörler arasında etkili ilişkilerin kurulmasına katkı sağlayarak ulusal ekonomiye destek vermelidir (Griškevičiūtė-Gečienė ve Griškevičienė 2016). Ulaşım erişilebilirliği, kentlerin yoğunlaşması ve sürdürülebilir kalkınması açısından temel belirleyicilerden biri olarak kabul edilmektedir (Linneker ve Spence 1992; López vd 2008). Yalnızca teknik ve fiziksel unsurlar değil; aynı zamanda bölgenin sosyo-ekonomik koşulları, halkın beklentileri ve çevreye duyarlı, sürdürülebilir çözümler de göz önünde bulundurulmalıdır. Ulaşım planlamasında özellikle yol güvenliği öne çıkan bir önceliktir (özellikle bisikletliler ve yayalar için). Bu kullanıcılar için

güvenli altyapının sağlanması; fiziksel ayrımın mümkün olmadığı durumlarda araç hızlarının düşürülmesi ve küçük yaşlardan itibaren trafik güvenliği eğitiminin verilmesi ile mümkündür. Ayrıca ulaşım alanında çalışan kent plancılarının yalnızca teknik bilgiyle donanmış olması yeterli değildir; aynı zamanda yenilikçi ve yaratıcı düşünme yetisine de sahip olmaları gerekir. Bir şehirdeki ulaşım sisteminin niteliği, büyük ölçüde yerel yönetimlerin planlama ve uygulama konusundaki verimliliğine bağlıdır (Marks-Bielska ve Kurowska 2017; Oliveira 2018). Bu tür bütüncül ve katılımcı şehir planlama uygulamaları, sürdürülebilir ulaşım hedeflerine ulaşmada önemli bir adım olacaktır (Ogryzek vd 2020). Şehirlerde ulaştırmanın sürdürülebilirliği, yenilikçi sistemlerin kaliteli bir şekilde uygulanması ve kamu güveninin sağlanmasıyla yakından ilişkilidir (Banister 2008). Motorlu olmayan ulaşımın planlanması ise, altyapı iyileştirmeleri ile eğitim faaliyetlerinin birlikte yürütülmesine bağlıdır (Tolley 2003). Sosyal ikilem bakış açısı, otomobil kullanıcılarının toplumun uzun vadeli zararlarını göz ardı ederek, kısa vadeli faydaları tercih etmeleri nedeniyle araç kullanımında sürekli bir artış ve yoğunluk eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır; bu durum, daha az insanın daha çok araçla, nispeten kısa mesafelerde daha uzun yol kat etmesi şeklinde kendini göstermektedir (Steg ve Gifford 2005). Uygun planlama ve yönetimle bir ulaşım sistemi, topluluğun verimliliğini ve yaşam kalitesini artırmanın yanı sıra, ulaşım talebinde de artışa yol açabilir (Valiantis 2014). Mevcut sistemlerde yapılan iyileştirmeler, şirketlerin uyguladığı çevre koruma zorunluluklarıyla teşvik edilmektedir (Roth ve Kåberger 2002). Sürdürülebilir bir ulaşım sistemi temel olarak planlama, politika ve kullanılan teknolojilere odaklanır ve amacı, mal ve hizmetlerin etkin bir şekilde taşınmasını sağlamak ile ulaşım hizmetlerinin yüksek kalitesini temin etmektir. Bu yaklaşım, arabasız yaşamı teşvik eden ve yaya ile bisiklet kullanıcılarına uygun kentsel alanlar yaratmayı hedefleyen şehir planlamasına dayanır. Özellikle bisiklet paylaşım sistemleri, büyük şehirlerde giderek daha fazla tercih edilmekte; çünkü bu sistemler, kentsel alanlarda en sürdürülebilir ulaşım araçlarından biri olarak kabul edilmektedir (Pucher ve Buehler 2017). Yoğun şehir ortamlarında uygun maliyetli, etkili ve sağlıklı bir ulaşım aracı olarak görülmeleri, popülerliklerini artırmaktadır (O'brien vd 2014). Ayrıca, şehirlerde ulaşımın büyük ölçüde toplu taşıma araçları üzerine kurulması gerekmektedir (Badland vd 2014). Oxford Üniversitesi'nden Profesör David Banister, sürdürülebilir ulaşımın şehir planlamasında benimsenmesi gereken temel ilkeleri içeren bir paradigma ortaya koymuştur. Bu ilkeler, seyahat ihtiyaçlarının azaltılması, ulaşım politikalarının değiştirilmesi, gidilen mesafelerin kısaltılması ve verimliliği artıracak teknolojik yeniliklerin uygulanmasıdır (Banister 2008). İlk sürdürülebilir ulaşım ilkesi olan seyahat ihtiyacının azaltılması, seyahatlerin bu ihtiyaçları en aza indirecek teknolojik çözümlerle dönüştürülmesini gerektirir. Banister, bu çerçevede ulaşım ile BİT arasındaki ilişkinin önemine, özellikle çevrimiçi alışverişin artan rolüne dikkat çekmektedir. İkinci ilke ise

araç kullanımının, yürüme ve bisiklet gibi daha sürdürülebilir ulaşım biçimlerini teşvik edecek şekilde azaltılması yönünde stratejik bir değişikliği ifade eder. Amerika Birleşik Devletleri'nde birçok topluluk, rutin araç yolculuklarını yürüyüş ve bisiklet kullanımıyla değiştirmeye çalışarak ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirliğini artırmayı hedeflemektedir (Schneider 2013). Ayrıca Banister (2008), sürdürülebilir ulaşım piramidinde en üstte yayalar ve bisikletlilerin, ortada toplu taşımanın ve en altta araç kullanıcılarının yer aldığı yeni bir yol hiyerarşisi önermektedir. Bu hedefe, şehir trafiğinin yavaşlatılması ve toplu taşıma için özel alanların oluşturulmasıyla ulaşılabilir. Bunun yanında, şehir merkezleri ve tarihi bölgelere ücretli giriş gibi yol kullanım ücretlerinin uygulanması da önemlidir. Ayrıca yol tanımının değiştirilmesi, yani sokakların sadece araçlara ait alanlar olmaktan çıkarılarak yayalar, bisikletliler ve toplu taşıma araçları tarafından kullanılan, yeşil alanlarla desteklenmiş çok işlevli mekanlar olarak kabul edilmesini içerir. Bu yaklaşım, günün farklı saatlerinde yaratıcı sokak kullanımlarını teşvik eder; örneğin, hafta sonlarında bazı yollar pazar alanlarına veya eğlence mekanlarına dönüştürülebilir. Bu fikirler, insanların ulaşımı algılama biçimini değiştirmeye yönelik teşvikler sunar ve en iyi alan kullanımı için iyi tasarlanmış stratejilerle desteklenmelidir. Bisiklet, çevre dostu ve ekonomik bir ulaşım aracı olmasının yanı sıra, sağlığı koruma ve formda kalma aracı olarak da önemli olumlu etkiler sağlar (Zhang vd 2015). Neves ve Brand (2019), kısa mesafeli araç yolculuklarının yürüyüş veya bisikletle değiştirilmesinin sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyelini inceleyen bir araştırma yürütmüştür. Çalışma kapsamında, yüksek kaliteli yaya ve bisiklet altyapılarının bireylerin günlük ulaşım tercihlerini ne ölçüde etkileyebileceği, yerel seyahatlerin zamansal ve mekânsal yapısında yapılacak değişimlerin motorlu taşıma kaynaklı emisyonlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Araştırma bulguları, aktif ulaşım biçimlerinin (özellikle yürüyüş ve bisikletin) kısa mesafeli araç kullanımının yerine geçme konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğunu ve bireysel ulaşımın çevresel etkilerini önemli ölçüde azaltabileceğini ortaya koymuştur (Lv ve Shang 2023). Üçüncü sürdürülebilir ulaşım ilkesi mesafenin azaltılmasına odaklanır. Bu ilkenin amacı, çevre dostu taşıma yöntemleriyle birlikte yürüyüş ve bisiklet kullanımını teşvik ederek şehir içi hareketliliği kolaylaştırmaktır. Şehir bölgeleri, sakinlerin konut, ticaret, rekreasyon ve eğitim gibi farklı hizmetlere kolayca ulaşabilmelerini sağlayacak şekilde planlanmalıdır; böylece seyahat ihtiyacı azalabilir. Sürdürülebilir alan geliştirme prensipleri doğrultusunda, araç trafiğinin olmadığı “yeşil kentsel adalar” oluşturulması ve bu alanların birbirine bağlanarak güvenli yaya ve bisiklet yolları oluşturması tavsiye edilmektedir (Ogryzek 2017). Dördüncü sürdürülebilir ulaşım ilkesi, ulaşımın daha verimli hale gelmesini sağlamak amacıyla yeni teknolojilerin uygulanması gerekliliğine işaret eder. Ulaşım sektörü, küresel CO₂ emisyonlarının %26'sından sorumludur ve emisyonların artmaya devam ettiği birkaç sanayi kolundan biridir (Chapman 2007). Bu

nedenle teknoloji, ulaşım sistemlerinin performansını doğrudan etkileyen ve sistemle entegre şekilde çalışan kritik bir unsur olarak öne çıkar. En sürdürülebilir çözüm, her ulaşım modunun en yeni teknolojilerle donatılması; yenilikçi motor tasarımlarının, alternatif yakıtların ve yenilenebilir enerji kaynaklarının aktif olarak kullanılmasıdır (Leung vd 2014; Luthra vd 2017). Alternatif yakıtlar kapsamında öncelikle kentleşme süreci ve akıllı şehir inşası, ulaşım kaynaklarının tüketimi üzerinde önemli ve derinlemesine etkiler yaratmaktadır (Tian vd 2021). Kişisel Seyahat Planlaması, birçok şehirde kentsel ulaşımında kaynak kullanımını azaltmak adına pratik ve etkili bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Araçların neden olduğu kaynak tüketimi ve emisyonların azaltılması için teknolojik dönüşüm artık kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Chang ve arkadaşları (2019), hidrojen yakıt hücreli araçların otomotiv endüstrisinin geleceğini temsil ettiğini öne sürmüş ve bu araçların hem trafik kaynaklı tüketimi azalttığını hem de büyük şehirlerdeki çevre kirliliğini hafiflettiğini belirtmiştir. Hidrojenin yanı sıra, biyogaz da taşıt enerjisi için alternatif bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Yüksek teknolojiyle beslenen yeni dönemde birçok ülke, biyogazı taşıtlarda yakıt olarak kullanmaya yönelmiş, özellikle sıvılaştırılmış biyogazın ağır taşıma araçlarında kullanımı ilgi görmeye başlamıştır. Biyogaz, Fischer–Tropsch yakıtı, metanol, dimetil eter ve hidrojen gibi farklı yakıt türlerinin üretiminde hammadde olarak da değerlendirilebilmektedir. Dahlgren (2022), biyogazın ulaşım için kullanılabilecek yakıt türleri üretebildiğini ve bu alandaki teknolojik olgunluğun, biyogazı fosil yakıtlara alternatif olarak ulaşım sistemlerine entegre etme potansiyelini güçlendirdiğini ifade etmiştir. Günümüzde ticari ölçekte biyogazdan elde edilerek kullanılan temel yakıt türleri, sıkıştırılmış ve sıvılaştırılmış metandır. Bu durum, biyogazın ulaşım sektöründe geniş ölçekli uygulama fırsatları sunduğunu göstermektedir (Elyasi vd 2021). Sürdürülebilirliğe ulaşmadaki temel öncelik ise yeşil şehirlerin geliştirilmesidir (Kenworthy 2006). Geliştirilecek çözümler, yalnızca araç kaynaklı gürültü kirliliğini azaltmakla kalmamalı, aynı zamanda şehirdeki her noktaya makul sürede ve kolay erişim sağlamalıdır. Yeni nesil araçlar çevre dostu olmalı; aynı zamanda bu ilke, sürüş verimliliğini artırmak ve sürücü davranışlarını daha bilinçli, rasyonel bir yaklaşıma yönlendirmek açısından da önemlidir. Bu doğrultuda eko-sürüş anlayışı, özellikle hız sınırlarına uymayı da içeren trafik kurallarına bağlılıkla birleştirilmelidir (Ogryzek vd 2020). Bu noktada alternatif araçlar ve araç paylaşım hizmeti de önem arz etmektedir. Ulaşım kaynaklı kirliliği azaltmak amacıyla sürdürülebilir ulaşım yaklaşımları geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Elektrikli araçların kullanımı, toplu taşımanın teşvik edilmesi, bisiklet ve scooter gibi alternatif araçların yaygınlaştırılması, trafik sıkışıklığı vergileri gibi uygulamalar bu kapsamda değerlendirilmektedir. Son dönemlerde dikkat çeken ve yaygınlaşan uygulamalardan biri ise araç paylaşımı sistemidir. Bu model, sürdürülebilir ulaşım anlayışı doğrultusunda çevreye daha

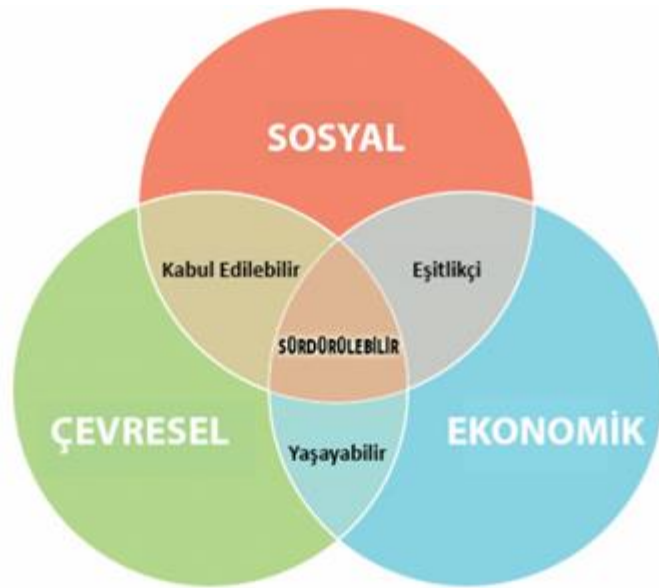
az zarar veren, ekonomik ve pratik bir alternatif olarak teşvik edilmektedir (Kaya vd 2022). Amatuni ve çalışma arkadaşları, bir bölgede araç paylaşım hizmetinin uygulanması durumunda toplam sera gazı emisyonlarında meydana gelen değişimleri analiz etmişlerdir. Bu kapsamda, diğer ulaşım modlarıyla kat edilen mesafeler de dikkate alınarak kapsamlı bir model geliştirilmiştir. Söz konusu model üç farklı coğrafi örnek üzerinde test edilmiş ve sonuç olarak, araç paylaşımının kullanılmasıyla bu bölgelerde sera gazı emisyonlarında %18'e varan oranlarda azalma sağlandığı gözlemlenmiştir (Amatuni vd 2020). Öte yandan, Yu ve çalışma arkadaşları, istasyona dayalı araç paylaşım sistemlerinde araçların alınması ve bırakılması süreçlerini incelemiş; sistemin operasyonel özelliklerini ve sürüş davranışlarını değerlendirmişlerdir. Araç paylaşım hizmetlerinin etkinliğini ölçmek amacıyla, derin öğrenme tekniklerine dayalı bir analiz yaklaşımı geliştirilerek sistem performansı detaylı şekilde değerlendirilmiştir (Yu vd 2020).

Tablo 3. Küresel Düzeyde Ulaşım Modlarına Göre Karbon Emisyonlarının Karşılaştırılması (REN21 2023; Beşer vd 2024)

Ulaşım Modu	Türkiye Emisyon Payı (%)	Küresel Emisyon Payı (%)
Karayolu	93.0	74.0
Demiryolu	0.7	1.0
Denizyolu	2.0	11.0
Havayolu	4.0	10.0
Diğer (özel ulaşım araçları vb.)	0.3	4.0

Sürdürülebilir ulaşım ve AUS entegrasyonu kapsamında dünyanın farklı ülkelerinde, tüm yönetim düzeylerindeki hükümetler; ulaştırma gücü, dijital ulaşım, yeni altyapı yatırımları gibi başlıklarda ardı ardına çeşitli politikalar yayınlayarak akıllı ulaşımın kaliteli ve sürdürülebilir gelişimine rehberlik etmekte ve bu süreci güvence altına almaktadır. Ulaşım sektörü, dünya genelindeki en büyük üç sera gazı emisyon kaynağından biri olarak öne çıkmaktadır. İletişim Bakanlığı'nın verilerine göre, trafik yoğunluğunun neden olduğu yıllık ekonomik kayıplar, şehirlerde yaşayan bireylerin tasarruf edilebilir gelirlerinin %20'sine kadar ulaşabilmektedir. 2020 yılı itibarıyla Çin'de ulaşım sektörünün toplam sera gazı emisyonları, ülkenin nihai sera gazı salınımının %15'ini oluşturmaktadır (Liu vd 2023). Bu oranın %84'ü kara yolu taşımacılığı kaynaklıdır (Carbon Brief 2023). “İki Karbon” hedefi olarak bilinen Karbondioksit Emisyonlarında Zirveye Ulaşma ve Karbon Nötrlüğü hedefleri doğrultusunda, AUS yeşil ve düşük karbonlu dönüşüm sürecini başlatmıştır. AUS kapsamında trafik akışı, yoğunluk endeksi ve gecikme endeksi gibi verilerin gerçek zamanlı izlenmesi sayesinde, trafik sıkışıklığı azaltılmakta, ulaşım verimliliği artırılmakta ve buna bağlı olarak sera gazı emisyonları önemli ölçüde düşürülebilmektedir (Ajayi vd 2021). Akıllı ulaşım alanındaki ürün

uygulamaları ve çözüm yaklaşımları, kamu ulaşımında bilimsel ve teknolojik temelli emisyon azaltımını teşvik eden önemli bir konuma yükselmiştir. Trafik verilerinin doğru şekilde algılanması ve toplanması her yönüyle mümkün hale gelmiştir. Bu sayede bireyler; araçların mevcut durumu, trafik işleyişi ve trafik davranışları hakkında sürekli, kapsamlı ve güncel bilgiye ulaşabilmekte; bu da kapsamlı ve bütüncül bir trafik izleme sisteminin, yani panoramik trafik anlayışının gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda, mobil internetin her yerde erişilebilir hale gelmesi, yeni nesil araç teknolojileri ve büyük veri analizlerinin gelişimi, ulaşım operasyonlarının genel verimliliğini önemli ölçüde artırmıştır (Zantalis vd 2019). Bu teknolojik ilerlemeler yalnızca ulaşım süreçlerini daha akıllı hale getirmekle kalmamış, aynı zamanda bağlantılı ulaşım çözümleri ve dijital hizmet modelleriyle yeni ulaşım biçimlerini de beraberinde getirmiştir (Wu vd 2021). Düşük karbonlu kara ulaşım sistemlerinin inşasını hızlandırmak ve geleneksel, yaygın gelişim modellerinden uzaklaşmak, kara yolu ulaşım sektörünün bugünü ve geleceği açısından stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir (Wang vd 2017). Örneğin, ulaşımında enerji tasarrufu ve emisyon azaltımı, altyapının ve sürücü davranışlarının bilimsel biçimde organize edilmesi ve yönetilmesi gibi yöntemlerle sağlanabilir. Bu süreçte, yolda gereksiz boş koltuk oranının ve kilometre başına düşen enerji tüketiminin azaltılması için gelişmiş AUS'un devreye alınması mümkündür. AUS sayesinde kara ulaşımında bilgiye dayalı ve görsel temelli bir dönüşüm sağlanarak, şehir içi trafik yönetimi daha akıllı hale getirilebilir. Böylelikle AUS, ulaşım alanında enerji tasarrufu ve emisyonların azaltılması hedefleri doğrultusunda uygulanabilir ve etkili bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (Zhu vd 2018).



Şekil 5. Sürdürülebilirliğin temel boyutları (Adams 2006)

Geurs ve Wee (2004), arazi kullanımı ve ulaşım sistemlerinin etkileşimini açıklamak amacıyla kavramsal bir model geliştirmiştir. Sürdürülebilir ulaşım modelleri kapsamında, güvenlik, yakıt tüketimi, trafik tıkanıklığı ve çevresel etkiler gibi faktörler belirleyici unsurlar olarak öne çıkmaktadır (Veleva ve Ellenbecker 2001; Steg ve Gifford 2005). Bundan dolayı sosyal, ekonomik ve çevresel açılardan sürdürülebilir ulaşım göstergelerinin kapsamlı ve sistematik bir biçimde analiz edilmesi gerekmektedir (Hutchins ve Sutherland 2008). Sosyal göstergeler, bireylerin ve toplumun genel yaşam kalitesine ışık tutarken; ekonomik göstergeler, ulaşım sistemlerinin ekonomik verimlilik ve performans üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Çevresel göstergeler ise CO₂ salınımı ve trafik yoğunluğu gibi unsurlar aracılığıyla çevre üzerindeki etkileri değerlendirmeye olanak tanır (Steg ve Gifford 2005; Litman ve Burwell 2006). Sürdürülebilir ulaşımın temel anlayışı, ulaşım kullanıcıları arasında bir hiyerarşinin korunmasını esas alır. Bu hiyerarşide en öncelikli grup yayalardır; çünkü en savunmasız ve risk altındaki kullanıcı grubunu oluştururlar. İkinci sırada bisikletliler yer alırken, onları toplu taşıma kullanıcıları takip eder. Bisikletin kapsamlı bir planlama sürecine entegre edilmesi, kentsel ulaşım sistemlerinde olumlu ve etkili değişimlere yol açabilecek önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir (Gössling 2013). Hiyerarşinin en alt basamağında ise otomobil kullanıcıları bulunur; zira bu grup, trafik sıkışıklığına neden olmaları ve kamusal alanları işgal etmeleri nedeniyle sistemin en sorunlu ögesi olarak görülmektedir (Ogryzek vd 2020). Avrupa'nın birçok kentinde, günlük ulaşımında toplu taşıma ve bisiklet kullanımının desteklenmesi; hava kirliliği, trafik sıkışıklığı ve CO₂ emisyonlarını azaltmanın etkili bir yolu olarak değerlendirilmektedir (Jäppinen vd 2013). Planlama ve ulaşım uzmanları, araç kullanımının olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla toplu taşıma, yürüyüş ve bisiklet gibi çeşitli sürdürülebilir ulaşım alternatiflerini teşvik etmektedir (Bachand-Marleau vd 2012). Daha sürdürülebilir bir ulaşım yapısının oluşturulabilmesi için dört temel sütunun sağlam biçimde kurulması gereklidir: etkili arazi kullanımı ve ulaşım yönetimi, adil ve sürdürülebilir finansman modelleri, stratejik altyapı yatırımları ve mahalle tasarımına verilen önem (Kennedy vd 2005). Kentsel planlama, daha verimli ve çevre dostu belediye yük taşımacılığı sistemlerinin geliştirilmesini sağlayabilir. BİT ile AUS'un kullanımı, lojistik yöneticilerinin düşünce biçimlerinde dönüşüm yaratabilir; aynı zamanda kamu-özel sektör iş birlikleri, kentsel lojistik politikalarının uygulanmasını destekleyebilir (Taniguchi 2014). Bugün dünya genelinde birçok şehir, kazaları, trafik sıkışıklığını, hava ve gürültü kirliliğini azaltmak; buna karşılık sosyal etkileşimi, yaşanabilirliği ve şehirlerin sunabileceği olanakları artırmak için daha sürdürülebilir kentsel ulaşım sistemleri geliştirmeye yönelik çaba göstermektedir (Gössling 2016). Örneğin Singapur, sürdürülebilir ulaşım hedeflerini AUS ile başarıyla bütünleştiren öncü şehirlerden biridir. Şehir, akıllı trafik yönetim sistemleri, araç paylaşım platformları, gelişmiş toplu taşıma

altyapısı ve karbon salınımını takip eden veri analitiği sistemleriyle, ulaşımı sürdürülebilirlik ekseninde yeniden yapılandırmıştır. Örneğin, Singapur'daki "Intelligent Transport System Centre", trafik ışıklarının gerçek zamanlı optimizasyonu, yolculuk sürelerinin dinamik hesaplanması ve acil müdahale araçlarına öncelik tanınması gibi uygulamalarla hem trafik yoğunluğunu azaltmakta hem de enerji verimliliği sağlamaktadır. Ayrıca, şehirde yürürlüğe giren karbon vergisi ve araç sahipliği kotaları, özel taşıt kullanımını sınırlayarak kamu ulaşımına yönelimi teşvik etmektedir.

Disiplinlerarası Yaklaşım ve AUS

AUS, sadece mühendisliğe dayanan çözümler sunan teknolojik bir alan değildir. Aynı zamanda AUS, şehircilik, yazılım teknolojileri, sosyal bilimler ve sistem mühendisliği gibi farklı disiplinlerin birleşiminde yer alan karmaşık, çok boyutlu ve multi-disipliner bir yapıya sahiptir. Bu kapsamda AUS, disiplinlerarası bir bakış açısıyla açıklanmalı ve farklı alanlardaki uzmanlıkların birleşerek sunduğu fikirlerle şekil almalıdır.

Ulaşım mühendisliği

Ulaştırma mühendisliği, doğası gereği çok disiplinli bir çalışma alanıdır. En yakın ilişkili disiplin inşaat mühendisliği olsa da, makine mühendisliği, elektrik-elektronik mühendisliği, işletme ve benzeri pek çok alan da ulaştırma mühendisliği kapsamında önemli roller üstlenmektedir. İnşaat mühendisleri, genellikle ulaştırma projelerinin tasarım ve inşaa süreçlerinde ön planda yer alırken; planlama, analiz ve işletme aşamalarında da, sahip oldukları uzmanlık alanlarına bağlı olarak aktif biçimde görev alabilmektedir. Bu çok yönlü yapı, ulaştırma mühendisliğini disiplinler arası iş birliğini gerektiren ve zenginleştiren bir alan haline getirmektedir. Trafik mühendisliği ve planlaması alanında uzman olan İngiliz Stephen Plowden, 1972 yılında yayımladığı Trafığe Karşı Şehirler (Towns Against Traffic) adlı eserinde önemli değerlendirmelerde bulunur. Plowden'a göre, trafik mühendisliğinde geleneksel yaklaşım, mevcut trafik talebinin eksiksiz şekilde karşılanması gerektiği varsayımına dayanır. Ancak, karayolu kapasitesinin artırılması, tersine bir etki yaratarak sürücülerin bireysel araç kullanımına olan ilgisini artırmakta ve böylece otomobil talebini daha da tetiklemektedir (Şahin 2016).

Günümüzde sürdürülebilir kalkınma, ekonomik kalkınma, sosyal adalet ve çevresel koruma unsurlarının birlikte ve dengeli biçimde ele alınmasını gerektiren bütüncül bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Benimsenen ulaştırma politikaları, bu sürdürülebilirlik bileşenlerinin projelerde hangi oranda dikkate alındığını ve hangi öncelik sırasına sahip olduğunu belirler. Ulaştırma projelerinin “bütüncül” ya da “eksik” nitelikte olması, bu bileşenlerin uygulama

sürecine dengeli ya da yetersiz şekilde entegre edilmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu noktada, projeleri hayata geçiren mühendislerin bireysel sorumluluğu büyük önem taşır; mühendis, gerektiğinde yaptığı işin kapsamını ve etkilerini sorgulayabilmeli, sürdürülebilirliğe ne ölçüde katkı sunduğunu değerlendirebilmelidir (Şahin 2016). Ulaşım mühendisliği, AUS'un yapısını oluşturan temel teknik disiplindir. Yol tasarımı, trafik akış kontrolü, kapasite analizi, sinyalizasyon sistemleri, yol güvenliği gibi alanlarda uzmanlık sunarak, AUS çözümlerinin altyapısal ve işlevsel temellerini oluşturur. Örneğin, değişken mesaj panoları (VMS), adaptif trafik ışıkları, hız sensörleri ve yolcu bilgi sistemleri, mühendislerin algoritmalarla entegre çalışmasını gerektirir. Gerçek zamanlı veri toplayan ve analiz eden sistemlerin tasarımı, yalnızca altyapının dijitalleştirilmesiyle sınırlı kalmaz; aynı zamanda sürücülerle ve yolcularla sürekli etkileşim içinde olan dinamik bir sistemin inşasını gerektirir. Bu durumda ulaşım mühendisliğinde veri toplama önemli bir adımdır. Ulaşım mühendisliği kapsamında yürütülen trafik yönetimi, kaza analizi, yol kaplama durumu, yol ve köprü envanteri, trafik sinyalizasyon sistemleri gibi birçok çalışma sürecinde oldukça büyük miktarda veri üretilmektedir. Bu veriler, karar alıcıların belirli bir sorunu çözmek için başvurdukları temel kaynakları oluşturur. Karar vericiler, farklı veri kümelerine etkin biçimde erişim sağlayacak yöntemlere ihtiyaç duymaktadır. Bu noktada en temel gereksinimler; mevcut verilerin tanımlanması, veri özelliklerinin belirlenmesi, ilgili verilerin seçilip çıkarılması ve bu verilerin uygulamaya uygun formatlara dönüştürülebilmesi becerisidir. Gerçek dünyada ulaşım problemleri genellikle birden fazla veri türünün bir araya getirilmesini ve analiz edilmesini gerektirir. Son yıllarda veri madenciliği alanında kaydedilen ilerlemeler, ulaşım mühendislerinin karar alma süreçlerine yenilikçi çözümler sunmalarına olanak tanımaktadır (Barai 2003). Bu nedenle ulaşım mühendisliği, hem fiziksel yol ağını hem de dijital karar destek mekanizmalarını kapsayan bütüncül bir bakış açısı sağlar. Örneğin Zürih, bu alanda öne çıkan şehirlerdendir. Şehirde kullanılan entegre trafik yönetim sistemi, toplu taşıma önceliğini merkeze alarak özel araç trafiğini dengelemektedir. Tramvaylar, otobüsler ve banliyö trenleri yüksek dakiklik oranlarıyla çalışırken, AUS altyapısı sayesinde yolculuk süreleri optimize edilmektedir. Trafik ışıkları toplu taşıma öncelikli biçimde programlanmış ve GPS destekli sistemlerle yönlendirilmiştir. Zürih, mühendislik odaklı AUS yatırımlarıyla sürdürülebilir ve düşük karbonlu ulaşım hedeflerine ulaşmada önemli adımlar atmıştır. Sonuç olarak mühendislik disiplini, veri madenciliği, yapay zeka vb. uygulamalara dayanarak AUS ile oluşturduğu entegrasyonla şehirlerin yaşam kalitesini, sürdürülebilirliğini artırarak akıllı şehir dönüşümüne büyük katkı sağlamaktadır.

Şehir ve bölge planlama

Ulaşım altyapısı, özellikle gelişmekte olan bölgelerde şehirlerin ekonomik kalkınması ve toplumsal refahı açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu bölgelerde, ulaşım yatırımları kamu harcamalarının %40'ına kadar çıkabilmektedir (Leinbach 1995; Button 2010). Yeterli düzeyde ulaşım altyapısının varlığı, dünyadaki büyük şehirlerde (özellikle motorlu araç sayısının her yıl %10 ila %15 oranında arttığı mega kentlerde) son derece önemlidir (Midgley 1994). Ancak bu hızlı motorlaşma sürecine rağmen, yol kapasitesi aynı hızda büyümemiştir. Bunun sonucu olarak ortaya çıkan yoğun trafik sıkışıklığı hem ekonomik verimliliği azaltmakta hem de kent yaşam kalitesini ciddi şekilde tehdit etmektedir. Büyük şehirler genellikle ekonomik büyümenin ve modernleşmenin lokomotifleri olarak görülse de bu kentlerde yaşanan trafik sorunları, dolaylı olarak küçük kasabalar ve kırsal alanlardaki ekonomik koşulları da olumsuz yönde etkilemektedir. Küresel ölçekte motorlu taşıt kullanım oranları henüz pazar doygunluğu seviyesine ulaşmamışken bile, altyapı eksikliklerinin devam etmesi durumunda, trafik sıkışıklığının ekonomik yükünün daha da ağırlaşması öngörülmektedir (Uluslararası Enerji Koruma Enstitüsü 1996). Ulaşım ve şehirler arasında karşılıklı bir bağımlılık söz konusudur ve bu ilişki, çoğu zaman karmaşık ve dinamik etkileşimler şeklinde ortaya çıkmaktadır. Kentsel alanların biçimlenmesinde yolların ya da toplu taşıma sistemlerinin fiziksel niteliklerinden çok, erişilebilirlik gibi işlevsel unsurlar belirleyici rol oynamaktadır. Örneğin, yeni inşa edilen bir yol, etrafındaki yeşil alanlara ulaşımı kolaylaştırarak bu bölgelerde gelişimi teşvik edebilir. Bu durum, ulaşımın yeni kentsel gelişmeler için gerekli ancak tek başına yeterli olmayan bir unsur olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda bu etkileşim çift yönlüdür: Arazi kullanım biçimleri ve yapıları çevre, bireylerin seyahat taleplerini etkileyerek (Kelly 1994; Cervero ve Seskin 1995; Newman vd 2019) ulaşım sistemlerinin şekillenmesine katkıda bulunmaktadır. Planlama süreçlerinde bu dinamik ilişkiler dikkate alındığında, motorlu taşıtlara olan ihtiyaç azaltılabilir. Bu nedenle, ulaşım ve kentsel gelişimin entegre bir şekilde planlanması, çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliği sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır (Cervero 2001). Ulaşım, fiziksel gelişimi dört temel şekilde etkiler: yerlerin konumu, yoğunlukları, bileşimleri ve arazi kullanımları ile kentsel faaliyetlerin değerleri. Ulaşım yatırımlarının bu fiziksel boyutlara nasıl, neden ve ne ölçüde etkide bulunduğunu anlamak, geleneksel kentsel yerleşim teorisine dayanmaktadır (Alonso 1964; Muth 1969). Bu teoriye göre, insanlar ve kuruluşlar erişilebilir yerleri tercih eder; böylece ulaşım maliyetlerini azaltırken, hane halkları için konut ve yaşam tarzı tercihlerini, işletmeler açısından ise kârlılığı maksimize etmeyi amaçlarlar. Ulaşım ve arazi kullanım planlamasında temel bir prensip, seyahat talebinin türetilmiş olmasıdır. Yani insanlar kendi başına seyahat etmezler, belirli yerlere ulaşmak amacıyla seyahat ederler. Seyahat, sosyal ve ekonomik ihtiyaçlardan

kaynaklanır. Örnek olarak arkadaş ziyaretleri, market alışverişi veya işe gitmek verilebilir. Bu yüzden, fiziksel alanın düzenlenişi ve kentsel aktivitelerin organizasyonu, yolculuk etme sürecini şekillendirir. Normatif açıdan bakıldığında, ulaşım kentsel çevrelerle uyumlu olmalı ve daha geniş kişisel ve toplumsal hedeflere ulaşmanın bir aracı olmalıdır. Örnek olarak geçim sağlamak veya yaşanabilir topluluklar oluşturmak verilebilir (Cervero 2001).

Altyapı yatırımları, kentsel gelişim modellerini yönlendirmek ve büyümeyi kontrol altında tutmak amacıyla kamu sektörünün sahip olduğu araçlardan sadece biridir. Bunun yanında düzenlemeler (örneğin, imar planları, büyüme sınırları), vergi politikaları (örneğin, teşvik bölgeleri) ve arazi satın alımları gibi diğer stratejiler de kullanılmaktadır. Kentselleşmeyi en etkili şekilde şekillendiren aracın hangisi olduğu, koşullara göre değişiklik göstermektedir; ancak altyapı türleri arasında ulaşım, şehirlerin biçimlenmesinde en güçlü etkiye sahip olan olarak kabul edilmektedir. Ulaşım yatırımları büyümeyi yalnızca bir nedenden dolayı teşvik eder. Bu neden erişilebilirliği artırmaları, yani yerlere daha kolay ulaşma fırsatı sağlamalarıdır. Örneğin, yeni bir hafif raylı sistem istasyonu, zor ulaşılabilen iç şehir mahallelerindeki mağazalara daha fazla müşteri sağlar ve iş imkanlarına, arkadaşlara vb. erişimi kolaylaştırır. Erişilebilir olan yerler, konumsal avantajlara sahip olur. İnsanların bu konumsal avantajı araması ve gayrimenkul geliştiricilerin bu tercihin farkında olması, kentsel biçimin oluşmasına yol açar. Bu nedenle, ulaşım yatırımlarının kentsel gelişimi tetikleyen etkisi, donanımın kendisinden ziyade erişilebilirliğin artmasıdır (Cervero 2001). Kopenhag, şehir planlamasının AUS ile bütünleştirilmesini sağlayan bir örnektir. Toplu taşıma istasyonlarının yakınındaki konut politikaları, yerleşimlerin planlanmasıyla birlikte hareket planlamasının eş zamanlı yürütüldüğünü gösterir. Kopenhag'ın şehir planlamacıları, kentsel yoğunluğu ve hareketliliği dengeleyerek AUS altyapısının daha etkin işlemesi için stratejiler geliştirmiştir. Planlamacılar, dijitalleşmiş ulaşım sistemlerinin kente olan etkilerini hem mekânsal hem de sosyo-ekonomik düzeyde değerlendirerek, AUS uygulamalarının adil, erişilebilir ve sürdürülebilir olmasına katkı sağlamaktadır.

Bilişim ve yazılım mühendisliği

Bilişim kelimesi, kökeni Almanca “Informatik” sözcüğüne dayanan ve başlangıçta otomatik bilgi işleme anlamına gelen bir terimken, zamanla daha geniş ve kapsamlı bir anlam kazanmıştır. Günümüzde bilişimin bu evrilen tanımı, artık bilgi ve bilgi teknolojileri alanına katkı sağlayan çeşitli disiplinlerin çeşitliliğine bağlanmaktadır. Aydın'a göre bilişim; bilginin ve iletişim yapısal özelliklerini, bilginin aktarımı, düzenlenmesi, saklanması, yeniden erişilmesi, değerlendirilmesi ve dağıtımı için gerekli kuram ve yöntemleri kapsar. Bunun yanı sıra, bilgiyi kaynağından alıp kullanıcıya ulaştıran; genel sistem bilimi, sibernetik, otomasyon

gibi alanlara dayanan ve insanın çalışma ortamında yerinde ve zamanında kullanılan teknolojileri esas alan bilgi sistemlerini, bu sistemlerin ağ yapılarını, işlevlerini, süreçlerini ve etkinliklerini içeren kapsamlı bir alandır (Aydın 1984). Birçok üniversite ve bilişim fakültesi tarafından benimsenen tanımlardan biri, Edinburgh Üniversitesi'ne aittir ve bilişimi şöyle tanımlar: “Doğal ve yapay hesaplama sistemlerinin bilgi depolama, işleme ve iletme süreçleriyle birlikte, bu sistemlerin yapısını, davranışını ve etkileşimlerini inceleyen bir bilim dalıdır.” Bu bağlamda bilişim; bilgi bilimi, bilgi işleme süreçleri ve bilgi sistemlerinin mühendisliğini bir arada kapsayan disiplinler arası bir alandır (Subrahmanian 2008). Mühendislik ve bilgisayar bilimi tarihsel olarak, zaman içinde çözülen mühendislik problemlerinin giderek daha karmaşık hale geldiğini göstermektedir. İlk bilgisayar destekli tasarım (CAD) sistemleri, temel olarak matematik ve bilgisayar bilimi kullanılarak geliştirilen geometri odaklı araçlardı. Bu dönemi, bilişsel bilim kuramları ve mantık çerçevesinde geliştirilen model tabanlı yapay zekâ uygulamalarının mühendislik alanına entegrasyonu izledi. Son yıllarda ise, sosyal bilimler, etnografi, iş sosyolojisi ve felsefe gibi disiplinlerden gelen katkılarla iş birliği, temsil ve kolektif bilgi edinimi gibi yeni modellemeler mühendislik bilişiminde yer bulmaya başlamıştır. Bu tarihsel gelişim çizgisi doğrultusunda, mühendislik bilişimi şu şekilde tanımlanabilir: bilgi teknolojileri ve bilimini mühendislik uygulamalarına entegre eden; bilgi yapılarını tasarlayarak bilgi kullanımını kolaylaştıran; ve aynı zamanda sosyal, ekonomik ve çevresel hedeflere ulaşmayı amaçlayan tasarlanmış ürünlerin analizini kapsayan çok disiplinli bir alandır. Mühendislik bilişimi, yalnızca mühendislik uygulamalarını destekleyen yazılım ve donanım sistemlerinin geliştirilmesinden ibaret olmayan, daha derin ve düşünsel bir uğraştır; bu alan, kolektif entelektüel üretimin doğasına dair disiplinler arası bir anlayışı yansıtır. Bir iş topluluğu içerisinde bilginin nasıl saklandığı ve geri çağrıldığı süreçlerde dilin kullanımı ve bunun sonuçları üzerine farkındalık geliştirmek, bilgi mühendisliği kapsamında yürütülen her çalışmanın temel bir bileşeni olarak değerlendirilmelidir (Subrahmanian 2008). İleri Mühendislik Bilgisi disiplini, mühendislerin günümüzde karşılaştıkları artan sistem karmaşıklığını yönetebilmelerine olan gereksinim doğrultusunda şekillenmiştir. Bu alan, mühendislerin karmaşık sistemlerin işleyişini anlamalarını ve kontrol etmelerini mümkün kılacak gelişmiş simülasyon araçları ve veri analizi teknikleri sunmayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda, mühendislerin farklı disiplinlerden gelen uzmanlarla birlikte yürüttüğü çok paydaşlı ve işbirliğine dayalı projelerde daha etkin iletişim kurmalarını ve işbirliğini artırmalarını desteklemeye yönelik yöntemler geliştirmeyi de hedeflemektedir. Bu sayede, karmaşık mühendislik sorunlarının çözümünde daha bütüncül ve verimli yaklaşımlar mümkün hale gelmektedir (Hartmann ve Trappey 2020). Son 10-15 yıl içinde, mühendislik ürünleri ve hizmetlerinde bilişimin rolü kayda değer şekilde artmıştır. Bu gelişimin büyük bir

kısmı, beklendiği gibi, belirli bir plan dahilinde değil, organik bir şekilde ilerlemiştir. Bilgisayar bilimi ve programlama alanlarında geliştirilen birçok teknik, zamanla mühendislik uygulamalarında da kullanılmaya başlanmıştır. Erken dönemlerde, mühendislikte hesaplama uygulamaları, bilgisayarların sınırlı işlem gücü nedeniyle kısıtlıydı. Ancak, bilgi işlem kapasitelerinin artması ve telekomünikasyon teknolojilerinin gelişimi, daha önce hayal bile edilemeyen düzeyde bilgi paylaşımı ve bağlantı olanaklarını ortaya çıkarmıştır. Bu teknolojik birleşim, coğrafi mesafelerin etkisini azaltarak küresel ölçekte tasarım, üretim ve tedarik zincirlerinin gelişmesine olanak tanımıştır. Buna rağmen, bu tür küresel tedarik ağlarının yönetimi, bilgi paylaşımı ve koordinasyon alanlarında karşılaşılan çeşitli uyumsuzluklar nedeniyle hâlâ büyük zorluklar barındırmaktadır (Subrahmanian 2008).

AUS'un hayata geçmesinde bilişim ve yazılım mühendisliği, teknolojik altyapının temel sağlayıcısı konumundadır. Bu disiplin, akıllı sistemlerin beyni sayılabilecek yazılımları, algoritmaları ve veri işleme modellerini geliştirir. Trafik kameralarından gelen görüntülerin yapay zekâ ile analiz edilmesi, sürücü davranışlarının makine öğrenmesi algoritmalarıyla modellenmesi veya toplu taşıma sistemlerinin büyük veri ile optimizasyonu, yazılım mühendislerinin uzmanlık alanlarıdır. Ayrıca, akıllı telefon uygulamaları, ulaşım kartlarının entegre dijital platformları ve çevrimiçi biletleme sistemleri, kullanıcı etkileşimini sağlayan ara yüzleri oluşturur. Bilişim altyapısı sayesinde ulaşım sistemleri hem daha hızlı veri üretir hem de bu verileri anlamlı bilgiye dönüştürerek karar destek sistemlerine sunar. Özellikle bulut tabanlı sistemler, IoT cihazları ve 5G bağlantı teknolojileri, AUS'un sürdürülebilirliği açısından kilit rol oynar. Ayrıca bilişim ve yazılım mühendisliği, AUS'un dijital altyapısını geliştirerek akıllı şehir hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynar. Güney Kore'nin başkenti Seul, bu alandaki lider şehirlerden biridir. Şehir, TOPIS (Seoul Transport Operation and Information Service) adlı ulaşım kontrol merkezi sayesinde toplu taşıma, özel araç trafiği ve acil durum yönetimini tek bir platformdan izlemektedir. Yazılım mühendisleri tarafından geliştirilen büyük veri algoritmaları, otobüslerin güzergâh optimizasyonunu yaparken; kullanıcılar için tasarlanan mobil uygulamalar, ulaşımında gerçek zamanlı bilgi paylaşımı sağlar. Ayrıca, yapay zekâ destekli trafik ışıkları ve sürücü davranış analiz sistemleri, şehirde trafik güvenliğini artırmaktadır.

Sosyoteknik sistemler olarak AUS

AUS, yalnızca teknik çözümlerden ibaret olmayan, aynı zamanda birçok ülkede siyasi ve ekonomik etkiler doğuran sosyo-teknik girişimler olarak gelişmektedir. Bu nedenle, AUS'un etkin biçimde planlanması ve uygulanması, kapsamlı bir yönetim süreci gerektirmektedir. Yönetim ve Bilgi Sistemleri alanındaki güncel araştırmalar, AUS kapsamında kontrol mekanizmaları oluşturmak ve standartlaştırmayı sağlamak üzere düzenleyici çerçevelerin

geliştirilmesine yönelik önemli çabaların sürdüğünü göstermektedir (Vitunskaitė vd 2019). Bunun yanı sıra, açık veri yönetimi politikaları, veri gizliliği ve güvenliği mekanizmaları ile sistem ve hizmet entegrasyonunu kapsayan çalışmalar da AUS alanında öne çıkmaktadır (Pereira vd 2017; Ismagilova vd 2022; Schulz vd 2023). Daha geniş bir sosyo-teknik çerçevede, akıllı hareketliliğin yönetimi ve sürdürülebilir geçişlerin yönetiminde karşılaşılan çok katmanlı dinamikler kapsamlı şekilde ele alınmaktadır (Lin vd 2017; Becker vd 2021; Zhang vd 2023). Sosyo-teknik bir bakış açısıyla, AUS'un değer ortaklığının yalnızca belirli bir iş koluna veya organizasyona değil, tüm hizmet sistemine odaklanması gerektiği ileri sürülmektedir. Bu yaklaşım, AUS içindeki aktörler arasında gerçekleşen kaynak değişimlerinin yalnızca ekonomik ilişkilerle sınırlı olmadığını, aynı zamanda hizmet sistemlerindeki bağlantılılık üzerinden değerlendirilmesi gerektiğini vurgular (Breidbach vd 2013; Breidbach ve Maglio 2016). Bu doğrultuda, AUS hizmet sistemleri yalnızca teknik süreçlerden ibaret olmayıp, aynı zamanda çeşitli eylemleri, iş süreçlerini, insan ilişkilerini ve bireysel algıları da içeren karmaşık yapılar olarak ele alınmalıdır. Mevcut literatürde bu çok yönlü unsurların, değer sürdürülebilirliğini sağlamak adına nasıl birlikte çalıştığına dair kapsamlı bir tartışma eksikliği göze çarpmaktadır. Bu nedenle, AUS girişimlerinin geliştirilmesine yönelik temel değer dinamiklerinin daha derinlemesine ele alınmasının, literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, farklı paydaşların sürece dâhil edildiği ve tüm AUS ekosistemini kapsayan bir hizmet sistemi yaklaşımıyla bu katkının daha bütüncül bir hale getirilebileceği savunulmaktadır (Zhang vd 2023).

Ulaşım sistemi, nesneler, bilgi, pazar yapıları, düzenlemeler, kültürel anlamlar, altyapı, bakım ve tedarik ağları gibi birbirine bağlı birçok ögeyi barındıran karmaşık bir sosyo-teknik sistemdir. Bu sistemlerin bütünsel yapısı, geleceğe dönük sistem düzeyinde düşünmeyi, stratejik planlamayı ve karar alma süreçlerini yeniden yapılandıracak yeni yöntemlerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Ancak, ulaşım alanında belirsizliği azaltabilecek ve gelecekteki fırsat ve tehditleri öngörerek stratejik planlama süreçlerine entegre edilebilecek sosyo-teknik öngörü yaklaşımlarının yetersiz kaldığı görülmektedir. Bugüne kadar, ulaşım sistemlerinin geleceğine yönelik çalışmalar çoğunlukla geçmiş eğilimlerin analizi ve bu eğilimlerin geleceğe yansıtılması üzerine kurulmuştur. Bu doğrultuda, sektörde yaygın olarak kullanılan öngörü yöntemlerinden biri de ulaştırma hacmi tahminidir; bu yöntem, gelecekteki taşımacılık ihtiyaçlarını planlamak adına önemli bir araç olarak görülmektedir. Bir ulaşım sistemi, çeşitli teknolojiler ve çözümler aracılığıyla ulaşım hizmetlerinin sunulduğu kapsamlı bir sosyo-teknik yapı olarak tanımlanabilir. Bu sistem; teknolojik, sosyal, ekonomik, politik, hukuki ve çevresel boyutların tamamını kapsar ve bu boyutların karşılıklı etkileşimi, sistemin işleyişinde ortaya çıkan karmaşıklığın temel nedenlerinden biridir. Ulaşım sisteminin temel

bileşenleri üç ana grupta toplanabilir: ulaşım altyapısı, taşıtlar ve kullanıcılar. Buna ek olarak, sistemin işleyişini yönlendiren ve düzenleyen bir yönetsel bileşen de önemli bir tamamlayıcı olarak değerlendirilmelidir. Bu dört bileşenin her biri, söz konusu altı boyutta faaliyet gösterir ve sistemin diğer bileşenleri üzerinde doğrudan veya dolaylı etkilere sahiptir (Auvinen ve Tuominen 2014). Sonuç olarak kullanıcı davranışları, dijital etik, kamu-özel iş birlikleri, erişim adaleti, veri mahremiyeti, kullanıcı rızası gibi sosyal boyutlar göz önünde bulundurularak planlanan AUS projeleri, yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda kapsayıcı ve etik temellere dayanan bir kentsel dönüşüm sürecine dönüşebilir. Amsterdam, bu bakış açısını kent planlamasına ve AUS uygulamalarına entegre eden şehirlerden biridir. Şehir, dijital katılım platformlarıyla vatandaşların ulaşım sistemleri hakkında görüş bildirmesini teşvik eder. Örneğin, Smart Mobility Amsterdam girişimi, farklı sosyo-ekonomik grupların ihtiyaçlarına göre tasarlanmış ulaşım çözümleri sunar. Erişilebilirlik, veri gizliliği ve eşitlik ilkeleri ön plandadır. Ayrıca, şehirde AUS projeleri için yapılan etki değerlendirmeleri sadece teknik verilerle değil, sosyal etkileşim, memnuniyet ve katılım düzeyleriyle de ölçülmektedir.

MATERYAL VE METOT

Araştırma Yöntemi

Nitel araştırma yaklaşımı

Nitel araştırma kavramı, genellikle açık uçlu, sayısal olmayan verilerin (örneğin röportajlar, gözlemler, belgelerden elde edilen metinler veya görsel materyallerin) toplanmasına ve analizine odaklanan araştırma yaklaşımlarını ve prosedürlerini tanımlamak için kullanılmaktadır (Denzin 2008). Bu yöntemler, bireylerin inançlarını, deneyimlerini, tutumlarını, davranışlarını ve sosyal etkileşimlerini anlamaya yönelik çalışmalarda sıkça tercih edilir. Nitel araştırma yöntemleri, özellikle öznel anlamların ve belirli bağlamsal yapıların keşfedilmesine olanak tanınması açısından oldukça elverişlidir (Dana ve Dumez 2015; Silverman 2024). Nitel araştırma alanında en yaygın kullanılan yaklaşımlardan biri ve özellikle geleneksel ulaştırma araştırmalarında en fazla kabul göreni, temelde bilimsel düşünme biçimini ve araştırma yapma yöntemini yansıtan post-pozitivist yaklaşımdır. Bu yaklaşım, araştırma sürecinde nesnelliği hedeflemekle birlikte, tüm araştırmaların belirli düzeyde öznel öğeler içerdiğini de kabul eder (Corcoran 2019). Genellikle mantıklı ve indirgemeci bir sırayla yapılandırılan bu yaklaşım, geçerlilik, araştırma titizliği ve veri kaynaklarının karşılaştırılmasına dayanan üçgenleme (triangulation) gibi ilkelere özel önem atfeder (Creswell ve Miller 2000). Araştırmacı farklı veri kaynaklarını (örneğin görüşme yapılan katılımcılar, gözlemlenen olaylar veya resmi belgeler) kullanarak, çoklu gerçeklikleri ortaya koyar ve bu kaynakları belirlenen araştırma sorularına yanıt verecek temalar doğrultusunda analiz eder (Kent 2022). Nitel araştırmalar, bireylerin yaşadıkları deneyimlere yükledikleri anlamları keşfetmeyi ve anlamayı amaçlar (Creswell ve Poth 2016). Bu tür araştırmalar, genellikle doğrudan gözlemlenemeyen anlam katmanlarına ışık tutmayı hedefler ve toplumsal yaşamın karmaşık doğasını incelemeye yöneliktir. İndüktif bir yaklaşım benimseyen nitel yöntemler, nicel araştırmalarda sıkça sorulan “ne kadar” veya “kaç tane” soruları yerine “ne”, “neden” ve “nasıl” sorularına odaklanarak farklı bir araştırma perspektifi sunar. Temel amacı, bireylerin yaşam deneyimlerini derinlemesine incelemek olan nitel araştırma, olguları tanımlama, keşfetme, anlama ve yorumlama süreçlerini ön plana çıkarır ve bu süreçte ölçme, sayma ya da tahmin etme gibi nicel yöntemlerin önceliklerinden bilinçli biçimde uzak durur (Finlay 2011). Nitel araştırma yaklaşımının ayırt edici özelliği, olgular arasındaki karmaşık ilişkilerin deneyimsel olarak kavranmasına ve olayların doğrudan yorumlanmasına dayanmasıdır.

Araştırmanın odağı hem öngörülen hem de öngörülemeyen ilişkilerin örüntülerini anlamaya yöneliktir (Braun ve Clarke 2013). Bu yaklaşım, olayların içsel dinamiklerini ve aralarındaki bağlantıları derinlemesine incelemeyi mümkün kılar (Tuffour 2017). Nitel araştırma, katılımcıların dünyayı kendi bakış açılarıyla nasıl deneyimlediklerini doğrudan onlardan anlamayı hedefler. Yaklaşımın yorumlayıcı niteliği sayesinde, araştırmacı katılımcıların doğal ortamlarında kendi hikâyelerini anlatmalarını sağlayarak, merak, empati, açık fikirlilik ve esneklikle onların içgörülerine ulaşır. Böylece, bireylerin deneyimleri ve davranışlarının sosyal, kültürel, ekonomik ve tarihsel bağlamda nasıl şekillendiği anlaşılabilir (Finlay 2011). Nitel araştırma aynı zamanda, daha az bilinen ya da yeterince anlaşılmamış olguları keşfetmek ve beklenmedik bilgileri ortaya çıkarmak açısından da etkilidir. Özellikle, karmaşık süreçlerin derinlemesine incelenmesi ve insan deneyimlerinin çok boyutlu yapısının aydınlatılması gerektiğinde bu yaklaşım oldukça uygun bir yöntem sunar (Tuffour 2017). Nitel araştırmalarda titizliğin sağlanmasına yönelik birçok kriter, “yoğun tanımlar” kavramı üzerine kuruludur (Dowling 2000). Bu, pratikte bir olguyu yalnızca betimlemekle kalmayıp, aynı zamanda bu olgunun ortaya çıktığı çok katmanlı bağlamları da göz önünde bulundurarak ayrıntılara dikkat etmeyi gerektirir. Bir olguyu “yoğun bir biçimde tanımlamak”, yalnızca yüzeydeki davranışları rapor etmeyi değil, aynı zamanda o davranışları şekillendiren koşulları, anlamları, niyetleri, stratejileri ve motivasyonları da kapsamlı şekilde açıklamayı ifade eder. Örneğin, bir bireyin aracıyla yaptığı bir yolculuğun derinlemesine tanımı, sadece başlangıç ve varış noktalarını ya da güzergâhı değil; aynı zamanda sürüş öncesi ve sonrası olayları, sürücünün kararlarını etkileyen bilişsel ve duygusal durumlarını, alışkanlıklarını, yaşam öyküsünün etkilerini, sosyal çevresinden gelen etkileri ve sürüş sürecindeki duygusal deneyimlerini de içerir. Bu tür ayrıntılı çözümlemeler, nitel verilerin çok boyutlu analizine olanak sağlayarak araştırmanın bütüncül niteliğini güçlendirir (Kent 2022). Araştırma bağlamında üçgenleme, aynı olguyu incelemek amacıyla birden fazla yöntemsel kaynak ya da yaklaşımın bir arada kullanılmasını ifade eder (Tisdell vd 2025). Bu kavram, kökenini navigasyon alanından alır; burada belirli bir konumu kesin olarak saptamak için birden fazla gözlem noktasına başvurulur. Araştırmalarda üçgenleme, çeşitli teorik çerçevelerin birlikte değerlendirilmesi, farklı veri toplama tekniklerinin bir arada kullanılması ya da farklı disiplinlerin bakış açılarının araştırma sürecine entegre edilmesi yoluyla uygulanabilir (Denzin 2017). Bu yaklaşım, elde edilen bulguların geçerliliğini ve güvenilirliğini artırmayı amaçlar (Kent 2022). Ayrıca nitel yaklaşımlar genel olarak tanımlayıcı ve yorumlayıcı çalışmalar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Tanımlayıcı çalışmalar, araştırma sonuçlarında yorumlama veya kavram geliştirme yapmadan veri sunmayı amaçlar; buna örnek olarak etnografiler verilebilir. Yorumlayıcı çalışmalar ise, mevcut teorileri veya kavramları açıklamak için araştırma verilerini kullanır (Analitik İndüksiyon) ya da

verilerin analizinden yeni teoriler geliştirir, hipotez oluşturmada bunları türetir (Temellendirilmiş Teori) (Amezcu ve Gálvez Toro 2002). Seyahat davranışlarını incelemek amacıyla nitel yaklaşımlara dayanan analiz yöntemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yöntemler, karmaşık konuları ele alabilecek esnek ve açıklayıcı bir yapıya sahiptir; özellikle bireylerin günlük yaşam içerisindeki etkileşimlerini, somut bağlamlar dikkate alınarak değerlendirmek için oldukça uygundur (Flick 2022). Nitel araştırmacıların öznel yaklaşımları zaman zaman eleştirilse de bu öznelik araştırma sürecinin doğal bir parçası olarak kabul edilmekte ve elde edilen verilerin derinliğini ve zenginliğini artırmaktadır (Madill vd 2000; Madill ve Gough 2016). Seyahat davranışlarını inceleyen nitel yöntemler, bireylerin seyahatle ilgili öznel deneyimlerine odaklanırken, nicel yaklaşımlar daha çok seyahatlerin sıklığı ve dağılımını anlamaya yöneliktir. Nitel yöntemler, mikro düzeydeki sorulara yanıt aramak için özellikle uygunken, nicel yöntemler makro düzeydeki soruları yanıtlamakta etkilidir. Her iki yaklaşım da ya bağımsız teknikler olarak ya da daha geniş ve disiplinlerarası bir çalışmanın farklı bileşenleri olarak kullanılabilir (Grosvenor 2000). Nitel yöntemler, nicel analizlerin ortaya koyduğu ilişkileri derinlemesine açıklamak için yararlanılabilir ve anket tasarımıyla önce en uygun soru ifadelerinin belirlenmesinde rehberlik edebilir. Ayrıca, nicel anketlere eklenen açık uçlu sorular aracılığıyla belirli yanıtların detaylı incelenmesinde nitel yöntemler fayda sağlar. Bu nedenle, her iki metodolojinin birbirini takip ederek veya eş zamanlı olarak kullanılması yaygın bir uygulamadır. Sonuç olarak, her iki yöntem birlikte kullanılabilir de kendi özerkliklerini korurlar (Grosvenor 2000; Niglas 2000; Hesse-Biber 2010). Ulaşım sorunları, doğası gereği karmaşık ve kolay çözülemeyen niteliktedir. Bu yoğun karmaşıklığın temelinde, seyahat davranışının hem alışkanlıklar hem de duygular gibi psikososyal etmenlerle şekillenmesi, hem de bu davranışların fiziksel çevre koşulları ve tercih edilen ulaşım türleriyle etkileşim içinde tanımlanması yatmaktadır. Bu ikili yapının (bireysel psikoloji ve fiziksel çevre) birlikte ele alınabilmesi için bu iki alan arasında bir köprüye ihtiyaç duyulmaktadır. Nitel araştırma yöntemleri, bu köprünün kurulmasına önemli katkılar sağlayabilecek potansiyele sahiptir (Kent 2022). Nitel yaklaşım, bireyin içsel değişimlerini veya bu değişimlerin görünür ve ölçülebilir sonuçlara dönüşmesine neden olan karar alma süreçlerini ortaya koyar (Patton 1990). Bu bağlamda niteliksel yaklaşımlar, psikoloji ve sosyoloji gibi disiplinlerde köklü analiz yöntemleri olarak yer almaktadır. Günümüzde ise Ulaşım Planlaması ve Mühendisliği alanlarında, özellikle yol güvenliği ve toplu taşıma hizmet kalitesi üzerine yapılan çalışmalarda giderek daha yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Ayrıca, Grosvenor (2000) ile Clifton ve Handy (2003)'nin yaptıkları incelemelerin ardından, pek çok araştırma seyahat davranışı alanında nitel yöntemleri tercih etmiştir (Mars vd 2016). Ulaşım araştırmalarına nitel yöntemlerin dâhil edilmesinin önemli gerekçesi, söz konusu yöntemlerin mevcut veri kaynakları ve analiz

yeteneklerinin sınırlarıyla şekillenen modelleme tekniklerinin bıraktığı boşlukları doldurma potansiyelidir. Niteliksel araştırma, çoğu zaman ölçülemeyen, sayısallaştırılamayan ya da standart modellere sığdıramayan unsurların (yani çağdaş yaşamın karmaşık ve düzensiz yönlerinin) anlaşılmasına olanak tanır. Bu sayede, ulaştırma sistemlerinin daha insani ve bütüncül bir şekilde ele alınması mümkün hâle gelir. Ancak bazı durumlarda ulaşım üzerine yapılan araştırmalarda niteliksel teknikler kullanılmaz. Ulaşım araştırmalarında niteliksel tekniklerin dâhil edilmesinin temel gerekçelerinden biri, bu yaklaşımların genelleme amacı gütmemesidir. Nitel araştırmalar, ortaya koydukları bulguların öznel nitelikte olduğunu açıkça kabul eder ve bu nedenle geniş tanımlı nüfus gruplarını temsil etme iddiası taşımazlar. Bunun yerine, büyük ölçekli ve karmaşık sorunlara doğrudan çözümler sunmak yerine, uygulanabilir çözümleri oluşturan bileşenleri daha derinlemesine anlamayı amaçlar. Bu derinlemesine anlayış, sonrasında farklı bağlamlarda test edilerek çeşitli uygulamalara temel oluşturabilir (Kent 2022). Son yıllarda, bazı ulaşım alanındaki akademisyenler nitel araştırmanın ulaşım çalışmalarındaki önemini vurgulamışlardır. Nitel araştırma, özellikle keşif ve buluş odaklı yaklaşımlarda bilgi derinliğini artırmak için (Grosvenor 2000) ve aktörlerin perspektifinden sosyal süreçleri anlamak için oldukça uygundur (Gaber 2020). Ulaşımında nitel araştırma savunucuları, bir konu hakkında tüm ilgili bilgilerin nicel değerlendirmelerin ötesinde olduğunu ve üçgenleme yöntemiyle (birden fazla yöntem ve veri kaynağının kullanımı) karmaşık olguların daha iyi anlaşılabilceğini ileri sürmektedirler (Kent 2022). Nicel araştırmalar genellikle nesnellik üzerine odaklanırken, araştırmacılar anket gibi araçların tasarımcılarının bakış açıları ve amaçlarını yansıttığını belirtmişlerdir (Clifton ve Handy 2003). Bu durum hem “soru çerçevesini” hem de “cevap çerçevesini” sınırlandırmaktadır (Poulenez-Donovan ve Ulberg 1994). Ayrıca veri toplama yöntemleri, temsil edilmeyen grupların katılımını da etkileyebilmekte; örneğin, seyahat anketleri ve seyahat günlüğü gibi geleneksel araçlar, düşük gelirli, etnik azınlıklar, İngilizce bilmeyenler, gençler ve diğer bazı grupların deneyimlerini yansıtmakta sıklıkla yetersiz kalmaktadır (Clifton ve Handy 2003; Lubitow vd 2021; Linovski ve Baker 2023). Nitel yöntemler, özellikle ırk, cinsiyet ve engellilik konularında, birçok nicel yöntemde göz ardı edilen bakış açılarını ortaya koyma imkânı sunar (Karner ve Niemeier 2013; Barajas 2021). Bir araştırmacı, engellilerin seyahat deneyimlerini anlamaya yönelik çalışmalarında, nüfus düzeyindeki ölçümlerin sınırlı yarar sağladığını belirterek, “Engellilik deneyiminde o kadar fazla çeşitlilik var ki, gerçekten ne olup bittiğini anlamak istiyorsanız, doğrudan insanlarla iletişim kurmanız gerekir” ifadesini kullanmıştır. Alanda geniş demografik temsil eksikliği, ulaşım kararlarından orantısız şekilde etkilenen gruplarla doğrudan etkileşimin önemini artırmaktadır (Lowe 2021; Barajas 2021). Bazı mülakatçılar, ırk ve eşitsizlik meselelerini araştırmanın ve farklı toplulukların deneyimlerini anlamının “esasen buna özgü

bir nitel yaklaşım gerektirdiğini” vurgulamıştır. Diğer yöntemler marjinal grupları inceleyebilse de araştırmacılar, deneyimlerin karmaşıklığını kavrayabilmek ve planlama ile politika süreçlerine daha etkin katkı sağlamak için nitel araştırmanın zorunlu olduğunu belirtmişlerdir. Nitel araştırmaların dışlanması, politika yapımında kullanılan konu ve bakış açılarında boşluklar oluşturmakta ve bu durum mesleki uygulamaları da olumsuz etkilemektedir. Nicel analizlere öncelik verilmesi, ulaşım planlama konularının karmaşıklığının nadiren tam olarak ele alınmasına yol açar. Buna karşın, nitel yöntemler, araştırmacıların karmaşıklığı ve bağlamı nicel yöntemlerin sağlayamadığı şekilde kavramasına olanak tanır. İnsan davranışını yalnızca “sayısal ölçülere” indirgemek, “davranışlarımızı şekillendiren mekanizmalar hakkında pek çok önemli içgörünün sadece sayılara bakıldığında kaybolması” anlamına gelir. Bazı toplulukların deneyimlerinin nicel veri toplama yöntemleriyle tam olarak temsil edilmemesi gibi, bu durum politikanın nasıl oluşturulduğuna dair de önemli çıkarımlara işaret etmektedir (Klein vd 2025). Bu çalışma, nitel araştırma yöntemine dayanmaktadır. AUS gibi çok katmanlı, sosyo-teknik bir yapıya sahip sistemin politika düzeyinde incelenmesi, nicel analizlerin ötesine geçen, yorumlayıcı bir çerçeveyi gerektirmektedir. Bu noktada, AUS politikalarının şekilleniş biçimi, farklı ülkelerdeki uygulama örnekleri, stratejik belgeler ve politika eğilimleri nitel analiz kapsamında değerlendirilmiştir.

Durum çalışması deseni

Nitel araştırma yönteminin bir deseni olan ve bazı kaynaklarda "örnek olay deseni" olarak da adlandırılan durum çalışmasının kökeni, antropoloji, sosyoloji ve psikoloji gibi sosyal bilimlerin farklı alanlarında yapılan erken dönem çalışmalara dayanmaktadır (Ekiz 2003; Yıldırım ve Simsek 2008; Merriam 2015; Creswell 2016; Tekindal 2021). Nitel araştırma yaklaşımının giderek yaygınlaşmasıyla birlikte durum çalışması; hukuk, eğitim, sosyoloji, işletme, psikoloji ve tıp gibi çeşitli disiplinlerde sıkça kullanılan temel araştırma desenlerinden biri haline gelmiştir. Yin, durum çalışmasını bir olgunun kendi doğal bağlamı içinde derinlemesine incelenmesi, analiz edilmesi ve tanımlanması süreci olarak tanımlar (Yin 2009; Aberdeen 2013). Patton (2014) ve Stake (2005) ise durum çalışmasını, “neyin çalışılacağına” yani araştırma nesnesine odaklanan bir yaklaşım olarak görmektedir. Ekiz’e göre, durum çalışması belirli bir konunun sadece kendi özellikleriyle değil, aynı zamanda onu etkileyen çeşitli faktörlerle birlikte bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasını amaçlar (Ekiz 2003). Bu kapsamlı yapısı nedeniyle, Punch (2005) durum çalışmasını yalnızca bir yöntem değil, aynı zamanda bir araştırma stratejisi olarak değerlendirmektedir. Durum çalışması, belirli bir sistemin işleyişine ve işleyiş sürecine dair sistematik bilgi toplamak amacıyla çoklu veri toplama yöntemlerinin kullanıldığı, bu sistemin derinlemesine incelenmesini içeren

metodolojik bir yaklaşımdır (Chmiliar 2010). Merriam bu yaklaşımı, sınırlı bir sistemin kapsamlı biçimde betimlenmesi ve analiz edilmesi olarak tanımlamaktadır (Merriam 2015). Benzer şekilde Creswell, durum çalışmasını araştırmacının zamanla sınırlı bir veya birden fazla durumu gözlem, görüşme, görsel-işitsel materyaller, belgeler ve raporlar gibi çeşitli veri toplama araçlarıyla ayrıntılı biçimde incelediği, bu durumlara ve ilişkili temalara dair betimlemeler sunduğu nitel bir araştırma stratejisi olarak ifade eder (Creswell ve Poth 2016). Durum çalışması, belirli bir olayın ya da olgunun uzunlamasına ve derinlemesine incelendiği, gerçek bağlamında sistematik veri toplama süreciyle yürütülen bir yöntemdir. Bu yaklaşım sayesinde olayların neden belirli bir şekilde gerçekleştiği analiz edilirken, gelecekteki araştırmaların hangi yönleri odaklanabileceği de belirlenebilir (Davey 1990). Yin ise durum çalışmasını, özellikle "nasıl" ve "niçin" sorularının araştırıldığı, araştırmacının olaylar üzerinde sınırlı ya da hiçbir denetiminin bulunmadığı, olayın ya da olgunun doğal bağlamında ele alındığı ve olayla gerçek yaşam arasında net bir ayrımın yapılamadığı durumlarda tercih edilen bir araştırma yöntemi olarak tanımlar (Yin 2005). Hancock ve Algozzine (2006) da olayların kendi doğal koşullarında, zaman ve mekân sınırları içerisinde, çeşitli veri toplama araçlarıyla zengin bir biçimde betimlenmesini ve derinlemesine analizini esas alan çalışmaları durum çalışması kapsamında değerlendirmektedir. Dawidowicz ise, durum çalışmasını; program değerlendirmesinden bireylerin davranışlarını etkileyen faktörlerin incelenmesine, belirli koşullarda bireylerin perspektiflerinden ihtiyaçlarının anlaşılmasına kadar pek çok farklı amaçla kullanılabilecek esnek bir araştırma deseni olarak tanımlar (Dawidowicz 2011). Bu esnek yapısı sayesinde, araştırmalarda sıklıkla karşılaşılan “Nasıl?”, “Niçin?”, “Ne zaman?” ve “Kim?” gibi açıklayıcı nitelikteki sorulara yanıt bulmak mümkün hale gelir (Cohen vd 2002; Dawidowicz 2011). Durum çalışmaları, deneysel araştırmaların aksine karşılaştırma yapmaktan ziyade keşfetmeye odaklanan bir yaklaşımdır. Bu yöntemde araştırmacının amacı, belirli bir hipotezi test etmek ya da değişkenler arasındaki ilişkileri ispatlamak değildir; bunun yerine, olayların ve davranışların kategorilerini tanımlamak ve anlamaya çalışmaktır (Hancock ve Algozzine 2006). Durum çalışması, özellikle gerçek yaşamda deneysel veya tarama yöntemleriyle açıklanamayacak kadar çok boyutlu ve müdahaleye açık olan olguları ele almak için uygundur. Bu tür çalışmalar, olaylar arasında varsayılan nedensel bağlantıların açıklanması, tanımlanması ve keşfedilmesinde önemli bir rol oynar. Yin (2005)’e göre de bu özelliği, durum çalışmalarını diğer araştırma yöntemlerinden ayıran temel farklardan biridir.

Durum çalışması deseni, gerçek yaşamda karşılaşılan bir olguyu kapsamlı biçimde ve bulunduğu çevresel bağlam içinde bilimsel olarak incelemeyi amaçlayan bir araştırma yöntemidir. Bu yöntemde ele alınan durum; bir birey, bir topluluk, bir kurum, belirli bir olay, belirgin bir sorun ya da dikkat çeken bir anomali olabilir (Stake 2005; Yin 2005; Burawoy

2009). Durum çalışması deseni, genellikle sınırları belirlenmiş ve tanımlanabilir bir duruma ait konunun derinlemesine anlaşılmasını sağlamak amacıyla tercih edilir. Bu desen, söz konusu durumun barındırdığı çok yönlü ilişkileri, dinamikleri ve etkileşimleri kapsamlı biçimde inceleyerek, ele alınan olgunun karmaşıklığını açıklamaya yardımcı olur. Bu sayede, araştırmacı hem mevcut bağlamı dikkate alır hem de olgunun kendi iç işleyişini çok boyutlu bir yaklaşımla analiz etme fırsatı bulur (Çapar ve Ceylan 2022). Durum çalışması deseni, sınırları belirlenmiş tekil ya da çoklu durumlara, olaylara, süreçlere, programlara veya bireylere dair derinlemesine ve ayrıntılı bilgi sunmayı hedefler. Bu desen, yalnızca belirli bir bağlamda ayrıntılı analiz yapmakla kalmaz; aynı zamanda bir hipotezin test edilmesi ya da genelleme yapılması amacıyla da kullanılabilir. Keşfedici, betimleyici ya da açıklayıcı biçimlerde yapılandırılabilen durum çalışması deseni hem kuram geliştirme hem de mevcut kuramların test edilmesi için uygun bir araştırma yöntemi olarak kabul edilmektedir (Tasci vd 2020). Bu esneklik, araştırmacının hem anlamaya hem de açıklamaya yönelik farklı araştırma hedeflerine ulaşmasına olanak tanır. Durum çalışması deseni, belirli bir duruma ilişkin olarak “ne oldu?”, “neler yaşandı?” ve “yaşananlar nasıl bir etki yarattı?” gibi sorulara yanıt ararken, bu süreci çoklu veri kaynaklarından bilgi toplayarak gerçekleştirmeyi amaçlar. Bu yaklaşım, ele alınan konunun derinlemesine anlaşılmasını sağlamak için belgeler, raporlar, gözlemler, görüşmeler ve diğer nitel veri kaynaklarını bütüncül bir şekilde kullanır. Böylece, olayların hem içeriği hem de bağlamsal etkileri çok yönlü bir biçimde analiz edilebilir (Çapar ve Ceylan 2022). Durum çalışması deseninde hem emik hem de etik perspektiflere yer verilmektedir. Emik yaklaşım, olguların bireylerin kendi kültürel bağlamları içindeki anlamlarını anlamaya odaklanırken; etik perspektif, araştırma konusunu daha evrensel ölçütler ve kültürlerarası genellemeler çerçevesinde değerlendirmeyi hedefler. Bu iki yaklaşımın birlikte kullanılması, araştırmacının hem katılımcıların bakış açısını içerden anlamasına hem de elde edilen bilgilerin daha geniş bağlamda yorumlanmasına olanak tanır. Durum çalışmasının temel amaçlarından biri (bazı araştırmalarda ise tek amacı) katılımcılar tarafından deneyimlenen karmaşık bir olguya ilişkin derinlemesine bir anlayış geliştirmektir. Bu amaç, yorumsamacı (yorumlayıcı) bir yaklaşımı yansıtır ve olguların bağlamsal ve öznel doğasına dikkat çeker (Gall ve Gall 2003). Etik perspektif ise, belirli olgu ya da davranışların evrensel kabul görmüş ilkeler ışığında değerlendirilmesi anlamına gelir; bu da araştırmada neyin doğru ya da yanlış olduğu konusunda önceden belirlenmiş kurallar çerçevesinde bir tutum sergilenmesini sağlar. Bu iki perspektifin birlikte ele alınması, durum çalışmasını daha bütüncül ve derinlikli bir araştırma deseni haline getirir. Durum çalışması, sistematik bir yaklaşımla yürütülen ve belirli aşamalardan oluşan bir araştırma desendir. Bu desen, genel olarak altı temel basamak etrafında yapılandırılmaktadır. Bunlar; durumun belirlenmesi, standartlaştırılmış bir çerçevenin oluşturulması, doküman

inceleme olanaklarının geliştirilmesi, verilerin toplanması, verilerin analiz edilmesi ve betimlenmesi ve sonuçların yazılmasıdır (Yıldırım ve Şimşek 2021). Bu süreç, araştırmacının çalışmasını hem bütüncül hem de derinlemesine bir şekilde yürütmesini sağlar. Araştırmacılar, her bir basamağın içerdiği adımları dikkatlice izleyerek araştırmalarını planlayabilir, uygulayabilir ve elde edilen bulguları bilimsel bir çerçevede raporlayabilirler. Bu yapılandırılmış yaklaşım, durum çalışmasının hem geçerliliğini hem de güvenilirliğini artırmak açısından önemlidir. Durum çalışması deseninin temel ilkelerinden biri de, araştırma konusunun doğal bağlamı içinde ele alınmasıdır. Bu ilke, incelenen olgunun yapay ortamlarda veya dışarıdan müdahale ile şekillendirilmiş koşullarda değil; kendi içinde var olduğu, geliştiği ve anlam kazandığı gerçek yaşam ortamında incelenmesini öngörür. Doğal bağlamda inceleme, araştırmacının olguyu kendi dinamikleri içinde, ilişkili aktörlerle, sosyal, kültürel, ekonomik ve politik çevresiyle birlikte anlamasını sağlar. Durumun tüm karmaşıklığıyla anlaşılabilmesi için bağlamdan soyutlama yapılmaksızın gözlem yapılır ve veri toplanır. Böylece elde edilen bulgular, kuramsal genellemelerden ziyade bağlamsal geçerliliği yüksek bilgiler sunar. Bu yaklaşım, durumun doğal akışını bozmadan, katılımcıların davranışlarını olduğu gibi gözlemlene ve anlamlandırma imkânı sağlar. Dolayısıyla, doğal bağlamda inceleme hem nitel araştırmanın temel doğasına hem de durum çalışmasının derinlemesine ve bütüncül anlayışına hizmet eden kritik bir ilkedir (Çapar ve Ceylan 2022). Yin (2005), durum çalışmaları kapsamında dört temel desen tanımlar. Bunlardan ilki bütüncül tek durum desendir. Bu desende yalnızca tek bir analiz birimi bulunur ve genellikle aykırı ya da kendine özgü durumların incelenmesi için kullanılır. Özellikle çok iyi formüle edilmiş bir teorinin test edilmesi amacıyla tercih edilen bu desen, özgül bir bağlamda derinlemesine inceleme yapmaya imkân tanır. İkinci desen iç içe geçmiş tek durum deseni olarak adlandırılır. Bu yaklaşımda yine tek bir durum söz konusu olmakla birlikte, bu durum kendi içerisinde birden fazla alt birimi ya da alt tabakayı barındırır. Böylece hem genel durum hem de alt birimler detaylı şekilde analiz edilerek daha zengin veri elde edilir. Üçüncü desen ise bütüncül çoklu durum desendir. Bu desende birden fazla durum yer alır ve her bir durum kendi içerisinde bağımsız ve bütüncül olarak ele alınır. Bu sayede farklı durumlar arasında karşılaştırmalar yapılarak benzerlikler ve farklılıklar analiz edilebilir. Son olarak iç içe geçmiş çoklu durum deseni, hem birden fazla durumun ele alındığı hem de her bir durumun kendi içinde birden fazla alt birime sahip olduğu daha karmaşık bir yapıyı ifade eder. Bu desen, çok katmanlı veri analizlerine olanak tanıdığı için özellikle çok yönlü araştırma sorularının cevaplanmasında oldukça etkilidir. Durum çalışması deseninde, araştırmanın sınırlarını belirleyen temel unsurlar; çalışmanın zaman boyutu, inceleme yapılan mekânsal bağlam ve duruma özgü belirli özelliklerdir. Bu sınırlayıcılar, araştırmanın derinliğini ve odaklandığı özgül bağlamı tanımlamada kritik bir rol

oynamaktadır. Araştırmanın zaman boyutu, olayların hangi dönem içinde incelendiğini; mekân ise olayların veya olgunun geçtiği fiziksel ya da sosyal ortamı tanımlar. Özellikler ise durumun kendine has yönlerini, örneğin aktörleri, süreçleri, ilişkileri veya değişkenleri içerir. Bu sınırlar hem araştırmanın kapsamını netleştirmekte hem de elde edilen bulguların hangi çerçevede yorumlanabileceğini belirlemektedir. Durumun sınırlarının net bir şekilde çizilmesi, araştırmanın bütüncül ve sistematik bir şekilde yürütülmesini sağlarken; aynı zamanda dış geçerliliğin sınırlarını da gösterir. Bu noktada, zaman, mekân ve özgül nitelikler, durum çalışmasının araştırma evrenini belirleyen yapı taşları olarak işlev görmektedir (Çapar ve Ceylan 2022). Durum çalışması, kapsamlı ve çeşitli bilgi kaynaklarına dayanması bakımından zengin ve derinlemesine bir araştırma desenidir. Görüşmeler, gözlemler ve mevcut dokümanlar gibi farklı kaynaklardan bilgi toplama ve bu bilgileri analiz etme süreci, araştırmacının araştırılan ortama diğer yöntemlere kıyasla daha fazla zaman ayırmasını gerektirebilir (Gall ve Gall 2003; Hancock ve Algozzine 2006). Bu nedenle, bazı kaynaklar durum çalışmasını bir metayöntem olarak değerlendirmektedir (Johansson 2007). Durum çalışması deseninde veri kaynağı oldukça geniş bir yelpazeyi kapsayabilir. Bir kurum, bir mekân, belirli bir olgu, yürütülmekte olan bir proje ya da program, bireyler, sosyal medya hesapları veya internet siteleri gibi çok çeşitli unsurlar araştırmanın temel veri kaynağı haline gelebilir. Bu çeşitlilik, araştırmacıya konuyu farklı açılardan ele alabilme ve derinlemesine analiz gerçekleştirme olanağı sunar. Dolayısıyla durum çalışması, yalnızca geleneksel veri kaynaklarıyla sınırlı kalmaz; dijital çağın sunduğu yeni mecralar da bu desenin araştırma kapsamına etkin bir şekilde dahil edilebilir (Çapar ve Ceylan 2022). Ayrıca durum çalışması deseni, doğası gereği uzun soluklu ve derinlemesine bir araştırma sürecini içerir. Bu desenin en belirgin özelliği, çoklu veri toplama yöntemlerinin birlikte kullanılmasıdır. Araştırmacı, ele alınan durumu anlamak için öncelikle çalışma alanını ya da bireyi dışarıdan izler, ardından bu ortam ya da kişiyle daha yakından etkileşime girerek doğrudan gözlem yapar. Gözlem sürecine ek olarak dokümanlar, bireylerle yapılan görüşmeler, basın kaynakları ve dijital platformlar gibi farklı veri kaynaklarından bilgi toplar. Bu çok yönlü veri toplama süreci, olgunun nedenlerine ve gelişim dinamiklerine ışık tutmayı amaçlar. Durum çalışması süreci genellikle doğrusal değil, döngüseldir. Araştırmacı ilk verileri topladıktan sonra bunları analiz eder ve elde ettiği bulgular doğrultusunda yeni sorular ortaya çıkabilir. Bu yeni soruları yanıtlamak ve verileri pekiştirmek adına tekrar araştırma alanına dönerek yeni gözlemler ve görüşmeler gerçekleştirebilir. Bu döngü, araştırma tamamlanana kadar birkaç kez tekrarlanabilir. Böyle bir yapı, araştırmacının araştırma sürecine esnek ve stratejik bir şekilde yaklaşmasını sağlar. Ayrıca, durum çalışması deseni süreç içindeki değişim ve gelişimleri zaman içinde izlemeye imkân verdiği için boylamsal bir yaklaşım olarak da değerlendirilebilir. Bu yönüyle araştırmacıya sadece mevcut

durumu değil, olayların gelişim sürecini de inceleme fırsatı tanır (Best ve Kahn 2016). Bu uzun soluklu ve çok yönlü yaklaşım, araştırmacının olguyu daha kapsamlı, derinlemesine ve bağlamsal olarak anlamasına yardımcı olur (Çapar ve Ceylan 2022). Ayrıca durum çalışmasında etkili veri toplayabilmek için bazı özgün stratejilerden yararlanmak oldukça önemlidir. Bu stratejilerden ilki, çoklu veri kaynaklarının kullanılmasıdır. Farklı veri kaynaklarının bir arada kullanılması, çalışmanın hem geçerlik hem de güvenirlik düzeyini artırırken, aynı zamanda araştırma konusuna dair daha kapsamlı ve derinlemesine bir anlayış geliştirilmesine katkı sağlar. Bu sayede elde edilen veriler, konunun çeşitli yönlerini yansıtacak biçimde zenginleşir ve araştırmacının ulaştığı sonuçlara daha geniş bir perspektiften bakması mümkün olur. İkinci strateji ise veri tabanı oluşturmaktır. Veri tabanı, elde edilen tüm verilerin düzenli bir biçimde organize edilerek dokümantasyon haline getirilmesidir. Çoğu zaman, eldeki ham veriler kendi başına anlam taşımayabilir; ancak sistematik bir veri tabanı sayesinde bu veriler anlamlandırılabilir, analiz süreci kolaylaşır ve araştırmanın bütüncül bir yapıya kavuşması sağlanır. Ayrıca bu süreç, araştırmanın şeffaflığını artırır ve tekrar edilebilirliğini destekler. Üçüncü önemli strateji ise kanıt zinciri oluşturmaktır. Kanıt zinciri, araştırmanın her bir aşamasının birbiriyle nasıl ilişkilendirildiğini ve alt problemlerden elde edilen bulgularla nihai sonuçlara nasıl ulaşıldığını açık biçimde ortaya koyar. Bu örüntü, veri toplama sürecinin hangi koşullar altında gerçekleştiğine dair net açıklamalar sunarak, araştırmanın izlenebilirliğini güçlendirir. Yin (2005)'in de belirttiği gibi, bu tür bir yapılandırma, araştırmanın sistematik bir çerçevede ilerlemesine ve bulguların sağlam temellere dayanmasına olanak tanır. Etkili veri toplama sürecinden sonra önemli adımlardan biri de analizdir. Durum çalışması deseninde, araştırmacı genellikle oldukça kapsamlı ve çeşitli bir veri setiyle karşı karşıya kalmaktadır. Çoklu veri toplama stratejisi kapsamında elde edilen veriler, araştırmanın temelinde yer alan durum ve bağlam doğrultusunda titizlikle analiz edilir. Araştırmacı, verileri sistematik bir biçimde betimleyerek, anlamlı temalar ve modeller oluşturur. Bu süreç, araştırmanın yalnızca mevcut durumun bir fotoğrafını çekmekle kalmayıp, aynı zamanda bu durumu etkileyen dinamikleri ve ilişkileri ortaya koymasını da sağlar. Durum çalışmasının doğasına uygun olarak geliştirilen natüralist genellemeler, elde edilen bulguların evrensel geçerlilik iddiası taşımaktan ziyade, benzer bağlamlara uygulanabilirlik potansiyelini esas alır. Araştırmacı bu genellemeleri, sahadan elde ettiği nitel veriler, doğrudan alıntılar ve bağlamsal gözlemler ışığında oluşturur. Böylece hem araştırmanın güvenilirliği artırılır hem de ortaya konan yorumların sahadaki gerçek yaşantılarla bağlantısı güçlendirilmiş olur. Bu süreçte araştırmacı, iki temel analiz yönteminden yararlanabilir: içerik analizi ve betimsel analiz. İçerik analizi, verilerdeki örüntüleri, kodları ve temaları belirlemeye yönelik sistematik bir yaklaşımdır. Betimsel analiz ise verilerin anlamını koruyarak okuyucuya doğrudan

aktarılmasını ve olgunun daha net kavranmasını sağlar. Bu iki yöntem birlikte kullanıldığında, araştırma bulguları daha yapılandırılmış ve bağlama duyarlı bir bütün içinde sunulur. Sonuç olarak, durum çalışması deseni, derinlemesine analiz ve bağlam temelli kavrayış için güçlü bir zemin oluşturur (Çapar ve Ceylan 2022). Buna ek olarak durum çalışması, olaylar ve davranışlar hakkında zengin ve anlamlı bakış açıları sunması nedeniyle değerli bir bilgi edinme yöntemi olarak kabul edilmektedir (Brown 2008). Bu yöntem, karmaşık bir olgunun veya durumun kapsamlı biçimde tanımlanmasına, doğal bağlamı içinde ayrıntılı olarak incelenmesine ve bileşenlerinin uzun süreli bir gözlem süreciyle anlaşılmasına olanak tanır. Bu yönüyle durum çalışmaları, sadece yüzeysel bilgileri değil, süreç içindeki dinamikleri ve değişimleri de ortaya koyarak, araştırmacıya derinlemesine bir analiz yapma fırsatı verir (Subaşı ve Okumuş 2017). Bu çalışmada örnek bir kent ya da proje vakasına odaklanmak yerine, AUS politikalarının Türkiye ve dünya genelindeki durumları karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Durum çalışması deseni, belirli bir konunun derinlemesine analizine olanak tanıyan bir yöntemdir. “Durum” olarak Türkiye’nin AUS stratejileri ile birlikte Avrupa Birliği ve seçili gelişmiş/gelişmekte olan ülkelerin ulusal stratejileri analiz edilmiştir. Böylece AUS uygulamalarının sadece teknik yönleri değil, aynı zamanda yönetim modelleri, paydaş katılımı, sürdürülebilirlik yaklaşımları ve dijitalleşme stratejileri konularında da değerlendirilmesi mümkün olmuştur.

Karşılaştırmalı politika analizi yaklaşımı

Bu araştırmada kullanılan temel yöntemlerden biri karşılaştırmalı politika analizi yaklaşımıdır. Nitel Karşılaştırmalı Analiz (NKA), müdahalelerin içinde bulundukları bağlamlarla nasıl etkileşime girdiğini inceleme açısından umut vadeden bir yöntemdir. Bu yaklaşım, belirli sonuçlara yol açan koşul setlerinin hangi kombinasyonlarla bir araya geldiğini analiz ederek, farklı nedensel yolların belirlenmesini mümkün kılar. Böylece, sadece tek bir doğruyu değil, çeşitli bağlamsal örüntüleri dikkate alarak birden fazla geçerli yolun varlığını ortaya koyar ve karmaşık sosyal sistemlerdeki nedensellik ilişkilerine dair derinlemesine bir anlayış sunar (Blackman vd 2013). Ragin, durumlar arasında nedensel ilişkileri ortaya koymanın bir yolu olarak NKA yöntemini geliştirmiştir (Ragin 2000, 2009). Bu yaklaşım, klasik değişken odaklı yöntemlerin aksine, duruma dayalı bir analiz sunar. NKA, niteliksel durum incelemelerinden elde edilen derinlemesine içgörüler temel alırken, aynı zamanda sistematik ve yapılandırılmış bir biçimde çoklu durumların karşılaştırılmasına olanak tanır. Bu süreçte, yalnızca sonuçlar üzerinde belirleyici etkisi olan koşullar açıklamaya dahil edilir; koşullar arasındaki kombinasyonlar ise mantıksal indirgeme teknikleriyle analiz edilir. Küme üyeliklerine dayalı bu mantıksal çıkarımlar, farklı koşul setlerinin belirli sonuçlara nasıl yol

açtığını gösteren nedensel yolların yapılandırılmasını sağlar. Bu yönüyle NKA, hem nitel hem de nicel düşünme biçimlerini harmanlayan güçlü bir karşılaştırmalı analiz aracıdır (Blackman vd 2013). Bu yaklaşım, farklı ülkelerin AUS'a yönelik politika, strateji ve uygulamalarını sistematik biçimde karşılaştırarak inceler. Özellikle kamu politikalarının oluşturulması, uygulanması ve değerlendirilmesi aşamalarında farklı ülkelerdeki örneklerin analiz edilmesi hem başarılı uygulamaların benimsenmesi hem de mevcut zayıf yönlerin iyileştirilmesi açısından önemli fırsatlar sunar. Karşılaştırmalı politika analizi, belirli bir temaya ilişkin olarak seçilen ülkelerin yasal çerçevelerini, kurumsal yapılarını, stratejik belgelerini ve uygulama araçlarını detaylı biçimde analiz etmeyi kapsar. Bu çalışmada, Türkiye'nin AUS politikaları, Avrupa Birliği ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri, Güney Kore ve Japonya gibi örnek ülkelerin yaklaşımlarıyla karşılaştırılmış; stratejik öncelikler, uygulama kapsamı, teknolojik altyapı, kamu-özel sektör iş birlikleri ve sürdürülebilirlik vurguları açısından benzerlikler ve farklılıklar ortaya konmuştur. NKA, Türkiye'nin AUS politikalarını farklı ülkelerle karşılaştırırken yalnızca tek bir başarı modeline değil, birden fazla başarılı politika kombinasyonuna odaklanma imkânı sunar. Örneğin; Almanya, Güney Kore ve Hollanda gibi ülkelerde AUS uygulamalarının başarılı olmasında etkili olan unsurlar (örneğin yüksek teknolojik altyapı, güçlü kamu-özel sektör iş birliği, çevre odaklı ulaşım stratejileri ve katılımcı yönetim modelleri) birbirinden farklı şekilde bir araya gelmiş olabilir. NKA yöntemi bu farklı kombinasyonları analiz ederek, Türkiye'nin kendi bağlamında hangi koşulların bir araya gelmesi hâlinde AUS politikalarında etkili sonuçlar alınabileceğini modelleyebilir. Böylece yalnızca “hangi ülke daha başarılı” sorusuna değil, “hangi koşul setleri başarının önünü açmaktadır” sorusuna da yanıt verilir. Bu yöntemle Türkiye'nin, kendi sosyal, ekonomik ve politik bağlamına uygun özgün stratejiler geliştirmesi kolaylaşır. Bu özgün stratejiler doğrultusunda hazırlanan AUS politikaları da sürdürülebilir, yenilikçi, etkili çözümler getirir. Ayrıca bu yöntem yalnızca mevcut durumu anlamakla kalmaz, aynı zamanda Türkiye'nin AUS politikalarının küresel ölçekte nerede konumlandığını, hangi açılardan gelişme kaydettiğini ve hangi alanlarda politika uyumu veya farklılaşması gösterdiğini değerlendirme imkânı sağlar. Böylece, Türkiye'nin akıllı ulaşım politikalarının uluslararası normlara ve iyi uygulama örneklerine ne ölçüde yaklaştığı ya da ayrıştığı daha nesnel ve somut verilere dayalı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca bu karşılaştırmalı yaklaşım, gelecekteki politika geliştirme süreçlerine rehberlik edebilecek bilgi ve önerilerin geliştirilmesini sağlar. Türkiye'nin yerel koşulları ile diğer ülkelerdeki başarılı uygulamalar arasındaki uyum noktalarının belirlenmesi, stratejik planlama ve uygulama süreçlerinin daha etkili yürütülmesine olanak tanır. Politika transferi, yerelleştirme ve inovasyon açısından bu analiz, araştırmanın önemli bir bileşeni olarak değerlendirilmiştir.

Veri Toplama Teknikleri

Literatür taraması

Resmî bir literatür taraması, belirli bir konunun bilimsel temellere dayalı olarak kapsamlı biçimde analiz edilmesini amaçlayan sistematik bir değerlendirme sürecidir. Temelinde, söz konusu alandaki kolektif bilgi birikiminin eleştirel bir analizine dayanır. Literatür taraması yalnızca yayımlanmış çalışmaların basit bir listesini sunmakla kalmaz; aynı zamanda konuya dair bilgileri bütüncül bir yaklaşımla yorumlayarak hem bilgilendirici hem de nesnel bir çerçeve sunar. Bu süreç, alandaki yerleşik görüşlerin yanı sıra güncel yaklaşımları, çelişkili bulguları ve metodolojik tutarsızlıkları da dikkate alan dengeli bir bakış açısını içerir. Araştırma tamamlandıktan sonra literatür taraması, elde edilen verilerin anlamlı biçimde yorumlanması, bağlam içinde değerlendirilmesi ve bulguların alandaki bilgilerle ne ölçüde örtüştüğünün ortaya konulması açısından da kritik öneme sahiptir. Aynı zamanda, araştırma sonuçlarının daha önce yapılmış çalışmalarla karşılaştırılması, benzerliklerin ve farklılıkların belirlenmesi ve elde edilen bulguların özgün katkılarının vurgulanması için de zemin hazırlar. Bu yönüyle literatür taraması, araştırmanın alandaki konumunun belirlenmesine ve bilimsel değerinin ortaya konmasına yardımcı olur (Winchester ve Salji 2016). Araştırmanın ilk aşamasında kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirilmiş; bu süreçte AUS ile ilgili ulusal ve uluslararası düzeyde yayımlanmış akademik çalışmalar, bilimsel makaleler, yüksek lisans ve doktora tezleri, teknik dökümanlar ve sektörel raporlar sistematik biçimde incelenmiştir. Literatür taraması aracılığıyla AUS'un tarihsel gelişimi, kavramsal çerçevesi, akıllılık kavramı, teknolojik bileşenleri (IoT, yapay zekâ, araçtan araca iletişim, büyük veri analitiği, sensör sistemleri vb.), ulaşım ağlarının modellenmesi, akıllı şehir bileşenleri ve bu sistemlerin kentlerdeki karmaşık adaptif sistemler olan ulaşım altyapılarıyla nasıl bütünleştiği konusunda derinlemesine bilgi edinilmiştir. Bu süreçte yalnızca teknik içerikler değil, aynı zamanda AUS'un sosyo-teknik sistem niteliği, şehir ve bölge planlama, kullanıcı davranışları, toplumsal kabul gibi konular da göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca AUS'un sürdürülebilir ulaşım politikalarıyla ilişkisi, çevresel etkileri, enerji verimliliğine katkısı ve kent yaşam kalitesi üzerindeki sonuçları literatür temelli olarak analiz edilmiştir. Tarama sırasında ulaşılan çalışmalar, farklı ülkelerde uygulanan AUS politikalarının kapsamı, öncelikleri ve etki analizleri açısından da karşılaştırmalı değerlendirme yapma imkânı sağlamıştır. Bu bağlamda, araştırmanın kuramsal temelini oluşturulmasının yanı sıra, daha sonraki aşamalarda yapılacak analizler için bir referans çerçevesi geliştirilmiş, böylece hem teorik hem uygulamalı bilgilerin bütüncül bir biçimde sentezlenmesi mümkün olmuştur.

Doküman analizi

Doküman analizi, nitel verilerin sistematik bir biçimde değerlendirilmesine olanak sağlayan temel veri toplama yöntemlerinden biridir. Bu araştırmada, AUS'a yönelik ulusal ve uluslararası düzeyde yayımlanmış akademik makaleler, strateji belgeleri, politika metinleri ve planlama dokümanları detaylı olarak incelenmiştir. Özellikle Türkiye'de Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı gibi kamu kurumlarının yayımladığı Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı, Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı (2020-2023) gibi politika belgeleri temel kaynaklar arasında yer almıştır. Ayrıca, konuya ilişkin bilimsel yayınlarda yer alan teorik ve pratik bilgiler, doküman analizine dâhil edilerek araştırmanın kuramsal ve uygulamalı altyapısı güçlendirilmiştir. Bu sayede, AUS politikalarının mevcut durumu kapsamlı biçimde değerlendirilmiş ve kavramsal çerçevenin oluşturulmasına katkı sağlanmıştır. Doküman analizi, araştırmalarda uzun süredir kullanılan kıymetli ve etkili bir nitel veri toplama yöntemidir. Bu yaklaşım; kitaplar, gazete yazıları, akademik dergi makaleleri, kurumsal raporlar gibi farklı türden metin tabanlı belgelerin sistematik olarak incelenmesini kapsar (Patton 1990). Nitel araştırma bağlamında metin içeren her tür belge, analiz için potansiyel bir veri kaynağı olarak değerlendirilebilir. Bir araştırmanın konusu hakkında bilgi sunan her türlü yazılı materyal, doküman (belge) olarak tanımlanır (Balcı 2018). Patton'a göre dokümanlar, örgütsel süreçlerin nasıl işlediğini ve bu süreçlerin perde arkasındaki işleyişi görünür kılar (Patton 2002). Araştırmanın doğasına ve sorusuna bağlı olarak, dokümanlar bazen araştırmanın temel veri kaynağını oluştururken, kimi zaman ise destekleyici veya tamamlayıcı bir veri kaynağı olarak çalışmaya katkı sağlayan önemli bir unsur olabilir (Güler vd 2015). Bununla birlikte, doküman terimi yalnızca yazılı materyallerle sınırlı değildir; fotoğraflar, videolar, filmler gibi görsel içerikler de bu kapsamda yer alabilir (Tisdell vd 2025). Tıpkı yazılı belgelerde olduğu gibi, görsel materyaller de araştırmacılara anlamlı içerikler sunabilir ve nitel veri analizine katkı sağlayabilir (Flick 2022). Bu nedenle doküman analizi, hem yazılı hem de görsel kaynakların bütüncül bir şekilde değerlendirilmesini mümkün kılar (Morgan 2022). Doküman analizi, belgesel tarama olarak da adlandırılan ve mevcut kayıtlar ile belgelerin incelenmesi yoluyla veri elde edilen bir araştırma yöntemidir. Bu yöntem, belirli bir amaca yönelik olarak kaynakların bulunması, okunması, not alınması ve değerlendirilmesi süreçlerini kapsamaktadır (Karasar 2005). Bir başka ifadeyle, doküman analizi; basılı ya da elektronik (bilgisayar ortamında ya da internet üzerinden erişilebilen) materyallerin sistemli bir şekilde incelenmesi ve yorumlanmasını içeren çok aşamalı bir süreçtir (Bowen 2009). Aynı zamanda bu yöntem, araştırılması hedeflenen olgu ya da olaylara ilişkin bilgi içeren yazılı materyallerin çözümlenmesi olarak da tanımlanmaktadır (Yildirim ve Şimşek 2011). Bu süreç, hem resmi

hem de özel kayıtların toplanması, sistemli biçimde gözden geçirilmesi ve değerlendirilmesini içerir (Ekiz 2015). O’Leary ise doküman analizini, araştırmacının temel veri kaynağı olarak çeşitli yazılı metin biçimlerinin toplanması, sorgulanması ve analiz edilmesi süreci olarak tanımlar (O’Leary 2021). Kısacası, araştırma konusuyla ilgili olarak farklı kişi ya da kurumlar tarafından hazırlanmış, yazılmış ya da ortaya konmuş çeşitli belgelerin, yapıtların veya kayıtların sistemli şekilde toplanıp incelenmesi doküman analizi kapsamına girmektedir (Seyidoğlu 2016). Doküman analizi, nitel araştırmacılar açısından en değerli bilgi kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir (Hoepfl 1997). Belgeler aracılığıyla, araştırılan olguya dair pek çok ayrıntılı ve derinlemesine bilgiye ulaşmak mümkündür (Travers 2001). Bu yönüyle dokümanlar, araştırma sürecinde olgunun kapsamlı bir biçimde anlaşılmasına katkı sağlayan önemli veri kaynakları arasında yer alır (Sak vd 2021). Doküman analizi yönteminin bir araştırmada kullanılması belirli bir mantıksal temele dayanmaktadır. Bu yöntemin uygulanmasından önce araştırmacının yanıtlaması gereken bazı temel sorular bulunmaktadır: Neden dokümanlara başvurmalıyım? Bu yöntem çalışmama nasıl bir katkı sunacak? Doküman analizi olmadan bu araştırmayı sürdürebilir miyim? (Ekiz 2015). Söz konusu sorulara doyurucu cevaplar verilmesi, doküman analizinin araştırma probleminin çözümüne anlamlı bir katkı sağlayacağına inanılması ve çalışmanın amacıyla örtüşen nitelikte uygun belgelerin bulunması durumunda, araştırmacı bu yöntemi kullanmaya karar verebilir. Ayrıca, doküman analizi ile birlikte farklı veri toplama tekniklerinden elde edilen bulgular birlikte incelenerek, veriler arasında karşılaştırmalar yapılabilir; böylece sonuçlar karşılıklı olarak doğrulanabilir ve tek bir veri kaynağına dayalı önyargıların etkisi azaltılarak araştırmacının güvenilirliği artırılabilir (Bowen 2009). Doküman analizi, araştırmacılara kendi başlarına toplamalarının oldukça fazla zaman ve emek gerektireceği verilere ulaşma imkânı sunar (Tisdell vd 2025). Bu yönüyle dokümanlar, zaman ve kaynak tasarrufu sağlayarak araştırma sürecini hem pratik hem de verimli hale getiren değerli bilgi kaynaklarıdır (Morgan 2022). Doküman analizinin sunduğu kolaylıklardan biri de araştırmacının doğrudan araştırma konusuna odaklanmasına imkân tanınmasıdır (Ekiz 2015). Ayrıca, internet ortamında erişilebilen pek çok belgenin yazar iznine gerek duyulmadan kullanılabilir olması, doküman analizini nitel araştırmalar açısından daha cazip ve pratik bir seçenek haline getirmektedir (Bowen 2009). Doküman analizi, genellikle uzun bir zaman aralığına yayılan, birçok olay ve bağlamı kapsayan bir süreç olarak gerçekleşmektedir (Yin 2009). Deneysel araştırmalardan veya anket çalışmalarından farklı olarak, gözlem yönteminde olduğu gibi uzun süreli çalışmalarda etkili bir biçimde kullanılabilir. Araştırma problemiyle ilgili yazılı ve görsel materyallerin incelenmesi, olguya dair daha zengin ve kapsamlı çıkarımlar yapılmasına olanak tanır. Bu durum, araştırmacının farklı kaynaklardan elde ettiği veriler aracılığıyla çeşitli bakış açıları

geliştirmesine yardımcı olurken; aynı zamanda farklı yaklaşımların analiz edilmesi ve bir araya getirilmesi sayesinde araştırmanın geçerliliğini artırma potansiyeline de sahiptir (Saldana 2011; Baş ve Akturan 2017).

Resmî rapor ve strateji belgelerinin incelenmesi

Bu araştırma kapsamında, Türkiye ve dünyadaki AUS politikalarının mevcut durumunu analiz etmek amacıyla resmî ulusal strateji belgeleri ile konuyla ilgili yayımlanmış ulusal ve uluslararası akademik kaynaklar incelenmiştir. Türkiye özelinde, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından hazırlanan Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Stratejisi ve Eylem Planı (2020-2023) temel politika dokümanı olarak değerlendirilmiştir. Bu belge, Türkiye'nin AUS vizyonunu, stratejik hedeflerini, öncelikli uygulama alanlarını, akıllı ulaşım teknolojilerine adaptasyon sürecini, hedeflenen teknolojik uygulamaları, altyapı iyileştirmelerini, yasal düzenlemeleri ve kurumsal iş birliği çerçevesini kapsamlı biçimde ortaya koymaktadır. İkinci olarak Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı (2020-2023) belgesi akıllı şehir kavramı, özellikleri, şehirlerin akıllı şehirlere evrilme yolunda uygulaması gereken stratejiler hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Ayrıca bu belgeler, AUS uygulamalarının yaygınlaştırılması sürecinde karşılaşılan zorluklar, hedeflenen çıktılar ve izleme-değerlendirme mekanizmaları hakkında da değerli bilgiler sağlamıştır. Bu kapsamda, resmi belgeler politikaların hem yapısal hem de uygulama boyutunu aydınlatan birer rehber niteliği taşımaktadır. Uluslararası düzeyde ise, farklı ülkelerdeki AUS uygulamaları ve politik gelişmeler, akademik makaleler ve bilimsel yayınlar üzerinden incelenmiştir. Bu çalışmalar, çeşitli ülkelerin AUS alanında benimsedikleri politikaları, karşılaştıkları zorlukları, uyguladıkları stratejileri ve teknoloji odaklı çözüm yaklaşımlarını değerlendirme imkânı sağlamıştır. Bu belgelerin ve bilimsel kaynakların analizi, AUS uygulamalarının teknolojik, yönetsel ve politik boyutlarını anlama açısından önemli veriler sunarken, aynı zamanda gelecekteki politika geliştirme süreçlerine ışık tutacak stratejik çıkarımlar elde edilmesine de katkı sağlamıştır. Böylece Türkiye'nin AUS politikalarının küresel eğilimlerle karşılaştırmalı olarak konumlandırılması sağlanmış, hangi yönlerden benzerlik gösterdiği veya ayrıştığı belirlenebilmiştir.

Veri Kaynakları

Ulusal ve uluslararası akademik yayınlar

Araştırmada temel veri kaynaklarından biri olarak, AUS alanında yapılmış olan ulusal ve uluslararası akademik çalışmalar incelenmiştir. Konu ile ilgili bilimsel makaleler, tez çalışmaları, kitaplar ve derleme yazılar sistematik olarak incelenmiştir. Bu kapsamda özellikle Türkiye'de AUS'un gelişim süreci ve güncel duruma dair akademik içeriklerle birlikte, Avrupa

başta olmak üzere çeşitli dünya ülkelerinde AUS uygulamaları, politikaları, teknik altyapıları, hakkında yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulmuştur. Literatürden elde edilen bu bilgiler, AUS'un kuramsal temellerini oluşturmada önemli rol oynamıştır.

Türkiye Cumhuriyeti resmî kurum belgeleri

Araştırmada Türkiye'nin AUS politikalarına dair kapsamlı bilgi edinmek amacıyla, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından yayımlanmış strateji belgeleri, eylem planları başlıca başvuru kaynakları olmuştur. Özellikle Türkiye Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Stratejisi ve Eylem Planı (2020-2023) ülkenin AUS konusundaki politika duruşunu, stratejilerini, önceliklerini ve gelecek perspektiflerini belirlemek amacıyla analiz edilmiştir. Ayrıca AUS uygulamaları doğrultusunda teknoloji odaklı ve sürdürülebilir akıllı şehirler oluşturmayı hedefleyen Türkiye'de ortaya konan planlardan biri olan Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı (2020-2023) incelenmiştir.

Dünya'dan seçilmiş ülke örnekleri

Türkiye ile karşılaştırmalı analiz yapılabilmesi amacıyla, AUS konusunda öne çıkan bazı ülkelerin uyguladığı stratejiler analiz edilmiştir. Bu ülkeler, AUS politikalarının gelişmişliği, uygulama kapsamı, sürdürülebilirlik koşulları ve sistem altyapısının çeşitliliği dikkate alınarak seçilmiştir. İlgili ülkelere ait akademik yayınlar aracılığıyla, farklı stratejik yaklaşımlar ve uygulama sonuçları incelenmiştir. Ayrıca Türkiye'nin küresel düzeyde yer aldığı konum değerlendirilmiş ve çıkarımlarda bulunulmuştur.

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, belediyeler ve ilgili kurumlar

Araştırmada, Türkiye'deki AUS politikalarının sahadaki uygulamalarını incelemek amacıyla T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, çeşitli belediyeler, büyükşehir ulaşım daire başkanlıkları tarafından yayımlanan raporlar, eylem planları, strateji belgeleri incelenmiştir. İncelenen yayınlar aracılığıyla hem belirlenen kurumsal hedeflerin hem de uygulamaya geçirilen AUS projelerinin yapısı analiz edilmiştir. Bu belgeler doğrultusunda, AUS'un Türkiye'de nasıl çeşitlendiği, şehirlerin teknolojik altyapılarına göre uygulamalarda nasıl farklılaştığı ve yerel yönetimlerin stratejik önceliklerinin hangi konular olduğu ortaya konmuştur. Aynı zamanda bakanlık düzeyinde geliştirilen politikaların, ulaşılmaya çalışılan hedeflerin yerel düzeyde ne ölçüde benimsendiği ve uygulandığı da analiz edilerek, ulusal stratejiler ile yerel uygulamalar arasındaki ilişki sorgulanmıştır. Bu kapsamda yapılan doküman analizleri, araştırmanın kurumsal perspektifini oluşturmuştur. Ayrıca gerçekleştirilen AUS uygulamaları yönünden çok katmanlı bir değerlendirme yapılabilmesini sağlamıştır.

Veri Analiz Süreci

Tematik analiz yöntemi

Tematik analiz, niteliksel araştırma yöntemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. APA PsychNET, nitel araştırmayı, nicel ölçümlere ağırlık vermeyen ve betimleyici veriler üreten bir araştırma yaklaşımı olarak tanımlar: “Tanımlayıcı veriler üreten, sayısal nicelleştirmeye fazla önem verilmeyen bir araştırma metodolojisi türü” (Tuleya 2007). Ancak bu tanım, nitel araştırmayı dolaylı olarak nicel araştırmaya göre tanımlamakta ve kendi başına bağımsız bir yöntemsel çerçeve olarak ele almamaktadır. Daha katı metodolojik görüşlere sahip olanlar, nitel araştırmayı vaka çalışmaları, görüşmeler veya odak grupları gibi sayısallaştırılmamış veri üreten araçlar üzerinden açıklamaya çalışmaktadır. Ancak bu yaklaşım, nitel yöntemlerin esasını oluşturan, katılımcıların yaşadıkları olgulara yükledikleri anlamları keşfetmeye ve yorumlamaya odaklanan yorumlayıcı doğasını tam olarak yansıtmaz (Banyard ve Miller 1998). Tematik analiz, metinsel veri setlerinde tekrar eden temaların veya anlamlı fikirlerin sistematik biçimde tanımlanmasına odaklanan bir dizi aşamalı süreci içerir. Verileri temalara göre organize etmek, birçok nitel araştırma yaklaşımının temel yapı taşlarından biridir. Örneğin, içerik analizi de verileri kodlama süreci içerir; ancak bu yöntemde kodlar genellikle istatistiksel ölçütlerle değerlendirilir ve belirli kavramların ne sıklıkla tekrarlandığına odaklanılır. Buna karşılık, tematik analiz nicel sıklıklara değil, temaların içerdiği anlamlara odaklanır ve istatistiksel analiz yapmayı amaçlamaz. Temellendirilmiş kuram yaklaşımı da benzer şekilde nitel verilerdeki kalıpları ortaya çıkarmayı hedefler; ancak bu yöntemde analiz süreci, veri toplama ile eş zamanlı ilerler ve elde edilen bulgular, sonraki veri toplama aşamalarına yön verir. Oysa tematik analizde, veri analizi genellikle tüm veriler toplandıktan sonra başlatılır. Bununla birlikte, tematik analiz de temellendirilmiş kuram gibi veriden yola çıkarak anlamlar inşa etmeyi ve yeni kavramsal çerçeveler geliştirmeyi amaçlar (Riger ve Sigurvinsdottir 2016). Tematik analizde, araştırmacılar genellikle görüşme verileriyle çalışır ve verilerde yer alan temaları tümevarımsal bir yaklaşımla ortaya çıkarmayı amaçlar (Pistrang ve Barker 2012). Bu süreçte tüm veri setinde bulunan temalar tanımlanabileceği gibi, belirli bir temaya odaklanılarak daha derinlemesine bir analiz de gerçekleştirilebilir (Braun ve Clarke 2006). Tanımlanan temalar, verilerde açıkça ifade edilen ya da örtük biçimde yer alan düşünceleri yansıtabilir. Temalar çoğu zaman aynı görüşme içerisinde veya farklı katılımcılar arasında tekrar eden biçimde ortaya çıkar. Bunun yanı sıra, bir temanın araştırma sorusu ile ilgili anlamlı bir yönü yansıtmaması ve katılımcılar açısından belirgin bir içeriği temsil etmesi beklenir. Tema oluşturma ve geliştirme sürecinde, çalışmanın amacı ve benimsediği teorik çerçeve belirleyici olur; bu durumda, analiz süreci boyunca kavramsal tutarlılığın sağlanması büyük önem taşır (Riger ve Sigurvinsdottir 2016). Banyard ve Miller (1998), nitel yöntemlerin kullanılmasının

üç temel gerekçesini ortaya koymuştur. İlk olarak, bu yöntemler topluluk psikolojisinin temel değerleriyle uyumludur; yani bireylerin yaşadıkları çevrelerle olan etkileşimlerini, toplumsal bağlam içerisinde anlamaya çalışır. İkinci olarak, nitel yaklaşımlar kültürel olarak yerleşik olan nicel yöntemlerin geliştirilmesinde tamamlayıcı bir rol oynayabilir; bu sayede, daha derinlemesine bir anlayış elde edilmesine katkı sağlar. Üçüncü olarak ise, nitel yöntemler bireylerin deneyimlerine atfettikleri öznel anlamları anlamak açısından oldukça işlevseldir; çünkü bu anlamlar, bireylerin belirli davranışları neden ve nasıl ortaya koyduklarını açıklamada önemli ipuçları sunar. Tematik analiz, bu üç ilkeyi de karşılayarak hem toplumsal bağlama duyarlı hem de anlam üretmeye yönelik güçlü bir nitel analiz yöntemi olarak öne çıkmaktadır (Riger ve Sigurvinsdottir 2016). Tematik analiz, altı aşamalı sistematik bir sürece dayanır (Ayan vd 2025). İlk adım olan veri ile tanışıklık, nitel veri türlerinin gözlemler, metinler, multimedya unsurları, belgeler, politika kılavuzları ve görsel malzemeler gibi çeşitli biçimlerde ortaya çıktığı süreçtir (Thorne 2000). Farklı veri toplama yöntemlerinin üçgenleme stratejisiyle bir araya getirilmesi, güvenilir nitel bulgular elde etme şansını artırır (Lincoln ve Guba 1985). Veri toplama süreci etkileşimli biçimde yürütüldüğünde, analiz öncesinde bilgi ve sezgi düzeyinde bir aşinalık kazanılır. Bu tanışıklık, daha sonra yapılacak yorumlamalara ve sorgulamalara temel oluşturarak (Tuckett 2005), derinlemesine içgörülerin gelişmesine katkı sağlar (Braun ve Clarke 2006). İkinci adım olan ilk kodları oluşturma aşamasında, araştırmacı veriyle etkileşime girerek belirli özelliklere odaklanır ve bu verileri sadeleştirir (Savage 2000). Bu süreçte, yapılandırılmamış verilerden anlam çıkarma yönünde fikirler geliştirilir (Richards ve Morse 2012). Braun ve Clarke’a göre tüm veri seti sistematik biçimde taranmalı ve dikkat çekici yönler ayrıntılı biçimde ele alınmalıdır. Bu süreçte, kodlar zaman zaman çözümlenip yeniden düzenlenebilir; ancak her durumda kodların veriye ve araştırmacının gözlemlerine uygunluğu temel kriter olmalıdır. Temaların aranması olarak adlandırılan üçüncü adımda, tüm veri ögeleri kodlandıktan sonra benzer içerikler bir araya getirilerek potansiyel temalar tanımlanır. Bu aşamada, daha önce tek başına anlam taşımayan fikir ve deneyim parçaları, anlamlı tematik kümelerle dönüştürülür (Braun ve Clarke 2006). Temaların değerlendirilmesinde, onların ölçülebilirliğinden ziyade, araştırma sorusuyla olan ilgisi ve içerdiği anlamlar göz önüne alınır (Nowell vd 2017). Dördüncü adım olan temaları gözden geçirme sürecinde, oluşturulan temalar iç tutarlılık açısından yeniden değerlendirilir. Her temanın kodları ve ilgili veri parçaları gözden geçirilerek kalıp tutarlılığı sağlanır. Aynı zamanda, her bir temanın tüm veri seti içinde anlamlı bir yapı oluşturup oluşturmadığı kontrol edilir; böylece temaların geçerliliği ve tutarlılığı güçlendirilmiş olur. Beşinci aşamada temaları tanımlama ve adlandırma süreci gerçekleştirilir. Bu aşama, her temanın hangi yönü ele aldığını belirleme ve bu tema etrafında ortaya çıkan “hikâyeyi” detaylı bir şekilde analiz etme sürecidir.

Araştırmacı, temalara açıklayıcı ve anlamlı isimler verirken, veri setinin genel anlatısına uygun düşmesine dikkat eder. Bazı veriler birden fazla temada yer alabilir ve temalar arasında örtüşmeler olabilir; ancak bu durum genel anlatı bütünlüğüne zarar vermemelidir (Braun ve Clarke 2006). Son adım olan rapor üretme aşamasında, analiz sürecinde elde edilen temalar arası ilişkiler ve anlamlı örüntüler bütüncül bir şekilde sunulur. King'e göre, bir tematik analiz yalnızca veriler arası yapı tutarlı, özlü, mantıklı ve tekrarsız olduğunda etkili biçimde yazılabilir (King 2004). Thorne (2000), bulguların eleştirel okuyucuya ulaşabilmesi için mantıksal akışın net bir biçimde kurulmasının gerekliliğine işaret ederken; Halpern ise, yöntemsel süreci belgelemenin ve bir denetim izi oluşturmanın güvenilirliği artırdığını vurgular (Halpern 1983). Sonuç olarak, araştırma bulguları mevcut literatürü destekleyebilir ya da ona karşı alternatif bakış açıları geliştirerek katkı sağlayabilir (Tuckett 2005).

Tematik analiz gibi nitel araştırma yöntemleri, sıklıkla "öteki" ye ses verme aracı olarak değerlendirilmektedir. Bu yaklaşımlar, geleneksel olarak araştırmalarda yeterince temsil edilmeyen bireylerin kendi ifadeleriyle düşüncelerini dile getirmelerine imkân tanır; üstelik bu süreçte, önceden belirlenmiş yanıt kategorilerinin sınırlayıcı etkisinden uzak bir iletişim ortamı sağlanmış olur (Pistrang ve Barker 2012). Her ne kadar nicel araştırmalar da marjinalleştirilmiş grupların yanıtlarını yakalayabilse de nitel yöntemler bireylerin daha özgürce kendilerini ifade edebileceği bir bağlam sunarak iletişimi derinleştirir. Ayrıca, araştırma sürecinde sosyal adaletsizlikleri ortaya koyma ve toplumsal dönüşüm yaratma hedefi güdenler için, nitel yöntemler araştırmacı ile katılımcı arasında daha eşitlikçi ve etkileşimli bir ilişki kurulmasını sağladığı için tercih sebebi olabilmektedir (Creswell ve Poth 2016). Tematik analiz, diğer nitel araştırma yaklaşımlarına kıyasla önemli bir avantaja sahiptir; bu da esnekliği yüksek olmasına rağmen analitik titizliğini koruyabilmesidir. Bu yöntem, farklı teorik çerçeveler ve dünya görüşleri doğrultusunda uygulanabilir ve bu yönüyle oldukça uyarlanabilir bir nitel analiz biçimidir. Araştırmacının teorik yaklaşımına ya da araştırma sorularının doğasına bağlı olarak farklı bağlamlara entegre edilebilir (Braun ve Clarke 2006). Ayrıca, tematik analiz nitel verileri incelemek isteyen araştırmacılar için yaygın şekilde tercih edilen bir yöntem olmasının yanı sıra, uygulanabilirliği kolay ve anlaşılır bir yapıya sahip olması nedeniyle erişilebilirliği de oldukça yüksektir. Sonuç olarak tematik analiz, özellikle karmaşık nitel veri setleriyle çalışan araştırmacılar için önerilen; sistematik ve titiz bir inceleme süreci gerektiren durumlarda etkili bir araç olarak öne çıkar. Esnek yapısı ve kolay erişilebilirliği sayesinde, nitel verilerin anlamlı temalar etrafında yapılandırılmasına olanak tanır. Bu yönüyle, hem verilerin bütüncül bir şekilde temsil edilmesini sağlar hem de araştırmacılara düzenli ve metodolojik bir analiz süreci sunar (Riger ve Sigurvinsdottir 2016). Bu sebeple sunduğu imkânlar doğrultusunda bu araştırmada tematik analiz kullanılmıştır. Belgelerde tekrar eden temalar, kavramlar ve

uygulama örüntüleri kodlanarak gruplandırılmıştır. Böylece AUS politikalarının teknolojik, çevresel, toplumsal ve yönetsel yönleri sistematik biçimde değerlendirilmiştir.

Karşılaştırmalı ülke analizi

Türkiye'nin AUS politikaları, farklı ülkelerin AUS politikalarıyla tematik düzeyde karşılaştırmıştır. Bu kapsamda, ülkelerin strateji belgeleri, eylem planları, vizyon belgeleri gibi resmi metinler ve bu ülkelerdeki akademik ve sektörel çalışmalar göz önünde bulundurulmuştur. Analizle, yalnızca politika dokümanlarının içerikleri karşılaştırılmamış aynı zamanda bu politikaların uygulama süreçleri, kurumsal yapılanmaları ve teknolojik çözümleri de değerlendirilmiştir. Karşılaştırma benzerlikler, farklılıklar ve uygulama düzeyindeki etki ve sonuçlar üzerinden gerçekleştirildiği için Türkiye'nin AUS politikalarının hangi açılardan küresel sektördeki uygulamalarla uyumlu olduğu, hangi alanlarda ise gelişime açık olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca karşılaştırmalı ülke analizi, Türkiye için daha etkin AUS politikaları geliştirilmesine zemin hazırlayan stratejik ve yapısal çözümlerin oluşturulmasına katkı sağlamıştır. Uygulama düzeyindeki başarının sadece belge içerikleriyle değil, aynı zamanda yerel ve merkezi idarelerin AUS'a yönelik kapasitesiyle de bağlantılı olduğu vurgulanmıştır.

Zaman serisi yaklaşımı (geçmiş, şimdi, gelecek)

Zamansal seri tahmini, geçmişteki tarihsel verilerden yola çıkarak yakın gelecekteki gelişmeleri öngörmeyi amaçlayan bir analiz yöntemidir. Bu yaklaşım, özellikle kısa vadeli tahmin gerektiren alanlarda (örneğin hisse senedi fiyatları, hava durumu öngörülerini ya da elektrik talebi tahmini gibi konularda) sıklıkla kullanılmaktadır. Benzer biçimde, trafik akışı tahmini de zamansal veri serileri kullanılarak gerçekleştirilebilmekte; bu tahminler hem istatistiksel ve klasik modelleme teknikleriyle hem de modern makine öğrenimi algoritmaları aracılığıyla yapılabilmektedir. Böylece zamana bağlı eğilimlerin doğru bir biçimde analiz edilmesi, ulaşım planlaması ve trafik yönetimi gibi kritik alanlarda karar destek mekanizmalarına katkı sağlamaktadır (Kumar ve Hariharan 2022). Araştırma kapsamında zaman serisi yaklaşımı kullanılmıştır. AUS politikalarının sadece anlık durumlarıyla değil, aynı zamanda tarihsel gelişimi ve gelecekteki olası yönelimleriyle de ele alınması, politika analizi sürecine bütüncül bir bakış açısı sağlamıştır. Bu kapsamda, AUS politikalarının tarihsel gelişimi incelenmiştir. Türkiye özelinde ise ulaşım politikalarının dijitalleşmeye evrildiği dönemsel değişimlerle birlikte değerlendirilmiştir. Ayrıca güncel politikalar, mevcut belgeler ve sektörel eğilimler üzerinden analiz edilerek şu anki durum ortaya konmuştur. Daha sonra, hem küresel hem de ulusal ölçekteki stratejiler doğrultusunda, gelecekte AUS politikalarının nasıl şekillenebileceğine dair öngörüler geliştirilmiştir. Bu öngörüler, yapay zekâ, büyük veri,

elektrikli ulaşım araçları, otonom sistemler ve sürdürülebilirlik konuları temel alınarak oluşturulmuştur. Böylece, çalışmanın zaman eksenli yaklaşımı; geçmişin birikimi, bugünün gerçekliği ve geleceğin stratejik yönelimleri arasında kurulan güçlü bir analitik köprü işlevi görmüştür.

Bulguların yorumlanması süreci

Elde edilen verilerin yorumlanması, tematik analiz, karşılaştırmalı analiz ve zaman serisi yaklaşımı kapsamında bütüncül bakış açısıyla yapılmıştır. Veriler yalnızca betimsel düzeyde sunulmamış, aynı zamanda her bir bulgu, ilgili tematik bağlam ve kavramsal çerçeve doğrultusunda eleştirel ve analitik biçimde değerlendirilmiştir. Temalar doğrultusunda ortaya çıkan durumlar, ülkeler arası karşılaştırma çerçevesinde yorumlanmış, bunların AUS politikalarının başarısına ne ölçüde katkı sağladığı analiz edilmiştir. Ayrıca yorumlama sürecinde normatif değerlendirme de yapılmıştır. Yalnızca mevcut durum tespiti yapılmamış, aynı zamanda politika ve uygulama açısından olması gerekenler üzerine çıkarımlar da yapılmıştır. Bu süreçte yerel bağlamın özellikleri göz önünde bulundurulmuş, geliştirilmesi gereken alanlar tespit edilmiş, stratejik uyarlanabilirlik açısından bulguların Türkiye özelinde nasıl anlamlandırılması gerektiği yorumlanmıştır. Böylelikle sadece mevcut durumu açıklayan değil, aynı zamanda geleceğe yönelik perspektif oluşturan bir yorumlama çerçevesi geliştirilmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Türkiye’deki Gelişim Süreci

Türkiye’de 2000’li yıllardan itibaren AUS alanında kamu-özel sektör iş birliğine dayalı projelere ağırlık verilmiş ve bu dönemde özel sektör katkısıyla Ankara Trafik Bilgi Sistemi ile AUS İstanbul gibi çeşitli trafik bilgilendirme projeleri başlatılmıştır. Ayrıca 2000’li yıllarda, yol ve köprü geçişlerinin otomatik hale getirilmesi ve trafik yoğunluğunun azaltılması amacıyla Otomatik Geçiş Sistemi (OGS), Karlı Geçiş Sistemi (KGS) ve Hızlı Geçiş Sistemi (HGS) gibi uygulamalar geliştirilmiş ve yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Yalçın ve Büyük 2015). 2001 yılından itibaren Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), trafikte sürücüleri bilgilendirmek amacıyla yollar üzerinde Değişken Mesaj İşaretleri (VMS - Variable Message Sign) sistemlerini kullanmaya başlamıştır (Çapalı 2009). Aynı yıl, Ankara’da toplu taşıma sistemlerinde (EGO, metro ve hafif raylı sistem) 45 dakika içinde tek binişlik ücretle üç farklı ulaşım modunun kullanılmasını mümkün kılan akıllı manyetik kartlarla elektronik ödeme sistemine geçilmiştir (Candan 2008). 2006 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ile Emniyet Genel Müdürlüğü (EGM) iş birliğinde yürütülen çalışmalar sonucu Elektronik Denetleme Sistemleri (EDS) devreye alınmış ve bu sistem günümüzde de İstanbul’daki trafik denetimlerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (İlıcılı ve Kızıldaş 2016). Aynı yıl yürürlüğe giren Bilgi Toplumu Stratejisi Ek Eylem Planı’nda ise, 59 numaralı eylem kapsamında “Ulusal Ulaştırma Portalı”nın kurulması hedeflenmiş ve bu portal aracılığıyla kullanıcıların alternatif yol ve güzergâh bilgileri ile hava ve yol durumuna dair bilgilere erişimleri sağlanmıştır (Devlet Planlama Teşkilatı ve Bilgi Toplumu Dairesi 2006). 2005-2010 yılları arasında KGM’nin yürütücülüğünü üstlendiği Araç Sayımı ve Sınıflandırması projesi kapsamında, 2010 yılı sonunda 144 adet otomatik araç sayım istasyonu kurulmuş ve bu sistemler aktif olarak hizmet vermeye devam etmiştir (Yılmaz 2012). 2010 yılı ile AUS uygulamaları Türkiye genelinde yaygınlaşma sürecine girmiştir. Birçok şehirde araç içi ekranlar ve akıllı duraklar aracılığıyla yolcu bilgilendirme sistemleri faaliyete geçirilmiştir. Bu sistemler; otobüs sefer saatleri, güzergâh bilgileri, taşıtların doluluk oranları, alternatif ulaşım modlarına yönlendirme gibi konularda kullanıcılara destek sunarak seyahat sürecini kolaylaştırmaktadır. İBB ve KGM tarafından geliştirilen MOBİETT ve YOLBUL gibi mobil uygulamalarla yolculuk öncesi bilgi paylaşımı sağlanmakta; ayrıca anlık bilgilendirme sunan akıllı duraklar da etkin biçimde kullanılmaktadır. İstanbul’da İETT otobüslerinde yer alan ekranlar ve GPS sistemleriyle entegre çalışan bilgi sistemleri, otobüsün mevcut durağı, yönü,

varış süresi gibi bilgileri anlık olarak yolculara sunmaktadır (Güzelci 2015). Türkiye’de AUS’un planlı ve etkin bir sistem olarak yaygınlaştırılabilmesi adına 2014 yılında ilk Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve Eylem Planı hazırlanmıştır. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı’nın liderliğinde, KGM, belediyeler, üniversiteler ile özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katkılarıyla oluşturulan bu belge, AUS uygulamalarının ülke genelinde gelişmesine önemli katkılar sağlamıştır (Devlet Planlama Teşkilatı ve Bilgi Toplumu Dairesi 2006). Bugün birçok büyükşehirde kurulan Trafik Kontrol Merkezleri (TKM), kentin farklı noktalarına yerleştirilen sinyalizasyon sistemleri ile trafik ölçüm ve izleme teknolojileri aracılığıyla veri toplamakta, bu verileri işleyerek verimli ulaşım planlaması yapılmasını mümkün kılmaktadır. TKM’lerin temel amacı, trafik talebini doğru analiz ederek ulaşım sistemlerinin bu talep doğrultusunda işletilmesini ve böylece sistem verimliliğinin artırılmasını sağlamaktır. Öte yandan, 2011-2013 yılları arasında Avrupa ülkelerinde başlatılan ve 2013 itibarıyla Türkiye’nin de dâhil olduğu 112 Acil Çağrı Merkezi (e-Call) projesi kapsamında, ülke genelinde birçok e-Call merkezi kurulmuştur (Anonim 2025). Gerçek zamanlı konum takibi sağlayan GPS tabanlı sistemler kullanılarak yürütülen Navlun ve Filo Yönetim Sistemleri sayesinde yük operasyonları izlenebilmekte; bu sistemlerle filo yönetiminin daha verimli hâle getirilmesi, yakıt tüketiminin azaltılması ve karbon monoksit salınımının düşürülmesi gibi çevresel ve ekonomik faydalar hedeflenmektedir. Bu kapsamda yük optimizasyonu ve güzergâh planlaması da Türkiye’de uygulanan önemli AUS uygulamaları arasında yer almaktadır (Bakkal ve Oflaz 2011).

Türkiye'nin AUS yaklaşımı, çeşitli mevzuat, politika belgeleri ve stratejik plarlarda doğrudan ya da dolaylı biçimde yer bulmuştur ve bu belgeler kronolojik bir sırayla değerlendirilmelidir. İlk olarak, 2002 yılında hazırlanan e-Türkiye İnisiyatifi Eylem Planı dikkat çekmektedir. Bu planda öncelikli olarak Akıllı Ulaşım Hizmetleri ele alınmış ve "ulaşım sistemlerinde kaynak kullanımının performansını ve verimliliğini artırmak amacıyla elektronik teknolojilerden faydalanılması" hedefi benimsenmiştir. Plan kapsamında AUS geliştirme stratejisi, mimari yapısı ve belediyelerle ilgili eylemler de tanımlanmıştır. 2006 yılına gelindiğinde, Bilgi Toplumu Stratejisi ve Eylem Planı’nda e-ödeme sistemlerinin önemi vurgulanmış; ayrıca ulusal ulaşım portalı, ulaşım talep yönetimi ve benzeri akıllı ulaşım uygulamalarına yönelik önerilere yer verilmiştir. Aynı yıl yürürlüğe giren Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013) kapsamında ise, ulaşım sektöründe özellikle karayollarında trafik güvenliğinin artırılması, mevcut altyapının korunması ve verimli kullanımı hedeflenmiş; ayrıca AUS uygulamaları için BİT’den en üst düzeyde faydalanılması gerektiği belirtilmiştir. 2010 yılında yayımlanan Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi (2010-2023), AUS uygulamalarının geliştirilmesini ulaşım başlığı altında orta vadeli hedef olarak

değerlendirmiştir. 2011 yılına gelindiğinde ise Türkiye Ulaşım ve İletişim Strateji Belgesi'nde AUS kavramı, akıllı yollar ve akıllı araçlar ile birlikte kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Aynı yıl Karayolları Genel Müdürlüğü Görev, Yetki ve Sorumlulukları Hakkında Yönetmelik'e AUS'un kurulması ve denetlenmesine ilişkin hükümler dahil edilmiştir. 2011-2012 yıllarında yayımlanan Orta Vadeli Programlar (2012-2014 ve 2013-2015) kapsamında, taşımacılık başlığı altında karayolu ağı ile kentsel ulaşım da Akıllı Taşıma Sistemleri'nin kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenmiştir. Özellikle 2013-2015 Orta Vadeli Programı'nda, AUS kapsamında otomatik geçiş sistemlerinin yaygınlaştırılması ile sürücü bilgilendirme ve trafik yönetim sistemlerinin kurulması planlanmıştır; aynı zamanda merkezi ve yerel yönetimlerin yönetim ve koordinasyon kapasitesinin, AUS uygulamaları aracılığıyla güçlendirilmesi öngörülmüştür. 2013 yılında yayımlanan 2014-2018 Onuncu Kalkınma Planı kapsamında; ulaştırma, taşımacılık, hareketlilik, yaşanabilir çevre ve akıllı ulaşımı ilgilendiren çeşitli konularla ilgili belirli hedefler ortaya konmuştur. Bu hedefler şu şekildedir:

- 1) Karayolu Trafik Güvenliği Stratejisi ve Eylem Planı çerçevesinde, trafik kazalarına bağlı ölümleri %50 oranında azaltma hedefi benimsenmiş ve bu doğrultuda Trafik Elektronik Kontrol Sistemleri'nin AUS ile entegre biçimde kullanımının artırılması planlanmıştır.
- 2) Elektronik İzleme Sistemi gibi akıllı ulaşım ve trafik yönetim modelleri ile birlikte, kentsel ulaşım da önemli demiryolu projeleri, deniz taşımacılığının payının artırılması ve bisiklet kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik uygulamalara da yer verilmiştir.
- 3) Toplu taşıma sistemlerinin yaygınlaştırılması, küçük motor hacimli elektrikli ve hibrit araçların kullanımının teşvik edilmesi, uygun yerleşim bölgelerinde akıllı bisiklet ağlarının kurulması ve trafiğe kapalı yaya yollarının oluşturulması gibi hedefler belirlenmiştir.
- 4) Taşımacılık modları arasında entegrasyonun sağlanması, yük taşımacılığı alanında daha verimli, hızlı ve güvenli taşıma çözümleri ile lojistik altyapının geliştirilmesine ve özellikle geri kalmış bölgelerde ulaşım bağlantılarının güçlendirilmesine yönelik gereklilikler ele alınmıştır.
- 5) Enerji verimliliğine, çevre dostu araçlara ve temiz yakıt kullanımına öncelik veren ulaşım sistemlerine vurgu yapılmıştır.
- 6) Yaya ve bisiklet ulaşımı gibi alternatif ulaşım modları için yatırım ve uygulamaların teşvik edilmesi hedeflenmiştir.

Aynı yıl Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından yayımlanan 2014-2018 Stratejik Plan'da ise, "ticari, ekonomik ve sosyal ihtiyaçları karşılayacak şekilde ulaşım, denizcilik ve iletişim altyapı ve hizmetlerini gerçekleştirmek ve genişletmek amacıyla dengeli ve teknolojik yeniliklere uygun politika oluşturmak ve planlamak" yönünde stratejik bir amaç belirlenmiştir. Bu planda ayrıca, Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2023) kapsamında yer alan ve ek belge niteliğindeki 2013-2015 Eylem Planı'ndaki eylemlerin uygulanması ve izlenmesi hedef olarak ortaya konmuştur. 2014 yılına gelindiğinde ise, AUS alanında hazırlanan ilk stratejik doküman olan Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2014-2016), Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından hazırlanmış ve 25.10.2014 tarihli, 29156 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. 2015 yılında yayımlanan 2015-2018 Bilgi Toplumu Stratejisi ve Eylem Planı'nda ise, BİT'in akıllı ulaşım ve iletişim altyapılarına adaptasyonu ele alınmış; özellikle akıllı ulaşım, akıllı uygulamalar ve benzeri birçok konunun detaylı biçimde tartışıldığı görülmüştür. 2016 yılında yayımlanan Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Stratejik Planı (2017-2021) kapsamında, bireylerin ve varlıkların güvenliğinin en üst düzeyde korunması, çevresel açıdan sürdürülebilir, kesintisiz ulaşım ve iletişim sistemlerinin sağlanması amacıyla etkili düzenlemelerin, uygulamaların ve denetimlerin hayata geçirilmesi yönünde stratejik hedefler benimsenmiştir. Aynı yıl yayımlanan Türkiye Otomotiv Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2016-2019) ile Türkiye'nin yerli otomotiv markaları aracılığıyla dünya otomotiv pazarında güçlü bir aktör olma vizyonu ortaya konmuştur. Bu belge, acil frenleme sistemleri, sürücü destek sistemleri, aktif hız sabitleme sistemleri, e-Call uygulamaları, şerit takip sistemleri gibi akıllı teknolojilerin geliştirilmesini ve bu alanda uluslararası standartların uygulanmasını hedeflemekte; ayrıca sürücüsüz olmayan araçların test edilmesi de bu plan kapsamında yer almaktadır. 2017 yılında ise yayımlanan 2018-2020 Orta Vadeli Program ile, BİT destekli akıllı uygulamalara (akıllı ulaşım sistemleri, binalar, kentsel ve enerji altyapıları gibi alanlarda) geçişin hızlandırılması ve bu süreçte AR-GE ile yenilikçilik faaliyetlerinin desteklenmesi öngörülmüştür. Aynı yıl ilan edilen Ulusal Geniş Bant Stratejisi ve Eylem Planı (2017-2020) çerçevesinde "Genişbant Arz ve Talebi Oluşturma" stratejik hedefi altında "Akıllı Ulaşım Sistemlerini Geliştirme" başlıklı özel bir eyleme yer verilmiştir. 2019 yılına gelindiğinde, "Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına Dair Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik" ile ulaşım ve iletişim hizmetlerinde çağın ihtiyaçlarına uygun olarak entegre, etkili, hızlı, akıllı, güvenli ve emniyetli AUS sistemlerinin kurulması ve yaygınlaştırılması hedeflenmiştir. Aynı yıl yayımlanan 2019-2023 Onbirinci Kalkınma Planı ile, ulaşım, dijitalleşme, yerli ürün geliştirme, sürdürülebilir ulaşım, hareketlilik ve akıllı ulaşım

teknolojilerine ilişkin pek çok hedef tanımlanmış ve bunların kurumlar arasında eşgüdüm içinde gerçekleştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu kapsamda belirlenen hedefler şu şekildedir:

- 1) Enerji ve zaman tasarrufu sağlayan, trafik güvenliğini artıran ve yol ağının kapasitesini verimli kullanan AUS mimarisi tamamlanacak ve yerel yönetimleri de kapsayacak şekilde uygulamaya konulacaktır.
- 2) Mevcut altyapının daha verimli kullanılması, trafik güvenliğinin artırılması, ulaşım talebinin doğru yönetilmesi ve planlamanın daha etkili yapılması için ulusal ölçekli çeşitli çalışmalar gerçekleştirilecektir. Bu çalışmalar arasında Ulusal AUS Strateji Belgesi ve Eylem Planı'nın tamamlanarak hayata geçirilmesi, AUS mimarisinin geliştirilmesine yönelik projenin tamamlanması ve metropol alanlarda dinamik yolcu, sürücü ve yaya bilgi sistemlerinin kurulması yer almaktadır.
- 3) Sanayi dâhil olmak üzere öncelikli sektörlerin dijitalleşmesi için gerekli akıllı ürün ve sistemler geliştirilecek ve bunlar kullanım alanı bulacaktır.
- 4) Enerji, tarım, sağlık, çevre, ulaşım gibi sektörlerde ve akıllı üretim tesisleri ile afet yönetimi gibi alanlarda uygulanmak üzere yerel standartlar oluşturulacaktır.
- 5) Otomotiv sanayisinin rekabet gücünün artırılması amacıyla bağlantılı ve otonom araçlar ile akıllı mobilite gibi kritik teknolojilerin geliştirilmesi desteklenecek; bu süreçte küresel eğilimler ve değişen kullanıcı talepleri dikkate alınacaktır.
- 6) Otonom ve bağlantılı hatlar için gerekli teknik spesifikasyonlar, yasal düzenlemeler ve altyapı gereksinimleri belirlenecek ve bu sistemlerin aktif olarak işletmeye alınması sağlanacaktır.
- 7) Özellikle dezavantajlı gençlerin ihtiyaç ve beklentilerine uygun olarak geliştirilecek hareketlilik çözümlerinin uygulanması öngörülmektedir.
- 8) Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı başta olmak üzere ilgili kurum ve kuruluşlar bünyesinde kurulacak Sanayileşme Birimleri vasıtasıyla yerli üretimi destekleyen öncü alım programları hazırlanacak, mevzuat uyumu sağlanacaktır.
- 9) Ulaşım sisteminin sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla talep yönetimi sistemi benimsenerek, ulaşım yatırımlarının verimlilik odaklı gerçekleştirilmesi esas alınacaktır.

2019 yılında yayımlanan 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı kapsamında, akıllı hareketliliğin geliştirilmesi ve bağlantılı ile otonom araçlar gibi kritik teknolojilere öncelik verilmesi önemsenmiştir. Bu belgede AUS, akıllı şehir uygulamalarının bir bileşeni olarak ele alınmış ve AUS'un olgunluk seviyesinin artırılmasına yönelik hedefler belirlenmiştir (Talih ve Çelikok 2023). Ayrıca 2019 yılından itibaren geliştirilen politikalarda,

özellikle yeni nesil araç teknolojilerinin ön plana çıktığı ve paylaşım ekonomisinin etkisiyle araç ve sürüş paylaşımlarına yönelik yenilikçi ulaşım stratejilerinin desteklenmeye başlandığı görülmektedir. Bu dönemde, AUS'un daha geniş ölçekte benimsenebilmesi için kritik bir unsur olan altyapı çalışmalarına da ağırlık verilmiştir. Teknolojik gelişmelerin etkisiyle dünya genelinde yaygınlaşan ve altı temel bileşenden (akıllı çevre, akıllı insanlar, akıllı yönetim, akıllı ekonomi, akıllı yaşam ve akıllı ulaşım (hareketlilik)) oluşan "Akıllı Kent" yaklaşımının Türkiye'de uygulanmasına yönelik ilk planın 2019 yılında hazırlanmış olması, akıllı ulaşım odaklı çalışmaları önemli ölçüde hızlandırmıştır (Karlı ve Çelikyay 2022). 2020 yılına gelindiğinde, Avrupa Birliği tarafından EU/2019/2144 sayılı düzenleme doğrultusunda "Motor Araçları ve Bunların Römorkları ile Genel Güvenlik ve Savunmasız Yol Kullanıcıları ile Yolcuların Korunması için Tasarlanmış Bileşenler, Sistemler ve Ayrı Teknik Ünitelerin Tip Onayı Hakkında Yönetmelik" yayımlanmış, özellikle bağlantılı araçlarla ilgili güvenlik konuları üzerinde durulmuştur. Aynı yıl, Türkiye'de Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2020-2023) yürürlüğe konmuş, bu belge ulaşımın dijitalleşmesini sağlamak ve hareketliliği teşvik etmek amacıyla kısa, orta ve uzun vadeli hedefleri içeren bir yol haritası olarak hazırlanmıştır. 2021 yılında yayımlanan Ulusal Yapay Zeka Stratejisi (2021-2025) ile birlikte, AUS kapsamındaki teknolojilerin daha etkin kullanımı hedeflenmiştir. Bu strateji ve eylem planında, ulaşım altyapısının optimizasyonuna yönelik olarak şu başlıklar öne çıkmaktadır:

- AUS bileşenlerini kapsayan bir IoT ağı oluşturulması,
- Bu sistemlerden toplanan verilerin büyük veri ortamında saklanarak analiz edilebilir hale getirilmesi,
- Yapay zeka, iletişim teknolojileri ve derin öğrenme gibi yenilikçi dijital teknolojilerin AUS uygulamalarına entegre edilmesi.

Aynı yıl yayımlanan Elektrikli Scooter Yönetmeliği, paylaşımlı e-scooter işletmeleriyle ilgili düzenlemeleri içermekte olup bu yeni mobilite aracı için yasal çerçeve oluşturulmuştur. Yine 2021 yılında, Yeşil Anlaşma Eylem Planı kapsamında ulaştırma modları arasında denge kurulmasını sağlamak ve sürdürülebilir akıllı ulaşımı desteklemek amacıyla Kombine Taşımacılık Yönetmeliği ve Lojistik Merkezler Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Aynı dönemde yayımlanan Ulusal Genç İstihdam Stratejisi Belgesi ve Eylem Planı (2021-2023) kapsamında ise gençlerin AUS alanında bilinçlenmesini ve farkındalıklarının artırılmasını sağlamak amacıyla çeşitli bilgilendirme, eğitim faaliyetleri, yarışmalar ve çevrim içi oturumlar gibi etkinliklerin gerçekleştirilmesi öngörülmüştür. 2022 yılı itibarıyla Hareketlilik Araçları ve Teknolojileri Yol Haritası yayımlanmış ve bu belge çerçevesinde, otonom araç teknolojilerine

yönelik yasal ve teknik gereksinimlerin belirlenmesi amacıyla Otonom Araçlar Çalışma Grubu kurulmuştur. Bu yol haritasında bağlantılı, otonom ve paylaşımlı araç teknolojileri, raylı sistemlerde ileri düzey teknolojiler, otonom trafik yönetimi sistemleri ve mobilite geliştirme-test merkezlerine yer verilmiştir. Aynı yıl yayımlanan Ulusal Ulaşım Master Planı, Ulaşım ve Lojistik Master Planı ve Güncellenmiş Ulaşım Stratejik Planı kapsamında, ulaşım ve lojistik alanlarında akıllı ve sürdürülebilir hareketliliğin sağlanması, insan kaynaklarının geliştirilmesi, dijitalleşme, rekabetçilik, yenilikçilik, mesleki nitelik artırımı gibi çok boyutlu hedefler vurgulanmış ve bu doğrultuda stratejik önceliklerin belirlenmesi gerektiği ifade edilmiştir. 2022 yılı içinde, 2023-2025 dönemini kapsayan bazı Cumhurbaşkanlığı Kararnameleri ile 1 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesini değiştiren yeni bir Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi yürürlüğe girmiştir. Bu düzenleme kapsamında, akıllı ulaşım konusu Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'nın görev ve sorumlulukları arasına eklenmiş ve İletişim Genel Müdürlüğü'ne şu görevler verilmiştir: AUS'a ilişkin ulusal stratejileri, hedefleri, mimarileri ve uyulması gereken teknik kriterleri belirlemek; eylem planları hazırlamak ve takip etmek; yenilikçi AUS projeleri geliştirmek; kamu kurumları, belediyeler, özel idareler ve AUS alanında faaliyet gösteren gerçek ve tüzel kişilerin ürettiği verilerin kullanımını ve analizini sağlamak amacıyla bir veri yönetim merkezi kurmak, işletmek ve bu süreçlere liderlik etmek; ayrıca ilgili uygulama usul ve esaslarını belirlemek. Böylece Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı İletişim Genel Müdürlüğü, ülkemizde AUS alanında yetkili kurum olarak tanımlanmıştır. Aynı yıl içerisinde 2023-2025 Orta Vadeli Programı da açıklanmıştır. Bu programda, düşük karbon salınımı ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda ulaşım teknolojik dönüşümü hızlandıracak projeler geliştirileceği belirtilmiş, özellikle demiryolu ve kentsel ulaşım politikaları önlemleri de kapsam içine alınmıştır. 2023 yılında yayımlanan Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı'nda ise ilk olarak enerji ve zaman tasarrufu ile trafik güvenliğini artıran ve yol ağında kapasitenin etkin kullanılmasını sağlayan AUS mimarisinin tamamlanarak, yerel yönetimleri de kapsayacak şekilde hayata geçirilmesi hedeflenmiştir. İkinci olarak, toplu taşımada yaygınlaştırılacak tek kartlı ödeme sistemi uygulamaya alınacaktır. Üçüncü olarak Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve Eylem Planı tamamlanıp yürürlüğe girecektir. Son olarak ise AUS mimarisinin geliştirilmesi projesi tamamlanacaktır (Talih ve Çelikok 2023). Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı kapsamında; AUS alanında ulusal düzeyde politika, strateji ve hedeflerin belirlenmesi, ulusal AUS mimarisi ile standartlarının oluşturulması, BİT'den en üst düzeyde faydalanılması, özellikle karayolu olmak üzere tüm ulaşım modlarında yol, sürüş ve trafik güvenliğinin artırılması, trafik kontrol merkezlerinin kurulması, trafik ölçüm ve gözlem altyapısının geliştirilmesi, yerli ve milli teknolojilerin desteklenmesi amacıyla teşvik mekanizmalarının hayata geçirilmesi, yolcu bilgilendirme

sistemlerinin yaygınlaştırılması, yakıt tüketiminin ve emisyon seviyelerinin düşürülmesi gibi pek çok eylemin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, üst politika belgeleriyle uyumlu biçimde belirlenen hedef, amaç ve eylemlerin gerçekleştirilmesi yoluyla AUS alanında bütüncül bir katkı sağlanması amaçlanmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020). Sonuç olarak, çeşitli kamu kurumlarının hazırladığı strateji belgelerinde; güvenli ve sürdürülebilir ulaşımın sağlanması, emisyon oranlarının ve enerji tüketiminin azaltılması, BİT’den etkin biçimde faydalanılması ve bu doğrultuda AUS’un yaygınlaştırılmasına yönelik hedef ve eylemlerin belirlendiği görülmektedir. 2000’li yıllardan itibaren hazırlanan çok sayıda strateji belgesinde akıllı ulaşım ile ilgili politikaların yer aldığı, günümüzde ise yerel yönetimler, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katkılarıyla bu alandaki çalışmaların hız kazandığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, Türkiye’deki kentlerde AUS uygulamaları farklı düzeylerde hayata geçirilmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı’nın (IEA) verilerine göre, ulaşım sektörünün sebep olduğu emisyon miktarının 2030 yılına kadar %50, 2050 yılına kadar ise %80 oranında artış göstereceği öngörüldüğünde (Anonim 2025), hem dünya genelinde hem de Türkiye özelinde AUS yatırımlarının ve uygulamalarının önümüzdeki yıllarda stratejik bir önem taşıyacağı açıkça ortaya çıkmaktadır (Tektaş ve Tektaş 2019).

Günümüz Türkiye’inde Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Mevcut Durumu

Bugün, Türkiye’de AUS’un mevcut altyapısı şehir merkezlerinde trafik yoğunluğunu izleyen sensörler, dinamik yönlendirme tabelaları ve mobil uygulama üzerinden toplu taşıma bilgilendirmeleri gibi unsurlardan oluşmaktadır. Kurumlararası iş birliği, merkezi yönetimde Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı ile yerelde büyükşehir belediyeleri arasında yapılmakta; trafik yönetim merkezlerinde veri paylaşımı, koordinasyon ve senkronizasyonla sağlanmaktadır. Ek olarak, yerel yönetimlerin yaptığı uygulamalar arasında yüz tanıma destekli toplu taşıma, elektrikli araç şarj istasyonları ve bisiklet entegrasyon projeleri öne çıkmakta; tüm bu unsurlar, teknolojik dönüşüm ve vatandaş odaklı yaklaşımların sahaya yansımalarıdır. Türkiye’de ortaya konan sistemlerden bazıları beş başlık altında toplanabilir. Yolcu bilgilendirme sistemleri kapsamında, Bilgi Toplumu Dönüşüm Stratejisi Eylem Planı çerçevesinde ve koordinasyonu Bakanlık tarafından sağlanan “59 Nolu Eylem; Ulusal Ulaştırma Portalı” aracılığıyla, iki nokta arasındaki ulaşım planlaması bireysel veya toplu taşıma seçeneklerine göre gerçekleştirilebilmektedir. Portal, kullanıcılarına ulaşım türüne göre seyahat alternatifleri sunmanın yanı sıra; yol durumu, trafik kazaları, hava koşulları ve radyo yayınları gibi çeşitli bilgilere erişim imkânı tanımaktadır. Dört dil seçeneğiyle hizmet veren sistem, aynı zamanda mobil uygulama desteği, üç boyutlu sokak görüntüleri, birden fazla ulaşım moduyla yolculuk planlaması ve çocuklara yönelik trafik eğitimi içerikleri gibi çeşitli bileşenleri de bünyesinde

barındırmaktadır. Öte yandan, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından geliştirilen İBB CepTrafik uygulaması da İstanbul'daki trafik durumunu kullanıcılarına anlık olarak yoğunluk haritaları ve canlı kamera görüntüleriyle sunarak etkili bir bilgilendirme hizmeti sağlamaktadır (Anonim 2025). Trafik Yönetimi, İşletimi ve Denetimi kapsamında, Türkiye'de Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluğunda İzmir, Mersin, İstanbul ve Ankara Bölge Müdürlükleri bünyesinde Trafik Yönetim Merkezleri kurulmuştur. Bu merkezlerle entegre çalışan sistemler arasında meteoroloji sensörleri, değişken mesaj işaretleri ve izleme kameraları yer almakta; ayrıca Karadeniz Sahil Yolu üzerindeki tünellerde, hem tünel içi hem de tünel dışını kapsayan kamera sistemleri, değişken mesaj panoları ile tünel kontrol ve alt kontrol merkezleri de bulunmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2014). Bununla birlikte, başta İstanbul olmak üzere birçok büyükşehir belediyesi de kendi sorumluluk alanlarında trafiği yönetmek ve işletmek amacıyla trafik yönetim merkezleri kurmuştur. Trafik yönetim sistemleri kapsamında uygulanan bir başka örnek ise, belirli bir hızla ilerleyen araçların bir güzergâh boyunca kırmızı ışıktaki durmaksızın seyretmesini sağlayan dinamik trafik ışıklarıdır; bu sistem Denizli kent merkezinde "green line" (yeşil dalga) uygulaması olarak hayata geçirilmiştir (Altınörs vd 2022). Toplu taşımaya yönelik akıllı sistemler kapsamında Türkiye'de çeşitli illerde farklı elektronik ücret toplama uygulamaları hayata geçirilmiştir. İstanbul'da toplu ulaşımında sınırlı kullanımlı elektronik kart, Akbil, İstanbolkart ve Elektronik Kart gibi sistemler kullanılmaktadır. İzmir'de ise 1999 yılından bu yana hizmet veren "Akıllı Kartlarla Elektronik Ücret Toplama Sistemi" kapsamında günümüzde yaklaşık 3 milyon "İzmirim Kart" aktif olarak kullanılmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2014). Gaziantep'te uygulanan Elektronik Ücret Toplama Sistemi yalnızca toplu taşıma araçlarında değil, aynı zamanda müzeler ve turistik ziyaret alanlarında da elektronik ücret tahsilatı ve turnike çözümleri sunmaktadır. Adana'da hayata geçirilen "Temassız Akıllı Kartlarla Elektronik Ücret Toplama ve Araç Takip Sistemi" ile belediye otobüsleri sisteme entegre edilmiş, ayrıca Adana Büyükşehir Belediyesi ile özel halk otobüsleri kooperatifleri tarafından kullanılan "Araç Takip Sistemi" sayesinde araçların konum takibi ve performans raporlamaları yapılabilmektedir (Altınörs vd 2022). Elektronik ücret toplama sistemleri kapsamında Türkiye'de ilk olarak 1999 yılında OGS uygulanmaya başlanmıştır. Bu sistem, otoyollarda seyreden araçların kat ettikleri mesafe ve araç sınıfına göre ücretlendirilmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiş olup, operatörlü bir yapıya sahiptir. OGS, zaman kaybını azaltmak ve hızlı geçişi mümkün kılmak amacıyla ilk kez Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nde devreye alınmıştır (Anonim 2025). OGS'ye ek olarak geliştirilen KGS, geçiş ücreti tahsilatının gişe memuru olmaksızın otomatik şekilde yapılmasını mümkün kılmıştır. 2012 yılı itibarıyla ise HGS devreye alınmış ve bu sistemin uygulanmasıyla birlikte trafik yoğunluklarının azaltılması, seyahat sürelerinin kısaltılması ve sürücü memnuniyetinin

artırılması hedeflenmiştir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2014). HGS sayesinde geçişlerdeki fiziksel engeller ortadan kaldırılmış, kameralarla ihlal tespiti yapılabilmiş ve böylece trafik akışındaki verimlilik üç kat artmıştır (Anonim 2025). İleri Sürücü Destek ve Güvenlik Sistemleri kapsamında değerlendirilebilecek çeşitli uygulamalar, günümüzde Türkiye'de de kullanılmaktadır. Bu uygulamalar arasında; navigasyon cihazı ve haritasına dayalı navigasyon sistemleri, GSM tabanlı çalışan filo takip sistemleri, araç içi yolcu bilgilendirme ve eğlence sistemleri, araçlar arası iletişimi sağlayan V2V (Vehicle-to-Vehicle) elektronik kontrol üniteleri, otomatik park ve otomatik vites sistemleri yer almaktadır. Ayrıca, sürüş konforunu ve güvenliğini artırmaya yönelik olarak akıllı seyir sistemleri, aracın hız sabitleme sisteminin öndeki araçlara veya nesnelere göre otomatik olarak ayarlandığı adaptif hız sabitleyici, şerit değiştirme uyarı sistemi, öndeki araçla güvenli takip mesafesini koruyan araç takip tempomatı, kör nokta uyarı sistemi, acil durumlarda servis birimlerine otomatik kaza bildirimi yapan e-Call sistemi, hız uyarı sistemleri ve düşük hızda gerçekleşen çarpışmaları hafifletmeye yönelik güvenlik sistemleri bulunmaktadır. Bunların yanı sıra, sürücü yorgunluğunu algılayan sistemler, kaza anına kadar olan son saatlik araç verilerini kayıt altına alan veri kaydediciler, aracın devrilmesini önleyici sistemler, yolcu konforunu artırmak amacıyla süspansiyonun otomatik ayarlanmasını sağlayan comfort drive suspension sistemleri, lastik basınç kontrolü ve otomatik lastik şişirme sistemleri de bu kapsama girmektedir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2010). Öte yandan, toplu taşıma araçlarında da benzer teknolojiler yaygın şekilde kullanılmaktadır. Otobüslerde; yolcu bilgi ve eğlence sistemleri, elektronik bilet iptali için kullanılan yol bilgisayarı/araç validatörü, durak bilgi sistemleri, araç takip tempomatları, şerit asistanları, filo takip sistemleri, kamera kayıt sistemleri, ücretlendirme sistemleri, yolcu sayma mekanizmaları ile güzergâh ve yol bilgisini aktaran elektronik panolar gibi çeşitli ileri teknoloji uygulamaları yer almaktadır ve bunlar da İleri Sürücü Destek ve Güvenlik Sistemleri içinde değerlendirilmektedir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2010).

Türkiye’de AUS ve hareketlilik alanında çeşitli kamu kurumlarının katkılarıyla çok sayıda faaliyet ve çalışma yürütülmektedir. Başta Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı olmak üzere; Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İçişleri Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Ticaret Bakanlığı gibi pek çok bakanlık, AUS politikalarının şekillendirilmesinde doğrudan ya da dolaylı olarak aktif rol oynamaktadır. Aynı şekilde, AUS kapsamındaki çalışmalara yerel yönetimler de önemli katkılar sunmakta; belediyeler çeşitli projeler, uygulamalar ve planlarla bu alandaki faaliyetleri desteklemektedir. Öte yandan, yükseköğretim kurumları da AUS çerçevesinde yoğun bir akademik üretim gerçekleştirmektedir. Bu kurumlarda AUS’a yönelik birçok akademik yayın, tez, proje ve bilimsel çalışma yürütülmekte; ayrıca nitelikli insan kaynağının artırılmasına yönelik olarak

Yükseköğretim Kurulu (YÖK) tarafından doktora bursları verilmektedir. Bazı üniversiteler, AUS konularında araştırma ve uygulama yapmak üzere özel araştırma merkezleri kurmuştur. Özel sektör tarafında ise AUS ekosistemi içinde yer alan mobil ağ operatörleri, hizmet sağlayıcıları, tedarik zinciri aktörleri, otomotiv üreticileri ve ulaşım ile trafik endüstrisi firmaları gibi çok çeşitli aktörler faaliyet göstermektedir. Ayrıca, Türkiye’de bu alanda doğrudan veya dolaylı olarak etkinlik gösteren Akıllı Ulaşım Sistemleri Türkiye, Türkiye Belediyeler Birliği ve Otomotiv Sanayi Derneği gibi sivil toplum kuruluşları da AUS uygulamalarının gelişimine katkı sunan başlıca paydaşlar arasında yer almaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020). Türkiye’de birçok kurum ve kuruluş, AUS ve hareketlilik alanında çeşitli çalışmalar gerçekleştirmektedir. Bu çalışmaların uyum içinde yürütülmesini sağlamak amacıyla, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, AUS kapsamındaki politika, strateji, hedef ve uygulama esaslarını belirlemekte ve bu uygulamaların takibini yapmaktadır. Bakanlık aynı zamanda, belirlenen teknik standartların ülke genelinde etkin şekilde kullanılmasını temin etmekte; AUS ile ilişkili iletişim altyapılarını kurmak ve geliştirmek üzere çalışmalar yürütmekte; bu alandaki uluslararası iş birliklerini koordine etmekle de sorumluluk üstlenmektedir (Talih ve Çelikok 2023). Bu bağlamda Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından yürütülen ve 2016-2035 yıllarını kapsaması planlanan Ulusal Ulaştırma Ana Planı taslağında, AUS’a yönelik olarak yolcu bilgilendirme sistemlerinin geliştirilmesi, birlikte çalışabilirlik, mevcut altyapının güçlendirilmesi ve gelecekteki teknolojilere hazırlıklı olunması gibi başlıklar ele alınmaktadır. Söz konusu Ana Plan taslağı, ulusal düzeyde tüm ulaşım sektörlerinde verimliliği artırmayı amaçlayarak, AUS teknolojileri ile bu teknolojilere dayalı uygulamaların geliştirilmesine odaklanmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020). Ulusal düzeyde etkinliği artırabilmenin, küresel piyasada yer alabilmenin önemli noktalarından birisi de akıllı şehir stratejileri ve Türkiye’deki şehirlerin akıllı şehirlere dönüşümüdür. Bu kapsamda 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı; sistematik, yapısal ve bütüncül bir yaklaşımla tasarlanmış olup, uygunluk değerlendirme modelinin kullanımıyla ekosistem ihtiyaçlarına göre uyarlanabilir bir yapı sunmaktadır. Yatırım ve kaynakları etkin şekilde yönlendiren ve önceliklendiren bu plan, paydaş katılımını esas almakta; üst politika belgeleri ile tematik stratejilerle uyumlu şekilde ortak akıl çerçevesinde geliştirilmiştir. Vatandaş deneyimi ve geri bildirimlerini merkeze alan bu strateji, toplumsallık, sosyal dışlanma ve dijital uçurum gibi hususları dikkate alarak yeni teknolojilerin farkında olan yenilikçi bir bakış açısı ortaya koymaktadır. Ayrıca fayda-maliyet dengesine önem veren, sosyal, ekonomik ve kültürel etkileri öngören, izleme-değerlendirme mekanizmalarını içeren, dinamik koşullara uyum sağlayan ve teşvik mekanizmalarıyla desteklenen bir yapıya sahiptir. Rehberlik sağlayan örnek uygulamalarıyla öncü bir model sunan bu belge, Türkiye’nin ilk Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi

ve Eylem Planı olmasının yanı sıra, dünya genelinde yayımlanan dördüncü ulusal strateji olma özelliğini taşımaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2019). Ayrıca Eylül 2012 tarihinden itibaren, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Avrupa Kara Taşımacılığı Telematik Uygulama Koordinasyonu (ERTICO) üyesi olarak Avrupa ülkelerindeki AUS paydaşlarını bir araya getiren ortak sivil platformun faaliyetlerini yakından izlemektedir. Ayrıca, 2019 yılının sonlarından itibaren Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Avrupa Komisyonu'ndan aldığı mali destekle Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri (K-AUS) için yürütülen pilot projeleri koordine eden C-Roads Platformu'na "İlişkili Üye" statüsüyle katılmıştır (Talih ve Çelikok 2023). Günümüzde, AUS alanında belirli sorumluluklar Türkiye Cumhuriyeti tarafından üstlenilmiştir. Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, AUS kapsamında çeşitli görevlerle yetkilendirilmiştir. Bu kapsamda, "akıllı ulaşım sistemleri için ulusal düzeyde stratejilerin, hedeflerin, mimarilerin ve uyulması gereken teknik kriterlerin belirlenmesi; eylem planlarının hazırlanması ve izlenmesi; yenilikçi AUS projelerinin geliştirilmesi; kamu kurum ve kuruluşları, özel idareler, belediyeler ile gerçek ve tüzel kişilerin AUS kapsamında ürettikleri verilerin kullanımı ve değerlendirilmesini sağlamak üzere bir veri yönetim merkezinin kurulması, işletilmesi ve yönetilmesi ile bu görevlerle ilgili uygulama usul ve esaslarının belirlenmesi" görev ve sorumluluğu Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'na verilmiştir (T.C. Resmi Gazete 2018).

AUS, telekomünikasyon, elektronik ve bilgisayar teknolojilerinin ulaşım sektörüyle bütünleşik bir şekilde kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Konum belirleme, haberleşme ve haritalama gibi sistemlerin entegre biçimde çalışması, akıllı ulaşım uygulamalarının teknolojik altyapısını oluşturmaktadır. AUS alanında kullanılan belli başlı teknolojiler, haberleşme teknolojileri, algılama sistemleri ve kooperatif sistemler olmak üzere üç ana başlıkta toplanabilir. Haberleşme teknolojileri kapsamında, GNSS (Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi), AUS'da seyahat planlaması, konum bilgisi edinme, rota belirleme ve araç takibi gibi işlevlerde yoğun olarak kullanılmaktadır. RFID (Radyo Frekansıyla Tanımlama) sistemleri, özellikle ücret toplama sistemlerinde kullanılmakta olup hem aktif hem pasif yapıdadır; Türkiye'deki HGS etiketleri bu teknolojinin yaygın örneklerindendir. DSRC (Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme), 5.9 GHz frekans bandında çalışan bir haberleşme sistemidir ve özellikle ücret toplama ile araçtan her şeye (V2X) haberleşme kapsamında kullanılmaktadır. Türkiye'de 1999'dan itibaren OGS sisteminde bu teknolojiye başvurulmuştur. Yakın Alan Haberleşmesi (NFC), veri alışverişi ve ödeme işlemleri gibi alanlarda temassız kartlar, cep telefonları ve akıllı saatler ile entegre şekilde kullanılmaktadır. Hücreli haberleşme ağları da 3G, 4G, 4.5G ve 5G ile, güvenlikten navigasyona, araç içi bilgilendirme ve eğlence hizmetlerine kadar birçok AUS uygulamasında yer almaktadır. Radyo Veri Sistemi (RDS) ve Sayısal Radyo Yayını (DAB),

geniş alanlara trafik, seyahat ve acil durum bilgileri yaymak için kullanılırken, günümüzde radyolarda şarkı bilgileri gibi içeriklerin gösterilmesi de bu teknoloji ile sağlanmaktadır. LPWAN (Düşük Güç Geniş Alan Ağı) teknolojileri ise özellikle IoT ve M2M cihazlarının kablosuz bağlantısını düşük güç tüketimiyle gerçekleştirmektedir. Bu kapsamda NB-IoT, mevcut GSM altyapısını kullanarak kamera ve sensörlerden veri toplamayı sağlar. LoRa teknolojisi, düşük maliyetli, uzun menzilli kablosuz haberleşmeyi mümkün kılar ve özellikle lojistik, enerji ve doğal kaynak yönetimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Sigfox ise düşük veri hızında çalışmakta, şehir içinde 10 km ve kırsalda 50 km'ye kadar veri iletimi sağlayarak AUS içinde akıllı otopark ve yol çalışması gibi uygulamalarda yer bulmaktadır. Algılama teknolojileri, yol, çevre, hava ve araçlara dair bilgilerin ölçümünü sağlamaktadır. Bu sistemler sensör temellidir ve araç sayımı, trafik yoğunluğu, hava durumu ve emisyon verisi gibi bilgilerin toplanmasında kullanılır. Mobil cihazlardan gelen verilerle birlikte yol kenarına yerleştirilen sensörler aracılığıyla elde edilen bilgiler işlenerek alternatif güzergâh önerileri oluşturulabilmektedir. Bu kapsamda kullanılan sensör teknolojileri arasında endüktif döngüler, ultrasonik sensörler, lidar, video kameralar ve radar sistemleri yer almaktadır. K-AUS, araçların birbirleriyle ve altyapıyla doğrudan iletişime geçmesini sağlayan ileri bir teknolojidir. Bu sistem, karayolu taşımacılığında verimliliği ve güvenliği artırmayı, çevresel etkileri azaltmayı hedeflemektedir. K-AUS kapsamında araç-arac (V2V), araç-altyapı (V2I), altyapı-altyapı (I2I) ve araç-her şey (V2X) gibi haberleşme formları yer almakta; yol kenarına yerleştirilen haberleşme cihazları ile sürücülere yoldaki tehlikeler hakkında anlık bilgi aktarımı sağlanmaktadır. Özellikle geçiş önceliği bulunan ambulans, polis gibi araçlarla ilgili erken uyarılar sayesinde olaylara müdahale süresi kısaltmakta, yol güvenliği ve seyahat konforu artmaktadır. Türkiye'de henüz test aşamasında olan bu sistemler, Avrupa Birliği ülkelerinde oluşturulan test koridorları ve sürücüsüz araç çalışmalarıyla daha ileri düzeyde gelişim göstermektedir. Ayrıca, klasik AUS uygulamalarında toplumla temas eden saha ekipmanları, bu teknolojilerin görünür yüzünü oluşturmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020). Günümüzde AUS kapsamında pek çok uygulama geliştirilmiştir ve bunlardan bazıları özellikle dikkat çekmekte, yaygınlaşma potansiyeline sahiptir. Öncelikle, MaaS olarak bilinen Hareketlilik Servisi, talebe bağlı olarak farklı ulaşım türlerinin entegre edilmesiyle tek bir hareketlilik hizmeti sunmayı amaçlamaktadır. İlk olarak Finlandiya'da uygulanmış olan MaaS, ulusal ulaşım politikalarında önemli bir yer tutmaktadır. Bu sistemde, kullanıcıların toplu taşıma, araç paylaşımı, bisiklet paylaşımı, araç kiralama gibi farklı ulaşım seçeneklerine ya da bunların kombinasyonlarına tek bir uygulama ve ödeme kanalı üzerinden erişimleri sağlanmaktadır. MaaS'ın temel hedefi, bireylerin kendi araçlarını kullanmak yerine daha ekonomik, sürdürülebilir ve verimli ulaşım alternatiflerine yönelmelerini teşvik etmektir.

Bunun yanı sıra, Araç Paylaşımı modeli, genellikle saatlik sürelerle araç kiralarak özellikle kentsel alanlarda kısa mesafeli yolculukların gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bu uygulama, yol ve park alanlarının daha etkin kullanılmasına olanak tanımakta ve kullanıcıların araç sahipliğiyle ilişkili maliyet ve sorumluluklardan kurtulmasına yardımcı olmaktadır. Toplu taşımaya göre daha esnek bir ulaşım alternatifi sunan araç paylaşımı, yoğun şehir hayatında önemli bir seçenek olarak değerlendirilmektedir. Yolculuk Paylaşımı ise, sürücünün aracındaki boş koltukları aynı yönde seyahat eden diğer yolcularla paylaşmasını mümkün kılarak hem bireylere kişisel konfor hem de çevresel fayda sağlamaktadır. Bu yöntem, trafik yoğunluğunu azaltma açısından da katkıda bulunmaktadır. Araç Havuzu uygulaması ise, birden fazla özel aracın belirli kullanıcı gruplarıyla (örneğin iş yerindeki arkadaşlarla) düzenli ve ücret karşılığında paylaşılmasını ifade eder. Ayrıca, Park Et Devam Et sistemi, yolcuların özel araçlarını toplu taşıma ağının yakınındaki otoparklara bırakmalarını ve seyahatlerine toplu taşıma ile devam etmelerini teşvik etmektedir. Benzer şekilde İndir Devam Et uygulaması, özel araç yolcusunun seyahatinin bir bölümünü toplu taşıma ile sürdürmesini sağlamaktadır; örneğin, bir tanıdık tarafından toplu taşıma durağına bırakılması gibi. Alan Trafik Kontrolü ise, yol ağındaki kavşaklar ve bağlantılarda sinyal kontrolü ile alternatif güzergâh önerilerini koordine ederek, yolculuk sürelerinin kısalması, kaza oranlarının azalması, yakıt tüketiminin düşmesi ve trafik sıkışıklığının hafiflemesine katkıda bulunmaktadır. Bu sistemler karmaşık ve maliyetli olmakla birlikte, Hong Kong, Finlandiya ve İngiltere'nin bazı bölgelerinde başarıyla uygulanmaktadır. Trafik sıkışıklığını azaltmak amacıyla uygulanan Sıkışıklık Ücretlendirme modeli, belirli yoğun bölgelerde araç kullanımını ücretlendirerek talebi dengelemeyi hedeflemektedir ve Londra, Amsterdam gibi şehirlerde örnekleri bulunmaktadır. Son olarak, akıllı telefonların yaygınlaşması ile gelişmiş taksi uygulamalarına sıklıkla başvurulmaya başlanmıştır. Bu uygulamalar kullanıcıların ulaşım araçlarını bulmalarına, çağırma ve ücret ve güzergâh belirlemelerine olanak tanımaktadır. Bazı uygulamalar aynı güzergâhı paylaşan yolcular için taksi paylaşımı imkânı sunarak hizmet kalitesini artırmakta ve zaman, maliyet ile enerji tasarrufu sağlamaktadır. Hem yerli hem yabancı pek çok uygulama bu alanda kullanıcı ihtiyaçlarını karşılamaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020).

Türkiye'de Karşılaşılan Temel Sorunlar ve Başarılar

Çevre, güvenlik, ekonomi, ulaşım ve yönetim gibi birçok kentsel hizmet alanında ortaya çıkan sorunlar, günümüz kentlerinin çözüm üretmesi gereken temel meseleleri oluşturmaktadır (Güven 2016). Bu sorunlardan biri olan trafik problemi, birçok kentin ortaklaşa mücadele ettiği temel bir ulaşım sorunu olarak öne çıkmaktadır. Kentlerde nüfusun artması, hizmet alanlarının genişlemesi ve yaşamın neredeyse kesintisiz bir şekilde devam etmesi gibi dinamikler,

geleneksel yöntemlerle kentsel hizmetlerin yürütülmesini zorlaştırmakta; daha hızlı, kesintisiz, yenilikçi ve etkili hizmet sunmayı hedefleyen bir yönetim anlayışını gerekli kılmaktadır. Ulaşım hizmetlerinin de dahil olduğu bu kentsel dönüşüm süreci, aynı zamanda köklü bir paradigma değişiminin yaşandığına işaret etmektedir. Bu dönüşümde etkili olan faktörler arasında artan ulaşım talebi, uzayan seyahat süreleri, çevre dostu yakıtlarla çalışan toplu taşıma araçlarının tercih edilmesi, geleneksel sürüş kavramının yerini yeni bir mobilite anlayışına bırakması ve hızla artan zaman tasarrufu ihtiyacı yer almaktadır (Knoflach 2022). Aynı zamanda, kent içi ulaşım araçlarının sayısındaki artış, bireysel araç kullanımının yaygınlaşması ve bireylerin hareketlilik süreçlerinde kesintisiz, kaliteli ve hızlı hizmet arayışı da bu durumu tetikleyen unsurlar arasında yer almaktadır (Rocha Filho vd 2020). Bundan dolayı, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde yaşanan trafik probleminde nüfus artışı, ekonomik büyüme gibi gelişmelerle paralel ilerleyen temel etkenlerden biri olarak değerlendirilmektedir (Bashingi vd 2020). Trafik sorununa çözüm arayışında olan kent yönetimlerinin, BİT'e dayalı akıllı ulaşım uygulamalarını benimseyerek çeşitli başarılar elde ettikleri görülmektedir (Makino vd 2018). Bu doğrultuda geliştirilen teknoloji tabanlı çözümler yalnızca trafik problemlerinin giderilmesine değil, aynı zamanda dolaylı yoldan çevresel sorunların hafifletilmesine de katkı sunmaktadır (Aslan 2024). Kamu yönetimi alanında dijital dönüşüm süreciyle birlikte hız kazanan teknoloji odaklı değişim, yalnızca genel yapısal sorunları değil, aynı zamanda kentlerin kendi özgün koşullarına bağlı olarak şekillenen birtakım zorlukları da beraberinde getirmiştir. Bu özgün koşullar; teknoloji altyapısının yetersizliği, (örneğin AUS bileşenlerinde kullanılan teknolojilerin büyük oranda dışa bağımlı olması, yerli üretimin sınırlı kalmasıyla sonuçlanmakta ve bu da stratejik bir zafiyet oluşturmaktadır.) insan kaynağının niteliği, güçlü bir mali yapı ihtiyacı ve toplumsal adaptasyon gibi değişkenler üzerinden değerlendirildiğinde, akıllı ulaşım süreçlerinde kentlere özgü engellerin etkili bir şekilde ortaya çıktığı görülmektedir (Shaaban vd 2021). Akıllı ulaşım uygulamalarının gerçekleştirilmesinde yaşanan problemler araştırıldığında, bu problemlerin altyapı, finansman, insan kaynağı, veri yönetimi, bakım-onarım, kullanıcı adaptasyonu ve mevzuat eksiklikleri gibi alanlarda yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Altyapı boyutunda, mevcut kentsel ulaşım altyapılarının AUS ile entegrasyona uygun olmaması, yeni altyapıların kurulmasını veya mevcutların dönüştürülmesini zorunlu kılmakta ve bu durum hem zaman hem de maliyet açısından önemli yükler getirmektedir. Maliyet yönünden bakıldığında, akıllı ulaşım uygulamalarının hayata geçirilmesi ve sürdürülebilirliği için yüksek kurulum ve bakım giderleri söz konusudur. Kent yönetimlerinin bu maliyetleri yalnızca kendi kaynaklarıyla karşılamaları çoğu durumda mümkün olamayacağından, hibe ve kredi programlarından yararlanmak, kamu-özel sektör iş birlikleri kurmak ya da ulusal ve uluslararası destek programlarına başvurmak gibi finansman modelleri

geliştirmeleri gerekmektedir. Bir diğer önemli engel ise veri yönetimiyle ilgilidir. AUS'un işleyebilmesi için büyük hacimli verilerin toplanması, analiz edilmesi, güvenliğinin sağlanması ve gizlilik ilkeleri çerçevesinde saklanması gerekmektedir. Ancak, bu sürecin her aşamasında karşılaşılan güvenlik tehditleri, veri gizliliği konusundaki toplumsal hassasiyetler ve şeffaflık beklentileri, veri yönetimi sürecini oldukça karmaşık hâle getirmektedir (Mandreoli vd 2010). İnsan kaynağı ve bakım-onarım başlıkları da uygulamaların sürdürülebilirliği açısından kritik önemdedir. Akıllı ulaşım uygulamaları ileri teknoloji barındırdığı için, bu sistemlerin tasarımı, kullanımı, güncellenmesi ve bakımında görev alacak teknik donanımına sahip personelin istihdamı büyük önem taşımaktadır. Ancak, birçok yerel yönetimde bu niteliklere sahip insan kaynağı bulunmamakta ve bu durum uygulamaların etkinliğini sınırlamaktadır. Kullanıcı adaptasyonu da bir diğer engel olarak öne çıkmaktadır. Vatandaşların yeni sistemleri benimseme sürecinde yaşadıkları direnç, alışkanlıklarından vazgeçme konusundaki isteksizlik, geleneksel yöntemlere olan bağlılık ve kimi zaman yanlış teknoloji tercihlerine bağlı olarak gelişen çekimser tutumlar, AUS'un yaygınlaşmasını olumsuz etkilemektedir. Son olarak, mevzuat eksiklikleri AUS'un tasarımı, uygulanması ve geliştirilmesi süreçlerinde karşılaşılan en temel yapısal sorunlardan biridir. Diğer akıllı kent uygulamalarında olduğu gibi, AUS için de uyumlu ve bütüncül bir yasal çerçevenin oluşturulması gerekmektedir. Bu çerçevenin tamamlayıcı bir mevzuat ile desteklenmesi, hem projelerin sağlıklı bir şekilde tasarlanması hem de uygulama ve geliştirme süreçlerinde rehberlik etmesi açısından önemlidir. Tüm bu engellerin tespit edilip giderilmesi, akıllı ulaşım uygulamalarının yalnızca daha verimli işlemesini sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda kent yönetimlerinin ulaşım ile ilgili yaşadığı temel sorunların çözümünde de etkin bir rol oynayacaktır (Aslan 2024). Buna ek olarak Nijkamp ile Shiftan ve diğerlerinin belirttiği üzere, ulaşımın gelişimini etkileyen beş temel faktör bulunmaktadır. Bunlar; mekânsal ve arazi kullanım kalıpları, hükümet politikaları, ekonomik güçler, teknoloji ve sosyal-davranışsal eğilimlerdir (Nijkamp 1999; Shiftan vd 2003). Bu faktörlerin her biri zaman içinde değişim geçirerek birbirleriyle etkileşim içinde olur ve ulaşım sisteminin yapısını şekillendirir. Ayrıca, bu unsurlar mobil teknolojiler, altyapı tasarımı, seyahat alışkanlıkları, motorlaşma oranları ve politika uygulamaları gibi alanları da etkileyerek ulaşımın sürdürülebilirliğini doğrudan belirler. Shiftan ve diğerleri bu beş ayrı faktörü özetlemektedir (Shiftan vd 2003). Mekânsal ve arazi kullanımı kalıpları bağlamında seyahat talebi ve buna bağlı ulaşım sistemi; kentsel alanın büyüklüğü, bina yoğunluğu, uzmanlaşma seviyesi ve kentsel faaliyetlerin yaygınlığı aracılığıyla şekillenmektedir. Altyapı ve binaların uzun ömürlü yapısı nedeniyle, mekânsal kalıpların ulaşım üzerindeki etkisi uzun vadede hissedilir. Hükümet politikaları kapsamında yetkililer, gelecekteki gelişmeler için geçiş haklarını koruma gerekliliği, büyük mali yatırımlar ve olumsuz dış etkileri göz önünde

bulundurma gibi sebeplerle ulaşım gelişiminde önemli rol oynar; bu yüzden ulaşım, politika önceliklerine oldukça duyarlıdır. Ekonomik güçler faktöründe ise büyük ölçekli ulaşım projeleri, yüksek finansal yatırım gerektirdiği, ana sermayenin gerekliliği, projelerin uzun vadeli oluşu ve geri dönüş süresinin yavaşlığı nedeniyle ekonomik değişimlere karşı hassastır. Teknolojik gelişmeler ise sürdürülebilir ulaşımında kritik bir rol üstlenir; atık işlemlerinin iyileştirilmesiyle kirliliği azaltmakta ve iletişim sayesinde fiziksel seyahat seçenekleri sunmaktadır. Ancak, ulaşımındaki teknolojik ilerlemeler görece yavaş gerçekleşmektedir; bunun temel nedenleri projelerin büyüklüğü ve maliyeti, uzun süren araştırma-geliştirme süreçleri ve altyapı ile mobil ekipmanın uzun ömürlü yapısıdır. Son olarak, sosyal ve davranışsal eğilimler bireysel alışkanlıkların yanı sıra pratik ve duygusal unsurların birleşiminden oluşmakta olup, sosyal değerler ve normlar bireylerin ulaşım tercihleri üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir (Yigitcanlar vd 2008).

Ayrıca ulaşım hizmetleri, kamu ekonomisi ile piyasa ekonomisinin birbirine entegre bir şekilde işlediği bir faaliyet alanı olarak öne çıkmaktadır (Bulutoglu 2008). Bu alan, çeşitli pozitif ve negatif dışsallıkların ortaya çıkmasına zemin hazırlayabilmektedir. Örneğin, özel araç kullanan bir birey, trafikte bulunarak yalnızca kendi ulaşım ihtiyacını karşılamakla kalmaz; aynı zamanda diğer bireylerin soluduğu havanın kalitesini de olumsuz etkileyebilir. Bu gibi durumlarda, serbest piyasanın kendi kendine çevresel açıdan en uygun sonucu üretmesi oldukça düşük bir olasılıktır. Yani, eğer bir tüketici veya üretici, çevreye verdiği zararın maliyetini üstlenmiyorsa, bu durumda daha fazla çevre kirliliği yaratması kaçınılmaz hâle gelir (Varian 2014). Negatif dışsallıkların etkilerini azaltmak için hem kamu politikalarının hem de piyasa mekanizmalarının birlikte devreye girmesi gereklidir. Diğer yandan, pozitif dışsallıkların söz konusu olduğu durumlarda ise, kamu otoritelerinin sübvansiyonlar ve çeşitli teşvik mekanizmaları ile bu dışsal faydaları artırması ve toplumsal refahı en üst düzeye çıkarması beklenmektedir (Kenanoğlu ve Aydın 2019). Ulaşım sistemlerinin bilgi teknolojileriyle desteklenerek akıllı yapıya evrilmesiyle birlikte, insana bağlı hataların en aza indirilmesi ve bu hatalardan kaynaklanan negatif dışsallıkların zaman içerisinde ortadan kaldırılması hedeflenmektedir. Nitekim AUS, bireyin ulaşım sırasında maruz kaldığı bilişsel yükü üstlenerek hata yapma ihtimalini azaltan ya da tamamen ortadan kaldıran ileri düzey teknoloji destekli uygulamaları kapsamaktadır. Ulaşım altyapısı ve araçlara entegre edilen gelişmiş iletişim tabanlı bilgi ve elektronik teknolojiler, hem ulaşım güvenliğini ve hareketliliği artırmakta hem de çevresel olumsuzlukları azaltarak sistem verimliliğine katkı sunmaktadır (Barbaresso vd 2014). En basit örneğiyle, AUS uygulamaları sayesinde kaynakların daha etkili kullanılması sağlanmakta; gereksiz yol yapımı ve arazi kullanımının önüne geçilmekte; trafik yoğunluğu azaltılarak yakıt tüketimi düşürülmekte, trafikte geçirilen sürenin kısaltmasıyla

birlikte stres seviyesi azalmakta ve gürültü, hava kirliliği gibi pek çok çevresel olumsuzluk en aza indirilmektedir. Ayrıca, zaman tasarrufu yoluyla ekonomik verimlilik artırılarak başta cari açık ve dış ticaret dengesi olmak üzere ülke ekonomisine olumlu katkılar sunulmaktadır. Bu durum, AUS uygulamalarının yalnızca trafikten kaynaklanan negatif dışsallıkları ortadan kaldırmakla kalmayıp, aynı zamanda mevcut pozitif dışsallıkları da güçlendirebildiğini açıkça ortaya koymaktadır (Kenanoğlu ve Aydın 2019). Bu noktada akıllı kent uygulamaları, kent yönetimlerinin çeşitli kentsel hizmet alanlarında karşılaştıkları sorunlara çözüm üretmede başvurdukları önemli araçlardan biri haline gelmiştir. Özellikle akıllı ulaşım uygulamaları sayesinde trafik sıkışıklığının kontrol altına alınması, ulaşım hizmetlerinin kalitesinin artırılması ve ulaşımına bağlı emisyonların azaltılması gibi somut kazanımlar elde edilmektedir. Bu kazanımlar, ulaşım dayalı trafik problemlerinin çözümünde ve çevre kirliliğinin önlenmesinde akıllı ulaşım teknolojilerini vazgeçilmez kılmaktadır (Çodur ve Topdağı 2018). Bu nedenle, kent yönetimlerinin akıllı ulaşım çözümlerinden faydalanmaları; hem kentsel ölçekteki trafik sorunlarının çözümüne hem de çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik etkili ve sürdürülebilir adımlar atılmasına olanak sağlayacaktır (Aslan 2024). Akıllı ulaşım uygulamaları, Türkiye’de özellikle metropollerde ve birçok şehirde hayata geçirilmiş durumdadır. Ankara, İstanbul, İzmir, Balıkesir ve Gaziantep gibi kentler, ulaşım alanında yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler geliştirmek amacıyla AUS’dan yararlanmaktadır. Bu çözümler, yalnızca ulusal düzeyde yayımlanan kalkınma planları, strateji belgeleri ve eylem planlarında değil, aynı zamanda yerel ölçekte hazırlanan stratejik planlar ve eylem metinlerinde de yer bulmaktadır. Bu çerçevede, Türkiye’de AUS’un; ulaşım talebinin etkin yönetimi, trafik güvenliğinin artırılması ve mevcut ulaşım altyapısının verimli bir biçimde kullanılması gibi temel misyonlar üstlendiği ifade edilmektedir (Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı 2024). Bu hedeflerin gerçekleştirilmesinde kullanılan yöntemler arasında ise alternatif ulaşım çözümlerinden biri olan bisiklet kullanımı, mikromobilité kapsamında yaygınlaşan skuter kullanımı ve trafik yönetiminde adaptif sinyalizasyon sistemlerinin uygulanması gibi çeşitli yaklaşımlar öne çıkmaktadır (Aslan 2024). Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından geliştirilen “Otopark Bul” uygulaması, vatandaşların bulundukları konuma en yakın otoparkları tespit edebilmelerine, bu otoparkların çalışma saatlerine ve anlık park yeri doluluk bilgilerine ulaşabilmelerine olanak tanımaktadır (Konya Büyükşehir Belediyesi 2023a). Bu uygulama sayesinde, park yeri aramak amacıyla trafikte gereksiz yere dolaşan araçların oluşturduğu trafik yoğunluğunun önüne geçilmekte; ayrıca, otoparka gitmeden önce boş yer durumunun öğrenilebilmesi sayesinde dolu otoparklara gidip zaman ve enerji kaybının yaşanması engellenmektedir. Böylece, yalnızca trafik yoğunluğunun azaltılmasına değil, aynı zamanda park yeri arayışına bağlı olarak ortaya çıkan gereksiz fosil

yakıt tüketiminin düşürülmesi yoluyla çevre kirliliğinin önlenmesine de katkı sağlanmaktadır (Aslan 2024). Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından geliştirilen sistemlerden biri de ABUS (Akıllı Bisikletli Ulaşım Sistemi)’dur. Bu sistem çevreye duyarlı kentsel hareketlilik türlerinden biri olan bisiklet kullanımına yönelik deneyimi iyileştirmek için bir altyapı sunmaktadır (Konya Büyükşehir Belediyesi 2023b). Bu mobil uygulama; bisiklet kullanıcılarına rota optimizasyonu yapmanın yanı sıra, kentin kültürel gezi bölgelerini içeren rotaları göstermekte, olası acil durumlarda ihtiyaç duyulabilecek istasyonların konumlarını kullanıcıya sunmakta ve en uygun rotayı oluşturmaktadır. Bireysel araç kullanımına alternatif bir ulaşım seçeneği olarak bisikletin tercih edilmesini destekleyen bu sistem, bisiklet altyapısının geliştirilmesine ve kullanıcıya sunulan hizmet kalitesinin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Böylece ABUS, kent içi ulaşımında bisiklet kullanım deneyimini iyileştirerek hem trafik yoğunluğunun azaltılmasına hem de fosil yakıtlı çalışan araçlar yerine sürdürülebilir bir ulaşım türünün benimsenmesiyle çevre kirliliğinin önlenmesine doğrudan katkıda bulunmaktadır (Aslan 2024).



Şekil 6. ABUS (Akıllı Bisikletli Ulaşım Sistemi) –Konya (Anonim 2023)

Uygulanan çözümlerden biri de kent içi trafik akışının daha verimli sağlanabilmesi amacıyla kullanılan akıllı kavşak sistemleridir. Akıllı kavşak sistemleri trafikteki araçların bekleme sürelerini ve zaman kayıplarını azaltarak, trafik akışının gereksiz kesintilere uğramasının önüne geçmeyi hedeflemektedir (Şengül ve Altıntaş 2020). Kayseri’de uygulanmakta olan akıllı kavşak uygulaması, kavşaklardan topladığı verilerle yoğunluk haritaları oluşturarak ileriye dönük sinyalizasyon planlaması yapmakta; böylece yol kapasitelerinin daha verimli kullanılmasını sağlamakta ve karbon emisyonunun azaltılmasına katkı sunmaktadır (Kayseri Büyükşehir Belediyesi 2017). Ayrıca kavşaklara uzaktan müdahale edebilme yeteneği sayesinde arızalar hızlı bir şekilde tespit edilmekte ve böylelikle kazaların önlenmesi yönünde önemli bir adım atılmaktadır. Trafik yönetimi sürecinin kritik bir parçası olan kavşak yönetiminin, yapay zekâ ve nesnelerin interneti gibi ileri teknolojilerle entegre edilmesi sayesinde, kentsel ulaşımında ortaya çıkabilecek trafik sorunlarına etkili çözümler sunulmaktadır. Bununla birlikte, sinyalizasyon yönetimi, bekleme ve geçiş sürelerinin

optimizasyonu, arıza tespiti ve müdahale sürecinin hızlandırılması gibi yöntemlerle araçların trafikte geçirdikleri süreler kısaltılmakta ve bu sürelerle bağlı olarak gerçekleşen fosil yakıt tüketimi ile karbon emisyonu azaltılmaktadır. Böylece, etkin trafik yönetimi sağlanırken çevre kirliliğinin önlenmesine de doğrudan katkı sağlanmakta ve çok yönlü bir kazanım elde edilmektedir (Aslan 2024). Bu kapsamda ortaya konan verilerden çıkan sonuç Türkiye’de AUS süreçlerinin daha etkin, kapsayıcı ve güvenilir şekilde yürütülebilmesi için çok aktörlü iş birliği, yerli üretim teşviki ve kamusal farkındalık çalışmalarının daha sistemli hale getirilmesi gerekmektedir.

Dünya’da Seçilmiş Ülke Örnekleri ile Karşılaştırmalı Analiz

AUS’un ilk uygulamaları 1960’ların sonlarında ortaya çıkmış olup, bu dönem AUS gelişim sürecinin birinci evresi olarak kabul edilmektedir. Bu dönemde, 1969 yılında ABD’de Elektronik Rota Kılavuzlama Sistemi (ERGS), 1973 yılında Japonya’da Kapsamlı Otomobil Kontrol Sistemi ve 1974 yılında Almanya’da Sürücü Radyo Yayını Bilgilendirme Sistemi gibi uygulamalar geliştirilmiştir. Bu sistemler, daha sonra literatürde “navigasyon” olarak tanımlanan rota ve güzergâh kılavuzlama ile iletişim teknolojilerinin öncüsü olarak kabul edilmektedir (Tokuyama 1996). 1980 yılından başlayarak 1990’ların ortalarına kadar devam ettiği kabul edilen ikinci dönemde, AUS’un yaygınlaşma süreci hız kazanmıştır. Dünya genelinde rekabetçi bir ortamın oluşmasıyla birlikte, ülkeler peş peşe projeler geliştirmiştir. Bu dönemde, Küresel Konumlama Sistemi (GPS) tabanlı güzergâh belirleme sistemleri, elektronik hız sabitleyiciler gibi araç içi teknolojilerin yanı sıra, hızlı geçiş sistemleri ve dinamik trafik ışığı kontrol sistemleri gibi altyapı odaklı çözümler ön plana çıkmıştır (Katanalp vd 2018). 1982 yılında Avustralya’da geliştirilen Sydney Koordine Adaptif Trafik Sistemi (SCATS), ve Japonya’da 1984 yılında faaliyete geçen Yol/Otomobil Haberleşme Sistemi (RACS), günümüzde kullanılan araç rota belirleme sistemlerinin temelini oluşturan önemli projeler arasında yer almaktadır. Avrupa’da ise ilk resmi ulaştırma telematik uygulamalarını içeren Avrupa Trafik için Yüksek Verimlilik ve Benzersiz Güvenlik Programı (PROMETHEUS), 1989 yılında başlatılmıştır (Yan vd 2012). Bu dönemde, AUS alanında standardizasyon çalışmaları yapılması hedeflenmiş ve bu amaçla 1991 yılında Avrupa Karayolu Ulaştırması Telematikleri Uygulama ve Koordinasyon Kurumu (ERTICO) kurulmuştur. Aynı yıl ABD’de ise Akıllı Araç Yolları Topluluğu (IVHS) oluşturularak, geleneksel ulaştırma altyapısı ile ileri teknolojilerin entegrasyonu amacıyla çalışmalar yürütülmüştür. IVHS, 1992 yılında Amerikan Ulaştırma Departmanı’nın (U.S. Department of Transportation) önemli bir bileşeni haline gelmiş ve 600 milyon dolarlık bir bütçeyle desteklenmiştir. Ayrıca, 1992 yılında ABD, AUS alanında araştırmaları yönlendirmek amacıyla Birleşik Devletler Akıllı Araç/Otoyol Sistemleri

Stratejik Planı adlı eylem planını yayımlamıştır (Sussman 2008). 1994 yılında, AUS'un küresel düzeyde standartlarının belirlenmesi amacıyla Paris'te düzenlenen Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi, bu dönemde AUS'un gelişimini destekleyen önemli girişimlerden biri olarak değerlendirilmektedir (Tufan 2014). 1995 yılı itibarıyla, AUS gelişim sürecinde üçüncü ve hâlen devam etmekte olan döneme girilmiştir. Bu dönemde teknolojik gelişmelerin ivme kazanmasıyla birlikte, AUS uygulamaları basit kavşak sinyalizasyonları, radyo yayınları ve elektronik bilgilendirme panoları gibi sistemlerden; akıllı yaya geçitleri, gerçek zamanlı veri ile yönetilen kavşak kontrol ve trafik katılım sistemleri, 3G-WiFi-Bluetooth tabanlı veri paylaşımına dayalı acil durum yönetimi çözümleri ile altyapı ve diğer trafik bileşenleriyle etkileşim kurabilen otonom araçlara kadar önemli ölçüde evrilmiştir. 1997 yılında Amerikan Ulusal Otomasyon Sistemi Konsorsiyumu (NAHSC), otoyol verimliliğini ve trafik güvenliğini artırmak amacıyla Demo'97 adlı projeyi hayata geçirmiştir (Roads 1997). Bu dönemde ayrıca, AUS'un ilgi alanı yalnızca karayolu trafiğinde karşılaşılan sorunların çözümüyle sınırlı kalmamış, ulaşım türleri arasındaki entegrasyon ve türler arası sorunların giderilmesine yönelik kapsamlı çalışmalarla genişletilmiştir (Katanalp vd 2018). Son yıllarda, AUS teknolojilerinin kullanımı hem dünya genelinde hem de Türkiye'de önemli şekilde artış göstermiştir. Bu gelişim, AUS'un yalnızca yerel değil, aynı zamanda küresel ölçekte önem kazanan bir alan haline gelmesine neden olmuştur. Günümüzde AUS, ulaştırma uzmanları, otomotiv sektörü temsilcileri ve siyasi karar vericilerin yoğun ilgisini çeken, stratejik ve çok boyutlu bir konuya dönüşmüştür (Moral-Muñoz vd 2015). Bu dönüşümle birlikte çeşitli AUS uygulamalarını başarıyla gerçekleştiren birçok ülke bulunmaktadır. Yolcu bilgilendirme sistemleri açısından Avrupa Birliği ülkeleri ve Uzak Doğu ülkeleri öne çıkan başarılı örnekler sunmaktadır. Bu sistemlere en iyi örneklerden biri, Birleşik Krallık'ta faaliyet gösteren "Transport Direct" adlı internet portalıdır. Büyük Britanya adasında bir noktadan diğerine yapılacak seyahatlerde güzergâh planlaması ve yönlendirme hizmeti sunan bu sistem, toplu taşıma seçeneklerini de içermektedir (Anonim 2025). Günümüzde birçok ülke bu tür sistemlerle toplu taşıma bilgilerini harita tabanlı platformlar üzerinden erişilebilir kılmaya başlamış olsa da, Japonya bu alanda sağladığı kapsamlı veri çeşitliliği ve bütünlük bilgisi hizmetleriyle hâlâ önde gelen örneklerden biri olarak dikkat çekmektedir (Altınörs vd 2022). Trafik yönetim sistemlerine yönelik önemli bir örnek olan Sydney Koordine Adaptif Trafik Sistemi (SCATS), ilk olarak 1963 yılında Avustralya'da uygulanmaya başlanmış ve zamanla dünya genelinde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. SCATS sistemi, haftanın farklı günleri ve saatleri için her bir kavşağa özel olarak önceden tanımlanmış sinyalizasyon programlarını uygulayabilmekte, aynı zamanda olağanüstü durumlar, trafik kazaları ve çeşitli olaylara göre trafik ışıklarının zamanlamasını dinamik biçimde değiştirebilmektedir (Anonim 2025). Haziran 2012 itibarıyla sistem; ABD, Brezilya,

Çin, Güney Afrika, İran, Polonya ve Singapur'un da aralarında bulunduğu 27 ülkede, 263 şehirde ve 35 binden fazla kavşakta patentli olarak kullanılmaktadır (Anonim 2025). SCATS, her kavşakta programlanmış zamanlamaları hem zamana hem de koşullara göre esnek bir şekilde uygulayabilirken, trafik kazaları veya büyük organizasyonlar gibi olağanüstü durumlarda manuel müdahaleye de olanak tanımaktadır. Özellikle çakışan yollar üzerinde, trafiğin daha az yoğun olduğu yöne yeşil ışık verip, yoğunluğu yüksek şeritlerde beklemeyi azaltmak için yeşil ışık sürelerini ayarlayarak trafik akışını optimize etmektedir (Anonim 2025). Bu yönüyle SCATS, adaptif sinyalizasyon sistemlerinin öncülerinden biri olarak küresel ölçekte örnek teşkil etmektedir (Altınörs vd 2022). Toplu taşıma kapsamında akıllı sistemlerin en iyi örneklerinden biri olan NextBus uygulaması, başlangıçta ABD'de otobüslerde kullanılmaya başlanmış, ardından tramvay ve hafif raylı sistem gibi diğer toplu taşıma modlarına da entegre edilmiştir. Bu sistem, toplu taşıma araçlarında yer alan GPS cihazlarından elde edilen konum verilerini işleyerek, ilgili aracın belirli bir durağa tahmini varış süresini hesaplamakta ve bu bilgiyi dijital platformlar aracılığıyla yolculara sunmaktadır (Anonim 2025). Akıllı durak uygulamalarının dikkat çekici örneklerine Tayvan ve çeşitli Avrupa Birliği ülkelerinde rastlanmaktadır. Özellikle Avrupa'da, "SafeWay2School" adlı yenilikçi bir uygulama hayata geçirilmiş ve bu sistemle okul güzergâhlarında çocukların trafik kazası riski en aza indirilmeye çalışılmıştır. Bu uygulama kapsamında, otobüslerde bulunan GPS cihazları aracılığıyla bir sonraki durak çevresinde okul çocuklarının olup olmadığı tespit edilmekte ve sürücüler bu konuda önceden bilgilendirilmektedir. Almanya, Avusturya, İsveç, İtalya ve Polonya gibi ülkelerde, söz konusu sistemin pilot uygulamalarına 2012 yılının başında başlanmıştır (Anonim 2025). Bu alanda öne çıkan uygulamalardan biri de birçok ülkede yaygın olarak kullanılan temassız akıllı kartlardır. Bu kartlara dair en başarılı örnekler arasında, 2003 yılında Londra'da kullanılmaya başlanan Oyster Card ve Hong Kong'da uygulamaya alınan Octopus Card yer almaktadır (Anonim 2025). Londra'da toplu ulaşımda yaygın bir şekilde kullanılan Oyster Card, akıllı kart teknolojisinin en başarılı örneklerinden biri olarak kabul edilmekte olup, şehirde gerçekleşen otobüs ve metro yolculuklarının 9680'den fazlasında bu kart kullanılmaktadır (Anonim 2025). Benzer şekilde, Octopus Card da temassız akıllı kartların öncülerinden biri olarak, yalnızca toplu ulaşımda değil aynı zamanda alışveriş gibi çeşitli günlük işlemlerde de kullanılabilir (Anonim 2025). Bu kartın başarısı, piyasaya sürüldükten sonraki üçüncü ayında, 7 milyon nüfusa sahip Hong Kong'da 3 milyon adet satışa ulaşmasıyla da somut şekilde görülmektedir. (Anonim 2025). Öte yandan Japonya'da ise Suica adlı temassız kart, 2001 yılı sonunda JR Group'un doğu hattında genel toplu taşıma kartı olarak kullanılmaya başlanmıştır (Anonim 2025). Bu sisteme entegre olarak geliştirilen Mobile Suica uygulaması ise 2006 yılından itibaren, NFC (Near Field Communication) teknolojisini

destekleyen cep telefonları aracılığıyla dijital ortamda da hizmet sunmaya başlamıştır (Anonim 2025). Elektronik ücret toplama sistemleri açısından İskandinavya ve Singapur, bu teknolojiyi erken benimseyen ve uygulamalarıyla öne çıkan bölgeler arasında yer almaktadır. İskandinavya’da gişesiz veya hızlı geçiş sistemi (ORT), ilk kez 1986 yılında Norveç’in Bergen şehrinde uygulanmaya başlanmış ve bugün AutoPASS adı verilen sistemle otoyol ücretlendirme noktalarının 980’den fazlasında tek bir sistem olarak hizmet vermektedir. Buna karşılık, nakit ödeme kabul eden ücretlendirme noktalarının sayısı 942’nin altına düşmüştür (Anonim 2025; Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi 2014). Singapur’da ise ORT sistemleri 1998 yılında ilk kez trafik talep yönetimi amacıyla kullanılmaya başlanmış ve şehir içi trafik akışına da entegre edilmiştir. Bu sistem sayesinde trafik yoğunluğu %13 oranında azaltılmış, araçların ortalama hızı ise %20 oranında artmıştır (Anonim 2025). Ancak sistemin yalnızca belirli yollar üzerinde uygulanması, alternatif güzergâhlarda trafik sıkışıklığına sebep olabilmektedir. Buna rağmen sistemin başarısı dikkat çekmiş ve Londra, Stockholm, Dubai gibi şehirlerde de benzer uygulamalara geçilmiştir. Örneğin, Milano’da çevreye duyarlı araç kullanımını teşvik etmek amacıyla “Ecopass” adlı sistem üç yıl boyunca uygulanmış, 2012 yılından itibaren ise daha çok trafik sıkışıklığını azaltmak hedefiyle devreye alınmıştır. Singapur, bu teknolojinin başarısından hareketle, Elektronik Park Sistemi adı altında otopark ücretlendirmesinde de benzer bir uygulamaya geçmiştir (Anonim 2025). Filo yönetimi uygulamalarına dair en işlevsel örneklerden biri, Washington Eyaleti Ulaştırma Genel Müdürlüğü tarafından hayata geçirilmiştir (Anonim 2025). Bu uygulamada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak 250 araçlık kar küreme filosu etkin bir biçimde yönetilmekte ve her bir aracın anlık konumu GPS aracılığıyla paylaşılmaktadır (Anonim 2025). Ayrıca, her kamyonu entegre edilen sensörler sayesinde yol ve hava koşulları, küreyici ve püskürtücü ekipmanların çalışma durumu gibi çeşitli bilgiler toplanmakta ve bu veriler harita tabanlı bir arayüzde görselleştirilerek kullanıcıya sunulmaktadır. Elde edilen bu kapsamlı veriler, yol bakım operasyonlarının planlanması ve yönetilmesi açısından önemli bir temel oluşturmaktadır (Anonim 2025). Sürücü destek ve güvenlik sistemleri kapsamında, Avrupa Komisyonu tarafından 12010 Akıllı Araç Girişimi çerçevesinde, yeni nesil araçlarda standart hale getirilmesi önerilen üç temel sistem öne çıkmıştır. Bunlar; otonom hız kontrol sistemi, şerit ihlali uyarı sistemi ve sürücü yorgunluk tespit sistemi olarak belirlenmiştir (Anonim 2025). Bu sistemlerden biri olan sürücü yorgunluk uyarı sistemi, sürücünün yüz ifadelerini, el ve ayak hareketlerini, nabzını, baş pozisyonunu ve göz kapağı hareketlerini analiz ederek dikkat dağınıklığı veya uykulu olma durumunu tespit etmekte ve gerekli durumlarda sürücüyü uyarmaktadır. Akıllı Araç İnisiyatifi kapsamında önerilen diğer gelişmiş sürücü destek sistemleri arasında; ABS, ACC (Adaptif veya otonom hız kontrol sistemi), adaptif farlar, EBS

(Acil durum frenleme destek sistemi), e-Call, çarpışma ve engel uyarı sistemleri, ESC (Elektronik stabilite kontrolü), gece görüş sistemleri, genişletilmiş çevresel farkındalık teknolojileri, hız limit uyarı sistemleri, lastik basıncı izleme sistemi (TPMS), şerit değiştirme asistanı ve kör nokta uyarı sistemi (BLIS), şerit ihlali uyarı sistemi (LDWS), uykulu sürücüyü uyarma sistemi, vites öneri göstergesi ve yayalar ile savunmasız yol kullanıcılarını korumaya yönelik sistemler yer almaktadır (Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı 2012). Avrupa Birliği'nde kaza ve acil durum yönetimi kapsamında uygulanan sistemler arasında en dikkat çeken örnek, e-Call sistemidir. Bu sistem, bir çarpışma anında darbe sensörleri tarafından tetiklenerek, yolcular bilinç kaybı yaşasa dahi acil durum bilgilerini otomatik olarak yetkili birimlere iletebilmekte ve böylece hızlı müdahaleye olanak sağlamaktadır (Altınörs vd 2022).

Tablo 4. Yıllara Göre Dünyadaki AUS Gelişimi

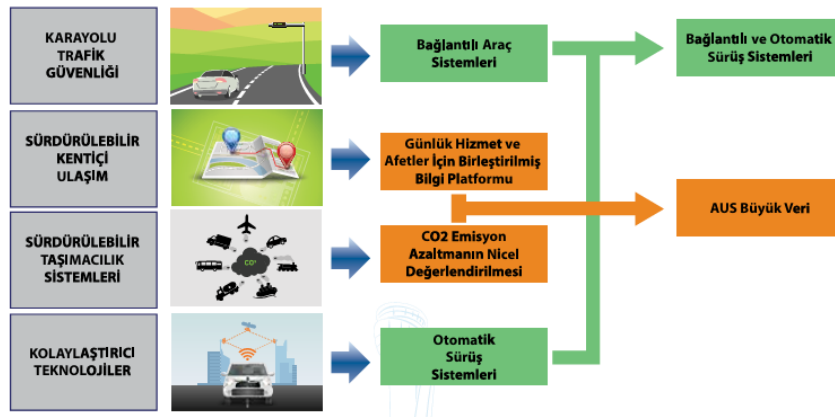
Dönem / Yıl Aralığı	Dönemin Özelliği	Öne Çıkan Uygulamalar ve Gelişmeler	Örnek Ülkeler ve Projeler
1960'lar–1979 (Birinci Dönem)	AUS'un ilk teknolojik temellerinin atıldığı dönem	Rota kılavuzlama, sürücü bilgilendirme, temel elektronik kontrol sistemleri	1969 ABD: ERGS 1973 Japonya: CACS 1974 Almanya: ARI
1980–1994 (İkinci Dönem)	AUS'un yaygınlaşma süreci GPS tabanlı sistemler ve ilk uyarlanabilir sinyalizasyon sistemleri	GPS tabanlı araç içi sistemler, hız sabitleyici, adaptif trafik kontrol	1982 Avustralya: SCATS 1984 Japonya: RACS 1989 AB: PROMETHEUS
1995–2009 (Üçüncü Dönem)	Küresel koordinasyon, standartlaşma ve AUS altyapısının yaygınlaşması	Otoyol bilgi sistemleri, araç-arac iletişimi (V2V), sinyal koordinasyon sistemleri, eCall ve trafik yoğunluk sensörleri	1991 ABD: IVHS kurulumu 1994 Paris: AUS Dünya Kongresi 1997 ABD: Demo'97
2010–2015 (Dördüncü Dönem)	Gerçek zamanlı veri toplama, AI destekli trafik yönetimi	Gerçek zamanlı yol durumu, akıllı duraklar, adaptif sinyal optimizasyonu	Japonya: Suica & Mobile Suica İngiltere: Transport Direct
2016–2019 (Beşinci Dönem)	Otonom sürüş teknolojileri, AI/ML tabanlı AUS uygulamaları	Otonom araç testleri, gelişmiş sürücü destek sistemleri, yüz tanıma & akıllı kartlar	Singapur: ERP İsveç/İtalya: SafeWay2School
2020 ve sonrası (Altıncı Dönem)	AIoT, Büyük Veri, 5G, V2X, Dijital İkiz gibi teknolojilerle entegre akıllı şehir ulaşımı	Mobility as a Service (MaaS), akıllı sinyal sistemleri, sürücü yorgunluk sistemleri, IoT bazlı filo yönetimi, dronelarla trafik izlemesi	Finlandiya: GACHA Almanya: Siemens Otonom Tramvay Singapur: 5G destekli AUS

Günümüzde gelişmiş ülkeler, ulaşım sektörünün sebep olduğu problemlerin çözümüne yönelik olarak AUS'u iyileştirme, geliştirme ve yaygınlaştırma çabalarına odaklanmakta; bu

doğrultuda çeşitli planlar ve politikalar geliştirmektedir (Karlı ve Çelikyay 2022). AUS konusunda öne çıkan bazı ülke örnekleri ve uyguladıkları politikalar aşağıda sunulmaktadır.

Japonya

Günümüzde, dünyanın en büyük ekonomilerinden birine sahip olan Japonya, AUS alanında stratejik hedefler belirlemiştir. Japonya’da AUS’ne yönelik Ar-Ge faaliyetleri ve yatırımlar, özerk bir kuruluş olan ITS Japan (AUS Japonya) tarafından koordine edilmektedir. Bu kuruluş; İçişleri ve Haberleşme Bakanlığı, Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı, Arazi, Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı ile Ulusal Polis Teşkilatı gibi devlet kurumları; üniversiteler ve sektör temsilcilerinden oluşan bir konseyin koordinasyonunda çalışmalarını gerçekleştirmektedir. AUS Japonya, stratejileri ve eylem planları doğrultusunda, gelecekte dünyanın en güvenli yol ve ulaşım altyapısına sahip olmayı amaçlamaktadır. Bu hedef doğrultusunda, kazaların önlenmesi, kazalardan kaynaklanan zararların azaltılması, ulaşım güvenliğinin artırılması, insan hayatının korunması ve kamu bilincinin geliştirilmesine yönelik faaliyetler ile sürdürülebilirliği sağlamak için gerekli politik önlemlerin uygulanması öncelikli alanlar olarak belirlenmiştir. 2013 yılı ve sonrasında, şekilde gösterildiği üzere iki temel odak alanı belirlenmiştir. Birinci odak, ulaşımda AUS kapsamında büyük veri uygulamaları olurken, ikinci odak ise bağlantılı ve otonom sürüş sistemleri üzerine yoğunlaşmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020).



Şekil 7. Japonya ulusal AUS projesi (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020)

2015 yılında belirlenen AUS planlarına göre Japonya, 2030 yılına kadar karşılaşılabileceği olası sorunlara yönelik çözüm odaklı stratejik hedefler ortaya koymuştur. Bu kapsamda Japonya, akıllı ulaşım alanındaki liderliğini sürdürmek ve küresel rekabette öncü konumunu korumak amacıyla, 2020 yılı ve sonrasında kapsayan AUS eylem planlarını açıklamıştır. Belirlenen bu stratejik yaklaşım doğrultusunda, kamu kurumları, özel sektör, akademik çevreler ve bürokrasi iş birliği içerisinde çalışmalar yürütmüş; ortak tasarımlar geliştirilerek kapsamlı eylem planları oluşturulmuştur. Böylece, tüm paydaşların koordineli

katkısıyla Japonya'nın gelecekteki AUS vizyonu ve misyonu sistemli bir biçimde şekillendirilmiştir. 2020 ve sonrasında, geleceğin tamamen dijital bir çağ haline gelmesi kaçınılmazdır. AUS açısından bakıldığında, gelecekte söz sahibi olmanın en önemli unsurlarından biri, haberleşme sistemleri altyapısının eksiksiz şekilde tamamlanması olacaktır. Bu doğrultuda Japonya, VICS ve ETC uygulamalarını ilgili tüm sektörlerle iş birliği içinde ülke genelinde yaygınlaştırmak için yoğun bir çaba sarf etmektedir (Tektaş ve Tektaş 2019).

- VICS/ABİS (Araç Bilgi ve İletişim Sistemi): AUS bileşenlerinden biri olan ABİS, Japonya'da 1996 yılından itibaren kullanılmaktadır. VICS, Japonya'daki karayolu işletmecileri ve polis kontrol merkezlerinden topladığı kamuya açık trafik verilerini sürücülere ücretsiz olarak sunmaktadır. Bu sistem, sürücülerin hedeflerine ulaşmaları için en uygun rotayı belirlemelerine yardımcı olarak trafik sıkışıklığının azalmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Japonya'da bugüne kadar 35 milyon adet VICS cihazı satılmış olup, 2009 yılında 2.4 milyon ton CO₂ emisyonunun azalmasına katkıda bulunmuştur. Ayrıca, VICS özellikli araç navigasyon sistemleri özellikle kamyon sürücüleri arasında oldukça popülerdir. Günümüzde Toyota, Honda, Nissan ve Pioneer gibi firmalar, kullanıcılarına probe verilerine dayalı ayrıntılı trafik bilgileri sağlamaktadır (Tektaş ve Tektaş 2019).
- ETC/EGTS (Elektronik Geçiş Toplama Sistemi): AUS bileşenlerinden biri olan EGTS, Japonya'da 1997 yılından itibaren otoyollarda kullanılmaktadır. ETC, sürücülerin otoyol geçiş kapılarında durmalarını engelleyerek, geçiş işlemlerini kesintisiz hale getirir. Sistem öncesinde sürücüler, geçiş kapılarında durmak zorunda kalarak bu alanlarda trafik sıkışıklığına yol açmaktaydı. 2016 yılı verilerine göre, Japonya'daki otomobillerin %87'sini yani yaklaşık 39 milyon aracı ETC sistemi kullanmakta olup, bu sistem otoyol ücret ödeme turnikelerinde oluşan trafik tıkanıklıklarının %30 oranında azalmasına katkı sağlamıştır (Japonya Arazi, Altyapı, Ulaştırma ve Turizm Bakanlığı 2016).

ITS Japonya, yerel ve merkezi hükümetler, üniversiteler, araştırma enstitüleri ve derneklerle iş birliği içinde, Japonya'daki otomotiv ve BİT şirketleri tarafından organize edilmektedir. Ayrıca, Hollanda'dan TNO Otomotiv'in de aralarında bulunduğu toplam 250 üye bulunmaktadır (Kikuo 2013).



Şekil 8. ITS Japonya'ya liderlik eden üyeler (Hayakawa 2013)

Japonya'nın eylem ve strateji planları, ülkenin demografik yapısı, coğrafi özellikleri ve doğal afet riskleri dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Bu kapsamda Japonya, yaşlanan nüfusa yönelik ulaşım kolaylığı ve erişilebilirlik sağlamayı; şiddetli depremlere dayanıklı yollar, köprüler ve tüneller gibi altyapıların inşasını gerçekleştirmeyi; acil durum yönetim sistemlerini geliştirmeyi ve çok modlu ulaşım entegrasyonunu sağlamayı amaçlamaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020). AUS Japonya, 2016-2030 yılları arasında aşağıdaki stratejik hedefleri planlamıştır (Japonya Arazi, Altyapı ve Turizm Bakanlığı 2017);

Sürüş güvenliğinin sağlanması

Ekspres yollarda otomatik sürüşün gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda kısa vadede yarı otomatik pilot, şerit değişimi ve takip mesafesi hizmetlerinin sunulması, orta vadede tam otomatik pilot sürüşe geçilmesi ve uzun vadede ise tamamen otomatik sürüşün sağlanması hedeflenmektedir.

Yol güvenliğinin sağlanması

Karayolu ulaşım verilerine dayalı sistemler ve sürüş güvenliği destek sistemlerinin yaygınlaştırılması planlanmaktadır. Kısa ve orta vadede, çarpışmayı önleyici sistemler, acil durum sürüş müdahale sistemleri ve otomatik kaza raporlama sistemlerinin uygulanması teşvik edilmekte; uzun vadede ise yayaları destekleyen algılayıcı sistemlerin yaygınlaştırılması ve Ar-Ge ile inovasyon çalışmalarının sürdürülmesi öngörülmektedir.

Veri güvenliğinin sağlanması

Kısa ve orta vadede trafik veri platformlarının oluşturulması ve dijital altyapının hazırlanarak dinamik haritaların geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Uzun vadede ise kamu-özel sektör ortak kullanımı altındaki verilerin incelenmesi, kamu sektörünün sahip olduğu bilgi sistemlerinin geliştirilmesi, mevcut verilerin işlevsel hale getirilerek paylaşılması, yayaların desteklenmesi ve toplu taşıma sistemleriyle iş birliğinin sağlanması hedeflenmektedir.

K-AUS uygulaması

Kısa vadede araçtan altyapıya, orta vadede araçtan araca ve uzun vadede araçtan yayaya doğru genişleyen bir yapıda, ilgili standartların ve kurumların oluşturulması planlanmaktadır.

Veri güvenliğinin güçlendirilmesi

Kısa ve orta vadede saha uygulamalarından elde edilen tüm trafik verilerinin (big data) toplanması, analiz edilmesi ve siber güvenlik kapsamında korunması için Ar-Ge, yönetim ve bilgi güvenliği yapılarının hazırlanması hedeflenmektedir. Uzun vadede ise verilerin erişilebilir ve geliştirilebilir hale getirilerek toplumun AUS'un faydalarını tam olarak kavramasını sağlamak ve tam otomatik sürüş için gerekli altyapının oluşturulması amaçlanmaktadır (Anonim 2018).

Sonuç olarak, Japonya için planlanan AUS hedefleri, 2020 yılı öncesi ve 2020 sonrası dönemler olmak üzere aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Tektaş ve Tektaş 2019).

Tablo 5. Japonya AUS Hedefleri (Tektaş ve Tektaş 2019)

2020'ye Kadar Olan Dönem	2020 Sonrası Dönem
Sürüş güvenliğini sağlamak	Yarı otomatik sürüş ve pazar oluşturma (Tokyo Olimpiyatları örneği)
Yol güvenliğini sağlamak	Mevcut alt yapının otomatik sürüşlere hazırlanması
Verilerin toplanması	Verilerin (big data) paylaşımı ve güvenliği
Yeni nesil AUS'a geçilmesi	Araçtan araca ve araçtan yayaya iletişim
Sürdürülebilir mobilite	Erişilebilir, rahat ve güvenli ulaşım
İnovasyon çalışmaları	İşbirliği ve Ar-Ge çalışmalarının geliştirilmesi

Amerika Birleşik Devletleri (ABD)

Dünya AUS sektörünün önde gelen ülkelerinden biri olan ABD, bu alanda kapsamlı yatırımlar yapmakta ve uzun vadeli planlar geliştirmektedir. Aralık 2015'te yürürlüğe giren FAST (Fixing America's Surface Transportation) yasasında, ulaşım araştırma ve planlama faaliyetlerinin ABD Ulaştırma Bakanlığı (U.S. DOT) Sekreteryası Ofisi tarafından koordine edilmesi ve bu çalışmaların çok modlu bir yaklaşımla yürütülmesi gerektiği vurgulanmıştır. U.S. DOT, AUS vizyonunu "Toplumun hareket tarzını dönüştürmek" olarak tanımlarken, misyonunu ise "Toplumun daha verimli ve güvenli hareket edebilmesi için BİT'in sunduğu olanakları kullanarak Ar-Ge ve eğitim faaliyetlerini gerçekleştirmek" şeklinde ifade etmektedir. U.S. DOT, 2017-2021 dönemini kapsayan Araştırma, Geliştirme ve Teknoloji Stratejik Planı kapsamında destekleyeceği dört kritik ulaşım alanını tanımlamıştır. Birincisi, güvenliğin artırılmasıdır; bu alan, tüm ulaşım modlarını etkileyen güvenlik konularını ve bu doğrultuda

geliştirilen önlemlerin uygulanmasını kapsamaktadır. U.S. DOT'un bu alandaki temel hedefi, ulaşım kaynaklı ölümleri ve yaralanmaları azaltarak halk sağlığını iyileştirmek ve genel güvenliği artırmaktır. İkinci alan, hareketliliğin artırılmasıdır; bu kapsamda seyahat talebini, kişisel ve ticari hareketliliği etkileyen demografik, ekonomik, coğrafi, kültürel ve teknolojik eğilimler ile bunların hayat kalitesi, ekonomik durum ve eğitim fırsatlarına erişim üzerindeki etkileri değerlendirilir. Bu durumda, U.S. DOT'un amacı, insanların ve yüklerin hareketliliğini artırmak, trafik tıkanıklığını azaltmak ve herkes için eşit fırsatlara erişimi sağlamaktır. Üçüncü olarak, altyapının geliştirilmesi ele alınmakta; burada ulaşım altyapısının durumu, maliyeti, finansmanı, teslim süresi ile dayanıklılık ve direnç artırıcı yöntem ve teknolojiler değerlendirilir. U.S. DOT, bu alanda ulaşım altyapısının dayanıklılığını artırmayı, ömrünü uzatmayı ve ülkenin kritik altyapısını proaktif şekilde korumayı hedeflemektedir. Son olarak, çevrenin korunması kapsamında, ulaşım faaliyetlerinin iklim değişikliği ve çevre üzerindeki etkilerini önlemeye veya azaltmaya yönelik yaklaşımlar yer almakta olup, U.S. DOT'un amacı, ulaşımdan kaynaklanan zararlı emisyonları azaltacak çevresel açıdan sürdürülebilir stratejiler ve yatırımlar geliştirmektir. ABD'nin 2017-2021 Stratejik Planı, dört temel araştırma temasını içermektedir: politika araştırması, teknoloji geliştirme, araştırma koordinasyonunun güçlendirilmesi ve büyük veri yönetimi. ABD'nin hem kısa hem de uzun vadeli stratejik hedefleri ise özet biçimde ilgili tabloda sunulmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020).

Tablo 6. ABD'nin AUS Stratejik Amaçları Özet Tablosu (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020)

Yakın Dönem	Uzun Dönem
Yol ve sürüş güvenliği sağlamak	Yarı otomatik sürüşe geçiş hazırlığı
Ekonomik rekabet	AUS yatırımlarının teşvik edilmesi, pazarın geliştirilmesi ve Ar-Ge gelişimi
Erişilebilir ulaşım	Entegrasyon sistemlerinin oluşturulması
Sürdürülebilir çevre	Elektrikli araçların yaygınlaştırılması
Sürdürülebilir hareketlilik	Çok modlu ulaşımında tek tip ödeme K-AUS altyapı yaygınlaştırılması

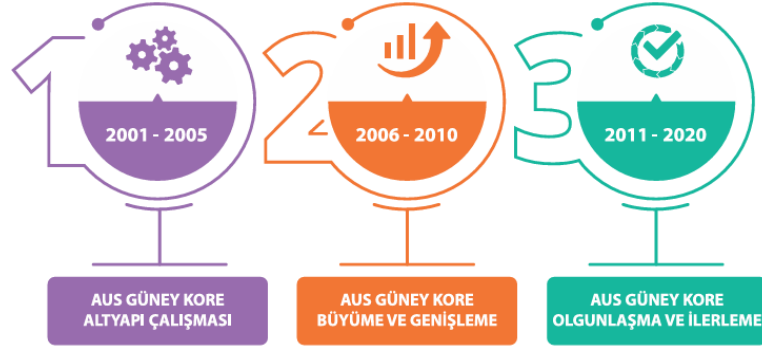
2021 yılı itibarıyla ITS Ortak Program Ofisi (ITS JPO), AUS'un yaygınlaştırılmasını hedefleyen yeni vizyon ve planlarını hayata geçirmiştir. Bu kapsamda öncelikli olarak AUS'un ülke genelindeki dağıtımının artırılması ve otonom teknolojilerin daha da geliştirilmesi üzerinde durulmaktadır. Aynı zamanda, yolculuk deneyiminin her aşamasını kapsayan ve erişilebilirliği temel alan "Tam Yolculuk-ITS4US" girişimleri başlatılmıştır. Veri erişimi ve değişimi konularında sürdürülen faaliyetler kapsamında, paydaşlar arasında etkin bilgi paylaşımını sağlayacak yapılar kurulması amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra, AUS sistemlerinin artan dijitalleşme süreci doğrultusunda karşılaşılabileceği tehditlere karşı siber güvenlik

önlemleri de öncelikli alanlar arasında yer almıştır. Yeni ve olanak sağlayan teknolojilerin araştırılması, güvenlik bandı ve gelişmiş iletişim teknolojilerinin uygulanması gibi konular da çalışma gündeminde yer almıştır. Tüm bu girişimler, “İleriye Doğru: İnsanları Öncelikli Kılma” vizyonu çerçevesinde şekillenmiş olup, insan merkezli ulaşım sistemlerinin oluşturulmasına yönelik stratejileri içermektedir. Bu vizyonun temel belgesi olan “İnsanları Öncelikli Kılma: Akıllı Şehirler ve Topluluklar” raporu 2021 yılında ITS JPO tarafından yayımlanmıştır (Talih ve Çelikok 2023). Ayrıca ABD’de, AUS kapsamında yürütülecek faaliyetler için fon kullanımına yetki verilmesini sağlayan yasal düzenleme “21. Yüzyılda Gelişim İçin İlerleme (MAP-21)” yasası ile gerçekleştirilmiştir (ABD Ulaştırma Bakanlığı, 2012). Yasanın “Akıllı Ulaşım Sistemleri Araştırması” başlıklı bölümünde, AUS’a ilişkin yapılacak çalışmaların kapsamına ve bu faaliyetlerde kullanılacak fonlara dair ayrıntılı bir çerçeve sunulmuştur. Bu bölümde, AUS teknolojisinin daha kapsamlı şekilde kullanımına dair yöntemlerin geliştirilmesi, kaza ve acil durum yönetimi, trafik operasyonları, trafik yoğunluğu ve akışı ile yük taşımacılığı ve yüzey ulaştırma ağlarının yönetimi gibi alanlarda Ulusal Karayolu Sistemi'nin performansına katkı sağlayacak uygulamaların teşvik edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu hedefler doğrultusunda; kentsel ve kırsal bölgelerde yolcu ve yük taşımacılığına yönelik AUS uygulamalarının entegrasyonu ve yaygınlaştırılması, yerel, eyalet ve federal düzeyde ulaşım yetkililerinin planlama süreçlerinde AUS teknolojilerine hâkim olmalarının sağlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca, etkili bir AUS sisteminin yaygınlaştırılabilmesi için bölgesel iş birliğine dayalı faaliyet planlarının geliştirilmesi, bireysel kaynakların kullanımının desteklenmesi ve motorlu taşıt üreticileri ile iş birliği kurularak taşıt güvenliğini artırıcı sistemlerin geliştirilmesi öngörülmektedir. Buna ek olarak, ticari motorlu araçların AUS teknolojileri ile daha güvenli hale getirilmesi, AUS uygulamalarının geliştirilmesi, işletilmesi ve bakımında görev alacak personelin desteklenmesi ile sistemin bakım, onarım ve işletme süreçlerinin sürekliliğinin sağlanması hedeflenmiştir. Son olarak, kullanıcılar, araçlar ve ulaşım altyapıları arasında etkin bağlantının sağlanabilmesi için iş birliğine dayalı modellerin oluşturulması planlanmaktadır (Karlı ve Çelikyay 2022).

Güney Kore

Son otuz yılda yaşanan hızlı sanayileşme süreci, Güney Kore’yi Asya’nın önde gelen ekonomik merkezlerinden biri konumuna getirmiştir. Bilgi teknolojileri ve ulaşım sektörlerindeki gelişmelerle birlikte, ülke AUS alanında uluslararası düzeyde rekabet edebilen bir konuma ulaşmıştır. Ayrıca, Güney Kore dünya çapında en önemli otomotiv üreticilerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Güney Kore, AUS ile ilgili üç ulusal master plan geliştirmiştir. İlk plan 1997 yılında, ikinci plan 2000 yılında, üçüncü plan ise 2009 yılında yayımlanmış ve

üçüncü plan 2011 yılında revize edilmiştir. Ülke, 21. yüzyıl AUS hedeflerini 2001-2020 dönemini kapsayacak biçimde, şekilde gösterildiği üzere üç aşamalı bir plan çerçevesinde belirlemiştir. Bu süreçte, 2007-2020 yılları arasında yaklaşık 3,2 milyar dolar tutarında bir yatırım maliyeti öngörülmüştür (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020).



Şekil 9. Güney Kore AUS stratejisi plan dönemleri (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020)

Güney Kore'de AUS projeleri, merkezi yönetim tarafından oluşturulan ve yasal dayanağa sahip olan Master Plan doğrultusunda hem merkezi hükümet hem de yerel yönetimler tarafından yürütülmektedir. AUS'un ülke genelinde yaygınlaştırılabilmesi amacıyla merkezi hükümet; planlama, teknoloji standartlarının belirlenmesi, proje değerlendirme süreçleri gibi birçok alanda rehberlik ve kolaylaştırıcılık sağlayan bir çerçeve sunmaktadır. Yerel yönetimler ise kendi bölgesel ihtiyaçlarına göre bağımsız planlamalar yapabilmekte, ancak belirli bir ölçeğin üzerindeki projeler için merkezi yönetimden mali ve teknik destek talep edebilmektedir. Güney Kore'de herhangi bir AUS projesinin hayata geçirilebilmesi için, öncesi ve sonrası karşılaştırmalı analizlerin yanı sıra kapsamlı bir etki analizinin gerçekleştirilmesi zorunludur. Bu analizler, proje sonrasında ulaşılmak istenen hedeflerin netleştirilmesine katkı sağlamakta ve analiz sonuçlarına göre merkezi hükümet tarafından mali destek sağlanabilmektedir. Ayrıca, uygulanan projeler merkezi bir veri tabanına kaydedilmekte, böylece gelecekteki projeler için gerekli bilgi birikimine erişim kolaylaştırılmaktadır. AUS projelerinde görev alacak personelin de belirli bir sertifikasyon sürecinden geçmesi ve ilgili eğitimleri tamamlamış olması gerekmektedir (Lee 2012). AUS kapsamındaki titiz bakış açısından dolayı Güney Kore, AUS alanında çeşitli uygulama alanlarında dünya liderleri arasında yer almaktadır. Bu kapsamda, gerçek zamanlı trafik bilgileri sağlama, ileri düzey toplu ulaşım bilgi sistemleri, otoyollarda kullanılan elektronik ücret toplama sistemi (Hi-pass/ETCS) ile toplu taşımada yaygın olarak kullanılan akıllı kart sistemleri (T-Money veya T-Para) gibi önemli teknolojiler başarıyla uygulanmaktadır. Güney Kore'de 2009 yılından itibaren çeşitli yöntemlerle toplanan gerçek zamanlı verilerin etkin yönetimi sayesinde trafik tıkanıklığının azaltılması sağlanmış ve bu sayede yaklaşık 11 milyar dolarlık bir ekonomik tasarruf elde edilmiştir. Ayrıca, sera gazı salınımlarında 0,81 milyon tonluk bir azalma kaydedilmiştir. Bunun yanı sıra, T-Money sistemi

toplu taşımada günlük ortalama 30 milyon temassız işlem ile yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ülkenin Hi-Pass elektronik ücret toplama sistemi ise otoyolların yaklaşık %70'ini kapsamaktadır ve araçların %31'i bu sistemi aktif olarak kullanmaktadır. Güney Kore hükümeti, elektrifikasyon, otomasyon ve hareketlilik entegrasyonu hedeflerini 2030 yılına kadar kademeli olarak gerçekleştirmeyi planlamaktadır. Bu planlama, kısa (2014-2020), orta (2021-2025) ve uzun (2026-2030) dönem olmak üzere aşamalı hedefler doğrultusunda şekillendirilmiş olup, 2030 yılı itibarıyla “ölümcül trafik kazalarının sıfırlanması” ve “3,5 milyar dolar tasarruf” hedeflerine ulaşılması amaçlanmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020). Ayrıca Güney Kore’de, Arazi, Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı’na (MOLIT) bağlı Yol Dairesi bünyesinde AUS faaliyetleri organize edilmekte, bu süreçte ITS Kore Derneği oldukça etkin bir rol oynamaktadır. ITS Kore, karayolu, deniz ve hava taşımacılığı dahil olmak üzere tüm AUS sistemlerinin koordinasyonu ve yönetiminden sorumlu, yasa ile yetkilendirilmiş ulusal otorite konumundadır. Güney Kore’de AUS alanındaki gelişmeler, çeşitli stratejik hedefler doğrultusunda şekillenmektedir. İlk olarak, yenilikçi araç teknolojileri için gerekli altyapının hazırlanması hedeflenmekte olup, bu kapsamda otonom araçlar ve Kentsel Hava Hareketliliği (UAM) gibi yeni ulaşım araçlarının sorunsuz tanıtımı ve uygulamaya geçirilmesi için uygun altyapıların oluşturulması amaçlanmaktadır. İkinci olarak, yapay zeka gibi ileri teknolojiler kullanılarak trafik güvenliğinde mevcut olan kör noktaların giderilmesi planlanmakta; bu doğrultuda, ters yönde sürüş gibi beklenmedik durumları algılayan akıllı CCTV gözetim sistemleri ve akıllı seviye geçişleri geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Üçüncü strateji, kullanıcıya özgü hizmetlerin sunulabilmesi için temel altyapının oluşturulmasına yöneliktir; bu kapsamda, kullanıcıların talep ve ihtiyaçlarına uygun, konforlu ve verimli hareketlilik destek hizmetleri sağlanması hedeflenmektedir. Son olarak, uluslararası arenada yerli AUS’un yaygınlaştırılmasına katkı sağlanması ve bu doğrultuda AUS ihracat ekosisteminin oluşturulması stratejik öncelikler arasında yer almaktadır (Talih ve Çelikok 2023).

Ayrıca Güney Kore, küresel rekabet gücüne sahip AUS ekosistemi ile konforlu, güvenli, çevreci ve sürdürülebilir hareketliliğe sahip kentler oluşturmayı; insan, çevre ve altyapı ekseninde bu hedefleri gerçekleştirerek toplum refahını en üst seviyeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Bu stratejilerin hayata geçirilmesi için uzun vadeli ana hedefler belirlenmiş olup, bu hedefler aşağıda özetlenmiştir:

- Araç-altyapı haberleşme sistemlerinin standartlaştırılması,
- Araç-altyapı haberleşmesinin büyük kent alanlarında araçtan araca doğru genişletilmesi,

- Araç-altyapı haberleşmesinin küçük ve orta ölçekli şehirlerde araçtan yayaya doğru yaygınlaştırılması,
- Tüm ulaşımın elektrikli araçlarla sağlandığı “Karbonsuz Şehir ve Bölgeler” oluşturulması (Jeju Adası örneği),
- Tüm ulaşım modlarının entegrasyonunun sağlanması,
- Tüm ulaşım modları için tek tip ödeme sisteminin uygulanması,
- Otomatik sürüş sistemlerinin geliştirilerek tam otomatik sürüşe geçilmesi,
- K-AUS (Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri) yapısına geçişin sağlanması,
- Mevcut AUS altyapısının güncellenerek K-AUS ile koordinasyonunun sağlanması,
- Kademeli olarak tüm araçlara zorunlu OBU (Araç İçi Ünite) kurulmasının gerçekleştirilmesi,
- 2015-2025 yılları arasında başlatılan otomatik sürüş projelerinin, Seviye 3 ve Seviye 4 teknolojilerini hedefleyerek tamamlanması ve otonom araçlara geçişin sağlanması,
- BİT kullanılarak hareketlilik entegrasyonunun gerçekleştirilmesi,
- Kamu, özel sektör ve üniversiteler arasındaki iş birliğinin artırılması (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020).

Tablo 7. AUS Güney Kore’nin Stratejik Amaçları Özet Tablosu (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020)

Yakın Dönem	Uzun Dönem
Veri toplama standartlarının oluşturulması	Veri güvenliğinin sağlanması
Sürdürülebilir çevre ve yaşanabilir toplum	Karbonsuz şehir ve bölgelerin oluşturulması
Konforlu ve güvenli sürüş	Akıllı yollar ve tüm ulaşım modlarının entegrasyonu
Otomatik sürüş sistemleri ve otonom araçlar	Otomatik sürüş sistemlerinin tüm ülkeye yaygınlaştırılması
Sürdürülebilir hareketlilik	K-AUS’un yaygınlaştırılması

Almanya

Avrupa Birliği, ortak ulaşım politikası çerçevesinde, güvenli, emniyetli, çağdaş ve sürdürülebilir bir ulaşım sisteminin oluşturulmasını temel hedef olarak belirlemiştir. Bu hedef doğrultusunda, Birlik içindeki ve komşu ülkelerdeki ulaşımında karşılaşılan yoğunluk, çevresel olumsuzluklar ve yüksek kaza oranları gibi sorunlara etkin çözümler üretilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen AB Ulaşım Ağı ve ulaşım koridorları, yalnızca üye ülkeler arasında değil, komşu ülkelerle olan ulaşım ilişkilerinin güçlendirilmesinde de stratejik bir rol üstlenmektedir. Aynı zamanda bu ağlar, ulaşım alanında rekabet avantajı sağlamanın

yanı sıra bölgesel bütünleşmeyi destekleyen önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir (Çaylan ve Kişi 2011). AB ülkelerinde AUS ile ilgili çalışmalar, Avrupa Komisyonu'nun yayımladığı direktifler doğrultusunda yürütülmekte olup, her ülkenin geliştirdiği çözüm önerilerine bağlı kalma koşulu çerçevesinde şekillenmektedir. AB ülkeleri ile çevresindeki diğer ülkelerde uygulanan AUS faaliyetleri, sosyal, yönetsel ve teknik açılardan çeşitli farklılıklar gösterebilmektedir. Genellikle bu faaliyetler ulaşım bakanlıkları tarafından koordine edilse de, AUS'un çok paydaşlı yapısı nedeniyle ülkeler arası farklılıkların oluşması doğal bir durum olarak değerlendirilmektedir. Örneğin Almanya'da, ulaşımın dijitalleşmesi, 5G teknolojisinin kullanımı, otonom araçlar, yapay zekâ tabanlı ulaşım sistemleri ve dijital altyapı uygulamaları gibi yenilikçi ulaşım teknolojileri üzerine çalışmalar, Federal Ulaştırma ve Dijital Altyapı Bakanlığı'na bağlı Dijital Toplum Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir. Diğer taraftan Avusturya'da AUS faaliyetleri, Ulaştırma ve Konut Bakanlığı'nın tamamen sahip olduğu bir kuruluş olan AustriaTech aracılığıyla yürütülmekte ve bu yapı aracılığıyla kamu-özel işbirliği desteklenerek stratejik gelişim sağlanmaktadır (Talih ve Çelikok 2023). Avrupa Komisyonu, 2020 yılında kabul ettiği AB Sürdürülebilir ve Akıllı Mobilite Stratejisi ve Eylem Planı kapsamında, kesintisiz, güvenli, emniyetli ve verimli bir bağlı seyahat deneyimi sağlamak amacıyla hareketlilik politikalarını şu şekilde belirlemiştir (Avrupa Komisyonu 2020):

- AB'nin, akıllı dijital çözümler ile AUS'un tüm faydalarından tam kapasiteyle yararlanmasını sağlamak,
- Bağlantılı, iş birliğine dayalı ve otonom multimodal hareketlilik anlayışının hayata geçirilmesine yönelik faaliyetler geliştirmek,
- Karayolu taşımacılığında güvenli, akıllı ve sürdürülebilir operasyonlara yönelik desteği artırmak,
- Multimodal taşımacılıkta seyahatlerin uyarlanabilirliğini ve erişilebilirliğini yükseltmek,
- Ulaşım modları arasında birlikte çalışabilirliği sağlamak amacıyla Teknik Şartnameler için Birlikte Çalışabilirlik (TSI) dokümanlarını güncellemek,
- Daha akıllı hareketlilik çözümleri için yapay zekâ, büyük veri ve yenilikçi teknolojilerin kullanımını teşvik etmek (Talih ve Çelikok 2023).

AB üyelerinden biri olan Almanya'da AUS, ulaşım politikalarının ayrılmaz bir bileşeni olarak konumlandırılmıştır. “Almanya'da Akıllı Ulaşım Sistemleri” başlıklı eylem planı, Federal Ulaştırma, İnşaat ve Kentsel Kalkınma Bakanlığı'nın öncülüğünde AUS Danışma Konseyi tarafından hazırlanmıştır. Planın çerçevesi, 2010/40/EU sayılı Avrupa Birliği Direktifi'nin 17(1) maddesi doğrultusunda Ağustos 2011'de yayımlanan “Almanya'daki Akıllı

Ulaşım Sistemlerinin Statüsü ve Çerçevesi” başlıklı rapor esas alınarak oluşturulmuştur. Bu eylem planı ile temel olarak yol güvenliğinin ve ulaşım verimliliğinin artırılması, ulaşımın çevresel etkilerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Aynı zamanda, mevcut AUS altyapısının geliştirilmesi yoluyla K-AUS için bir temel oluşturulması ve yeni AUS yaklaşımlarının hızla hayata geçirilmesi hedeflenmiştir. Avrupa Birliği AUS Direktifi dikkate alınarak hazırlanan bu eylem planında, yol, trafik ve ulaşım bilgilerinin en iyi şekilde değerlendirilmesi; trafik yönetimi ve trafik bilgi hizmetlerinin sürekliliğinin sağlanması; ulaşım verimliliği, yol güvenliği ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyen AUS uygulamalarının yaygınlaştırılması öncelikli eylem alanları olarak belirlenmiştir. “Yol, trafik ve ulaşım bilgilerinin optimum düzeyde kullanımı” başlığı altındaki eylem, karayolu taşımacılığıyla ilgili olarak kamu ve özel sektör tarafından üretilen verilerin hem erişilebilirliğini hem de kalitesini artırmaya yönelik önlemleri kapsamaktadır. Bu amaca ulaşmak için çeşitli alt eylemler öngörülmüştür. Bunlardan ilki, trafikle ilgili olayların ve verilerin toplanabilmesine yönelik bir kılavuz hazırlanmasıdır. Ayrıca, AUS hizmetlerine yönelik verilerin alınması ve işlenmesi süreçlerinde kaliteyi güvence altına alacak bir kalite yönetim sisteminin kurulması hedeflenmiştir. Bunun yanında, hareketlilik verilerinin ticaretini mümkün kılacak bir veri pazarının oluşturulması da planlanan eylemler arasındadır. AUS’un etkinliği açısından büyük önem taşıyan haritayla ilişkili yol verilerinin erişilebilirliğinin en üst düzeye çıkarılması da bu başlıkta ele alınan bir diğer husustur. Son olarak, trafik güvenliğiyle ilgili bilgilerin son kullanıcılara ücretsiz olarak iletilmesi de bu eylemin temel bileşenleri arasında yer almaktadır. “Trafik yönetimi ve trafik bilgileri alanında AUS hizmetlerinin sürekliliği” eylemi, AUS hizmetlerinin birlikte çalışabilirliğini sağlamak amacıyla gerekli entegrasyon faaliyetlerini kapsamaktadır. Bu bağlamda, farklı sistem yaklaşımlarını ve tanımlanmış arayüzleri organize eden bütüncül bir AUS mimarisi oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amacı gerçekleştirmek üzere bir dizi alt eylem tanımlanmıştır. Bunlardan ilki, ulaşım modları arasında entegrasyonu esas alan kapsamlı bir intermodal AUS vizyonunun geliştirilmesidir. Ayrıca, yollar özelinde bir AUS çerçeve mimarisinin oluşturulması ve trafik yönetiminde görev ve yetki alanlarını netleştirecek bir AUS referans mimarisinin tasarlanması da planlanan adımlar arasındadır. Toplu taşıma sistemleri için ayrı bir AUS referans mimarisi geliştirilmesi de bu süreçte önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra, ulusal ulaşım planlamasında öncelikli olarak değerlendirilecek stratejik ulaşım koridorlarının tanımlanması ve yol çalışmaları kapsamında alan yönetiminin daha etkili hale getirilmesi de ele alınmıştır. Trafik bilgileri ile uyarlanabilir trafik kontrol sistemlerinin birbiriyle uyumlu şekilde çalışabilmesi için gerekli teknik düzenlemelerin yapılması da hedeflenmiştir. Son olarak, yenilikçi sistem unsurlarının ulaşım projelerine entegre edilebilmesi adına işlevsel AUS hükümlerinin yatırım planlamalarında temel alınması gerektiği

vurgulanmaktadır. “Ulaşım verimliliği, yol güvenliği/emniyeti ve çevresel sürdürülebilirlik için AUS uygulamaları” eylemi, AUS’un hayata geçirilmesi ve yaygınlaştırılması sürecinde gerekli olan temel önlemleri kapsamaktadır. Bu doğrultuda belirlenen ilk adım, karayolu taşımacılığına yönelik telematik sistemler için ayrıntılı bir proje planı oluşturulmasıdır. Bunun yanı sıra, araçlar arası ve araç-altyapı iletişimini mümkün kılan kooperatif sistemlerin kurulması ve pilot uygulamalarla test edilmesi hedeflenmektedir. Bir diğer önemli adım, acil durumlarda otomatik çağrı özelliği sunan e-Call sisteminin tanıtımının yapılarak kullanımının yaygınlaştırılmasıdır. Ayrıca, ağır yük taşıtları (HGV) ve diğer ticari araçlar için güvenli ve emniyetli park alanlarının oluşturulması, bu alanlara dair bilgi hizmetlerinin sağlanması ve bu hizmetlerin telematik sistemlerle kontrol edilmesi de bu eylem kapsamında planlanan önemli uygulamalardan biridir. Bu önlemler, AUS uygulamalarının hem ulaşım verimliliğini hem yol güvenliğini artırmaya hem de çevresel etkileri azaltmaya katkı sağlaması açısından kritik öneme sahiptir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020).

Tablo 8. Almanya’nın AUS Stratejik Amaçları Özet Tablosu (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020)

Yakın Dönem	Uzun Dönem
Yol, trafik ve seyahat bilgilerinin optimum kullanımı	Dijital hareketlilik
İleri trafik yönetimi	K-AUS’un ülke çapında yaygınlaştırılması
Verimli ulaşım	Çok modlu ulaşımın optimizasyonu
Sürdürülebilir çevre	Elektrikli araçların yaygınlaştırılması
Güvenli sürüş	Otonom sürüş sistemleri

Almanya’nın kısa ve uzun vadeli stratejik hedefleri tablo halinde özetlenmiştir. Almanya, AUS kapsamında dijital mobilitayı öncelikli bir alan olarak konumlandırmıştır. Ülke genelinde, özellikle Hamburg, Münih, Berlin ve Stuttgart gibi büyük metropoller başta olmak üzere, tüm şehirlerde toplu taşıma sistemlerinin dijitalleştirilmesine büyük önem verilmektedir. Bu süreç, çeşitli mobil uygulamalarla desteklenerek kullanıcı deneyiminin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bunun yanı sıra, ulaşım altyapısının dijitalleştirilmesi de Almanya’nın öncelikleri arasında yer almaktadır. Örneğin Hamburg, altyapının sayısallaştırılması konusunda öncü bir şehir olarak öne çıkarken; Stuttgart, elektrikli mobilita (e-Mobilita) alanında lider konumundadır. Münih ise araç ve ulaşım paylaşımı uygulamalarında liderliği üstlenmektedir. Almanya, bu stratejik yaklaşımlarla, akıllı ulaşımın dijital dönüşümü kapsamlı ve çok yönlü bir biçimde hayata geçirmektedir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020).

Hollanda

Hollanda'nın en yoğun nüfuslu bölgesi olan Amsterdam'da ulaşım faaliyetlerinin organizasyonu ve yönetimi, Amsterdam Belediyesi, Kuzey Hollanda Eyaleti ile ulusal hükümet tarafından birlikte gerçekleştirilmektedir. Ancak bu farklı yönetim organlarının trafik akışını sağlamak üzere aldığı önlemler bazen çakışmalar göstermekteydi. Bu çakışmaların önüne geçilmesi amacıyla teknoloji temelli sanal trafik otomasyonu geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Söz konusu otomasyon sistemi sayesinde, tüm merkezlerdeki trafik durumları ortak bir platform üzerinden anlık olarak izlenebilmekte ve koordineli bir şekilde yönetilebilmektedir. Bu uygulama sonucunda, merkezdeki araçların kayıp oranlarının %10'a kadar düşürülmesi başarılmıştır (Akbaş 2022). Amsterdam'da, trafikte yaşanan sıkışıklığın azaltılması ve yeni otopark ihtiyacının önüne geçilmesi amacıyla, özel şahıslara ait boş otopark alanlarının kiralanmasını sağlayan Mobypark adlı akıllı telefon uygulaması kullanılmaktadır (Ostermeijer vd 2022). Hollanda'nın Oss şehrinde gerçekleştirilen dünyanın ilk akıllı yol projesi kapsamında, otoyol yüzeyine güneş ışığının etkisiyle geceleyin parlayan özel boyalar uygulanmıştır. Bu sayede sürücüler yaklaşık 10 saat boyunca ek aydınlatmaya ihtiyaç duymadan güvenli bir şekilde seyahat edebilmekte ve trafik kazaları minimum seviyeye indirilmektedir. Ayrıca, yol aydınlatmasına olan gereksinimin azalması nedeniyle önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Bhujbal vd 2022). Bunun yanı sıra, bölgede yol ücretlendirme sistemleri, acil durum müdahale merkezleri, trafik mesajı kanalı kontrol merkezleri, radyo veri sistemleri ve toplu taşıma ulusal veri ofis sistemleri gibi çeşitli diğer uygulamalar da bulunmaktadır (Akbaş 2022).

Singapur

Singapur, 1998 yılından itibaren başlatılan elektronik yol ücretlendirme sistemi ile dünya genelinde trafik sıkışıklığının ücretlendirilmesi uygulamasını hayata geçiren ilk ülke olma özelliğine sahiptir. Ülke genelinde özellikle merkezi konumda bulunan şehir içi yollar ve otoyollarda 2012 yılı itibarıyla 80 farklı noktaya yerleştirilen bu sistem aracılığıyla, trafik yoğunluğunun en yüksek olduğu saatlerde sürücülerin trafikte bulunmaktan caydırılması ve böylece trafik sıkışıklığının azaltılması amaçlanmaktadır. Sistem, araçların ön camının sağ alt köşesine monte edilen ön ödemeli kartlar veya toplu taşıma sistemlerinde de kullanılan temassız kartlar ile işlemektedir. Bu kartlara sahip olmayan araçlar veya kurallara aykırı geçiş yapan sürücüler için cezai yaptırımlar uygulanmakta; iki hafta içerisinde ödeme yapılmaması durumunda 70 Singapur Doları tutarında ceza kesilmekte, bir ayı aşan gecikmelerde ise bu ceza 1.000 Singapur Doları'na yükselmektedir. Ayrıca, bu yol ücretlendirme sistemi diğer AUS uygulamalarıyla entegre bir şekilde çalışmakta olup, 2007 yılında gerçekleştirilen testler

neticesinde trafiğin yoğunluğuna bağlı olarak değişken fiyatlandırma modeline geçilmiş ve yoğunluğu yüksek bölgelerde araçlardan daha yüksek ücret talep edilmeye başlanmıştır (Tufan 2014). “Green Man” adlı uygulama ise, Singapur Kara Ulaştırması İdaresi tarafından geliştirilen ve özellikle yaşlı ve engelli bireylerin güvenli yaya geçişlerini kolaylaştırmayı amaçlayan bir AUS projesidir. Bu sistem kapsamında, kavşaklardan geçiş süresi diğer yayalara kıyasla daha uzun sürebilecek 60 yaş ve üzeri bireyler ile engelli vatandaşlara, trafik sinyallerinde ilave süre tanınmaktadır. Uygulamanın temel işleyişi, bu bireylerin sahip olduğu kimlik kartları ya da ayrıca temin edilebilen “Green Man” kartlarının, yaya geçiş noktalarında yer alan sensörlere okutulması ile başlamaktadır. Kartın tanımlanmasının ardından sistem, kavşaktaki trafik durumuna bağlı olarak 3 ila 13 saniye arasında değişen ilave geçiş süresi sağlamaktadır. 2012 yılı itibarıyla bu uygulama, ülke genelinde 256 yaya geçiş noktasında aktif olarak kullanılmaktadır. Ayrıca Singapur’da toplu taşıma alanında filo yönetimi, akıllı duraklar ve elektronik ödeme gibi çeşitli AUS uygulamalarına rastlanmaktadır. Ülkede toplu taşımada, iki farklı yetişkin kartı, çalışanlara yönelik özel bir kart ile öğrenciler ve yaşlılar için tasarlanmış temassız kartlar kullanılarak ödeme gerçekleştirilebilmektedir. Bu kartlar, otobüslerin yanı sıra raylı sistemlerde de geçerli olup, ücretlendirme seyahat edilen mesafeye bağlı olarak yapılmaktadır (Tufan 2014).

İngiltere

İngiltere’nin AUS alanındaki misyonu; uygulayıcılar ve paydaşlar arasında karşılıklı anlayışı güçlendirmek, AUS’un en iyi uygulamaları hakkında bilgi ve farkındalığı artırmak amacıyla herkesin eşit düzeyde bir araya gelebileceği erişilebilir fırsatlar sunmaktır. Bununla birlikte, AUS konusunda bilgilendirme ve dengeli tartışmalar yürütmede öncülük etmek ve AUS alanında güvenilir bir bilgi kaynağı olarak hareket ederek ilgili politikaların şekillenmesine katkı sunmak da temel hedefleri arasındadır. Ayrıca, ulusal, Avrupa ve uluslararası düzeylerdeki politika ve stratejilerle ilgilenmek, bu alanlarda destekleyici ve yönlendirici bir rol üstlenmek ve İngiltere’nin AUS teknolojilerindeki uluslararası uzmanlığını, mükemmelliğini ve çözüm önerilerini tanıtmak da misyonun önemli bileşenlerini oluşturmaktadır. İngiltere’de taşıt sistemlerinin mobil iletişim teknolojileri ve gelişmiş haritalama altyapılarıyla entegre edilmesi sonucunda yılda yaklaşık 2,9 milyon varil yakıt tasarrufu sağlanmakta, bu da %14’lük bir verimlilik artışını ifade etmektedir. Akıllı otoban uygulamaları sayesinde trafik güvenliği ve yol kapasitesi artarken, yaralanmalı trafik kazalarında %56 oranında azalma kaydedilmiş; trafik sıkışıklığı yaşanan durumlarda ise yolculuk sürelerinde %16, yolculuk süresi değişkenliğinde ise %22 oranında azalma sağlanarak seyahat süreleri daha öngörülebilir hale gelmiştir. Bunun yanı sıra, gürültü seviyelerinde 2,1 dB

(desibel)'lik bir düşüş gözlenmiş, karbonmonoksit ve karbondioksit emisyonlarında ise %4 oranında azalma elde edilmiştir. İngiltere, her yıl bir önceki yılın stratejilerini ve hedeflerini gözden geçirerek AUS planlarını güncellemekte ve bu planları insan, araç ve altyapı faktörlerini dikkate alarak şekillendirmektedir. Bu kapsamda 2020 yılı ve sonrasına yönelik belirlenen stratejiler, 2012-2017 yılları arasındaki eylem planları temel alınarak oluşturulmuştur. Stratejiler arasında, güvenli, verimli ve çevre dostu bir ulaşım sistemi için sürücü destek sistemlerinin yaygınlaştırılması, gerekli altyapının oluşturulması ve eko-sürüş alışkanlıklarının teşvik edilmesi yer almaktadır. Ayrıca, AUS yapısının kamu-özel sektör iş birlikleri ve uluslararası ortaklıklarla güçlendirilmesi hedeflenmiştir. Toplu ulaşım, filo yönetimi, elektronik ödeme sistemleri ve çok modlu ulaşım çözümleri gibi alanlarda geliştirilecek uygulamalarla hareketliliğin artırılması amaçlanmaktadır. Bununla birlikte, veri toplama, paylaşım ve güvenlik konularında yeni veri altyapılarının oluşturulması öncelikli konular arasında yer almakta; yaşanabilir bir çevre oluşturmak amacıyla ise ultra düşük emisyonlu bölgelerin yaygınlaştırılması hedeflenmektedir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020).

Avustralya

Avustralya, 1970'li yıllara kadar uzanan köklü AUS deneyimi ile bu alanda birçok yeniliğe öncülük etmiştir. Ülkede pek çok kurum ve üniversite, AUS alanındaki araştırma faaliyetlerine aktif katkı sunmaktadır. Federal hükümet tarafından belirlenen ulusal politikalar, eyalet ulaşım bakanlıkları bünyesindeki yol otoriteleri tarafından uygulamaya konmakta olup, Ulaştırma ve Altyapı Konseyi tarafından yönlendirilmektedir. Bu konsey; müsteşarlar, eyalet ulaşım bakanları, yerel ve bölgesel otoriteler ile ilgili derneklerin temsilcilerinden oluşmakta ve ülkedeki ulaşım eylem planlarının hazırlanmasında merkezi bir rol üstlenmektedir (Talib ve Çelikok 2023). Avustralya'da araçlar arası ve araç-altyapı haberleşmesine dayalı uygulamalar genel olarak işbirlikçi AUS kapsamında ele alınmakta ve bu doğrultuda projeler geliştirilmektedir. Bu projeler arasında, sürücülerin görüş alanı dışında kalan kör noktalarda şerit değiştirme sırasında araçların varlığını bildiren kör nokta uyarı sistemi ile, önlerindeki aracı göremediklerinde sürücülerini uyaran elektronik acil fren lambaları yer almaktadır. Ayrıca, öncelik verilmesi gereken araçların trafik ışıklarının değişmesini sağlayan ve trafik içerisindeki araçların durumuna ilişkin gerçek zamanlı verileri toplayan gelişmiş trafik yönetim sistemi, güzergâh üzerindeki hava koşullarını gösteren güzergâh bilgi sistemi ile kazalar ve benzeri trafik olaylarına karşı önlem alınmasını mümkün kılan gelişmiş kaza tepki sistemi gibi projeler de bu kapsamda bulunmaktadır (Tufan 2014). Yönetilen otoyollar programı kapsamında, Avustralya'daki otoyollar ile kentlerdeki önemli karayollarında trafik, VMS, rampa meter (rampa akış kontrol sistemleri) ve değişken hız sınır

işaretlemesi gibi uygulamalar aracılığıyla kontrol edilmektedir. Ayrıca Avustralya Ulaştırma Sertifikasyon Kurumu tarafından başlatılan “akıllı erişim” programı, GPS teknolojisi kullanarak ticari araçların izlenmesini ve bu araçların ücretlendirilmesi ile yasal düzenlemelere uygun olarak denetlenmesini elektronik ortamda gerçekleştirmeyi hedeflemektedir. Ayrıca, ticari araç sürücülerinin yorgunluk nedeniyle hata yapma riskini azaltmayı amaçlayan ve sürücülerin çalışma ile dinlenme sürelerini kaydeden sayısal takograf benzeri “elektronik iş günlükleri” projesi kapsamında, 2010-2013 yılları arasında fizibilite çalışmaları yürütülmüştür (Tufan 2014).

AUS kapsamında başarılı çalışmalar yürütmekte önde gelen bazı şehirler bulunmaktadır. Aşağıda bu şehirler ve uyguladıkları stratejilerin örnekleri sunulmuştur.

NoTraffic-Florida: Trafik yönetimi sürecinde, trafik sıkışıklığını azaltmak ve aynı zamanda yol güvenliği ile verimliliği artırmak amacıyla yapay zekâ teknolojisinden yararlanan NoTraffic sistemi, Florida kentinde trafik akışının tamamen kontrol edilmesine ve önceliklendirilmesine olanak tanımaktadır (Anonim 2024). Karar verme ve esneklik sağlama kapasitesine sahip yapay zekâ temelli uygulamaların trafik yönetiminde kullanılması; gelişmiş güvenlik, veri analizi, verimlilik, algılama, kontrol ve uzaktan müdahale gibi pek çok işlevin entegre biçimde yürütülmesini mümkün kılmaktadır. Bu tür sistemler, trafik yönetiminin daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayarak, yalnızca trafik sorunlarının çözümüne katkıda bulunmakla kalmamakta; aynı zamanda araçların trafik yoğunluğu nedeniyle yolda geçirdiği süreyi azaltmak suretiyle daha az fosil yakıt tüketimi sağlamakta ve böylece çevre kirliliğinin azaltılmasına da katkı sunmaktadır (Aslan 2024).

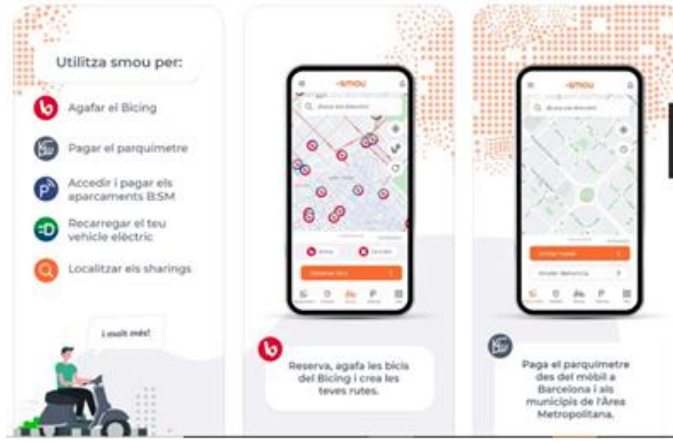
OLEV-Seul: Kentlerdeki karbon emisyonuna neden olan birçok unsur arasında konutlaşma, tüketim ve hareketlilik gibi faktörler öne çıkmaktadır (Fatmah 2023). Fosil yakıtlı çalışan ulaşım araçlarının sebep olduğu emisyon da önemli bir bileşen olarak değerlendirilmektedir. Ulaşıma bağlı karbon salınımının azaltılması ise bu sürecin kritik bir parçasını oluşturmaktadır. Bu noktada yalnızca yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan araçların tercih edilmesi değil, aynı zamanda söz konusu enerjinin üretim ve aktarım yöntemleri de büyük önem taşımaktadır. Geleceğin kent içi toplu taşıma sistemleri için potansiyel bir çözüm sunan OLEV (On-line Electric Vehicle) teknolojisi, elektrikli otobüslerin seyir halindeyken yollar üzerinden şarj edilebilmesini mümkün kılmayı hedeflemektedir (Jang vd 2015). Böylece, araçlar ulaşım hizmetlerinden kopmaksızın, hizmet sundukları sahada enerji ihtiyaçlarını karşılayabileceklerdir (Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2019; Jeong vd 2015). Kentlerde ulaşım hizmetlerinde bu tür sürdürülebilir ve yenilikçi çözümlerin yalnızca hizmet sunumunda değil, aynı zamanda altyapı ve operasyonel

süreçlerde de benimsenmesi, OLEV teknolojisinde olduğu gibi, ulaşım kaynaklı çevre kirliliğinin önlenmesinde önemli katkılar sunmaktadır (Aslan 2024).



Şekil 10. OLEV-Seul (Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2019)

Smou-Barselona: Barselona kentinde, ulaşımında paylaşım ekonomisi modeline dayalı olarak geliştirilen Smou uygulaması, e-scooter, bisiklet, elektrikli araç ve bireysel araç kiralama işlemlerinin yenilikçi ve entegre biçimde tek bir mobil platform üzerinden sunulmasını hedeflemektedir. Bu mobil aplikasyon, kullanıcıların yalnızca ulaşım araçlarını kiralamalarına olanak tanımakla kalmayıp, aynı zamanda otopark hizmetleri ile elektrikli araçlar için şarj istasyonlarına da erişim imkânı sağlamaktadır (Puglisi vd 2015). Akıllı kent uygulamalarının, kent sakinlerinin yaşam kalitesini artırmasının yanı sıra kent yönetimlerinin iş süreçlerine de önemli katkılar sunduğu bilinmektedir. Farklı kentsel hizmet alanlarında sürdürülebilir ve yenilikçi çözümler sunan bu uygulamalar, bireysel olarak etkili çalışsalar da, sistemler arası entegrasyon eksiklikleri nedeniyle bazı dezavantajlar barındırabilmektedir. Oysa akıllı kent yaklaşımında, entegrasyon, uygulamaların sayısı ve işlevselliği kadar kritik bir öneme sahiptir. Toplu taşıma, otopark yönetimi, mikromobilité, araç kiralama ve elektrikli araç şarj hizmetleri gibi birçok ulaşım bileşeninin tek bir platform üzerinden entegre biçimde sunulması, kullanıcı deneyimini iyileştirirken kent içi ulaşımı da optimize etmektedir. Bu kapsamda Smou uygulaması, alternatif ulaşım yöntemlerine ve şarj altyapılarına erişimi kolaylaştırarak, kentlerde ulaşım kaynaklı çevresel sorunların azaltılmasına katkı sağlayan etkili bir dijital çözüm olarak öne çıkmaktadır (Aslan 2024).



Şekil 11. Smou-Barselona (Anonim 2025)

Dünyada öne çıkan şehir modelleri incelendiğinde, iki temel uygulama yaklaşımının benimsendiği gözlemlenmektedir. Bazı şehirler, teknoloji alanında öncü olmak veya teknoloji cazibe merkezi haline gelmek amacıyla sıfırdan inşa edilirken; diğerleri mevcut altyapılarını güncelleme ve iyileştirme stratejisini tercih etmektedir. Bazı örnekler aşağıda sunulmuştur:

Hindistan, 2015 yılında “beş yıl içinde 100 Akıllı Şehir kurma” hedefi doğrultusunda Akıllı Şehirler Misyonu adında bir kentsel modernizasyon girişimi başlatmış ve bu girişime Ulusal Hükümet tarafından 480 milyar rupi (7,5 milyar ABD Doları) kaynak tahsis edilmiştir. Bu kapsamda yürütülen çalışmalar kapsamında bazı şehirler bilgi teknolojilerinin kullanımına yoğunlaşırken, Akıllı Şehirler Misyonu’nun büyük bir kısmı şehirlerde güvenilir elektrik, su temini ve atık yönetimi gibi temel altyapı modernizasyonu ile yaşam kalitesinin artırılmasına yöneliktir. Konut ve Şehir İşleri Bakanlığı tarafından yönetilen bu misyon, akıllı şehirlerin tanımlanmasında veri ve akıllı teknolojilerin kullanımını vurgulamaktan kaçınmakta olup, bu durum Hindistan’ın Akıllı Şehirler Misyonu’nun genel kabul görmüş akıllı şehir tanımından farklılaştığını göstermektedir. Singapur ise, bir şehir devleti olması nedeniyle Akıllı Şehir teknolojilerinin geliştirilmesinde önemli bir avantaja sahiptir. Ülkede, Akıllı Şehir çalışmaları kapsamında 2014 yılında ulusal sensör ağı sisteminin geliştirilmesi, kurulumu ve iletişim altyapısının desteklenmesi amacıyla 1,6 milyar dolar tutarında yatırım gerçekleştirilmiş ve Akıllı Millet Girişimi başlatılmıştır. Bu girişim kapsamında, ülke genelinde tüm devlet okullarında Wi-Fi erişiminin sağlanması, devletin veri depolama kapasitesinin optimize edilip artırılması ve kamu görevlilerine üç ila beş yıl süreyle dizüstü bilgisayar sağlanması için 2,8 milyar dolarlık ek yatırım yapılmıştır. Singapur’un Akıllı Şehir teknolojileri; konutlardaki yeşil enerji uygulamalarından şehir çapında otonom otobüs sistemlerinin geliştirilmesine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Ayrıca, Singapur’un önemli girişimlerinden biri olan Sanal Singapur projesi, adanın dijital üç boyutlu modeli olup; nüfus sayımı verileri ve CBS gibi belediye veri kaynakları için bir gösterge paneli işlevi görmektedir. Sanal Singapur, yeni

binaların şehirdeki hava akışına etkisi veya otobüs güzergâhlarının değiştirilmesinin seyahat sürelerine olan etkisi gibi etkileşimli simülasyonlar aracılığıyla kentsel planlama ve yönetim süreçlerine önemli katkılar sağlamaktadır. Akıllı şehir yapılanmasında önde gelen ülkelerden Güney Kore, dünyanın ilk özel ekonomik bölge oluşturma amacıyla planlanarak inşa edilen Akıllı Şehir örneği olan Songdo City'nin ev sahipliği konumundadır. Şehir genelinde yollara, binalara ve toplu taşıma araçlarına entegre edilen sensörler aracılığıyla IoT teknolojileri kapsamlı bir biçimde uygulanmakta olup, bu sayede kentsel altyapının tüm bileşenleri dijital olarak izlenebilmekte ve yönetilebilmektedir. Birleşik Krallık'ta ise Akıllı Şehir çalışmaları kapsamında, 2012 yılında ülkenin inovasyon ajansı olan Innovate UK tarafından, Akıllı Şehir teknolojilerinin kentlere sağlayabileceği potansiyel katkıları araştırmak ve ilgili politikaları geliştirmek amacıyla Glasgow, Bristol ve Londra'nın da aralarında bulunduğu 30 şehre toplam 34,5 milyon sterlin (yaklaşık 55,89 milyon ABD doları) tutarında kaynak sağlanmıştır. Bu süreci takiben, 2013 yılında Akıllı Şehir uygulamalarını desteklemek ve uygulamaya geçirmek üzere ekonomistler, mühendisler, işletmeciler ve yerel yönetim temsilcilerinin iş birliğiyle kentsel bir inovasyon merkezi niteliğindeki “Future Cities Catapult” projesi hayata geçirilmiştir. Ayrıca, 2015 yılında Innovate UK tarafından 10 milyon sterlin (yaklaşık 16,2 milyon ABD doları) tutarında ek finansman sağlanarak, Manchester'da Akıllı Şehir uygulamalarının sahada test edilmesi amacıyla “CityVerve” adlı bir pilot bölge oluşturulmuştur. Son olarak ABD'de Akıllı Şehir çalışmaları, 2015 yılında Federal Hükümet öncülüğünde başlatılan Akıllı Şehirler Girişimi ile kurumsal bir yapıya kavuşturulmuştur. Bu girişim kapsamında, Akıllı Şehirler başta olmak üzere çok çeşitli alanları kapsayan IoT uygulamalarına toplam 160 milyon Amerikan doları tutarında fon desteği sağlanmıştır. Girişim aynı zamanda, Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü tarafından yürütülen ve Akıllı Şehir çözümlerinin geliştirilmesini, internete bağlı araçların pilot uygulamalarının yaygınlaştırılmasını ve IoT'a yönelik test ortamlarının oluşturulmasını hedefleyen “Küresel Şehir Takımları Yarışması” gibi programları da desteklemektedir. Bunlara ek olarak, Federal Hükümetin Ağ ve Bilgi Teknolojileri Araştırma ve Geliştirme Programı tarafından yayımlanan “Akıllı Şehirler ve Topluluklar Çerçevesi”, akıllı şehir teknolojilerine yönelik federal ajans yatırımlarının ve kurumlar arası iş birliğinin koordinasyonuna rehberlik edecek stratejik bir belge niteliği taşımaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020).

Günümüzde AUS, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde giderek daha etkin ve stratejik bir unsur haline gelmektedir. Özellikle son yıllarda, AUS pazarında söz sahibi olmayı hedefleyen gelişmiş ülkeler arasında yoğun bir rekabet ortamı oluşmuştur. Bu rekabetin etkisiyle, bilişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler doğrultusunda AUS teknolojileri hem çeşitlenmiş hem de kullanım alanları açısından önemli ölçüde yaygınlaşmıştır (T.C. Ulaştırma

ve Haberleşme Bakanlığı, 2014). AUS'un dünya genelindeki öncü ülkelerde ve Türkiye'deki tarihsel gelişim süreci incelendiğinde, Türkiye'de kullanıcı hizmetine sunulan uygulamaların sayıca sınırlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Mevcut uygulamaların çoğunun dünya örneklerine kıyasla ülkemizde ancak yıllar sonra hayata geçirilebildiği görülmektedir. Bu durum, Türkiye'nin AUS teknolojilerini benimseme sürecinde zamansal bir gecikme yaşadığını ortaya koymaktadır. Türkiye ile öncü ülkelerde belirli AUS uygulamalarının hayata geçirildiği yıllara ilişkin karşılaştırmalı tablo ilgili kısımda sunulmuştur (Katanalp vd 2018).

Tablo 9. Öncü Ülkeler ve Türkiye'deki AUS Uygulamalarının Karşılaştırılması (Katanalp vd 2018)

AUS Uygulaması	Öncü Ülkeler	Türkiye
Değişken Mesaj	1960-1970	1999
Trafik Yönetimi	1980-1990	1995
Elektronik Denetleme	1980-1985	2005
Yolcu Bilgilendirme	1980-1985	2000-2005
Acil Durum Yönetimi	2000-2010	2013-2014
Otomatik Araç Sayımı	1970-1980	2005-2010

Mevcut AUS uygulamaları incelendiğinde, özellikle teknik standartların yetersizliği nedeniyle aynı işlevi yerine getiren uygulamalarda farklı donanım ve yazılım çözümlerinin kullanıldığı ve bu durumun birbirleriyle uyumsuz AUS yatırımlarına yol açarak ek maliyetlerin ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Örneğin, bazı büyükşehirlerde toplu taşımada kullanılan elektronik bilet sistemlerinde farklı teknolojilere sahip kartlar için ayrı validatörlerin kullanılması, yeni ihale süreçlerinin gerekliliğine neden olmaktadır. Ayrıca, bu tür uygulamalara ilişkin yatırım kararlarında standartlaşması gereken fayda-maliyet analizlerinin etkili ve ayrıntılı bir şekilde gerçekleştirilmeden uygulama aşamasına geçildiği ve bu nedenle AUS teknolojilerinin potansiyelinin tam anlamıyla değerlendirilemediği gözlemlenmektedir (Tufan 2014). Gelişen teknoloji ve yeni küresel dinamikler, ulaştırma sektörünün geleceğinin büyük ölçüde AUS'a bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Türkiye'nin, AUS alanında dünya genelindeki öncü ülkelerle karşılaştırıldığında gelişmeleri eş zamanlı olarak takip edemediği görülmekle birlikte, özellikle son yıllarda bu alandaki farkındalığın artması ve AUS paydaşlarının iş birliğine yönelik eğilim göstermesi, AUS uygulamalarının ivme kazanmasına katkı sağlamıştır. Bu doğrultuda, Türkiye'nin AUS planlamasını ilgili bakanlıkların stratejik hedefleri ve sektör paydaşlarının görüşleri doğrultusunda; güvenli, ekonomik, çevre dostu, kullanıcı odaklı ve çözüm temelli bir yaklaşımla şekillendirmesi gerekmektedir. Ayrıca, dünyada bu alanda geliştirilen yenilikçi uygulamaların ve başlatılan programların dikkatle incelenerek ülke koşullarına uyarlanması, akıllı sistemlerin ulaştırma altyapısında daha etkin

biçimde yaygınlaştırılması açısından önem arz etmektedir (Katanalp vd 2018). Buna ek olarak, Türkiye’de diğer gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi ulaştırma ve haberleşme altyapısındaki iyileştirmelerin, AUS uygulamalarının önündeki engellerin kaldırılması açısından kritik öneme sahip olduğu değerlendirilmektedir. Çünkü AUS uygulamaları, altyapı eksiklikleri ile karşılaştığında verimlilik sağlama konusunda yetersiz kalmakta ve bu durum kullanıcılar açısından ek maliyet ve zaman kayıplarına yol açabilmektedir. Ayrıca, söz konusu uygulamaların kamuoyunda yeterli farkındalık oluşturulmadan hizmete sunulması halinde mevcut potansiyelin tam anlamıyla değerlendirilemediği de açıktır (Tufan 2014). Örneğin otonom araç teknolojileri kapsamında araçlar arası (V2V) ve araç-altyapı (V2I) iletişim sistemlerine yönelik çalışmalar henüz Türkiye’de uygulama aşamasına geçmemiştir. Ayrıca, Türkiye’de AUS bağlamında kapsamlı ve sürdürülebilir bir veri yönetimi altyapısının sağlanması konusunda da eksiklikler bulunmaktadır. Bu durum, AUS uygulamalarının etkinliği ve sürdürülebilirliği açısından önemli bir boşluğa işaret etmektedir (Katanalp vd 2018). AUS uygulamalarının doğası gereği, bu alandaki girişimlerde özel sektörün öncü rol oynadığı, kamu kurumlarının ise teknik personele özel sektörle rekabet edemeyen düşük maaşlar sunması ve bürokratik engeller nedeniyle geride kaldığı düşünülmektedir. Ayrıca, Türkiye’de kamunun altyapı çalışmalarının henüz tamamlanmamış olması da bu durumu destekleyen önemli bir faktördür. Bu bağlamda, AUS uygulamalarında kullanılan kişisel verilerin korunması, uluslararası standartlara uyumun artırılması, bölgesel uygulamalarla birlikte ticari araçların gümrükleme işlemlerinde uluslararası taşımacılığın gerektirdiği uyumun sağlanması ile ticari araç işlemlerinde elektronik denetim uygulamalarının yaygınlaştırılarak sürekliliğin sağlanması ve maliyetlerin azaltılması önemli hedefler arasında yer almaktadır (Tufan 2014). Türkiye’de AUS bilinci giderek artmakta ve birçok başarılı uygulama ile kentsel ve şehirlerarası ulaşımında önemli değişim ve dönüşümler gerçekleşmektedir. Ancak bu dönüşümlerin düzenlenmesi ve resmileştirilmesi amacıyla kapsamlı ve yüksek düzeyde politika belgelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu belgeler, sektör için kılavuz niteliğinde olabileceği gibi, aynı zamanda gelişmelerin önünü açan yönlendirici dokümanlar olarak da işlev görmektedir. Türkiye’de AUS’un yaygın olarak benimsenmesinin önündeki en büyük engeller, mevzuat, politika, strateji ve düzenleyici çerçevelerdeki eksiklikler ile yetki karmaşasından kaynaklanan sorunlardır. AUS’un gelişimine yönelik kısa vadeli hedefler, mevcut acil sorunların tespiti ve çözümü ile altyapının iyileştirilmesini kapsamalıdır. Uzun vadede ise, AUS’un ülke çapında yaygınlaşması sağlanmalıdır. Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı, dünya genelindeki başarılı örnekler dikkate alınarak hazırlanmış kapsamlı bir yol haritası olup, hem mevcut durumu hem de geleceğe yönelik öngörülerini içermektedir. Eylem planının yürütme dönemi 2023 yılı sonunda sona ermiş olup, güncelleme yapılması gerekmektedir. Güncelleme

sürecinde, otonom ve bağlantılı hareketlilik, ekonomik sürüş, paylaşılan, adil ve erişilebilir ulaşım modellerini kapsayan bütüncül bir yaklaşım benimsenmelidir. Ayrıca AUS'un uygulanmasına yönelik teknik, idari ve sosyal odak alanları dikkate alınırken, kamu kaynaklarının etkin kullanımı ve kurumsal yapılar göz önünde bulundurularak çalışmalar tekrarlamayı önleyecek şekilde yürütülmelidir (Talih ve Çelikok 2023). Sonuç olarak, akıllı ulaşımın ülkemizde ekonomik, çevresel ve sosyal faydalar sağlaması muhtemeldir. Bu doğrultuda, teknoloji yakından takip edilmeli ve farklı ülkelerdeki gelişmeler ile elde edilen sonuçlar incelenerek, ülkemizdeki uygulamalara rehberlik edilmelidir. Akıllı ulaşım başlangıçta yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen, sistem kurulduktan sonra düşük maliyetlerle büyük kazanımlar sağlamaktadır. AUS, kaynakların etkin yönetimi ve enerji verimliliği konularında da önemli fırsatlar sağlamaktadır. Ülkemizde AUS uygulamalarının yaygınlaşabilmesi için mevzuatımızda yer alması büyük önem taşımaktadır. Yasal düzenlemelerin belirlenmesiyle, dünya örneklerinde görüldüğü gibi AUS, karar alma süreçlerinde ve planlama çalışmalarında önemli bir destek sağlayabilir. Ayrıca, AUS'un planlama ve uygulama aşamalarında etkinliğini artıracak altyapının kentlerimizde kurulması, ulaşım sorunlarının tespiti ve çözümünde birçok avantaj yaratacaktır (Altınörs vd 2022). Türkiye dünyadaki öncü şehirlerle kıyaslandığında, özellikle veri odaklı yönetim sistemleri, şehirlerarası entegrasyon ve akıllı mobilite stratejileri açısından önemli gelişim alanları olduğu görülmektedir. Türkiye, bu eksiklikleri gidererek, çevre dostu ulaşım çözümleri ve AUS'u bütünleşmiş bir şekilde uygulamaya almalıdır. Örneğin, veriler açık veri politikaları ile halka sunulmalı, otonom araçlar ve AUS birbirine entegre edilerek şehirlerarası ulaşımında verimlilik artırılmalıdır. Bu adımlar, Türkiye'yi küresel ölçekte daha rekabetçi bir konuma taşıyacaktır. Öte yandan, Türkiye birçok alanda önemli ilerlemeler kaydetmiş olsa da özellikle AUS'un standartlaştırılması, farklı veri kaynaklarının entegre ve etik biçimde yönetilmesi, toplu taşıma modları arasındaki erişimin kesintisiz hâle getirilmesi ve yerli, milli teknoloji üretiminin artırılması gibi alanlarda çeşitli yapısal eksikliklerle karşı karşıyadır. Bu durum, AUS uygulamalarının ulusal çapta yaygınlaştırılmasında ve uluslararası örneklerle tam uyum sağlamasında belirli kısıtlar doğurmaktadır. Dolayısıyla Türkiye'nin AUS stratejilerini daha sürdürülebilir ve kapsayıcı bir yapıya kavuşturabilmesi için mevzuat, altyapı, finansman ve insan kaynağı gibi alanlarda bütüncül ve uzun vadeli politikalarla desteklenmesi gerekmektedir.

Geleceğe Yönelik Öngörüler ve Stratejik Eğilimler

Yapay zekâ

Yapay zekâ teknolojisinin ulaşımına entegre edilmesi, insanların ve yüklerin güvenli, ekonomik ve sürdürülebilir bir şekilde taşınabilmesini sağlamak açısından büyük önem

taşımaktadır (Khan vd 2022). Yapay zekâ; davranış algılama ve merkezi yönetim mekanizmaları aracılığıyla yolcu memnuniyetini, trafik güvenliğini ve genel hizmet kalitesini artırmakta; aynı zamanda trafik sıkışıklığını ve emisyonu azaltarak AUS'un gelişimine ve gelecekteki ulaşım projeksiyonlarının şekillenmesine katkı sunmaktadır (Kour vd 2022). Bununla birlikte, yapay zekâ teknolojisi lojistik süreçlerin optimizasyonunda da kritik bir rol üstlenmektedir (Saeed vd 2023). Yapay zekânın AUS'a entegrasyonu, önemli faydalar barındıran ve hızla gelişen bir alan olarak öne çıkmaktadır. Bu teknoloji, otomotiv ve toplu taşıma sektörlerinde kullanıcı deneyimini iyileştirmek, güvenliği artırmak ve operasyonel süreçleri optimize etmek amacıyla uygulanmaktadır. Özellikle akıllı araçlarda, yapay zekâ destekli kullanıcı etkileşimlerinin sürükleyici deneyimler sunduğu gözlemlenmektedir (Stappen vd 2023). Bununla birlikte, yapay zekâ teknolojilerinin, sigara içmek veya emniyet kemeri takmamak gibi kural dışı davranışları saptayarak hem yolcu memnuniyetini hem de trafik güvenliğini artırdığı bilinmektedir (Guo vd 2023). Tüm bu gelişmeler, yapay zekânın AUS üzerinde dönüştürücü bir etki yarattığını ve kullanıcı deneyimine öncelik veren akıllı ulaşım çözümlerinin gelecekte daha da önemli hale geleceğini ortaya koymaktadır (Macit 2024). AUS'un geliştirilmesinde kullanılan çeşitli yapay zekâ tekniklerine dair kapsamlı bir çalışmada, özellikle araç içi sensörler ve ağ cihazları aracılığıyla elde edilen büyük veri kümelerinin işlenmesinde yapay zekânın oynadığı kritik role dikkat çekilmiştir. Ayrıca, AUS'u destekleyen yapay zekâ uygulamaları üç temel başlık altında sınıflandırılmıştır: araç kontrolü, trafik kontrolü ve tahmini ile yol güvenliği ve kaza öngörüsü (Machin vd 2018). Başka bir çalışmada makine öğrenimi ve yapay zekâ teknolojilerinin akıllı şehirlerin oluşumunu destekleyen ulaştırma sistemlerinde nasıl kullanılabileceğini ele alınmıştır. Bu teknolojilerin; modelleme ve simülasyon, dinamik yönlendirme, tıkanıklık yönetimi ve akıllı trafik kontrolü gibi alanlarda etkin bir şekilde uygulandığına vurgu yapılmıştır. Ayrıca makine öğrenimi ve yapay zekânın hava, demiryolu ve karayolu gibi çeşitli ulaşım modlarında kullanılmaya başlandığına dikkat çekilmiştir. Çalışmada, yapay zekânın etmen tabanlı hesaplama paradigması, aracı tabanlı trafik kontrol ve yönetim sistemleri ile ajan teknolojisi gibi gelecekte büyük etkilere sahip olması beklenen sistemlerin gelişimine sunduğu katkılar ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir (Bharadiya 2023).

Yolcu taşımacılığı alanında yapay zekâ uygulamaları, güvenlik, verimlilik ve kullanıcı memnuniyetini artırmayı hedefleyen yenilikçi çözümler sunmaktadır. Bu kapsamda, araç sürücüsünün davranışlarını izleyip analiz eden bilgisayarlı görme sistemleri; gelişmiş iletişim ve etkileşim olanakları sağlayan sohbet ve alarm modülleriyle donatılmış gerçek zamanlı toplu taşıma uygulamaları; toplu taşıma duraklarında yoğunluğu ölçmek amacıyla derin öğrenmeye dayalı bilgisayarlı görme çözümleri gibi çeşitli teknolojiler yer almaktadır (Taner vd 2023; Soy

2023). Karayolu yolcu taşımacılığında, yapay zekâ sistemleri yolcu memnuniyetini artırırken, trafik güvenliği ve sürücü davranışlarının izlenmesi gibi alanlarda önemli katkılar sunmakta; bu sistemlerin kullanımı istenmeyen davranışlarda %93'e varan bir azalma sağlamaktadır (Taner vd 2023). Ayrıca, hizmet olarak hareketlilik (Mobility as a Service) ve akıllı taşımacılık sistemleri ile birlikte, otomatik, optimize edilmiş ve kişiselleştirilmiş ulaşım hizmetlerinin sunulması mümkün hale gelmektedir (Schneider vd 2022). Akıllı kameralar ve video gözetim sistemlerinden elde edilen verilerin analiz edilmesi sayesinde toplu taşıma verimliliği artırılırken, filo yönetimi ve altyapı planlaması da daha etkin hâle gelmekte, bu süreç elektrikli araçların benimsenmesini de kolaylaştırmaktadır (Dempsey 2022). Demiryolu taşımacılığında, yapay zekâ teknolojisi istasyonlarda yolcu akışı, kalabalık yoğunluğu ve yürüme hızı gibi parametreleri analiz ederek operasyonel süreçlerin ve güvenliğin yönetilmesine katkı sağlamaktadır (Zhu vd 2024). Bu sistemler, tahmine dayalı bakım ve akıllı gözetim çözümleriyle hem maliyet etkinliğini hem de genel verimliliği artırmaktadır (Ficzere 2023). Ayrıca, tren kontrol ve izleme sistemlerine entegre edilen yapay zekâ çözümleri, demiryolu taşımacılığında filoların daha etkin yönetimini ve güvenliğini sağlamaktadır (Kalinowski ve Weichbroth 2023). Denizyolu yolcu taşımacılığı alanında yapay zekâ; güvenlik artırımı, analizlerin yapılması ve alternatif çözüm yollarının geliştirilmesi amacıyla çeşitli akıllı sistemlerle denizcilik uzmanlarına karar destek sağlamaktadır (Biolcheva ve Valchev 2023). Bunun yanı sıra, gemi hareket modelleme, enerji optimizasyonu, insansız deniz araçları, rota planlama ve filo istihbaratı gibi birçok alanda da yapay zekâ uygulamalarından faydalanılmaktadır (Mouzakitis vd 2022). Havayolu yolcu taşımacılığında ise yapay zekâ, özellikle chatbot sistemleri üzerinden uçuş rezervasyonları, sefer saatleri ve güncellemeler gibi bilgilere erişimi kolaylaştırarak müşteri deneyimini olumlu yönde etkilemektedir. Aynı zamanda havayolu planlaması ve operasyonlarının daha verimli yürütülmesinde de önemli bir rol oynamaktadır (Sarol vd 2022). Yapay zekânın sektördeki gelişimiyle birlikte, 2030 yılına kadar ticari uçaklarda tek pilotla operasyon yapılabilmesine olanak sağlayacak sistemlerin geliştirilmesi planlanmakta olup bu durum karar alma süreçlerinde destekleyici ve güvenliği artırıcı bir katkı sunacaktır (Ziakkas vd 2023). Trafik yönetiminde yapay zekâ teknolojilerinin kullanımı, trafik akışının iyileştirilmesi, tıkanıklığın önceden tahmin edilmesi, acil durum araçlarına öncelik tanınması ve yol güvenliğini tehdit eden unsurların belirlenmesi gibi çok sayıda işlevi kapsamaktadır. Bu doğrultuda yapay zekâ; IoT, makine öğrenmesi, bilgisayarlı görme ve akıllı gözetim teknolojileriyle entegre biçimde çalışarak, trafik yönetiminde etkin çözümler sunmaktadır (Tiwari 2023). Özellikle yapay zekâ destekli akıllı trafik ışık sistemleri, trafik yoğunluğunu gerçek zamanlı olarak algılayarak sinyal sürelerini dinamik şekilde düzenlemekte; böylece trafik akışını optimize etmekte, tıkanıklığı azaltmakta, seyahat

sürelerini kısaltmakta ve şehirlerdeki emisyon seviyelerini düşürmektedir (Ajith vd 2023). Karayolu trafiğinde yapay zekâdan birçok alanda yararlanılsa da en yoğun kullanım alanlarının başında elektrikli ve otonom araçlara ilişkin süreçler yer almaktadır (Mahardhika ve Putriani 2023). Bunun yanında, trafik akışını daha verimli şekilde yönetmek amacıyla drone teknolojisi de devreye sokulmakta; dronelar aracılığıyla alınan gerçek zamanlı görüntüler yapay zekâ tarafından işlenerek ilgili cihazlara iletilmekte ve bu sayede karar verme süreçleri desteklenmektedir (Farahdel vd 2022). Demiryolu trafik yönetimi alanında da yapay zekâ, otonom tren sürüşü, bakım planlaması ve trafik kontrolü gibi alanlarda uygulanmaktadır (Bešinović vd 2021). Sektörde verimli operasyonların sağlanması ve çevresel etkilerin azaltılması için IoT ve dijital ikiz teknolojilerinden faydalanılmaktadır (Vatakov vd 2022). AUS'un temel bileşenlerinden biri olan dijital ikizler, ulaşım ağlarını analiz etmek ve ortaya çıkan ulaşım problemlerine yönelik çözüm önerileri geliştirmek amacıyla matematiksel modelleme tekniklerini kullanmaktadır. Bu kapsamda, trafik ve yaya akışlarının optimizasyonu, toplu taşıma hizmetlerinin iyileştirilmesi, trafik yönetimi, trafik ışıklarının optimize edilmesi ve ulaşım altyapısına yapılacak yatırımların gerekçelendirilmesi gibi alanlar yer almaktadır. Stratejik ulaşım planlama teknolojilerinin AUS çözümleriyle entegrasyonu, mevcut ulaşım altyapısının kaynaklarını en verimli şekilde kullanmayı ve gelecekteki gelişim yönünü doğru bir biçimde belirlemeyi mümkün kılmaktadır. Bu kapsamda dijital ikizlerin kullanımı, gerçek ulaşım ve yol ağının yüksek doğrulukta simülasyonunu mümkün kılarak, ulaşım ağının geliştirilmesine ilişkin kararların tahmine dayalı analizlere dayanarak alınmasını sağlar; bu süreç, ağın yoğunluğunu değerlendirmek için hesaplamaların yapılmasını içerir. Sonuç olarak “dijital ikiz” terimi, yolun ayrıntılı dijital modelini yeniden oluşturan bir modül olarak tanımlanmakta olup, modelleme ve deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesine imkân vermektedir. Bu yaklaşımın temel amacı, farklı senaryoların simülasyonu ve çözümlerin test edilmesidir. Ayrıca, model yol ağına yerleştirilen sensörlerden elde edilen veriler doğrultusunda güncellenebilir ve iyileştirilebilir niteliktedir (Rudskoy vd 2021). Denizyolu trafik yönetiminde ise yapay zekâ, daha güvenli, verimli ve sürdürülebilir uygulamaların hayata geçirilmesinde etkili olmaktadır. Makine öğrenmesi teknikleri sayesinde; deniz trafiği hacmi, tıkanıklık düzeyleri ve dalgalanma oranları gibi geçmiş veriler analiz edilerek, gelecekteki deniz trafiği koşulları tahmin edilebilmekte; bu sayede otonom deniz araçlarının performansları artırılmaktadır (Lee vd 2023). Aynı zamanda, operasyon izleme, yakıt tüketiminin optimize edilmesi ve kanal geçiş süreçlerinin yönetimi gibi alanlarda da yapay zekâdan yararlanılmaktadır (Kontzinos vd 2022). Hücresel ağlardan elde edilen gerçek zamanlı trafik verileri ile yüksek çözünürlüklü kamera gözetiminden kaynaklanan veriler, genellikle gürültülü, senkronize olmamış ve tutarsız nitelikte olabilmektedir. Bu durum, algoritmaların

doğruluğu yüksek olsa dahi istenilen sonuçların elde edilmesini engelleyebilir. Bu nedenle, büyük veri ekosistemlerinde yolcu araçları, acil durum araçları ve yayaların trafik yoğunluğu desenleri ile trafik akış analizlerini çıkarmak amacıyla çeşitli makine öğrenimi algoritmaları kullanılmaktadır. AUS’da makine öğreniminin temel uygulamaları; nesne tespiti, çoklu nesne takibi ve etkinlik tanıma gibi akıllı algılama süreçleridir. Denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme, pekiştirmeli öğrenme, derin öğrenme ve ontoloji tabanlı öğrenme gibi farklı makine öğrenimi teknikleri, trafikle ilgili verilerin incelenmesi ve dönüştürülmesinde kullanılmakta olup, anlamlı desenler ve tahminler elde etmek için entegre edilmektedir. En yaygın kullanılan denetimli öğrenme modelleri arasında regresyon, Naïve Bayes, Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Random Forest yer almaktadır. Derin Evrişimli Sinir Ağları (CNN) ya da Özellik Haritası Konvolüsyon Katmanı mimarileri, dinamik trafik verilerini zaman-mekân matrisine dönüştürerek araçların zaman ve mekân ilişkilerini modellemekte ve ağ genelindeki trafik hızını yüksek doğrulukla tahmin etmektedir. Ayrıca, Tek Aşamalı Çoklu Kutu Dedektörü (SSD) algoritması, düşük çözünürlüklü görüntülerden hızlı gerçek zamanlı konum tahminleri gerçekleştirebilmektedir. Güçlü bir Random Forest algoritması ise, özel yol ve hava koşullarını girdi değişkenleri olarak kullanarak trafik yoğunluğunu %87,5 doğruluk oranıyla tahmin edebilmektedir (Nama vd 2021). Havayolu trafik yönetiminde ise yapay zekâ, hava trafik kontrolörleri ve pilotlar açısından karar verme mekanizmalarını güçlendiren önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır (Cocchioni vd 2023). Uzman sistemler ve iş birliğine dayalı karar verme modelleri, özellikle acil durumlar gibi kritik anlarda hava navigasyon sistemlerine entegre edilerek havacılık profesyonellerinin daha bilinçli kararlar almasını desteklemektedir. Yapay zekânın havayolu trafik yönetimindeki yükselen rolü; artan hava trafiği hacmi, çevresel endişeler ve sistem dayanıklılığı gibi güncel sorunlara çözüm üretmede stratejik bir değer taşımaktadır (Kolotusha 2022).

Yapay zekâ tabanlı ulaşım araçlarının temel amacı, araçların insan benzeri hatta insanüstü davranışlar sergileyebilmesini sağlamak için hem temel hem de ileri düzey yapay zekâ tekniklerini uygulamaktır. Bu doğrultuda yapay zekâ algoritmaları, özellikle derin sinir ağları gibi yöntemlerle insan beyninin işleyişini taklit etmeye çalışarak, büyük veri setlerini analiz edip karar alma süreçlerinde önemli rol oynamaktadır. Akıllı araçlar ise, çevresel algılama, haritalama ve güzergâh planlama gibi yapay zekâ tekniklerini bir araya getirerek, bunları çok katmanlı yardımcı sürüş hizmetleriyle entegre şekilde kullanılmaktadır (Li vd 2018). Otomobillerin insan odaklı işleyişinden kendi kendine sürüş yeteneğine sahip araçlara evrilmesiyle birlikte, otomotiv sektöründe önemli bir dönüşüm yaşanmıştır. Yapay zekâ destekli işlemcilerle donatılan sürücüsüz otomobiller, güvenlik, mahremiyet, enerji verimliliği, trafik akışının düzenlenmesi ve çevresel sorunların azaltılması gibi birçok konuya odaklanmaktadır

(Manoharan 2019). Benzer şekilde, yolcu ve yük taşımacılığında artan talebi karşılamak amacıyla, demiryolu taşımacılığında da otomasyon sistemlerine sahip sürücüsüz trenlerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu trenler; yüksek hızlı internet altyapısı, IoT, özel kısa menzilli iletişim teknolojileri, dijital video analiz kameraları ve yapay zekâ tabanlı yöntemler gibi ileri seviye iletişim ve bilgi teknolojileri aracılığıyla merkezi olarak kontrol edilen tamamen otomatik sistemler olarak öne çıkmaktadır (Singh vd 2021). Son yıllarda kentsel ulaşımında kullanılan deniz araçlarında da yapay zekâ teknolojilerinden yararlanılan çeşitli örnekler görülmektedir. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), denizcilik alanında otonom su üstü gemilerini resmî olarak tanımış olup, bu gemilerde yapay zekâ desteğiyle kıyıdan bir üst düzey kontrol sağlanabilmekte ve karar destek sistemleri sayesinde otonom sürüş gerçekleştirilebilmektedir (Veitch ve Alsos 2021). Öte yandan, insansız su altı araçlarının kullanım alanı da son yıllarda hızla yaygınlaşmakta; bu araçlarda derin öğrenme ve görüntü işleme gibi yapay zekâ tekniklerinden etkin biçimde faydalanılmaktadır (Ataner vd 2020). Mevcut yapay zekâ teknolojilerinin hava durumu tespiti, havalimanı algılama, karar verme gibi konularda yeterli seviyeye ulaştığı düşünülmektedir (Ziakkas vd 2023). Ayrıca yapay zekâ, uçaklarda pilot eğitiminde de kullanılmakta; eğitmenlerden manevraları öğrenerek öğrenci hatalarını belirleyip düzeltici geri bildirim sunarak eğitim sürecinin verimliliğini artırmaktadır (Guevarra vd 2023). Havacılık sektöründe yapay zekânın en çok karşılık bulduğu alanlardan biri ise insansız hava araçlarıdır. Bu araçlar, bağımsız uçuş, bakım, görüntü analizi, karar verme, gözetim, tarım ve madencilik gibi pek çok alanda yapay zekâ desteğiyle geliştirilmektedir (Lnc Prakash vd 2023). Ayrıca sürü drone teknolojilerinde, sürü oluşumu, görev ataması, navigasyon, iletişim ve karar verme gibi işlevlerin gerçekleştirilmesinde de yapay zekâ önemli bir rol üstlenmektedir (Johnson 2020).

Taşımacılık sistemlerinde yapay zekanın rolü altı başlık altında toplanabilir.

Tam otonom araçlar

Tam otonom araçların geliştirilmesi, geleceğin ulaşım teknolojileri açısından temel bir odak noktasıdır. Yapay zekâ algoritmaları, gelişmiş sensör sistemleri ve derin öğrenme tekniklerinin entegrasyonu sayesinde bu araçların karmaşık trafik senaryolarında bağımsız olarak hareket edebilmesi ve tüm sürüş görevlerini herhangi bir insan müdahalesine ihtiyaç duymadan yerine getirebilmesi hedeflenmektedir. Bu teknolojik dönüşüm, yol güvenliğini artırma, trafik yoğunluğunu azaltma ve ulaşım sistemlerinin genel verimliliğini yükseltme gibi kazanımları beraberinde getirerek, ulaşım alanında devrim niteliğinde bir değişim yaratma potansiyeline sahiptir.

Gelişmiş trafik tahmini ve yönetimi

Yapay zekâ, trafik desenlerinin tahmini ve yönetimi alanında önemli gelişmeler kaydetmeye devam etmektedir. Sensörler, GPS sistemleri ve sosyal medya gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen büyük hacimli gerçek zamanlı verilerin analiz edilmesiyle, yapay zekâ algoritmaları daha doğru ve güncel trafik tahminleri sunabilmektedir. Bu sayede dinamik yönlendirme, tıkanıklıkların önlenmesi ve optimize edilmiş trafik sinyalizasyon sistemleri gibi uygulamalarla daha etkin bir trafik yönetimi sağlanmakta; böylece ulaşım sistemlerinin daha akıcı, verimli ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasına katkıda bulunmaktadır.

Akıllı altyapı ve bağlantı

Yapay zekâ, araçlarla etkileşim kurabilen ve gerçek zamanlı veri akışı sağlayan akıllı altyapı sistemlerinin gelişimini mümkün kılmaktadır. Bu sistemler sayesinde, örneğin akıllı trafik ışıkları, mevcut trafik yoğunluğuna göre sinyal sürelerini dinamik biçimde ayarlayarak trafik akışını optimize edebilmektedir. Ayrıca, yapay zekâ destekli araçtan altyapıya (V2I) ve araçtan araca (V2V) iletişim teknolojileri, karayolu güvenliğini, trafik uyumunu ve genel sistem verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir.

Kişiselleştirilmiş hareketlilik hizmetleri

Yapay zekâ, bireylere özel hareketlilik hizmetlerinin sunulmasında kilit bir rol üstlenecektir. Bireylerin seyahat alışkanlıkları, tercihlerine ilişkin veriler ve anlık trafik koşulları gibi çok çeşitli veri setlerinin analiz edilmesiyle, yapay zekâ tabanlı algoritmalar; talep üzerine yolculuk paylaşımı, çok modlu ulaşım planlaması ve rota optimizasyonu gibi kişiselleştirilmiş ulaşım çözümleri geliştirecektir. Bu uygulamalar, seyahat deneyimini iyileştirmenin yanı sıra, ulaşım hizmetlerine erişilebilirliği artıracak ve özel araç kullanımına olan bağımlılığı azaltarak daha sürdürülebilir bir mobilite yapısının oluşmasına katkı sağlayacaktır.

Sürdürülebilir ulaşım çözümleri

Yapay zekâ, sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin geliştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır. Makine öğrenimi algoritmaları aracılığıyla enerji tüketiminin optimize edilmesi, çevre dostu sürüş alışkanlıklarının teşvik edilmesi ve elektrikli ile otonom araçların ulaşım altyapısına entegrasyonunun kolaylaştırılması mümkün hale gelmektedir. Ayrıca, yapay zekâ destekli lojistik ve yönlendirme sistemleri; çevreye duyarlı alternatifleri önceliklendirerek karbon emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlamakta ve sürdürülebilir hareketlilik anlayışının yaygınlaşmasına zemin hazırlamaktadır.

Gelişmiş güvenlik sistemleri

Yapay zekâ, ulaşım alanındaki güvenlik sistemlerinin gelişimini desteklemeye devam edecektir. Gelişmiş nesne algılama ve tanıma algoritmalarının, yapay zekâ tabanlı çarpışma önleme sistemleriyle entegrasyonu; hem araç hem de yaya güvenliğini önemli ölçüde artıracaktır. Buna ek olarak, yapay zekâ teknolojisi, araçlarda ve ulaşım altyapısında oluşabilecek olası bakım ihtiyaçlarını önceden tespit ederek proaktif bakım uygulamalarının hayata geçirilmesini mümkün kılacak, böylece mekanik arızalardan kaynaklanan kazaların meydana gelme olasılığını en aza indirecektir (Bharadiya 2023).

Ulaşım sistemlerinde yapay zekâ kullanımı, çeşitli ulaşım süreçlerinin iyileştirilmesi ve optimize edilmesi amacıyla yapay zeka teknolojilerinin ve yöntemlerinin entegre edilmesini ifade etmektedir. Bu kapsamda makine öğrenimi, bilgisayarla görme, doğal dil işleme gibi yapay zekâ tabanlı metodolojiler kullanılarak ulaşım ağlarında verimlilik, güvenlik ve sürdürülebilirlik artırılmaya çalışılmaktadır. Yapay zekâ, ulaşım alanında birçok önemli rol üstlenebilmektedir. Bunlardan ilki olan otonom araçlar, sensörler, bilgisayarla görme teknikleri ve makine öğrenimi algoritmaları sayesinde çevreyi algılayabilen, karar verebilen ve insan müdahalesi olmaksızın hareket edebilen araçların geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Trafik yönetimi açısından ise, yapay zekâ destekli sistemler; trafik sensörleri, kameralar ve geçmiş veri setlerini analiz ederek gerçek zamanlı trafik akışını optimize edebilmekte, tıkanıklığı azaltmakta, trafik desenlerini öngörmekte ve sinyal sürelerini dinamik olarak ayarlayarak ulaşım verimliliğini artırabilmektedir (Bharadiya 2023). Ayrıca öngörücü bakım uygulamaları kapsamında, araçlardan ve ulaşım altyapısından gelen verilerin yapay zekâ algoritmalarıyla analiz edilmesi, bakım gereksinimlerinin önceden tespit edilmesini mümkün kılmakta; bu da beklenmedik arızaların azaltılmasını, sistem güvenilirliğinin artırılmasını ve hizmet sürekliliğinin sağlanmasını desteklemektedir. Akıllı lojistik ve tedarik zinciri yönetimi süreçlerinde ise, yapay zeka büyük veri analizleriyle rota planlaması, talep tahmini ve envanter yönetimini optimize ederek maliyetleri düşürmekte, teslimat sürelerini kısaltmakta ve kaynak kullanımını daha verimli hale getirmektedir. AUS içerisinde yapay zekâ teknolojileri; gerçek zamanlı kaza tespiti, dinamik yönlendirme, adaptif sinyalizasyon kontrolü ve yolcu bilgilendirme sistemleriyle ulaşım ağlarının izlenmesi ve yönetilmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Öte yandan, yolcu deneyimi bağlamında yapay zekâ destekli sanal asistanlar ve sohbet robotları, kişiselleştirilmiş öneriler, gerçek zamanlı bilgilendirme ve kullanıcı desteği sunarak toplu taşıma hizmetlerinin kalitesini artırmaktadır. Ayrıca yapay zekânın ulaşım sistemlerine entegrasyonu; seyahati daha güvenli, etkin ve sürdürülebilir hale getirme potansiyeli taşımakla birlikte, bu süreç etik sorumluluklar, siber güvenlik riskleri ve istihdam

üzerindeki etkiler gibi çeşitli tartışmaları da gündeme getirmektedir. Bu nedenle, ulaşım alanında yapay zekânın sorumlu, etik ve fayda odaklı şekilde uygulanması için çok boyutlu değerlendirmeler yapılması gerekmektedir. Sonuç olarak, ulaşım sistemlerine yapay zekâ entegrasyonu, kentsel hareketliliği köklü bir biçimde dönüştürme ve ulaşımın çeşitli bileşenlerini iyileştirme potansiyeli taşımaktadır. Makine öğrenimi, bilgisayarla görme ve doğal dil işleme gibi ileri düzey yapay zekâ teknolojilerinden faydalanılarak, ulaşım sistemleri daha verimli, güvenli ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşturulabilir. Bununla birlikte, yapay zekâ; sensörler, kameralar ve tarihsel veri eğilimleri gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen gerçek zamanlı verileri analiz ederek trafik yönetimine önemli katkılar sunmaktadır. Bu analizler sayesinde trafik akışı optimize edilmekte, tıkanıklıklar azaltılmakta ve alternatif güzergâh önerileri ile ulaşımın genel verimliliği artırılmaktadır. Yapay zekânın etkili olduğu bir diğer önemli alan ise öngörücü bakımdır. Araçlardan ve ulaşım altyapısından toplanan verilerin izlenmesi ve analiz edilmesi yoluyla, yapay zekâ destekli sistemler bakım ihtiyaçlarını önceden tahmin edebilmekte; bu da proaktif bakım uygulamalarını mümkün kılarak beklenmedik arızaların önüne geçilmesini sağlamaktadır. Böylece sistem güvenilirliği artmakta, hizmette kesintiler azalmakta ve genel olarak ulaşım hizmetlerinin kalitesi iyileşmektedir (Bharadiya 2023).

Son yıllarda, kentsel hareketlilik sistemlerinin modernizasyonu ve iyileştirilmesine yönelik artan ihtiyaç, akıllı şehir ulaşımında Nesnelerin Yapay Zekâsı (AIoT) teknolojilerinin benimsenmesini hızlandırmıştır (Cui ve Lei 2023; Gong vd 2023; Saranya 2023). AIoT'un bu sistemlere entegrasyonu, özellikle ulaşım güvenliğini artırma konusunda devrim niteliğinde bir potansiyel taşımaktadır. Söz konusu teknolojik gelişme, dünya genelinde şehirlerin karşı karşıya kaldığı nüfus artışı, trafik yoğunluğu, çevresel sürdürülebilirlik ve güvenlik gibi çok yönlü sorunlara yenilikçi çözümler sunmaktadır (Jagatheesaperumal vd 2024). AIoT teknolojisi sayesinde, ulaşım altyapısının çeşitli bileşenlerine entegre edilen IoT cihazları aracılığıyla büyük miktarda gerçek zamanlı veri toplanabilmektedir. Şehir planlamacıları ve ilgili yöneticiler, yapay zekâ destekli veri analizleri yoluyla elde edilen eyleme dönüştürülebilir içgörülerini kullanarak trafik akışını optimize edebilmekte, tıkanıklığı kontrol altına alabilmekte ve genel ulaşım sisteminin verimliliğini artırabilmektedir. AIoT, geçmiş ve anlık verilerin analizini mümkün kılarak trafik eğilimlerini öngörmeyi, darboğazları belirlemeyi ve trafik akışlarını önceden planlamayı kolaylaştırmaktadır. Bu süreçte özellikle Makine Öğrenmesi (ML) ve Derin Öğrenme (DL) gibi ileri düzey yapay zekâ algoritmaları ile tahmine dayalı modelleme tekniklerinden yararlanılmaktadır. Söz konusu yetkinlikler, trafik yoğunluğunun önlenmesi ve kent genelinde daha etkin bir ulaşım ağı kurulması açısından hayati bir rol üstlenmektedir (Siddiqui vd 2021). Özellikle derin öğrenme yöntemleri, büyük veri

kümelerinde gizli desenleri ve yapıları keşfederek daha doğru karar verme ve tahminler yapılmasına katkıda bulunmaktadır (Mao vd 2018; Zhang vd 2019). Derin öğrenmenin amacı, yaya, bisikletli, araç, motosiklet gibi nesnelerin tanınması, çoklu nesne takibi ve etkinlik tanıma gibi zeki algılama yeteneklerini sağlamaktır. Nesne sınıflarının tanınması; örneğin, trafik ışıkları ile kontrol edilen bir kavşakta bekleyen araç sayısının belirlenmesi veya sürücünün görüş alanındaki nesnelerin tespit edilmesi gibi görevleri kapsamaktadır (Guerrero- Ibañez vd 2021). AUS ile derin öğrenmenin entegrasyonu, araçlar, yol kenarı altyapısı, yolcular, sürücüler ve yayalar gibi farklı aktörlerden elde edilen davranışsal veriler, ihtiyaçlar, gereksinimler ve bilgiler doğrultusunda kişiselleştirilmiş hizmetlerin sunulmasını mümkün kılarak otonom araç ağları ve müşteri hizmetlerinin gelişimini desteklemektedir (Hussain ve Zeadally 2018). Bu yaklaşım, AUS tarafından sağlanan deneyimlerin, ürünlerin ve hizmetlerin kalitesinin artırılmasına katkıda bulunacaktır (Guerrero- Ibañez vd 2021). Ayrıca AIoT teknolojisi sayesinde, dinamik olarak değişen trafik şartlarına uyum sağlayabilen akıllı altyapıların geliştirilmesi mümkün hale gelmektedir. Örneğin, akıllı trafik lambaları, gerçek zamanlı trafik verilerini kullanarak zamanlamalarını ayarlayabilir ve böylece sinyal kontrolünü optimize ederek gecikmelerin önüne geçebilir (Jagatheesaperumal vd 2024). AIoT, araçlar için öngörücü bakım imkanı sağlayarak, talep kalıplarını analiz edip güzergahları optimize ederek ve toplu taşıma sistemlerinin genel güvenilirliği ile verimliliğini artırarak (Alahi vd 2023) kamu ulaşım hizmetlerinin iyileştirilmesine önemli katkılar sunar. Ayrıca, AIoT entegrasyonu; bisikletler, otobüsler, trenler ve araç paylaşım hizmetleri gibi farklı ulaşım türleri arasında kesintisiz bağlantı kurar. Bu sayede, vatandaşlara çeşitli etkili seyahat alternatifleri sunularak daha kapsamlı ve birbirine bağlı bir ulaşım ağı oluşturulmuş olur (Zhang vd 2023). Akıllı gözetim sistemlerinin kullanımı, kaza riski taşıyan alanların öngörücü analizleri ve gerçek zamanlı trafik takibi sayesinde, AIoT güvenliğinin artırılmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Bu tür önleyici tedbirler, kaza oranlarının azalmasına ve yolcu güvenliğinin sağlanmasına katkı sağlar (Wu vd 2020). Ayrıca, elektrikli ve hibrit araçların teşvik edilmesi, emisyonları azaltan trafik düzenlerinin desteklenmesi ve sürdürülebilir kentsel ulaşım projelerinin geliştirilmesiyle AIoT çevre dostu uygulamaların yaygınlaşmasına yardımcı olmaktadır. Yapay zekâ ve AIoT, ulaşım hizmetleri ile altyapısında çok sayıda avantaj sunmakta olup, bu durum birçok araştırma ile desteklenmiştir (Abduljabbar vd 2019; Iyer 2021). Aşağıda sunulan kavramsal çerçeve, AIoT’u akıllı ulaşım ve sürdürülebilir hareketliliğin temel unsuru olarak konumlandırmakta ve güvenliğinin artırılmasına güçlü bir vurgu yapmaktadır. Yapay zekâ, ML, DL, IoT, kenar bilişim, sis bilişim ve bulut bilişim gibi ileri teknolojilerin entegrasyonu ile bu çerçeve, sadece trafik akışını yönetmekle kalmayıp güvenlik sorunlarını da kapsayan, gerçek zamanlı veri analizi tabanlı yanıt ve proaktif karar alma süreçlerine zemin hazırlamaktadır. AIoT bileşenlerinin

birleşimi, ulaşımın verimliliğini artırmanın yanı sıra sürücüler için genel güvenlik deneyimini de iyileştirmektedir (Jagatheesaperumal vd 2024).

İletişim altyapısı

Düşük gecikme sürelerine sahip ağlar ve protokoller de dahil olmak üzere sağlam bir iletişim altyapısı, kenar cihazlar ile merkezi sistemler arasında kesintisiz veri aktarımını mümkün kılar. 5G gibi iletişim teknolojileri, AUS'un tepki hızını ve güvenilirliğini artırarak, zamanında güvenlik odaklı iletişimin sağlanmasını garanti eder.

Kenar bilişimi

Kenar bilişimi, verilerin kaynağa yakın bir noktada işlenmesini sağlayarak gecikmeyi azaltmakta ve gerçek zamanlı karar alma süreçlerini mümkün kılmaktadır. Kenar düğümleri, ulaşım ağında stratejik konumlara yerleştirilmiş olup, sensörlerden gelen verileri analiz eder, ilgili bilgileri çıkarır ve güvenlikle ilgili sorunları ele alır.

Sis bilişim

Sis bilişim, hesaplama ve veri depolama işlemlerini kenara daha yakın bir noktaya taşıyarak, akıllı ulaşımında zaman açısından kritik uygulamalarda veri işleme verimliliğini artırır; bu kapsamda güvenlik izleme de yer almaktadır. Ulaşım ağı içinde stratejik olarak konumlandırılmış sis düğümleri, sensörlerden gelen verileri yakında ve gerçek zamanlı olarak işler.

Bulut bilişim

Bulut bilişim, AUS tarafından oluşturulan büyük veri setlerini yönetmek için ölçeklenebilir, merkezi veri depolama ve işleme imkânları sunar. Bulut sunucuları, yoğun veri analitiği ve makine öğrenimi görevlerini destekleyerek sistemin genel zekâsına katkı sağlar; bu kapsamda güvenlikle ilgili tahmine dayalı analizler de yer almaktadır.

Veri analitiği ve makine öğrenimi

Merkezi veri analitiği platformları, büyük veri kümelerini analiz etmek amacıyla ML ve DL algoritmalarını kullanır. Öngörücü analiz modelleri, sadece trafik sıklığını tahmin etmekle kalmayıp, aynı zamanda olası güvenlik risklerini ve kalıplarını da belirleyerek akıllı ulaşımın hem verimliliğine hem de güvenliğine önemli katkılar sağlar.

Veriye dayalı karar verme sistemleri

Yapay zekâ destekli karar verme sistemleri, analiz edilen verileri değerlendirerek akıllı kararlar üretir. Bu sistemler, trafik ışıklarının sürelerini dinamik biçimde ayarlayabilir, gerçek zamanlı koşullara göre araç yönlendirmesi yapabilir, toplu taşıma programlarını optimize edebilir ve güvenlik önlemlerine öncelik tanıyabilir.

Güvenlik izleme ve yanıt

Belirlenmiş yapay zekâ algoritmaları, kaza veya anormal sürüş davranışları gibi güvenlikle ilgili olayları sürekli olarak izler ve hızlı bir şekilde müdahale eder. Yetkililere gerçek zamanlı uyarılar gönderilmesi veya uyarlanabilir hız kontrolü gibi otomatik güvenlik önlemlerinin devreye alınması, genel ulaşım güvenliğinin artırılmasına katkı sağlar.

Kullanıcı arayüzleri ve uygulamalar

Kullanıcı arayüzleri ve uygulamalar, hem yöneticilere hem de halka yönelik insan odaklı bir etkileşim katmanı sunar. Mobil uygulamalar, kontrol panelleri ve kamu ekranları aracılığıyla ulaşım durumu, alternatif güzergahlar ve güvenlik uyarıları hakkında gerçek zamanlı bilgiler sağlar (Jagatheesaperumal vd 2024).

Yapay zekâ ve ulaşım iş birliğinde göz önünde bulundurulması gereken bazı tavsiyeler bulunmaktadır. İlk olarak kişiselleştirilmiş hareketlilik hizmetleri sağlamak için yapay zekâ algoritmaları kullanılmalıdır. Bireysel tercihleri, seyahat kalıplarını ve gerçek zamanlı verileri analiz ederek, taşıma çözümleri kullanıcıların belirli ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde özelleştirilebilir. Bu, talep üzerine araç paylaşımı, çok modlu seyahat planlaması ve diğer yenilikçi hareketlilik seçeneklerini içerebilir. İkinci olarak yapay zekâ, sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunabilir. Makine öğrenimi algoritmaları enerji tüketimini optimize edebilir, çevre dostu sürüş davranışlarını teşvik edebilir ve elektrikli ve otonom araçların ulaşım ağlarına entegrasyonunu kolaylaştırabilir. Ayrıca, yapay zekâ destekli lojistik ve yönlendirme sistemleri, çevre dostu seçenekleri önceliklendirebilir, karbon emisyonlarını azaltabilir ve sürdürülebilir hareketliliği teşvik edebilir. Son olarak ise yapay zekânın, ulaşımda güvenlik sistemlerini geliştirmek için kullanılmaya devam etmesi gerekir. Gelişmiş nesne algılama ve tanıma algoritmaları, yapay zekâ destekli çarpışma önleme sistemleriyle birleştirildiğinde, araç ve yaya güvenliğini artırabilir. Ayrıca, yapay zekâ, araçlar ve altyapıda potansiyel bakım sorunlarını belirlemeye yardımcı olabilir, bu da proaktif bakım sağlamakta ve mekanik arızalardan kaynaklanan kazaların riskini en aza indirmektedir (Bharadiya 2023).

Otonom ulaşım

Yeni nesil ulaşım sistemleri olarak tanımlanan otonom ulaşım sistemleri (OUS), karmaşık yapıları ve işlevleri nedeniyle tipik bir sistemler sistemi (System of Systems - SoS) niteliği taşımaktadır ve çok disiplinli bir yapıda entegre edilmiştir. OUS'un gelişimi, ulaşım sistemlerinin akıllı, ağ tabanlı, hesaplama destekli, veri odaklı, malzeme ve enerji temelli teknolojilerle; aynı zamanda psikolojik, bilişsel ve davranışsal bilimlerle derinlemesine bütünleşmesi temelinde şekillenmiştir. Bu sistemler, “yer değiştirme” işlevini yüksek güvenlik, yüksek verimlilik ve yüksek hizmet kalitesi standartlarında yerine getirme kapasitesine sahiptir. OUS bileşenleri; kendi kendini algılama, kendini uyarılma, öğrenme, karar verme, yeniden yapılandırma ve sistemler arası uyumlu birlikte çalışabilme gibi ileri düzey yeteneklere sahiptir. Bu çerçevede OUS bütünü, yüksek düzeyde zekâ, esneklik, açıklık ve dirençliliğe dayalı niteliklerle donatılmış bir yapıyı ifade etmektedir. OUS, dört temel işlevsel alt sistemden oluşmaktadır: ajan, taşıyıcı, altyapı ve çevre. “Ajan” bileşeni, sistem içerisinde bilgi toplama, işleme, karar verme ve uygulama süreçlerinden sorumlu olan akıllı unsurları temsil etmekte olup; bu unsur insan veya yapay zekâ temelli bir makine olabilir. “Taşıyıcı” bileşeni, yolcu ya da yük taşımacılığını gerçekleştiren ve sistemin temel hareket kabiliyetini sağlayan otonom araçları ifade eder. “Altyapı” ise taşıyıcıların hareketini destekleme, yönlendirme ya da sınırlama işlevlerine sahip fiziksel ve dijital sistemleri kapsamaktadır. “Çevre” bileşeni, taşıyıcıların faaliyet gösterdiği doğal ve yapay çevresel koşulları içermekte olup; iklimsel faktörlerden kentsel mimariye kadar geniş bir alanı kapsar. Bu dört alt sistemin karşılıklı etkileşimi, OUS'un işlevselliğini, sistemsel bütünlüğünü ve otonom ulaşımın yüksek düzeyde emniyetli, verimli ve esnek biçimde işletilmesini mümkün kılmaktadır (Jia vd 2022). Taşımacılık sistemlerinin temel işlevi, yük veya yolcuların başlangıç noktasından varış noktasına kadar olan süreçte taşıyıcıların hareketiyle mekânsal yer değiştirmesini sağlamaktır. Bu süreç, taşıyıcıların hareket kabiliyetini hem destekleyen hem de sınırlandıran altyapı unsurlarının kontrolü altında gerçekleşmekte ve taşıyıcıların faaliyetleri belirli komut ve kontrol mekanizmaları çerçevesinde yürütülmektedir. Taşıyıcıların karar alma ve uygulama yetileri, kaçınılmaz olarak daha büyük ölçekli bir veri toplama, bilgi işleme ve karar destek sistemine dayanmaktadır ve günümüzde bu süreçlerin önemli bir kısmı insan etkileşimine bağlı şekilde işletilmektedir. Ancak, otonom işletim kabiliyetine sahip bir taşımacılık sisteminin varlığından söz edilebilmesi için, bu sistemin tüm işlevlerini insan müdahalesinden bağımsız olarak yerine getirebilmesi gerekmektedir. Sistemdeki insanın operasyonel rollerinin, insan dışı bileşenler olan ekipman, altyapı ve diğer teknolojik unsurlar tarafından üstlenilmesi ve insanların yalnızca sistemin hizmet sunduğu kullanıcılar olarak konumlandırılması gereklidir. Bu doğrultuda OUS, ajana ait tüm operasyonel işlevlerin (algılama, iş birliği, hesaplama, karar

alma ve uygulama gibi) insandan taşıyıcılara, altyapıya veya diğer teknik bileşenlere devredildiği ve böylece taşıma sisteminin tamamen insan bağımsız olarak işleyebildiği sistemler bütünü olarak tanımlanabilir. OUS, temel olarak sistem zekâsının artırılması yoluyla taşıma süreçlerindeki insan müdahalesinin asgari düzeye indirilmesini amaçlamaktadır. Bu sistemlerin gelişimiyle birlikte, gelecekte ulaşım sistemlerinin insan katılımına olan gereksinimi giderek azalacak; hatta tamamen ortadan kalkması söz konusu olacaktır. Bu dönüşüm sürecinde, insanların taşımacılık sistemindeki rolleri, sürücülük ve diğer operasyonel görevlerden çıkarılarak, yalnızca sistemin hizmet sunduğu kullanıcı konumuna evrilecektir. Böylece, altyapı bileşenleri kademeli olarak geliştirilirken, sistemin otonom operasyon kapasitesi de eş zamanlı biçimde artırılabilecektir. Özellikle taşıyıcılar ile altyapı unsurları arasında gerçek zamanlı veri bağlantısı, karşılıklı etkileşim ve birlikte çalışabilirlik özelliklerinin güçlendirilmesi, sistemin tam anlamıyla otonom bir yapıya ulaşmasında kritik bir rol oynayacaktır (Jia vd 2022).

Günümüzde dünya genelindeki büyük şehirlerin büyük bir çoğunluğunun hem yerel halkın hem de turistlerin erişimini kolaylaştırmak amacıyla toplu taşıma sistemlerini çağdaşlaştırdığı yaygın biçimde kabul görmektedir. Nüfus yoğunluğu yüksek olan kentlerde şehir yönetiminin etkinliği, toplu ulaşımın iyileştirilmesiyle önemli ölçüde artış göstermektedir. Örneğin, Danimarka'nın başkenti Kopenhag'da 2002 yılında hizmete alınan tamamen otomatik metro sistemi, öncü bir uygulama olarak değerlendirilmektedir. Söz konusu sistemin, yapılan araştırmalar doğrultusunda kent sakinleri tarafından büyük ölçüde olumlu karşılandığı rapor edilmiştir. Bu çerçevede, kamu ulaşımında son dönemde uygulamaya konulan yenilikçi çözümler izleyen bölümlerde örnekler üzerinden ele alınacaktır (Mester 2009; Pisarov ve Mester 2020).



Şekil 12. Otomatik metro sistemi Kopenhag, Danimarka (Pisarov ve Mester 2021)

Almanya'nın Potsdam şehrinde otonom tramvay: Siemens Mobility firması, Almanya'nın Potsdam kentinde faaliyet gösteren ulaşım şirketi ViP Verkehrsbetrieb Potsdam

ile iş birliği içerisinde 2018 yılında dünyanın ilk sürücüsüz tramvayını geliştirmiştir. Eylül ayında tanıtımı yapılan bu yenilikçi araç, Potsdam tramvay hattında belirlenen altı kilometrelik bir rotada gerçek trafik koşullarında test edilmiştir. Otonom tramvay; kameralar, sensörler, radar ve lidar teknolojileri ile donatılmış olup, bu donanım sayesinde trafik ortamındaki diğer kullanıcıların (yayalar, bisikletliler, motorlu araçlar vb.) öngörülemeyen hareketlerini algılayabilmekte ve güvenli bir şekilde tepki verebilmektedir. Sistem performansının değerlendirilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen bir testte, tramvayın önüne engel olarak bir tekerlekli sandalye yerleştirilmiş; aracın fren sistemleri derhal devreye girerek güvenli bir duruş sağlanmıştır. Engel ortadan kaldırıldığında ise tramvay seyrine devam etmiştir. Gelişmiş algoritmalar sayesinde, tramvay çevresel değişkenleri anlık olarak analiz edebilmekte ve farklı nesnelere (örneğin yayalar, hayvanlar ya da araçlar) karşı hızlı ve etkili tepkiler verebilmektedir. Ayrıca belirlenen duraklarda durabilme kapasitesine sahip olan sistem, yolcuların hem şehir içi hem de şehirlerarası ulaşım ihtiyaçlarını güvenli bir biçimde karşılamayı hedeflemektedir. Otonom tramvay, otonom toplu taşıma araçlarının kentsel ulaşım altyapısına entegrasyon sürecinde karşılaşılabilecek muhtemel zorlukların tespit edilmesini amaçlayan bir dünya ödülünü kapsamında tanıtılmıştır (Pisarov ve Mester 2021).



Şekil 13. Potsdam, Almanya'daki ilk otonom tramvay (Pisarov ve Mester 2021)

Helsinki'deki robot otobüs "GACHA": Finlandiya'nın Helsinki kentinde, minibüs tipindeki otonom araçlara ek olarak "GACHA" adlı bir başka robotik otobüs prototipi tanıtılmıştır. Bu araç, Japonya merkezli perakende şirketi Muji tarafından tasarlanmış olup, otonom sürüş teknolojisi ise Sensible 4 adlı firma tarafından geliştirilmiştir. GACHA adlı sürücüsüz mini otobüsün en dikkat çekici özelliği, zorlu iklim koşullarında dahi güvenli ve etkin bir şekilde seyahat gerçekleştirebilme yeteneğidir. Araç; yağmur, kar, fırtına ve sis gibi çeşitli hava şartlarında yön bulma kabiliyetine sahiptir. Tamamen elektrikli olan GACHA, saatte 40 kilometreye kadar hız yapabilmekte ve yaklaşık 100 kilometrelik bir menzil sunmaktadır. 10 oturma ve 6 ayakta yolcu kapasitesine sahip olan bu araç, kısa mesafeli şehir içi ulaşımında verimli bir çözüm sunmayı hedeflemektedir. Ayrıca, kablosuz şarj teknolojisinin

araca entegre edilmiş olması, enerji ihtiyacının pratik ve sürdürülebilir şekilde karşılanmasına olanak sağlamaktadır. GACHA, hem teknolojik yeterlilikleri hem de çevresel uyumluluğu açısından geleceğin kent içi mobilite çözümleri arasında önemli bir örnek olarak değerlendirilmektedir (Pisarov ve Mester 2021).



Şekil 14. Helsinki, Finlandiya'daki robot otobüs 'GACHA' (Pisarov ve Mester 2021)

Volvo'nun otonom otobüsü: Volvo, 2019 yılında Singapur'da, Nanyang Teknoloji Üniversitesi (NTU Singapur) ile iş birliği içerisinde, dünyanın ilk tam boyutlu ve tamamen otonom otobüsünü kamuoyuna tanıtmıştır. Geliştirilen bu otonom araç, herhangi bir sürücü müdahalesi olmaksızın çalışabilme yeteneğine sahip olup, 80 kişilik oturma kapasitesiyle toplu taşıma sistemleri için yüksek yolcu taşıma potansiyeli sunmaktadır. Otobüs, çevresel algılama ve güvenli sürüş dinamiklerini desteklemek amacıyla dört adet lidar sensörü ile donatılmıştır. Bu sensörler, çevredeki nesne ve engellerin tespiti ile gerekli durumlarda aracın otomatik olarak durmasını sağlamaktadır. Söz konusu teknolojik özellikler sayesinde araç; güvenlik, verimlilik, güvenilirlik ve konfor bakımından çağdaş toplu taşıma sistemlerinin önemli bir parçası olma potansiyelini taşımaktadır. Tamamen otonom otobüslerin, gelecekteki kent içi ulaşım çözümlerinin temel bileşenlerinden biri olarak konumlanacağı öngörülmektedir (Mester 2009; Evripidou vd 2020).



Şekil 15. Volvo'nun otonom otobüsü (Pisarov ve Mester 2021)

AIRBUS tarafından üretilen otonom helikopter: Airbus, Temmuz 2020 tarihinde VSR700 adlı otonom helikopteri kamuoyuna tanıtmış ve bu hava aracı Fransa'nın güneyinde

ilk test uçuşunu başarıyla gerçekleştirmiştir. VSR700, özellikle deniz platformlarıyla entegre çalışmak üzere tasarlanmış olup, gemi konulu sistemlerle koordinasyon içinde görev yapacak şekilde geliştirilmiştir. Bu sistemin temel amacı, gemilerin çevresel farkındalığını artırmak ve ufuk ötesi gözetim yeteneklerini genişletmektir. Yüksek performanslı sensörlerle donatılmış olan VSR700, istihbarat toplama ve hedef gözetimi gibi görevlerde etkin rol oynamakta; böylelikle gemilerin operasyonel menziline ve durum farkındalığını artırmaktadır. Kompakt boyutları ve düşük radar izi sayesinde, bu otonom hava aracı modern donanma gemileri için stratejik bir avantaj sunmakta ve sürdürülebilir deniz operasyonları açısından önemli bir bileşen olarak değerlendirilmektedir (Pisarov ve Mester 2021).



Şekil 16. Otonom helikopter (Pisarov ve Mester 2021)

CRRC Zhuzhou Elektrik Lokomotifi tarafından üretilen sürücüsüz metro treni: 2020 yılı haziran ayında Çin tarafından Türkiye için geliştirilip üretilen metro treni, dört vagondan oluşmakta olup 1100 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. Çin'in yurt dışına ihraç ettiği ilk sürücüsüz metro treni olan bu araç, sürücüsüz işletim koşullarında karşılaşılabilecek tüm senaryolara uyum sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca tren, saatte 120 kilometreye kadar hız yapabilme özelliğine sahiptir (Pisarov ve Mester 2021).



Şekil 17. Harry – Otonom servis aracı (Pisarov ve Mester 2021)

Sonuç olarak, otonom araçların gelecekte ulaşım alanında başlıca araç konumuna gelmesi beklenmektedir. Her ne kadar çeşitli test süreçleri devam ediyor olsa da, otonom

araçların yalnızca insan taşımacılığında değil; mal, endüstriyel materyal ve nakliye gibi diğer lojistik alanlarda da geleneksel ulaşım araçlarının yerini alacağı öngörülmektedir. Örneğin, otomotiv sektörünün önde gelen firmaları, farklı ulaşım alanlarına yönelik sürücüsüz araç modellerini tanıtmış ve bu araçların geleneksel sistemlere kıyasla daha yüksek verimlilik sunduğunu göstermiştir. Bu gelişmeler ışığında, ulaşımında daha düşük maliyet, azalan çevresel kirlilik ile artan hız ve verimlilik sağlayacak modern sistemlerin geleceğine yönelik beklentiler güçlenmektedir (Pisarov ve Mester 2021).

		Direksiyon ve hızlanma/yavaşlama	Çevresel algılama	Arıza anında müdahale	Operasyon dizaynı
0	Sürüş Otomasyonu Yok				LIMITED
1	Sürücü Yardımı				LIMITED
2	Kısmi Sürüş Otomasyonu				LIMITED
3	Koşullu Sürüş Otomasyonu				LIMITED
4	Yüksek Sürüş Otomasyonu				LIMITED
5	Tam Sürüş Otomasyonu				UNLIMITED

Şekil 18. Otonom sürüş seviyeleri (SAE 2018)

Ayrıca bu noktada otonom sürüş seviyeleri ve Türkiye'nin bulunduğu seviyeye değinmek gerekmektedir. SAE (Society of Automotive Engineers) otonom sürüş seviyeleri ölçeği şu şekildedir (Synopsys 2023):

- Seviye 0 Otomasyon Yok: Sürücü tüm sürüş görevlerini üstlenir.
- Seviye 1 Sürücü Desteği: Sürücü aracı kendisi kullanmaktadır. Ancak taşıtta bir tane otomatik sistem bulunur. Örneğin hız sabitleyici veya şerit takip asistanı gibi sistemler sürüşe yardımcı olur.
- Seviye 2 Kısmi Otomasyon: Birden çok sürüş görevi aynı anda otomatize edilir (örneğin adaptif hız sabitleyici ve şerit merkezleme). Ancak sürücü her an direksiyonu devralmaya hazır olmalıdır. Türkiye'deki birçok yeni otomobilde bu seviyedeki sistemler mevcuttur.
- Seviye 3 Koşullu Otomasyon: Belirli koşullarda (örneğin otoyolda) araç sürüşü tamamen kendi başına yapabilir, ancak sistemin devralması için sürücüye bir uyarı gönderdiğinde sürücünün müdahale etmesi gerekir. Örneğin aracın şeritten çıkması

halinde sürücünün müdahalesi gerekmektedir. Bu seviye, Türkiye'de henüz yaygın değildir, ancak bazı lüks araçlarda bulunabilir.

- Seviye 4 Yüksek Otomasyon: Belirli bir coğrafi alanda veya belirli koşullarda araç tüm sürüş görevlerini gerçekleştirir ve sürücünün müdahalesine gerek yoktur. Bu otomasyon seviyesinde, aracın operasyonel tasarım alanı GPS tabanlı coğrafi çit (geofencing) teknolojisi kullanılarak belirlenmeli ve standartlaştırılmalıdır.
- Seviye 5 Tam Otomasyon: Araç, her türlü koşulda ve her yerde insan müdahalesine gerek kalmadan tamamen otonomdur. Bu araçların operasyonel yapısında, sürücü, yalnızca bir yolcu rolünü üstlenerek araçla etkileşimini varış noktasını belirlemekle sınırlamaktadır.

Türkiye'deki durumun temel özellikleri ise araç bazında yeni üretilen ve ithal edilen araçların büyük çoğunluğu Seviye 1 ve Seviye 2 özelliklerine (otomatik park asistanı, adaptif hız sabitleyici vb.) sahiptir. Toplu taşıma kapsamında İstanbul'da hizmet veren bazı metro hatları, sürücüsüz (Seviye 4) olarak işletilmektedir. Bu durum toplu taşıma konusunda önemli bir ilerlemedir. Yasal çerçeve konusunda otonom araçların yollarda test edilmesi ve kullanılmasına ilişkin yasal düzenlemeler hala geliştirme aşamasındadır. Ar-Ge çalışmaları ise üniversiteler ve özel şirketler tarafından otonom araçlar ve ilgili teknolojiler üzerine yürütülmektedir. Ancak bu çalışmalar henüz dünya pazarında söz sahibi olunabilecek ticari bir ürün haline gelmemiştir. Özetle Türkiye bireysel araçlarda kısmi otomasyon (Seviye 2) seviyesindeyken, toplu taşımada belirli pilot projelerle yüksek otomasyon (Seviye 4) seviyesine geçiş yapmıştır. Ancak genel ulaşım ekosistemi ve altyapı tam otomasyon uygulaması için henüz hazır değildir.

Veri temelli planlama

Son yıllarda BİT'deki hızlı gelişmeler, insan hareketliliğine ilişkin geniş ölçekli mekânsal ve zamansal verilerin teknik ve ekonomik olarak toplanmasını mümkün kılmıştır. Cep telefonu sinyalleri, akıllı kart kayıtları, taksi güzergâh verileri ve sosyal medya içerikleri gibi tipik mekânsal-zamansal büyük veri kaynakları, çok sayıda bireyin günlük hareket örüntülerini yüksek çözünürlükte ve sürekli bir şekilde belgelemektedir (Chen vd 2016; Kwan 2016; de Bruijn vd 2018). Bu büyük veri setleri, farklı sosyo-demografik grupların etkinlik ve seyahat davranışlarının yanı sıra ulaşım sistemleri ve politikalarıyla olan etkileşimlerini daha derinlemesine anlamaya imkân tanımakta; böylece, ulaşım sistemlerinin daha akıllı, güvenli ve verimli hâle getirilmesi amacıyla gelişmiş modelleme tekniklerinin ve algoritmaların geliştirilmesine yeni olanaklar sunmaktadır (Kwan 2012, 2018; Chen vd 2018; Ma vd 2018). Günümüzde büyük veri kapsamında değerlendirilen veri kümeleri, şehir içi yollar ve

otoyollardaki trafik akışını izlemeye yönelik video gözetim verileri, meteorolojik bilgiler, kentsel toplu taşıma sistemlerinden elde edilen veriler ve araçlara ait uydu konumlandırma kayıtları gibi çok çeşitli trafik izleme bileşenlerini içermektedir. Bu tür veriler, hacimsel olarak son derece büyük olup hem içerik hem de kaynak çeşitliliği açısından zengin bir yapıya sahiptir. Pazar araştırmaları ve analizleri hem yurt içi hem de yurt dışı uygulamalarda trafik yönetimine yönelik çeşitli sistematik ürünlerin mevcut olduğunu ortaya koysa da, bu sistemlerde bazı yapısal ve teknolojik sorunların sürdüğü görülmektedir. Özellikle sistemlerin tekil işlevsellik taşıması, yeterli entegrasyonun sağlanamaması ve teknolojik altyapının yetersizliği gibi problemler, dağınık yapıdaki büyük hacimli veri uygulama sistemlerinin inşasında ciddi kısıtlar doğurmaktadır. Trafik verilerinin etkin biçimde entegre edilememesi, düşük veri kullanım oranları, verinin potansiyel değerinin yeterince ortaya konamaması ve trafik bilgisinin zamanında yayımıyla ilgili yaşanan gecikmeler, bu alandaki temel sorunlar arasında yer almaktadır. BİT’deki ilerlemeler ışığında, trafik otoritelerinin; verimlilik, zamanlılık ve etkinlik ilkeleri doğrultusunda işlevsel analiz yapılmasına imkân tanıyacak daha gelişmiş, akıllı veri analiz sistemlerine olan ihtiyacı giderek artmaktadır (Liu 2021). Büyük veri teknolojisinin sunduğu temel değerler, çeşitli alanlarda karar verme süreçlerine stratejik katkılar sağlamaktadır. Öncelikle, büyük verilerin bütüncül analizine olanak tanıyan yapılar sayesinde, sistemsel sorunlar zamanında tespit edilip analiz edilerek hızlı müdahaleler mümkün hale gelmekte ve bu durum, operasyonel başarısızlıkların neden olduğu maliyetlerin azaltılmasına katkı sunmaktadır. İkinci olarak, veri madenciliği teknikleri aracılığıyla büyük veri yığınları içerisindeki örüntüler ve ilişkiler çözümlenebilmekte; bu sayede ürün pazarlaması, suç analizleri gibi uygulama alanlarında karar alıcılar için güvenilir ve anlamlı bir veri temeli oluşturulmaktadır. Bu iki yönlü katkı, büyük veri teknolojisinin sadece bilgi toplamakla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda bu bilgileri işleyerek eyleme dönüştürülebilir içgörüler üretme potansiyelini de ortaya koymaktadır. Büyük veri teknolojisinin ayırt edici özellikleri, veri yönetimi ve analizinde geleneksel yöntemlerin ötesine geçen bir kapasite sunmaktadır. İlk olarak, yüksek hızlı veri işleme yetisi, bu teknolojinin en önemli avantajlarından biridir. Büyük veri çözümleri, veri işleme hızını geliştirerek, klasik veri işleme yöntemlerinin karşılaştığı ölçeklenebilirlik ve zaman kısıtları gibi temel sorunlara etkili çözümler sunmaktadır. İkinci olarak, veri hacmi açısından değerlendirildiğinde, geleneksel veri yönetim sistemleri genellikle terabayt (TB) düzeyinde çalışırken, büyük veri teknolojileri petabayt (PB) ölçeğinde verilerin işlenmesini mümkün kılmakta ve bu yönüyle önemli bir gelişme sağlamaktadır. Üçüncü olarak, düşük değer yoğunluğu özelliği, büyük veri setlerinin önemli bir kısmının düşük bilgi içeriğine sahip olduğunu ifade eder. Örneğin, kamu güvenliği birimlerinin yürüttüğü video analizlerinde saatler süren görüntüler içerisindeki anlamlı veri parçaları yalnızca birkaç saniyelik kesitlerden

oluşabilmektedir. Büyük veri teknolojisi, yüksek hacimli ancak seyrek anlamlı içerik taşıyan veri kümelerinden faydalı bilgilerin ayrıştırılması ve hızlı biçimde erişilmesi noktasında kritik bir rol üstlenmektedir (Liu 2021). Kentsel AUS’da büyük veri teknolojisinin uygulanması, sistemin özgün ihtiyaç ve koşullarına uygun olarak dikkatli biçimde yapılandırılmalıdır. Gerçek uygulama gereksinimlerinin analizi doğrultusunda, kentsel AUS’un temel ihtiyaçları iki başlık altında toplanabilir:

Kapsayıcı ihtiyaçlar ve trafik talep yönetimi

Kentsel AUS’un kapsayıcı talep yapısı, büyük ölçüde büyük veri teknolojilerinin temel veri işleme yetenekleriyle örtüşmektedir. Bununla birlikte, sistemin etkinliği yalnızca teknik performansa değil, aynı zamanda kullanıcı memnuniyetine de bağlıdır. Bu doğrultuda, büyük veri teknolojisinin sunduğu kapasite ile kullanıcıların ihtiyaç duyduğu çeşitli trafik taleplerinin etkin biçimde analiz edilmesi ve karşılanması zorunludur. Kullanıcı odaklı bir tasarım anlayışıyla, sistemin hizmet kalitesini artırmak ve trafik yönetiminde esnek çözümler sunmak mümkün hale gelmektedir.

Modülerlik gereksinimi

Artan ticari araç hacmi ve kentsel ulaşım altyapısının dinamik gelişimi, AUS’dan beklenen işlevsel gereksinimlerde de dönüşüme neden olmuştur. Bu nedenle, sistemin mimarisinin modüler bir yapıya sahip olması, farklı fonksiyonların bağımsız modüller aracılığıyla gerçekleştirilebilmesini mümkün kılmakta ve sistemin esnekliğini artırmaktadır. Böylece, teknolojik gelişmelere hızlı adaptasyon sağlanabilmekte ve kullanıcıların değişen beklentilerine etkin biçimde yanıt verilebilmektedir (Liu 2021).

Büyük veri teknolojisine dayalı olarak geliştirilen kentsel AUS’un temel işlevleri, beş ana başlık altında toplanabilir:

Büyük veri toplama işlevi

Kentsel ulaşım sistemlerinin yönetiminde trafik yoğunluğunu azaltmak ve sistem performansını artırmak amacıyla, büyükşehirlerde bilgi toplama altyapısı önemli ölçüde güçlendirilmiştir. Bu çerçevede, trafik ağına entegre edilen video izleme kameraları, konumlandırma cihazları ve diğer sensörler aracılığıyla kapsamlı ve gerçek zamanlı veri toplanmaktadır. Örneğin, Kuzeydoğu Çin’deki bir şehirde bulunan sabit radar ve elektrikli trafik gözetim sistemleri, 1300 şerit üzerinden günlük yaklaşık 12.000 geçiş verisi üretmektedir. Bu ölçekteki veri hacmi, petabayt (PB) düzeyinde bir temel veri yapısını zorunlu kılmakta ve böylece kentsel AUS’da büyük veri teknolojisinin uygulanması, bu verilerin sağlıklı biçimde

toplanması ve analiz edilebilmesi açısından kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Farklı kaynaklardan elde edilen bu verilerin birleştirilmesi, sonraki analiz ve entegrasyon süreçleri için yapı taşı işlevi görmektedir.

Büyük veri hesaplama kapasiteleri

Kentsel ulaşım ortamında üretilen devasa veri hacmi, geleneksel veri işleme yöntemleri ile yönetilememektedir. Özellikle kullanıcı odaklı trafik yönlendirme ve navigasyon işlevlerinin doğru bir biçimde yerine getirilebilmesi için yüksek kapasiteli ve hızlı veri işleme altyapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda, büyük veri teknolojisinin entegrasyonu ile bulut bilişim temelli dağıtık hesaplama sistemleri devreye alınmaktadır. Bu sistemler, Master/Slave (M/S) mimarisi temelinde yapılandırılmış olup, veri yönetimi ve işleme sürecini optimize etmektedir. Sistem mimarisinde, ana birim olan “Master”, gelen verileri sınıflandırmakta, parçalamakta ve işlem planlamasını gerçekleştirmektedir. “Slave” adı verilen alt birimler ise kendilerine atanan işlem görevlerini yerine getirmekte ve sonuçları Master birimine geri bildirmektedir. Bu sayede, büyük veri kümesinin yüksek doğrulukla işlenmesi sağlanmakta; elde edilen çıktılar, trafik planlaması, yönlendirme ve karar destek mekanizmaları açısından sistemin işlevselliğini artıran temel unsurlar hâline gelmektedir.

Büyük veri erişim fonksiyonu

Büyük veri teknolojisinin kent içi AUS’a entegrasyonu, yüksek hızlı ve ölçeklenebilir veri erişimi mekanizmalarını mümkün kılmaktadır. Bu durumda geliştirilen büyük veri erişim altyapısı, sektörün veri sorgulama ihtiyaçları ve kullanıcıların gerçek zamanlı trafik verisi kullanım beklentileri temel alınarak tasarlanmaktadır. AUS’a entegre edilen özelleştirilmiş arama motorları sayesinde, büyük veri teknolojisi kullanılarak sorgu hızları optimize edilmekte ve sistemin saniyeler içinde milyarlarca veri sorgusunu karşılayabilme kapasitesi oluşturulmaktadır (Le 2016). Ayrıca, sistemin zamanlılık, ölçeklenebilirlik ve hata toleransı gibi niteliklerini artırmak amacıyla küme mimarisi kullanılmakta; bu sayede kullanıcıların kişiselleştirilmiş veri erişim taleplerine yönelik esnek çözümler geliştirilmektedir. Böylece, kullanıcı deneyimi iyileştirilmekte ve şehir içi AUS’a yönelik memnuniyet seviyesi artırılmaktadır.

Büyük veri tabanlı katma değerli uygulamalar

Büyük veri teknolojisi, AUS’un yalnızca trafik navigasyonu ve yoğunluk önleme gibi temel işlevlerini değil, aynı zamanda yüksek katma değerli hizmet üretme kapasitesini de güçlendirmektedir. Örneğin, kamu güvenliği kurumlarının soruşturma süreçlerinde karşılaştığı operasyonel zorluklar, büyük veri destekli AUS aracılığıyla çözüme kavuşturulabilmektedir. Bu

kapsamda, araç plakası, model bilgisi gibi veriler sisteme entegre edilmekte; olay kümelenmesi, araç izleme ve trafik modeli analizleri aracılığıyla veri madenciliği süreçleri etkinleştirilmektedir. Böylece, güvenlik güçlerine hızlı ve doğru araç takibi, çarpışma tespiti ve kritik bilgi sunumu yapılabilir. Ayrıca, yüz tanıma sistemleri ve akıllı platformlar gibi ileri düzey işlevler aracılığıyla, AUS sadece trafik yönetiminin dijitalleşmesine değil, aynı zamanda farklı sektörlerdeki dijital dönüşüm süreçlerine teknik destek sağlayarak geniş çaplı fayda üretmektedir. Bu uygulamalar, kent güvenliği, altyapı yönetimi ve kamu hizmetlerinin optimizasyonu gibi alanlarda önemli katkılar sunmaktadır.

Büyük veri depolama fonksiyonu

Büyük veri teknolojisinin AUS'a entegrasyonu, trafik verilerinin yüksek hacimli ve çeşitlilik gösteren yapısını etkili biçimde yönetebilecek gelişmiş veri depolama çözümleri sunmaktadır. Geleneksel ilişkisel veritabanları, veri türlerinin sınırlılığı ve ölçeklenebilirlik eksiklikleri nedeniyle bu tür büyük hacimli veriler karşısında yetersiz kalabilmektedir. Buna karşın, büyük veri altyapısında yaygın olarak kullanılan HBase gibi dağıtık depolama sistemleri; yapılandırılmış, yarı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış verilerin eş zamanlı olarak işlenmesini ve saklanması mümkün kılmaktadır. Bu sistemler, özellikle kentsel AUS'da trafik şeritlerine entegre edilen çeşitli veri toplama sensörlerinden elde edilen çok kaynaklı verilerin, yatay olarak ölçeklenebilir biçimde depolanmasına olanak tanımaktadır. Bu yapı sayesinde kullanıcılar, geçmiş trafik verilerine hızlı erişim sağlayabilmekte ve gerektiğinde belirli tarihsel veri kümeleri kısa sürede sorgulanarak analiz edilebilmektedir (Zhang 2011). Büyük veri temelli bu depolama sistemleri, yüksek performans, esneklik ve hata toleransı gibi üstün teknik özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, farklı formatlardaki çok sayıda veriyi eş zamanlı olarak depolayabilmesi ve veri güvenliğini koruma yeteneği sayesinde, kullanıcıların veri sorgulama, geri getirme ve analiz ihtiyaçlarını etkin bir şekilde karşılamaktadır (Liu 2021).

Büyük veri teknolojisinin kentsel AUS'da uygulanma biçimleri temel olarak üç ana başlık altında sınıflandırılabilir:

Veri paylaşımı modeli

Kentsel AUS'da veri paylaşımı işlevi, büyük ölçüde bulut bilişim altyapısı üzerine inşa edilmiştir. Trafik yönetiminin farklı düzeylerinde bu sistemin uygulanmasıyla birlikte, büyük veri teknolojisi aracılığıyla toplanan, entegre edilen ve analiz edilen çok boyutlu veriler bütüncül biçimde değerlendirilerek trafik yönetimine katkı sağlanmaktadır. Analitik sonuçlara dayalı olarak, kamu ulaşım kaynaklarının daha etkin ve dengeli biçimde tahsisini sağlayacak

planlamalar geliştirilebilmekte; böylece karar vericiler, ilgili tüm yol ve şeritlerin güncel durumu hakkında bilgi edinerek, değişken trafik koşullarına uygun stratejiler geliştirebilmektedirler.

Trafik sistemi algılama modeli

Kentsel ulaşım sistemlerinde yönetim kalitesinin yükseltilmesi, sistemin algılama kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu kapsamda, şehir içi ulaşım ağındaki tüm şeritler ve belirli araçlar çeşitli sensörler ile donatılarak veri toplama altyapısı oluşturulabilir. Toplanan trafik verileri, gerçek zamanlı olarak AUS'un veri tabanına aktarılmakta ve bu veriler, büyük veri analitiği ve veri madenciliği yöntemleriyle işlenerek anlamlı bilgilere dönüştürülmektedir (Li 2015). Örneğin, bir kullanıcının belirli bir güzergâh üzerindeki trafik yoğunluğunu sorgulaması durumunda, sistemin gelişmiş algılama ve analiz kabiliyetleri doğrultusunda kullanıcıya güncel trafik bilgisi sunulmakta ve bu sayede daha rasyonel seyahat kararları alınabilmektedir.

Ulaşım seçeneklerinin üretimi

Trafik yönetiminde etkinliğin artırılmasında kilit unsur, büyük veri teknolojisinin AUS ile yüksek düzeyde entegrasyonudur. Bu entegrasyon sayesinde, sistem kullanıcı taleplerine yanıt verecek şekilde gerçek zamanlı ulaşım planlamaları geliştirebilmektedir. Sensörler aracılığıyla elde edilen anlık trafik verileri doğrultusunda, sistem kullanıcıya çeşitli seyahat rotaları önermekte; kullanıcı, kendi önceliklerine uygun olan planı tercih edebilmektedir. Böylece, büyük veri teknolojisinin sistem içinde etkin biçimde kullanılması, hem veri işleme hızını hem de kullanım verimliliğini artırmakta ve şehir içi trafik güvenliğinin sağlanmasında önemli bir teknik destek sunmaktadır (Liu 2021).

Sonuç olarak günümüzde kent ulaşım ağlarının sürekli olarak güncellenmesi ve iyileştirilmesiyle birlikte, büyük veri teknolojisi ile kentsel AUS arasındaki entegrasyon giderek daha güçlü bir hale gelmektedir. Bu entegrasyonun derinleşmesi, kullanıcıların farklılaşan ihtiyaçlarına yanıt verebilen, yüksek güvenilirlikte ve çeşitli hizmet işlevlerini destekleyen bir ulaşım altyapısının oluşmasına önemli katkılar sunmaktadır (Liu 2021).

Sürdürülebilir AUS hedefleri

Günümüzde, dünya genelindeki hükümetler; aşırı enerji tüketimi, hava kirliliği, trafik yoğunluğu, yüksek kaza oranları, yetersiz sürüş deneyimleri, sürücülerin artan bekleme süreleri ve yükselen yakıt tüketimi gibi çok yönlü ulaşım sorunlarıyla karşı karşıyadır (Lv ve Shang 2023). Kırsal alanlardan kentsel bölgelere yönelen nüfus hareketi, daha iyi istihdam olanakları ve yaşam koşulları arayışıyla birlikte kent merkezlerinde ciddi bir nüfus yoğunlaşmasına neden

olmakta; bu durum da ulaşım altyapıları üzerinde önemli baskılar oluşturmaktadır. Nüfus artışının doğrudan bir sonucu olarak trafik sıkışıklığı sorunu daha da belirgin hale gelmektedir. Bu durumda, kentlerin sürdürülebilir akıllı şehir yapısına dönüştürülmesi, söz konusu sorunların çözümüne yönelik bütüncül ve yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Her kentin çevresel, ekonomik ve toplumsal sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda akıllı ve çevre dostu hale getirilebilmesi için AUS, Akıllı Binalar ve Akıllı Üretim gibi ileri teknolojilerin entegrasyonu gerekmektedir. Bu dönüşüm sürecinde ulaşım sektörü öncelikli odak alanı olarak ele alınmakta; AUS'a geçiş, yalnızca trafik güvenliğini artırmakla kalmayıp aynı zamanda yakıt tüketiminin, trafik yoğunluğunun ve kaza oranlarının azaltılmasına da katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, enerji verimliliğini artırarak ve sera gazı emisyonlarını azaltarak sürdürülebilir kentleşme hedeflerine ulaşmada kritik bir rol üstlenmektedir (Ajayi vd 2021; Lv ve Shang 2023). Gerçek zamanlı iletişim teknolojilerinin entegrasyonu ile geliştirilen AUS, kentlerde çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasına yönelik önemli katkılar sunmakta ve özellikle karayolu taşıtlarından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının azaltılmasında etkili rol oynamaktadır. Örneğin Akıllı Trafik Işıkları (ATI) sistemleri, trafik akışını optimize ederek araçların kavşaklarda dur-kalk yapma sıklığını ve bekleme sürelerini azaltmakta; dolayısıyla hem enerji verimliliğini artırmakta hem de sera gazı emisyonlarını düşürmektedir (Odeh 2013). ATI sistemleri, trafik yoğunluğu, araç hızı ve yaklaşan araçların kavşağa varış süreleri gibi parametreleri değerlendirmek amacıyla gelişmiş sensörler, yol kenarı birimleri (RSU'lar) ve kameralarla desteklenmekte; bu veriler, makine öğrenimi algoritmaları aracılığıyla analiz edilerek sinyal süreleri gerçek zamanlı olarak uyarlanabilmektedir. Böylece, araçların gereksiz bekleme ve ani frenleme-hızlanma davranışları en aza indirilmekte, bu da hem CO₂ salımının azaltılmasına hem de yakıt tüketiminin optimize edilmesine katkı sağlamaktadır (Ferreira ve d'Orey 2011; Xiao vd 2015; Babu vd 2019). Karbon emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlayan bir diğer yenilikçi uygulama olan Akıllı Park sistemleri, sürücülerin anlık olarak uygun park alanlarını tespit edebilmesini mümkün kılarak trafik yoğunluğu ve yakıt tüketimini minimize etmektedir. Bu sistemler, mobil uygulamalar aracılığıyla, RSU ve gelişmiş iletişim teknolojileriyle entegre biçimde çalışmakta olup, park alanlarındaki doluluk durumunu algılayabilen sensörler veya kameralar aracılığıyla veri toplamaktadır. Bahsi geçen sensörler, RSU'lara bağlı olarak çalışmakta ve park alanlarının anlık müsaitlik durumuna ilişkin bilgileri sistemle paylaşmaktadır. RSU'lar ise bu bilgileri, uygun park yeri arayışında olan araçlara ileterek, sürücülerin doğrudan boş park alanlarına yönlendirilmelerini sağlamaktadır. Böylece, sürücülerin park yeri aramak amacıyla gereksiz dolaşım yapmalarının önüne geçilmekte, yakıt tüketimi azaltılmakta ve buna bağlı olarak gereksiz CO₂ salınımı engellenerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanmaktadır. Bu noktada sürdürülebilirlik, günümüz toplumunun

mevcut gereksinimlerini karşılarken, gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılama kapasitelerini tehlikeye atmadan kaynakların kullanımını ve yönetimini esas alan bir anlayışı ifade etmektedir. AUS teknolojilerinin 5G iletişim altyapısıyla entegrasyonu, akıllı şehirlerin çevresel sürdürülebilirliği önceleyen ulaşım sistemleri geliştirmesine olanak tanımaktadır. Örneğin Araçlar Arası Ağlar (VANET'ler), Akıllı Trafik Işıkları ve Sanal Trafik Işıkları gibi bileşenler, gerçek zamanlı iletişim teknolojilerinden faydalananarak trafik akışını optimize etmekte ve yoğunluğu azaltmaktadır. Trafikteki bu iyileşme, yakıt tüketiminin ve sera gazı emisyonlarının düşürülmesini mümkün kılmakta; böylece ulaşım faaliyetlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltılarak sürdürülebilir kent içi mobiliteye katkı sağlanmaktadır (Elassy vd 2024). Bununla birlikte, akıllı şehir uygulamalarında 5G tabanlı gerçek zamanlı iletişim teknolojilerinin kullanımı, AUS teknolojilerinin etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu gelişmiş iletişim altyapısı, veri toplama, değerlendirme ve karar verme süreçlerinde daha hızlı ve daha yüksek doğrulukta işlem yapılmasına olanak tanımaktadır. Enerji tüketiminin ve emisyon seviyelerinin azaltılması ile birlikte, artırılmış trafik ve yol güvenliği, sürdürülebilir şehirlerin ve entegre ulaşım sistemlerinin temel yapı taşları arasında yer almaktadır (Odeh 2013). Ulaşım sistemini geliştirmeye yönelik stratejik çabalarının bir parçası olarak Singapur, gelişmiş sensör teknolojileri ve veri analitiği uygulamalarından yararlanmaktadır. Bu teknolojik altyapı, trafik akışının daha etkin biçimde düzenlenmesini sağlamak ve dolayısıyla kent genelinde trafik sıkışıklığının azaltılmasına katkı sunmaktadır. Sürdürülebilir ulaşım politikaları doğrultusunda Singapur, 2030 yılına kadar karbon emisyonu yoğunluğunu %36 oranında azaltmayı ve toplu taşıma sistemlerinden kaynaklanan tüm emisyonları ortadan kaldırmayı hedeflemektedir (Anonim 2025). Bu kapsamda, şehir genelinde yerleştirilen çok sayıda IoT sensörü aracılığıyla, trafik yoğunluğu ve enerji tüketim düzeyi gibi çeşitli parametrelere ilişkin veriler gerçek zamanlı olarak toplanmaktadır. Bu sensör ağı, 5G mobil iletişim teknolojisini mümkün kılan hücresel altyapı ile birlikte yüksek hızlı fiber optik bağlantılarla desteklenmekte olup, toplanan veriler AUS kapsamında analiz edilerek ulaşım süreçlerinin optimize edilmesine olanak tanımaktadır (Hassebo ve Tealab 2023). Barselona kentinde ise, emisyonları azaltmak ve hava kalitesini iyileştirmek amacıyla çeşitli çevreci girişimler hayata geçirilmiştir. Bu kapsamda uygulanan stratejiler arasında, düşük emisyon bölgelerinin oluşturulması ve elektrikli araç kullanımının teşvik edilmesi öne çıkmaktadır (Wolniak 2023). Ayrıca, şehir genelinde kurulan akıllı park sistemleri aracılığıyla, araçların en yakın uygun park alanına yönlendirilmesi sağlanmaktadır. Bu sistemler, yerleştirilen sensörler yardımıyla boş park alanlarını tespit ederek sürücülere gerçek zamanlı yönlendirme hizmeti sunmaktadır. Böylelikle park yeri arama süresi kısalmış; bu durum hem trafik yoğunluğunun hem de hava kirliliğinin azalmasına katkı sağlamıştır (Elassy vd 2024). Kopenhag kenti ise,

2025 yılına kadar karbon nötr bir şehir olma hedefi doğrultusunda kapsamlı stratejiler uygulamaktadır. Bu hedefe ulaşmak amacıyla, kent yönetimi sürdürülebilir ulaşım politikaları ve akıllı sokak aydınlatma sistemleri gibi çevreci çözümleri benimsemiş; böylece kent sakinlerini daha çevre dostu yaşam biçimlerine yönlendirmeyi amaçlamıştır (Anonim 2025). Uygulanan bu önlemler hem enerji verimliliğinin artırılması hem de bireysel, çevresel farkındalığın güçlendirilmesi açısından önemli katkılar sunmaktadır (Elassy vd 2024). Bu kapsamda Kopenhag kenti, çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda akıllı ulaşım çözümleri geliştirmiş ve çevre dostu ulaşım sistemlerinin yaygınlaştırılmasına öncelik vermiştir. Kopenhag'ın düşük emisyonlu ve sürdürülebilir ulaşım modellerine olan güçlü bağlılığı, hem iklim değişikliğiyle mücadele sürecinde önemli bir rol oynamasına hem de küresel ölçekte sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkı sunmasına olanak tanımaktadır. Bu çabalar, kent sakinlerinin yaşam kalitesinin artmasına doğrudan etki etmektedir (Wolniak 2023). Sürdürülebilirlik bağlamında önemli adımlar atan şehirlerden biri olan Birleşik Arap Emirlikleri (BAE), çeşitli çevresel programları hayata geçirerek 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşmak için kapsamlı çabalar göstermektedir. 2017-2050 Ulusal İklim Değişikliği Planı kapsamında, sera gazı emisyonlarının 2050 yılına kadar %70 oranında azaltılması hedeflenmektedir. Bu amaca yönelik olarak, BAE Enerji Stratejisi 2050 ve Dubai Temiz Enerji Stratejisi 2050 gibi sürdürülebilirlik odaklı projeler geliştirilmiştir. Planlanan enerji karışımında, 2050 yılı itibarıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının payının %50'ye ulaşması beklenmektedir. Bu doğrultuda, Dubai Temiz Enerji Stratejisi, şehrin enerji tüketiminin %75'ini temiz enerji kaynaklarından sağlamayı ve böylece Dubai'yi temiz enerji ile sürdürülebilir ekonomi alanında önemli bir merkez haline getirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, BAE, ulaşım sektöründe sürdürülebilirliği artırmaya yönelik olarak, 2030 yılına kadar Dubai'de %25 oranında otonom mobilite hedefini gerçekleştirmeye yönelik birçok proje geliştirmiştir. Bu kapsamda, Dubai Otonom Ulaşım Stratejisi, ulaşım kaynaklı kirliliğin ve trafik yoğunluğunun azaltılması, güvenlik ve verimliliğin artırılması yönünde önemli bir girişim olarak ön plana çıkmaktadır. Sürdürülebilirlik programlarının uygulanması sonucunda, kırsal alanlarda emisyon seviyelerinde düşüş, doğal kaynakların korunmasında iyileşme ve yaşam kalitesinde belirgin artışlar gözlemlenmiştir (Anonim 2025; Khan vd 2017). Belirli kentsel alanlarda gerçekleştirilen vaka incelemeleri, AUS'un sürüş deneyimlerini iyileştirdiğini, yol güvenliğini artırdığını ve genel trafik yönetimini optimize ettiğini göstermektedir. Bu gelişmeler, karbon salınımının ve zararlı hava kirleticilerinin azaltılmasına katkıda bulunurken, sürdürülebilir akıllı şehirlerin teşvik edilmesinde de kritik bir rol oynamaktadır (Elassy vd 2024).

Ayrıca gerçek zamanlı verilere dayalı uygulama ve hizmetlerin kullanılmasıyla, farklı ulaşım modlarına ilişkin doğru ve anlık bilgilerin yolcu ve yük hareketliliğine sunulması, akıllı hareketlilik kavramı olarak tanımlanmaktadır. Akıllı hareketlilik sayesinde, çeşitli ulaşım modlarının entegre edilmesiyle konforlu, güvenli, verimli ve esnek çözümler sağlanmakta; bu süreçte farklı ulaşım modlarından elde edilen veriler toplanarak analiz edilmekte ve böylece tüm ulaşım sistemi koordineli bir şekilde yönetilerek sürdürülebilirlik hedeflenmektedir. 11. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Şûrası'nda, ülkemizin bilgi toplumuna dönüşümünü tamamlamak amacıyla BİT'in yaygın ve etkin kullanımının sağlanması ile bu teknolojilerin üretiminde yerli katma değerin artırılması hedef olarak benimsenmiştir. Ayrıca, şûrada ulusal hareketlilik veri tabanının oluşturulması ve güncel tutulması ile havalimanı, gar, istasyon, liman ve diğer ulaşım araçları aracılığıyla vatandaşlara sunulan hizmet noktalarında engelsiz ulaşımın sağlanması da amaçlar arasında yer almaktadır. Bu doğrultuda, üretimde yerli katma değerin artırılması ve engelsiz ulaşımın sağlanması hedefleri temel alınarak, sürdürülebilir akıllı hareketliliğin sağlanması stratejik amaç olarak belirlenmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2019).

Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Geleceğine İlişkin Türkiye Perspektifi

Uzun vadede AUS kapsamında ulaşılması hedeflenen stratejik amaçlar, entegre, sürdürülebilir ve ileri teknolojilerle donatılmış bir ulaşım altyapısının oluşturulmasına yöneliktir. Bu kapsamda, geliştirilen AUS mimarisi ve belirlenen standartlara uygun olarak tüm ulaşım modlarının entegrasyonu sağlanmalı; mevcut altyapı, kurulan K-AUS yapıları ile entegre edilerek ülke genelinde yaygınlaştırılmalıdır. Aynı zamanda araç içi bilgi ve haberleşme sistemlerinin kullanımı teşvik edilmeli, bu sistemlerin yerli ve milli olarak üretilmesine yönelik Ar-Ge ve üretim faaliyetleri desteklenmelidir. Otonom sürüş teknolojilerine geçiş sürecinde, mevcut ulaşım altyapısının bu sistemlere uygun hale getirilmesi amacıyla hazırlık çalışmaları yapılmalı; tam otonom araçların geliştirilerek ulaşım modlarında yaygınlaştırılması hedeflenmelidir. Raylı sistemlerde kullanılan hareket enerjisinin yeşil enerji kaynaklarına dönüştürülmesi için gerekli sistem ve altyapı çalışmaları ivedilikle planlanmalı ve uygulanmalıdır. Bununla birlikte, araç ve sürüş paylaşımı, mikromobilité ve benzeri alternatif “son kilometre” ulaşım çözümlerine ilişkin hukuki düzenlemeler yapılmalı; bu tür uygulamaların toplu taşımaya entegrasyonu sağlanmalıdır. Ayrıca, blokzincir teknolojisinin özellikle hareketlilik hizmetleri (MaaS), veri paylaşımı, yük taşımacılığı ve lojistik gibi alanlarda kullanımının yaygınlaştırılması ve gerekli teknik düzenlemelerin tamamlanması büyük önem arz etmektedir. Hava taksi (VTOL), drone ve benzeri yenilikçi araçların da AUS sistemlerine entegre edilebilmesi için ilgili mevzuat altyapısı oluşturulmalı ve bu araçların etkin

şekilde kullanımı teşvik edilmelidir. Ulaşımın çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla, akıllı malzeme, yüzey kaplama, nanoteknoloji, biyoteknoloji ve geri dönüştürülebilir bileşenlerin akıllı ulaşım uygulamalarında yaygınlaştırılması teşvik edilmeli; bu malzemelerle çevresel etkisi azaltılmış bir altyapı oluşturulmalıdır. Bunun yanı sıra, AUS bileşenlerini kapsayan geniş kapsamlı bir IoT ağı kurulmalı; bu ağdan elde edilen veriler büyük veri platformlarında toplanarak analiz edilebilir hale getirilmeli ve bu veriler yapay zekâ, derin öğrenme ve gelişmiş haberleşme teknolojileriyle desteklenerek ulaşım altyapısının performansı artırılmalıdır. Toplanan veriler aynı zamanda anonimleştirilerek araştırma ve yenilikçi uygulamaların geliştirilmesi için erişime açılmalıdır. Trafik sıkışıklığı problemini çözmek için sıkışıklık ücretlendirmesi, yüksek doluluklu şeritler, düşük emisyon bölgeleri ve esnek çalışma saatleri gibi talep yönetimi politikaları geliştirilmelidir. Akıllı enerji çözümlerinin AUS sistemlerine entegrasyonu sağlanarak enerji verimliliği artırılmalı; farklı ulaşım modlarında erişilebilirlik uygulamaları yaygınlaştırılmalı ve herkes için kapsayıcı bir ulaşım altyapısı inşa edilmelidir. Lojistik merkezler, karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu gibi ulaşım modlarıyla entegre edilerek taşımacılık faaliyetlerinin etkinliği artırılmalıdır. Otonom araçların yaygınlaştırılması sürecinde, bu araçlara yönelik fonksiyonel ve operasyonel testlerin yürütüleceği, aynı zamanda sertifikalandırma hizmetlerinin sunulacağı Otonom Sürüş Test ve Sertifikasyon Merkezleri kurulmalı ve bu merkezlerin yurt geneline yayılması sağlanmalıdır. Son olarak, sürdürülebilir kentsel hareketlilik planlarının ülke genelinde teşvik edilmesi ve bu planların şehirlerin ulaşım politikalarına entegre edilmesi hedeflenmektedir. Bu bütüncül yaklaşımlar doğrultusunda, Türkiye'nin AUS alanında çağdaş, çevreci ve kullanıcı odaklı bir vizyonla ilerlemesi sağlanacaktır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2019). Türkiye'nin 2023 ve 2035 ulaştırma vizyonu çerçevesinde, ulaştırma, denizcilik ve haberleşme alanındaki altyapı ve hizmetlerin; ekonomik, ticari ve sosyal ihtiyaçları karşılayacak şekilde geliştirilmesi, yaygınlaştırılması ve teknolojik yeniliklere uyumlu politikalarla desteklenmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, hizmet kalitesinin artırılması ve maliyetlerin düşürülmesine katkı sağlamak amacıyla AUS uygulamalarının yaygınlaştırılması temel stratejik önceliklerden biri olarak belirlenmiştir. AUS uygulamalarının ulusal düzeyde etkili bir biçimde hayata geçirilebilmesi için merkezi ve bütüncül bir yaklaşıma sahip projelerin geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle merkezi idarenin kırsal alanlara erişim kabiliyetinden yararlanılması, AUS uygulamalarının kapsayıcılığını ve erişilebilirliğini artıracaktır. Diğer yandan, karayolu trafik güvenliği bağlamında, dünya genelinde görüldüğü gibi Türkiye'de de trafik kazalarının en önemli nedeni insan hatalarıdır. Bu nedenle, insan kaynaklı hataları en aza indirmeyi amaçlayan teknolojik çözümler geliştirilmesi ve bu yaklaşımların yalnızca trafik güvenliği ile sınırlı kalmayarak tüm AUS uygulamalarında insan merkezli sistemlerin geliştirilmesine

öncülük etmesi büyük önem taşımaktadır. Son olarak, kurumsal kapasitenin güçlendirilmesi ve AUS alanında daha etkin koordinasyonun sağlanması amacıyla, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı bünyesinde faaliyet gösteren Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Araştırmaları Merkezi Başkanlığı çatısı altında, yalnızca AUS alanına odaklanan özel bir birimin kurulmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Bu tür bir kurumsal yapılanma, hem araştırma ve uygulama süreçlerinin bütünleşik yönetimini kolaylaştıracak hem de ulusal AUS stratejisinin etkinliğini artıracaktır (Tufan 2014).

AUS'un gelecek vizyonu, bilgisayar teknolojilerinin hem araçlara hem de altyapıya entegrasyonunu sağlayarak, verimli bir mobilite yapısı için birbirine bağlı sistemler oluşturmaya ve bu sayede uzun vadeli ulaşım sorunlarına çözüm üretmeyi amaçlamaktadır (Mathew 2019). Gelecekte AUS'da öne çıkması beklenen eğilimler arasında trafik yönetiminin iyileştirilmesi, toplu taşımanın geliştirilmesi, güvenlik önlemlerinin artırılması ve lojistik süreçlerin yapay zekâ temelli optimizasyonu yer almaktadır (Saeed vd 2023). AUS'un gelecekteki temel hedefleri arasında güvenliğin artırılması, ulaşımın daha erişilebilir hale getirilmesi, çevresel etkilerin azaltılması, sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi ve ileri teknolojiyle üretkenliğin artırılması öne çıkmaktadır (Macit 2024). Ulaşımın geleceğinde, yapay zekânın diğer yenilikçi teknolojilerle ve keşiflerle birleşerek her alana çözüm sunabilen bir yapıya kavuşacağı öngörülmektedir. Özellikle akıllı şehirler bağlamında, AUS'un suç önleme, acil durum hizmetleri, yüz tanıma gibi diğer bilgi ve hizmet alanlarıyla tam entegrasyon sağlayabileceği düşünülmektedir (Türkkan 2019). Gelecekteki bu AUS, gerçek zamanlı izleme, toplu taşıma verimliliğinin artırılması, gecikmelerin azaltılması ve genel performansın daha düşük maliyetle iyileştirilmesi amacıyla GPS ve IoT teknolojilerini etkin biçimde entegre etmelidir (Saxena vd 2023). Yapay zekâ teknolojilerindeki ilerlemeler, kentsel ulaşım sistemlerini derinden etkileyerek güvenlik, verimlilik ve sürdürülebilirlik alanlarında önemli katkılar sunmaktadır. Otonom sürüş yeteneğine sahip araçların geliştirilmesiyle birlikte, AUS uzun vadeli sorunlara çözüm üretmeyi ve farklı alanlara yönelik yenilikçi uygulamalar geliştirmeyi hedeflemektedir. Akıllı şehirlerin ayrılmaz bir ögesi olan AUS; suç önleme, acil durum yönetimi gibi bilgi temelli hizmet alanlarıyla tam entegrasyon sağlayabilir. Ayrıca, GPS ve IoT gibi teknolojileri kullanarak gerçek zamanlı izleme, veri paylaşımı ve maliyet optimizasyonu gibi işlevleri de yerine getirebilmektedir. Bu çerçevede, geleceğin ulaşım sistemlerinin temiz, güvenli ve kapsayıcı biçimde gelişebilmesi için yeni teknolojilerin sunduğu potansiyel mutlaka değerlendirilmelidir (Macit 2024). AUS sistemlerinin başarıya ulaşmasında sadece teknolojik yeterlilik değil, toplumsal kabul ve kullanıcı deneyimi de belirleyici olmaktadır. Bu nedenle, mobil uygulamalar üzerinden geri bildirim sistemleri geliştirilmeli, vatandaşların karar alma süreçlerine aktif katılımı sağlanmalı ve AUS politikalarının kamuoyunda anlaşılabilir ve

benimsenebilir hâle gelmesi için farkındalık kampanyaları düzenlenmelidir. Öte yandan, bu alanın uzun vadede sürdürülebilir olabilmesi için nitelikli insan kaynağı yetiştirilmesine ve bilgi üretiminin artırılmasına yönelik eğitim ve Ar-Ge politikaları uygulanmalıdır. Belediyelere ve kamu personeline yönelik teknik eğitim programları hayata geçirilmeli; üniversite–sanayi iş birlikleri yoluyla yerli teknolojilerin geliştirilmesi ve pilot uygulamaların yapılması teşvik edilmelidir. Teknoloji geliştirme bölgelerinde kurulacak AUS kuluçka merkezleri aracılığıyla yenilikçi fikirlerin desteklenmesi hem yerli üretimin güçlendirilmesini hem de Türkiye’nin küresel ölçekte rekabet edebilirliğini sağlayacaktır. Sonuç olarak, Türkiye’nin AUS altyapısını yalnızca teknik bir dönüşüm olarak değil, aynı zamanda sosyal, ekonomik ve yönetsel boyutları içeren entegre bir strateji çerçevesinde ele alması gerekmektedir. Bu stratejik çerçeve doğrultusunda geliştirilecek politikalar sayesinde Türkiye, dijital dönüşüme uyumlu, çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle bütünleşmiş, kullanıcı odaklı ve uluslararası ölçekte rekabet edebilir bir akıllı ulaşım ekosistemine kavuşabilecektir. AUS sistemlerinin koordineli, sistematik ve uzun vadeli bir vizyonla uygulanması, Türkiye’nin hem bölgesel hem de küresel düzeyde öncü ülkeler arasında yer almasını sağlayacaktır.

Karşılaştırmalı Politika Analizi ve Tematik Analiz Sonuçları

Bu bölümde, AUS uygulamalarına ilişkin yürütülen karşılaştırmalı ve tematik analizlerin bulguları sunulmaktadır. Analizler, Türkiye’deki mevcut AUS uygulamalarını, otomasyon, yapay zekâ, veri temelli planlama ve sürdürülebilirlik gibi ana temalar çerçevesinde, dünya genelindeki gelişmiş örneklerle kıyaslayarak gerçekleştirilmiştir.

Karşılaştırmalı analiz bulguları

Yapılan karşılaştırmalı inceleme, Türkiye’deki AUS uygulamalarının, teknolojik seviye ve entegrasyon düzeyi açısından küresel standartların gerisinde kaldığını ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, uygulama alanlarına göre aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- **Yolcu Bilgi Sistemleri:** Türkiye’de, yolcu bilgilendirme sistemleri genellikle tekil ve sınırlı bilgi sunmaktadır. Gerçek zamanlı otobüs konumu ve varış bilgileri sunulsa da, farklı ulaşım modları (metro, tren, otobüs) arasında tam bir entegrasyon henüz sağlanamamıştır. Buna karşın, dünya genelindeki gelişmiş örneklerde yolcu bilgisi, tüm ulaşım modlarını tek bir platformda birleştiren, çok kanallı ve kişiselleştirilmiş bir hizmet olarak sunulmaktadır.
- **Trafik Yönetim Sistemleri:** Türkiye’nin büyük şehirlerinde trafik akışını izlemek için merkezi kontrol sistemleri kurulmuş olmakla birlikte, bu sistemler çoğunlukla sabit sensör verilerine dayanmaktadır. Küresel örneklerde ise, adaptif sinyalizasyon

sistemleri ve yapay zekâ destekli tahmine dayalı analizler kullanılarak trafik yönetimi proaktif bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

- Elektronik Ödeme Sistemleri: Türkiye’de her şehir kendi akıllı kart sistemini (örn. İstanbulkart) kullanmaktadır. Bu durum, şehirlerarası ve farklı ulaşım modları arasında entegrasyonu zorlaştırmaktadır. Gelişmiş ülkelerde ise banka kartlarının ve mobil cihazların doğrudan ödeme aracı olarak kullanılabildiği açık döngü sistemleri yaygınlaşmıştır.
- Toplu Taşıma ve Filo Yönetimi: Türkiye’deki filo yönetim sistemleri, genellikle araç takibi ve temel operasyonel verilerin izlenmesi ile sınırlıdır. Dünya genelinde ise, toplu taşıma ve yük filoları yapay zekâ algoritmaları ile optimize edilmekte, talep yoğunluğuna göre dinamik rotalama yapılmakta ve tüm sistemler entegre bir şekilde yönetilmektedir.

Tematik analiz bulguları

Karşılaştırmalı analiz bulgularından hareketle, AUS uygulamalarının gelişiminde belirleyici olan temalar tespit edilmiştir. Bu temalar, Türkiye’nin AUS ekosistemindeki güçlü ve zayıf yönlerini daha bütünsel bir perspektiften ortaya koymaktadır.

Kurumsal yapı ve yönetim

Türkiye’de AUS alanında son yıllarda politika ve uygulama düzeyinde ilerleme bulguları görülmekle birlikte, uygulama süreçlerini yavaşlatan temel sorun “kurumsal eşgüdüm eksikliği” ve parçalı yönetim yapısıdır. Bu durum; paydaşlar arası iş birliğini, önceliklendirmeyi ve ulusal-yerel senkronizasyonu zorlaştırmaktadır.

Veri yönetimi (standartlar, paylaşım, güvenlik)

Tez, Türkiye’de veri toplama-paylaşım standartlarının tutarlı biçimde hayata geçirilmemesi ve veri güvenliği/erişimi konularındaki sınırlılıkların, akıllı sinyalizasyon, gerçek zamanlı yönetim ve MaaS gibi servislerin ölçeklenmesinde kritik darboğaz yarattığını ortaya koymaktadır. Politika reformu için verinin açık, birlikte çalışabilir ve güvenli yapıda yönetilmesi gerekmektedir.

Teknolojik altyapı ve uyum kapasitesi

Uygulamalarda (ör. uyarlanabilir sinyal, e-Call, kooperatif sistemler) bazı ilerlemeler mevcut olsa da; sistemler arası entegrasyon, referans mimariler ve ölçekli yaygınlaştırma aşamalarında kapasite açığı tespit edilmiştir. Bu nedenle yatırım planlarına “işlevsel AUS hükümleri” ve teknik düzenlemelerin bağlayıcı biçimde yerleştirilmesi önerilmektedir.

Toplumsal farkındalık ve kullanıcı odaklılık

AUS'un faydalarının kamuoyuna anlatımı ve kullanıcı geri bildirimlerinin politika döngüsüne katılımı sınırlı kalmakta; bu da talep yönlü yaygınlaşmayı zayıflatmaktadır. Bundan dolayı kullanıcı deneyimi ve kapsayıcılık ekseninin güçlendirilmesi gerekli görülmektedir.

Sürdürülebilirlik ve finansman

Bulgular, sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu finansman mekanizmaları ve çok paydaşlı yönetim modellerinin güçlendirilmesini önermektedir. Türkiye'nin uluslararası ölçekte rekabetçi ve bütünleşik bir AUS ekosistemi için kurumsal yapılanmadan veri politikalarına uzanan çok boyutlu bir stratejik dönüşüme ihtiyacı olduğu saptanmıştır.

Yöntemsel çerçeve ve disiplinlerarasılık

Çalışmanın veri analizi kurumsal yapı, teknolojik altyapı, toplumsal farkındalık ve veri yönetimi temaları üzerine kurulu; literatür, resmî strateji belgeleri ve ülke vaka incelemelerinden beslenen nitel belge analizi ile yürütülmüştür. Bu çerçeve, teknik meseleleri yönetim ve kent planlama boyutlarıyla birlikte ele almaktadır.

Bu bağlamda elde edilen bulgulardan hareketle AUS uygulamalarının dünya ve Türkiye üzerinden karşılaştırılmasına dair tablolar aşağıda sunulmuştur.

Tablo 10. AUS Uygulamalarının Dünya ve Türkiye Temelinde Karşılaştırılması

AUS Uygulama Alanı	Amaç ve Faydaları	Türkiye'deki Durum	Dünyadaki Gelişmiş Örnekler
Yolcu Bilgi Sistemleri	Yolculara gerçek zamanlı ulaşım bilgisi sağlayarak seyahat planlamayı ve bekleme sürelerini azaltmak.	Gelişme Aşamasında: Gerçek zamanlı otobüs ve metro varış bilgisi sağlayan panolar ile mobil uygulamalar yaygınlaşıyor. Ancak, modlar arası entegrasyon sınırlı.	Geniş Entegrasyon: Mobil uygulamalar, durak panoları ve web siteleri üzerinden çok modlu (otobüs, tren, metro, bisiklet) ve kişiselleştirilmiş seyahat bilgileri sunuluyor.
Trafik Yönetim Sistemleri	Trafik akışını izleyerek ve kontrol ederek sıkışıklığı azaltmak, seyahat süresini optimize etmek ve trafik güvenliğini artırmak.	Merkezi Sistemler: Büyükşehirlerde (örneğin İstanbul) trafik akışını izleyen ve yöneten kontrol merkezleri mevcut. Veri toplama yoğunlukla kamera ve döngü dedektörleri üzerinden yapılıyor.	Adaptif ve Tahmine Dayalı: Yapay zeka destekli sistemler, trafik ışıklarını anlık yoğunluğa göre otomatik olarak optimize ediyor. Geçmiş verilerden gelecekteki sıkışıklığı tahmin edebiliyor.

Tablo 10. (devamı)

Toplu Taşıma Sistemleri	Toplu taşıma araçlarını etkin bir şekilde yöneterek seferlerin verimliliğini artırmak ve yolcu memnuniyetini yükseltmek.	Temel Yönetim: GPS takip sistemleri ile otobüs ve diğer toplu taşıma araçlarının konumları izleniyor. Biletleme ve filo yönetimi ayrı ayrı yürütülüyor.	Entegre ve Talep Tabanlı: Tüm ulaşım modları (otobüs, metro, tramvay) tek bir merkezi platform üzerinden entegre olarak yönetiliyor. Talep yoğunluğuna göre sefer sıklığı dinamik olarak ayarlanabiliyor.
Elektronik Ödeme Sistemleri	Ulaşım hizmetleri için nakitsiz, hızlı ve güvenli ödeme seçenekleri sunarak geçişleri kolaylaştırmak.	Şehir Bazlı Akıllı Kartlar: İstanbulkart gibi yerel akıllı kart sistemleri yaygın. Mobil ödeme seçenekleri (karekod, NFC) artıyor ancak şehirler arası entegrasyon henüz gelişmemiş.	Açık Döngü Sistemleri: Yolcuların toplu taşıma için doğrudan kendi banka kartlarını veya akıllı telefonlarını kullanmasına olanak sağlıyor. Farklı taşıyıcılar ve şehirler arasında sorunsuz bir şekilde çalışıyor.
Yük ve Filo Yönetim Sistemleri	Lojistik operasyonları optimize ederek, yük taşıma süreçlerini daha verimli, güvenli ve çevre dostu hale getirmek.	Bireysel Şirket Odaklı: Şirketler kendi filolarını yönetmek için GPS ve telematik sistemlerini kullanıyor. Ancak, ulusal düzeyde entegre ve koordineli bir sistem henüz mevcut değil.	Gerçek Zamanlı ve Yapay Zeka Destekli: Rotanın yakıt tüketimine, trafik durumuna ve teslimat süresine göre optimize edildiği gelişmiş sistemler kullanılıyor. Bakım ve güvenlik ihtiyaçları önceden tahmin edilebiliyor.
Sürücü Destek ve Güvenlik Sistemleri	Çarpışma risklerini azaltmak ve sürüş konforunu artırmak için sürücülere destek sağlamak.	Temel ADAS: Yeni araçlarda şerit takip asistanı, çarpışma önleme sistemi gibi temel sürücü destek sistemleri bulunuyor. Ancak, bu teknolojiler araç parkında sınırlı kalıyor.	V2X İletişimi: Araçların birbirleriyle (V2V) ve yol altyapısıyla (V2I) iletişim kurarak tehlikeli durumlar hakkında uyarı alması sağlanıyor. Otonom sürüş teknolojileri sürekli geliştiriliyor.
Kaza ve Acil Durum Sistemleri	Kaza ve acil durum olaylarına hızlı ve etkin bir şekilde müdahale edilmesini sağlamak.	Manuel İhbar: Kaza durumları genellikle telefon veya diğer manuel yöntemlerle yetkililere bildiriliyor. Ekiplerin olay yerine yönlendirilmesi merkezi komuta kontrol sistemleriyle yapılıyor.	Otomatik Algılama ve Müdahale: Araçların kaza yaptığı anda otomatik olarak acil durum hizmetlerine konum ve veri gönderen eCall gibi sistemler yaygın. Bu sistemler sayesinde müdahale süresi kısalıyor.

Tablo 10. (devamı)

Demiryolları İşletim ve Yönetimi	Tren seferlerini, sinyalizasyonu ve güvenliği merkezi bir şekilde yöneterek demiryolu operasyonlarını optimize etmek.	Merkezi İzleme: Trenlerin konumları ve sefer bilgileri merkezi sistemler üzerinden izleniyor. Sinyalizasyon ve kontrol sistemleri çoğunlukla manuel veya yarı otomatik yöntemlerle çalışıyor.	İletişim Tabanlı Kontrol: CBTC (Communications-Based Train Control) gibi sistemler, trenlerin hızını ve arasındaki mesafeyi sürekli olarak optimize ederek daha sık sefer yapılmasını sağlıyor. Gerçek zamanlı arıza tespiti yapılıyor.
---	---	---	---

Tablo 11. Türkiye-Singapur AUS Karşılaştırması

AUS Alanı	Teknoloji/ Uygulama	Türkiye’de Durum	Singapur’da Durum	Olgunluk Seviyesi (Türkiye)	Olgunluk Seviyesi (Singapur)
Trafik Yönetimi	Akıllı trafik sinyal kontrol sistemleri	İstanbul, Ankara gibi büyükşehirlerde uyarlanabilir sistemler sınırlı ölçekte mevcut.	Şehir genelinde tüm kavşaklarda entegre, gerçek zamanlı uyarlanabilir sinyal kontrol sistemi var.	Seviye 2 – Koordineli Mod	Seviye 5 – Çok Modlu Optimize Edilmiş
Ramp Metering	Otoyol girişlerinde akıllı sinyal ve detektörler	Türkiye’de henüz pilot aşamada, sınırlı denemeler yapılıyor.	Otoyollarda yaygın kullanım, uzun süredir aktif.	Seviye 1 – Tek Modlu	Seviye 4 – Çok Modlu Entegrasyon
Hız İhlal Denetimi	EDS, radar ve kamera tabanlı hız kontrol sistemleri	Radar ve kamera sistemleri yaygın, LIDAR sınırlı kullanılıyor.	LIDAR + radar entegre hız denetimi şehir genelinde yaygın.	Seviye 3 – Kısmi Entegrasyon	Seviye 5 – Çok Modlu Optimize Edilmiş
Olay Yönetimi	Trafik izleme kameraları, manuel/yarı otomatik müdahale	Kameralar ve trafik polisleri ile manuel/yarı otomatik tespit yapılabilir.	Görüntü işleme ve sensörlerle otomatik olay tespiti ve müdahale sistemi.	Seviye 2 – Koordineli Mod	Seviye 5 – Çok Modlu Optimize Edilmiş
Elektronik Ücretlendirme	HGS/OGS (otoyol ve köprü geçişleri)	Otoyol ve köprülerde yaygın, kent içi ücretlendirme yok.	ERP (Electronic Road Pricing) sistemi ile şehir içi dinamik ücretlendirme.	Seviye 3 – Kısmi Entegrasyon	Seviye 5 – Çok Modlu Optimize Edilmiş
Yolcu Bilgilendirme	Mobil uygulamalar (MobiTT, CepTrafik vb.)	Şehir bazı uygulamalar var, entegrasyon eksik.	MyTransport.SG uygulaması ile tüm ulaşım modları tek platformda.	Seviye 2 – Koordineli Mod	Seviye 5 – Çok Modlu Optimize Edilmiş

Tablo 11. (devamı)

Toplu Taşıma Sistemleri	BRT (Metrobüs), entegrasyon kısıtlı	İstanbul'da BRT örneği var, şehirlerarası farklı standartlar mevcut.	Metro, otobüs, taksi, bisiklet paylaşım sistemleri tek kartla entegre.	Seviye 3 – Kısmi Entegrasyon	Seviye 5 – Çok Modlu Optimize Edilmiş
Ağırlık Ölçüm (Weigh-in-Motion)	Yolda gömülü sensörlerle ağırlık ölçüm sistemleri	Bazı otoyollarda pilot sistemler mevcut.	Lojistik ve gümrük sistemleriyle entegre tam WIM sistemleri.	Seviye 1 – Tek Modlu	Seviye 4 – Çok Modlu Entegrasyon
Araç İçi Teknolojiler	Güvenlik sistemleri (ABS, ESP, hız uyarı sistemleri)	ABS, ESP, hız uyarı sistemleri yaygın.	Akıllı cruise control, şerit takip, otonom araç test bölgeleri aktif.	Seviye 3 – Kısmi Entegrasyon	Seviye 5 – Çok Modlu Optimize Edilmiş

Tabloda verilen AUS olgunluk seviyeleri ve tanımları şu şekildedir:

- Seviye 1- Tek Modlu: Sistem yalnızca tek bir ulaşım modu (örn. sadece karayolu) için uygulanır. Entegrasyon yoktur.
- Seviye 2- Koordineli Mod: Farklı sistemler arasında sınırlı ölçüde koordinasyon vardır (örn. trafik ışıkları ile kameraların eşgüdümü). Ancak tam entegrasyon sağlanmamıştır.
- Seviye 3- Kısmi Entegrasyon: Bazı ulaşım modları ve teknolojiler birbirine bağlanmıştır (örn. elektronik ücret toplama ile trafik yönetim sistemlerinin entegrasyonu). Fakat tüm sistemler arası bütünleşme eksiktir.
- Seviye 4- Çok Modlu Entegrasyon: Birden fazla ulaşım modu (örn. metro, otobüs, özel araç, bisiklet) arasında tam entegrasyon sağlanmıştır. Kullanıcıya tek merkezden bilgi ve yönlendirme yapılabilir.
- Seviye 5- Çok Modlu Optimize Edilmiş: Tüm ulaşım modları ve AUS teknolojileri gerçek zamanlı verilerle entegre çalışır. Yapay zekâ ve büyük veri analitiği ile sürekli optimizasyon yapılır; sistem sürdürülebilir ve kullanıcı odaklıdır.

Tablo 12. AUS Uygulamalarının Karşılaştırılması

Karşılaştırma Başlığı	Türkiye’deki Durum	Dünyadaki Lider Örnekler
Otomasyon	Trafik yönetiminde ve toplu taşımada otomasyon seviyesi artmaktadır. Özellikle büyük şehirlerde, otomatik sinyalizasyon sistemleri ve sürücüsüz metro hatları gibi projeler giderek yaygınlaşmaktadır.	Tam Otomasyon: Şehir içi otonom araç servisleri, sürücüsüz metro hatlarının yanı sıra, otonom çekici ve otopilotlu otobüsler gibi tam otomatik ve entegre sistemler kullanılmaktadır.
Yapay Zekâ	Trafik akışını izlemek ve yönetmek amacıyla merkezi sistemlerde yapay zekâ algoritmaları kullanılmaktadır. Analizler genellikle anlık verilere dayanır.	Tahmine Dayalı Analiz: Yapay zekâ, geçmiş veriler ve güncel koşulları kullanarak trafik sıkışıklıklarını veya toplu taşıma taleplerini önceden tahmin eder. Bu sayede sistemler proaktif olarak yönetilir ve dinamik rotalama yapılır.
Veri Temelli Planlama	Kameralar ve sensörler gibi sabit kaynaklardan veri toplanarak trafik akışı ve park alanları gibi konularda anlık bilgiler üretilir. Farklı kurumların verileri arasındaki entegrasyon sınırlıdır.	Büyük Veri Analizi: Mobil cihazlardan, araçlardan, IoT sensörlerinden ve sosyal medyadan gelen devasa veri setleri analiz edilir. Bu veriler, trafik modelleri oluşturmak, uzun vadeli altyapı yatırımlarını planlamak ve kamu hizmetlerini optimize etmek için kullanılır.
Sürdürülebilirlik	Toplu taşımayı teşvik eden politikalar ve elektrikli araçlar için altyapı çalışmaları devam etmektedir. AUS uygulamalarının çevresel faydaları genellikle dolaylı yollardan elde edilir.	Entegre Sürdürülebilirlik: Tıkanıklık ücretlendirme sistemleri, düşük emisyonlu bölgeler ve dinamik rotalama gibi AUS uygulamaları, doğrudan araç kullanımını azaltarak karbon emisyonunu ve hava kirliliğini aktif olarak düşürmeyi hedefler.
Hizmet Entegrasyonu	Her bir ulaşım modu (otobüs, metro, tramvay) genellikle kendi biletleme ve bilgilendirme sistemine sahiptir. Şehirler ve bölgeler arasında bütüncül bir hizmet entegrasyonu henüz yaygın değildir.	Tam Entegrasyon: Tek bir mobil uygulama veya akıllı kart ile tüm ulaşım modları, paylaşımlı bisikletler ve park alanları kullanılabilir. Yolculuk planlaması, ödeme ve bilgilendirme tek bir platform üzerinden kesintisiz olarak sağlanır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Türkiye'nin AUS alanındaki durumu, politika yapıları ve uygulama süreçleri nitel bir yaklaşımla incelenmiş; dünya örnekleriyle karşılaştırmalı bir çerçevede güçlü ve zayıf yönleri ortaya konmuştur. Literatürden farklı olarak dünyada AUS uygulamalarını birçok boyutuyla birlikte başarıyla uygulayan ülkelerle ilgili detaylı bir değerlendirme yapılmıştır. Araştırma sonucunda, Türkiye'de AUS uygulamalarının belirli alanlarda ilerleme kaydettiği, ancak sürdürülebilirlik, dijitalleşme, yeni teknolojilerin kullanımı ve kullanıcı odaklılık gibi temel ilkeler bakımından gelişime açık yönlerinin olduğu belirlenmiştir. Özellikle kurumsal yapılanma, veri yönetimi, çok paydaşlı yönetim, finansman mekanizmaları, yapay zekâ, derin öğrenme ve otonom araç teknolojileri gibi açılardan sistematik eksiklikler tespit edilmiştir. Bu eksiklikler doğrultusunda, Türkiye'deki AUS politikalarının daha bütüncül, entegre ve stratejik bir yaklaşımla geliştirilmesine katkı sunacak öneriler geliştirmiştir ve Türkiye özelinde bir perspektif sunulmuştur.

Elde edilen bulgular, literatürde yer alan teknik odaklı AUS çalışmalarından farklı olarak, kurumsal kapasite, toplumsal katılım, AUS'un sosyoteknik boyutu, şehir planlamalarında AUS'un etkisi, yasal düzenlemeler ve yönetim süreçlerini de içeren çok boyutlu bir değerlendirme sunmaktadır. Bu yönüyle tez, AUS stratejilerinin yalnızca teknolojik altyapılar üzerine değil, aynı zamanda karar alma mekanizmalarının işleyişi, paydaşlar arası koordinasyon ve kullanıcı deneyimi gibi alanlar üzerine de yoğunlaşması gerektiğini vurgulamaktadır. Literatürdeki benzer çalışmalarda AUS'un daha çok otomasyon, yapay zekâ ve trafik yönetimi üzerinden ele alındığı görülmektedir. Örneğin Limin Jia ve arkadaşları (2022) otonom ulaşım sistemlerinin inşası ve gelişimini incelerken, Bharadiya yapay zekânın metropol alanlarının yönetiminde, ekonomileri geliştirmede, enerji tüketimini azaltmada ve sakinlerin yaşam standartlarını yükseltmede nasıl kullanıldığını anlamayı hedeflemektedir (Bharadiya 2023). Bu çalışma ise, Türkiye bağlamında yerel yönetim, veri etiği, eğitim ve kapasite artırımı gibi sosyo-politik ve yapısal konulara odaklanması açısından önemli bir fark ortaya koymaktadır. Ayrıca bu tez çalışmasında AUS'un çok boyutlu bir şekilde kavranmasını sağlayan ve şehirlere adaptasyonunun nasıl olması gerektiği hakkında fikir veren akıllı şehirler hakkında detaylı bir değerlendirme yapılmıştır. Akıllı şehir uygulamalarının etkin ve sürdürülebilir bir şekilde hayata geçirilebilmesi, ilgili paydaşlar arasında çevik, organik ve bütüncül bir iş birliği ve koordinasyon yapısının tesis edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda, ekosistem yaklaşımı esas alınmalıdır. Ekosistem yaklaşımını somut biçimde

uygulamaya koyabilecek yönetim mekanizmalarının oluşturulması ve bu mekanizmalarda görev alacak sorumlu paydaş kurum ve kuruluşların net biçimde tanımlanması gerekmektedir. Akıllı şehir vizyonu, veriye ve uzmanlığa dayalı karar alma süreçlerini esas alarak, gelecek öngörülerini doğrultusunda toplumsal ihtiyaç ve sorunlara proaktif çözümler geliştirmeyi stratejik bir gereklilik olarak kabul etmektedir. Gerekliliğin karşılanması, ancak bilgi üreten, yenilikçi çözümler geliştirebilen ve yüksek düzeyde yetkinliğe sahip bir "Akıllı Şehir Ekosistemi" nin varlığı ile mümkün olabilecektir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2019). Bu tez çalışması, Türkiye'nin AUS alanındaki mevcut durumunu çok boyutlu bir bakış açısıyla ele alarak; teknolojik altyapıdan kurumsal yapıya, kullanıcı odaklılıktan sürdürülebilirlik ilkelerine kadar geniş bir yelpazede değerlendirme yapmayı amaçlamıştır. Ulusal ve uluslararası politika karşılaştırmaları, literatür analizleri ve sistematik çözümlemeler aracılığıyla Türkiye'nin AUS alanında yaşadığı ilerlemeler ve karşılaştığı yapısal zorluklar bütüncül bir şekilde ortaya konmuştur. Bu durumda dijitalleşme, veri yönetimi, kamu-özel iş birlikleri, toplumsal katılım ve insan kaynağının güçlendirilmesi gibi kritik unsurların etkinleştirilmesi, Türkiye'nin sürdürülebilir, güvenli ve rekabetçi bir ulaşım sistemine geçişinde temel belirleyiciler olarak öne çıkmaktadır. Çalışma sonucunda ulaşılan bulgular, yalnızca mevcut durumun analizine katkı sunmakla kalmamış, aynı zamanda geleceğe yönelik stratejik bir vizyonun inşasına da zemin hazırlamıştır. Bu yönüyle tez, AUS politikalarının yeniden yapılandırılması ve uygulamaya dönük stratejik planların oluşturulmasında karar alıcılara, araştırmacılara ve yerel yönetimlere yol gösterici nitelikte bütünlük bir kaynak sunmaktadır.

Bu kapsamda, çalışmanın temel bulgularına dayalı olarak aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

1. Kurumsal Yapılanma ve Koordinasyon: Türkiye'de AUS politikalarının daha etkili ve entegre bir şekilde yürütülebilmesi için Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı bünyesinde "AUS Ulusal Koordinasyon Ofisi" kurulmalı; bu ofis, yerel yönetimler, özel sektör ve akademiyle iş birliği içinde çalışarak standartların belirlenmesi, veri entegrasyonu ve proje rehberliği gibi alanlarda merkezi bir görev üstlenmelidir.
2. Veri Yönetimi ve Dijitalleşme: Açık veri platformları oluşturularak AUS verileri şeffaf ve erişilebilir hâle getirilmelidir. Ayrıca, veri güvenliği ve etik çerçevesi gözetilerek, yapay zekâ temelli ulaşım karar sistemlerinde algoritmik adalet ilkesi benimsenmelidir. Aynı zamanda yapay zekâ destekli karar mekanizmalarının ulaşım planlamasında aktif biçimde kullanılması; trafik yoğunluğunun azaltılması, toplu taşımanın cazip hale getirilmesi ve kullanıcı deneyiminin iyileştirilmesi açısından büyük katkı sağlayacaktır.

3. Sürdürülebilir Ulaşım Yaklaşımları: Elektrikli araç altyapısı, mikromobilité çözümleri, bisiklet yolları ve yaya öncelikli alanlar AUS stratejileriyle entegre hâle getirilmelidir. Karbon ayak izini azaltmayı hedefleyen akıllı trafik yönetimi sistemlerine odaklanılmalıdır.
4. Kamu–Özel İşbirliği ve Finansman Modelleri: Ulusal ve uluslararası fon kaynakları etkin biçimde değerlendirilerek AUS yatırımlarının sürekliliği sağlanmalıdır. Kamu-özel sektör işbirliği modelleri teşvik edilmeli; yerli girişimlerin ve teknoloji sağlayıcıların AUS projelerine katılımı artırılmalıdır.
5. Toplumsal Katılım ve Kullanıcı Odaklılık: AUS sistemlerinin başarısı, kullanıcıların ihtiyaçlarına ve geri bildirimlerine duyarlı olmasıyla mümkündür. Bu nedenle vatandaşların sürece aktif katılımını sağlayacak mobil uygulamalar ve dijital platformlar geliştirilmelidir.
6. Eğitim, Ar-Ge ve Kapasite Artırımı: AUS alanında çalışan teknik personel için düzenli eğitim programları oluşturulmalı; üniversite-sanayi iş birlikleri güçlendirilerek, yerli teknolojilerin geliştirilmesi desteklenmelidir. Ayrıca, AUS temalı teknoloji geliştirme bölgeleri ve araştırma merkezleri kurulmalıdır.

Sonuç olarak, bu tez çalışması, Türkiye'nin AUS alanındaki mevcut potansiyelini ortaya koyarken, karşılaşılan temel sorunlara yönelik çözüm önerileriyle, dünya ülkelerinin gerçekleştirdiği politikaların detaylı yorumlanmasıyla yol gösterebilecek bilgiler ile hem politika yapıcılar hem de uygulayıcılar için stratejik bir rehber niteliği taşımaktadır. Türkiye'nin AUS alanında bölgesel ve küresel düzeyde rekabet gücünü artırması, yukarıda sıralanan önerilerin sistematik biçimde hayata geçirilmesiyle mümkün olacaktır. Çalışmanın, gelecek araştırmalar için yön gösterici olması ve AUS politikalarının daha bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S., & Bagloee, S. A. (2019). Applications of artificial intelligence in transport: An overview. *Sustainability*, 11(1), 189.
- Abdullahi, H. O., & Mohamud, I. H. (2023). The impact of ICT on supply chain management efficiency and effectiveness: A literature review. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 56(2), 309.
- Abdullahi, H. O., & Mohamud, I. H. (2023). The impact of ICT on supply chain management efficiency and effectiveness: A literature review. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 56(2), 309.
- Abdullahi, H. O., Mohamud, I. H., Ali, A. F., Hassan, A. A., & Kafi, A. (2024). The Transformative Impact of Information and Communication Technology on Transportation Services: A Systematic Literature Review. *International Journal of Transport Development and Integration*, 8(3), 455–460.
- Abelson, H., & Sussman, G. J. (1996). Structure and interpretation of computer programs (p. 688). The MIT Press.
- Aberdeen, T. (2013). Yin, R. K. (2009). Case study research: Design and methods. Thousand Oaks, CA: Sage. *The Canadian Journal of Action Research*, 14(1), 69–71.
- Abishu, H. N., Seid, A. M., Yacob, Y. H., Ayall, T., Sun, G., & Liu, G. (2021). Consensus mechanism for blockchain-enabled vehicle-to-vehicle energy trading in the internet of electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71(1), 946–960.
- Ackoff, R. L. (2005). Kurumsal geleceği yaratmak. İş ortamlarını anlamak (s. 217–227). Routledge.
- Adams, W. M. (2006). The future of sustainability: Rethinking environment and development in the twenty-first century.
- Ajayi, O. O., Bagula, A. B., Maluleke, H. C., & OdunAyo, I. A. (2021). Transport inequalities and the adoption of intelligent transportation systems in Africa: A research landscape. *Sustainability*, 13(22), 12891.
- Ajayi, O. O., Bagula, A. B., Maluleke, H. C., & OdunAyo, I. A. (2021). Transport inequalities and the adoption of intelligent transportation systems in Africa: A research landscape. *Sustainability*, 13(22), 12891.
- Ajith Kumar B P, Harsha Patel, Ompreeth D R, & Prathvik Raikar. (2023). Implementing smart control of traffic light system using artificial intelligence. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 7(1), 147–150.
- Akbaş, L. C. (2022). Kent İçi Ulaşımında Akıllı Ulaşım Sistemleri: Aksaray Örneği (Master's thesis, Kapadokya Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim, Öğretim ve Araştırma Enstitüsü)
- Alahi, M. E. E., Sukkuea, A., Tina, F. W., Nag, A., Kurdthongmee, W., Suwannarat, K., & Mukhopadhyay, S. C. (2023). Integration of IoT-enabled technologies and artificial intelligence (AI) for smart city scenario: recent advancements and future trends. *Sensors*, 23(11), 5206.

- AlAli, A. R., Gupta, R., Zualkernan, I., & Das, S. K. (2024). Role of IoT technologies in big data management systems: A review and Smart Grid case study. *Pervasive and Mobile Computing*, 101905.
- Alam, M., Ferreira, J., & Fonseca, J. (2016). Introduction to intelligent transportation systems. *Intelligent transportation systems: Dependable vehicular communications for improved road safety*, 117.
- Alonso, W. (1964). *Location and Land Use: Toward a general theory of land rent*. Harvard University Press google schola, 2, 1622.
- Altinörs, M. B. N. K. A., & Yörür, Ç. N. (2022). Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Denizli Kent Merkezi Örneğinde Kentsel Ulaşım Sistemine Entegrasyonu. *Social Sciences Studies Journal (Sssjournal)*, 7(82), 19121942.
- Amaral, L. A. N., Scala, A., Barthelemy, M., & Stanley, H. E. (2000). Classes of smallworld networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, 97(21), 1114911152.
- Amatuni, L., Ottelin, J., Steubing, B., & Mogollón, J. M. (2020). Does car sharing reduce greenhouse gas emissions? Assessing the modal shift and lifetime shift rebound effects from a life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121869.
- Amezcuca, M., & Gálvez Toro, A. (2002). Los modos de análisis en investigación cualitativa en salud: perspectiva crítica y reflexiones en voz alta. *Revista Española de salud pública*, 76, 423436.
- Ankara Büyükşehir Belediyesi. (2025, 9 Temmuz). “Sürdürülebilir Kentsel Ulaşım Planı (SKUP)” SMART Ankara kapanış etkinliği gerçekleştirildi. <https://www.ankara.bel.tr/haberler/surdurulebilir-kentsel-ulasim-plani-skup-smart-ankara-kapanis-etkinligi-gerceklestirildi-17823> ET: 10.07.2025
- Anthopoulos, L. G. (2017). *Understanding smart cities: A tool for smart government or an industrial trick?* (Vol. 22, p. 293). Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Argyriou, I., Fleming, P., & Wright, A. (2012). Local climate policy: Lessons from a case study of transfer of expertise between UK local authorities. *Sustainable Cities and Society*, 5, 8795.
- Arman, A. A., Imbar, R. V., Supangkat, S. H., & Langi, A. Z. (2023). The concept of smartness based on the level of technology: a case of system smartness in higher education institutions in Indonesia. *World Trans. Eng. Techno I. Educ*, 21(2), 93102.
- Aslan, M. M. Akıllı Kent Uygulamalarının Kentlerde Yaşanan Trafik Sorununun ve Ulaşımına Bağlı Olarak Ortaya Çıkan Çevre Kirliliğinin Azaltılmasına Etkisi: Akıllı Ulaşım Uygulamaları. *JOEEP: Journal of Emerging Economies and Policy*, 9(2), 388399.
- Ataner, E., Özdeş, B., Öztürk, G., Çelik, T. Y. C., Durdu, A., & Terzioğlu, H. (2020). Deep learning methods in unmanned underwater vehicles. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 345350.
- Auer, A., Feese, S., & Lockwood, S. (2016). *History of intelligent transportation systems* (No. FHWAJPO16329). United States. Department of Transportation. Intelligent Transportation Systems Joint Program Office.
- Auvinen, H., & Tuominen, A. (2014). Future transport systems: longterm visions and sociotechnical transitions. *European Transport Research Review*, 6, 343354.
- Avrupa Komisyonu. (2020). *Sürdürülebilir ve akıllı ulaşım stratejisi – Avrupa ulaşımını hazırlamak.*

- Ayan, H., Bell, M., & Dissanayake, D. (2025). Investigating the Factors That Influence the Ridership of Light Rail Transit Systems Using Thematic Analysis of Academic Literature. *Future Transportation*, 5(1), 22.
- Aydın, E. D. (1984). Bilişim, genel sistemler ve sibernetik terimler sözlüğü. Yy.
- Aziz, H. A., Ukkusuri, S. V., & Romero, J. (2015). Understanding shortterm travel behavior under personal mobility credit allowance scheme using experimental economics. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 36, 121137.
- Babu, T., Ashwin, S., Naidu, M., Muthukumaaran, C., & Ravi Raghavan, C. (2019). Sleep Detection and alert system for automobiles. In *Advances in Manufacturing Technology: Select Proceedings of ICAMT 2018* (pp. 113118). Springer Singapore.
- BachandMarleau, J., Lee, B. H., & ElGeneidy, A. M. (2012). Better understanding of factors influencing likelihood of using shared bicycle systems and frequency of use. *Transportation Research Record*, 2314(1), 6671.
- Badland, H., Hickey, S., Bull, F., & GilesCorti, B. (2014). Public transport access and availability in the RESIDE study: Is it taking us where we want to go?. *Journal of Transport & Health*, 1(1), 4549.
- Bai, Z. J., & He, G. G. (2007). Study on simulation optimization of bus rapid transit networks system based on Tabu search algorithm. *Jisuanji Gongcheng yu Yingyong(Computer Engineering and Applications)*, 42(17), 226229.
- Bakkal, M., & Oflaz, A. (2011). Lojistik bilgi sistemleri (Vol. 29). Hiperlink eğit. ilet. yay. san. tic. ve ltd. sti..
- Balcı, A. (2018). Sosyal bilimlerde araştırma yöntem, teknik ve ilkeler. Pegem Atıf İndeksi, 001398.
- Bamwesigye, D., & Hlavackova, P. (2019). Analysis of sustainable transport for smart cities. *Sustainability*, 11(7), 2140.
- Banerjee, A., Costa, B., Forkan, A. R. M., Kang, Y. B., Marti, F., McCarthy, C., ... & Jayaraman, P. P. (2024). 5G enabled smart cities: A realworld evaluation and analysis of 5G using a pilot smart city application. *Internet of Things*, 28, 101326.
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport policy*, 15(2), 7380.
- Banyard, V. L., & Miller, K. E. (1998). The powerful potential of qualitative research for community psychology. *American Journal of Community Psychology*, 26(4), 485505.
- Barai, S. K. (2003). Data mining applications in transportation engineering. *Transport*, 18(5), 216223.
- Barajas, J. M. (2021). The roots of racialized travel behavior. *Advances in transport policy and planning*, 8, 131.
- Barajas, J. M. (2021). The roots of racialized travel behavior. *Advances in transport policy and planning*, 8, 131.
- Barbaresso, J., Cordahi, G., Garcia, D., Hill, C., Jendzejec, A., & Wright, K. (2014). USDOT's Intelligent Transportation Systems (ITS) ITS strategic plan, 20152019 (No. FHWAJPO14145). United States. Department of Transportation. Intelligent Transportation Systems Joint Program Office.

- Barton, R. R., & Meckesheimer, M. (2006). Metamodelbased simulation optimization. *Handbooks in operations research and management science*, 13, 535574.
- Bashingi, N., Mostafa, M., & Das, D. K. (2020). The state of congestion in the developing world; The case of Gaborone, Botswana. *Transportation research procedia*, 45, 434442.
- Baş, T., & Akturan, U. (2017). Sosyal bilimlerde bilgisayar destekli nitel araştırma yöntemleri. Ankara: Seçkin Yayıncılık, 3.
- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., ... & Portugali, Y. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214, 481518.
- Batz, M. (2007). Simülasyon optimizasyon tekniklerinin bir incelemesi. *Central Florida Üniversitesi*, 5.
- Becker, S., Bögel, P., & Upham, P. (2021). The role of social identity in institutional work for sociotechnical transitions: The case of transport infrastructure in Berlin. *Technological Forecasting and Social Change*, 162, 120385.
- Bělinová, Z., Bureš, P., & Jestý, P. (2010, September). Intelligent transport system architecture different approaches and future trends. In *Data and Mobility: Transforming Information into Intelligent Traffic and Transportation Services Proceedings of the Lakeside Conference 2010* (pp. 115125). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Bellekom, S., Benders, R., Pelgröm, S., & Moll, H. (2012). Electric cars and wind energy: Two problems, one solution? A study to combine wind energy and electric cars in 2020 in The Netherlands. *Energy*, 45(1), 859866.
- Bešinović, N., De Donato, L., Flammini, F., Goverde, R. M., Lin, Z., Liu, R., ... & Vittorini, V. (2021). Artificial intelligence in railway transport: Taxonomy, regulations, and applications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(9), 1401114024.
- Best, J. W., & Kahn, J. V. (2016). *Research in education*. Pearson Education India.
- Beşer, N. Ö., Tütüncü, A., Beşer, M., & Magazzino, C. (2024). The impact of air and rail transportation on environmental pollution in Turkey: a Fourier cointegration analysis. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 35(8), 1836-1857.
- Beza, A. D., & Zefreh, M. M. (2019). Potential effects of automated vehicles on road transportation: A literature review. *Transport and Telecommunication*, 20(3), 269278.
- Bharadiya, J. P. (2023). Artificial intelligence in transportation systems a critical review. *American Journal of Computing and Engineering*, 6(1), 3545.
- Bhujbal, S. A., Bhosure, A. G., Sonawane, G. S., Patel, P. R., Jadhav, V. R., & Dhivare, J. (2022). Study smart road with glowing lines. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(4), 3238–3241.
- Biolcheva, P., & Valchev, E. (2023). SAFETY THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE MARITIME INDUSTRY. *Strategies for Policy in Science & Education/Strategii na Obrazovatel'nata i Nauchnata Politika*, 31(3).
- Birkmann, J., Garschagen, M., & Setiadi, N. (2014). New challenges for adaptive urban governance in highly dynamic environments: Revisiting planning systems and tools for adaptive and strategic planning. *Urban Climate*, 7, 115133.
- Black, D. A., Kolesnikova, N., & Taylor, L. J. (2014). Why do so few women work in New York (and so many in Minneapolis)? Labor supply of married women across US cities. *Journal of Urban Economics*, 79, 5971.

- Blackman, T., Wistow, J., & Byrne, D. (2013). Using qualitative comparative analysis to understand complex policy problems. *Evaluation*, 19(2), 126140.
- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative research journal*, 9(2), 2740.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2), 77101.
- Braun, V., & Clarke, V. (2013). Successful qualitative research: A practical guide for beginners., Stake, R. E. (1995). The art of case study research.
- Breidbach, C. F., & Maglio, P. P. (2016). Technologyenabled value cocreation: An empirical analysis of actors, resources, and practices. *Industrial Marketing Management*, 56, 7385.
- Breidbach, C. F., Kolb, D. G., & Srinivasan, A. (2013). Connectivity in service systems: does technologyenablement impact the ability of a service system to cocreate value?. *Journal of Service Research*, 16(3), 428441.
- Brouhle, K., & Harrington, D. R. (2014). The role of environmental management systems in the Canadian Voluntary Climate and Challenge Registry. *Journal of Environmental Planning and Management*, 57(8), 11451168.
- Brown, P. A. (2008). A review of the literature on case study research. *Canadian Journal for New Scholars in Education/Revue canadienne des jeunes chercheurs et chercheurs en education*, 1(1).
- Bulutoğlu, K. (2008). Kamu Ekonomisine Giriş: Demokraside Devletin Ekonomik Bir Kuramı, Maliye ve Hukuk Yayınları, 7. Baskı, Ankara.
- Burawoy, M. (2009). The extended case method: Four countries, four decades, four great transformations, and one theoretical tradition. Univ of California Press.
- Burnes, B. (2005). Complexity theories and organizational change. *International journal of management reviews*, 7(2), 7390.
- Button, K. (2010). Transport economics. Edward Elgar Publishing.
- Cabanek, A., Zingoni de Baro, M. E., & Newman, P. (2020). Biophilic streets: a design framework for creating multiple urban benefits. *Sustainable Earth*, 3(1), 117.
- Candan, S. (2008). Ankara Ulaşım Sisteminde Bütünleşme İhtiyacı. *Mülkiye Dergisi*, 32(261), 175185.
- Carbon Brief. (2023). The Carbon Brief profile: China. <https://interactive.carbonbrief.org/the-carbon-brief-profile-china/index.html> ET:10.05.2025
- Cassetta, E., Marra, A., Pozzi, C., & Antonelli, P. (2017). Emerging technological trajectories and new mobility solutions. A largescale investigation on transportrelated innovative startups and implications for policy. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 106, 111.
- Cervero, R. (2001). Integration of urban transport and urban planning. The challenge of urban government: Policies and practices, 407427.
- Cervero, R., & Seskin, S. (1995). An evaluation of the relationships between transit and urban form. *TCRP Research Results Digest*, (7).
- Chahal, A., Gulia, P., Gill, N. S., Yahya, M., Haq, M. A., Aleisa, M., ... & Shukla, P. K. (2024). Predictive analytics technique based on hybrid sampling to manage unbalanced data in smart cities. *Heliyon*, 10(24).

- Chang, X., Ma, T., & Wu, R. (2019). Impact of urban development on residents' public transportation travel energy consumption in China: An analysis of hydrogen fuel cell vehicles alternatives. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(30), 1601516027.
- Chapman, L. (2007). Transport and climate change: a review. *Journal of transport geography*, 15(5), 354367.
- Chen, B., Ma, J., Susilo, Y., Liu, Y., & Wang, M. (2018). The promises of big data and small data for travel behavior (aka human mobility) analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 85, 146–160.
- Chen, B., Zhang, J., & Xu, H. (2016). Networkbased time geography for spatiotemporal big data: A case study of human mobility using mobile phone data. *International Journal of Geographical Information Science*, 30(9), 1860–1880.
- Chester, M. V., & Allenby, B. (2019). Infrastructure as a wicked complex process. *Elem Sci Anth*, 7, 21.
- Chmiliar, I. (2010). Multiplecase designs. AJ Mills, G. Eurepas, & E. Wiebe (Eds.). *Encyclopedia of case study research* (pp 582583).
- Clifton, K. J., & Handy, S. L. (2003). Qualitative methods in travel behaviour research. In *Transport survey quality and innovation* (pp. 283302). Emerald Group Publishing Limited.
- Cocchioni, M., Bonelli, S., Westin, C., Borst, C., Bang, M., & Hilburn, B. (2023, June). Learning for Air Traffic Management: guidelines for future AI systems. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2526, No. 1, p. 012105). IOP Publishing.
- Cohen, B. (2014). The smartest cities in the world 2015: Methodology. *Fast Company*, 11(20), 2014.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2002). *Research methods in education*. routledge.
- Cohen, P., Hahn, R., Hall, J., Levitt, S., & Metcalfe, R. (2016). Using big data to estimate consumer surplus: The case of uber (No. w22627). National Bureau of Economic Research.
- Comoglio, C., & Botta, S. (2012). The use of indicators and the role of environmental management systems for environmental performances improvement: a survey on ISO 14001 certified companies in the automotive sector. *Journal of Cleaner Production*, 20(1), 92102.
- Corcoran, J. (2019). Addressing the “Bias Gap”: A researchdriven argument for critical support of plurilingual scientists' research writing. *Written Communication*, 36(4), 538577.
- Cornwall, W. (2016). *Doomsday machines*.
- Costa, N., Rodrigues, N., Seco, M. A., & Pereira, A. (2022). SL: a reference smartness level scale for smart artifacts. *Information*, 13(8), 371.
- Creswell, J. W. (2016). *Araştırma deseni: Nitel, nicel ve karma yöntem yaklaşımları*. Eğiten kitap.
- Creswell, J. W., & Miller, D. L. (2000). Determining validity in qualitative inquiry. *Theory into practice*, 39(3), 124130.
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2016). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches*. Sage publications.
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2016). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches*. Sage publications.

- Cui, Y., & Lei, D. (2023). Design of highway intelligent transportation system based on the internet of things and artificial intelligence. *IEEE Access*, 11, 4665346664.
- Çapalı, B. (2009). Akıllı ulaşım sistemleri ve Türkiye'deki uygulamaları (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Çapar, M. C., & Ceylan, M. (2022). Durum çalışması ve olgubilim desenlerinin karşılaştırılması. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(Özel Sayı 2), 295312.
- Çaylan, D. Ö., & Kişi, H. (2011). Avrupa birliği ortak ulaştırma politikası ve Türkiye. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 3(2), 79100.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2019). 2020–2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Çodur, M. Y., & Topdağı, S. (2018). Akıllı ulaşım sistemlerinin kent içi toplu taşımaya etkisi: Erzurum ili örneği. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 11(3), 576586.
- Dahlgren, S. (2022). Biogasbased fuels as renewable energy in the transport sector: an overview of the potential of using CBG, LBG and other vehicle fuels produced from biogas. *Biofuels*, 13(5), 587599.
- Dana, L. P., & Dumez, H. (2015). Qualitative research revisited: epistemology of a comprehensive approach. *International Journal of Entrepreneurship and Small Business*, 26(2), 154170.
- Davey, L. (1990). The application of case study evaluations. *Practical assessment, research, and evaluation*, 2(1).
- Dawidowicz, P. (2011). With scholarship & practice in mind: The case study as research method.
- Dawidowicz, P. (2011). With scholarship & practice in mind: The case study as research method.
- de Bruijn, M., Bregt, A., & Deelman, B. (2018). Using social media for disaster response: A spatiotemporal analysis of social media messages during flooding events. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 2(1), 15.
- De Gruyter, C., Currie, G., & Rose, G. (2016). Sustainability measures of urban public transport in cities: A world review and focus on the Asia/Middle East Region. *Sustainability*, 9(1), 43.
- Deloitte. (2022). Global transportation trends 2022: Future-ready transportation. <https://www.deloitte.com/global/en/Industries/government-public/perspectives/global-transportation-trends-2022.html> ET: 20.04.2025
- Demirhan, D. Ç. (2024). AKILLI ŞEHİRLER İÇİN AKILLI YÖNETİŞİM: YEREL YÖNETİMLERİN ROLÜ. *Ombudsman Akademik*, (20), 179206.
- Dempsey, P. (2022). AI helps fleet operators plan electric switch [Automotive Transport]. *Engineering & Technology*, 17(9), 4041.
- Denzin, N. K. (2008). *Strategies of qualitative inquiry* (Vol. 2). Sage.
- Denzin, N. K. (2017). *The research act: A theoretical introduction to sociological methods*. Routledge.

- Devlet Planlama Teşkilatı, Bilgi Toplumu Dairesi. (2006). Bilgi toplumu stratejisi ve eylem planı. http://www.bilgitoplumu.gov.tr/Documents/1/BT_Strateji/Diger/060500_BilgiToplumuStratejisi.pdf ET:29.05.2025
- Dilek, E., Talih, Ö., & Ceylan, H. (2023). Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Mimarisinin Yaygınlaştırılması: Türkiye Önerisi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 6(2), 353392.
- Dowling, R. (2000). Cultures of mothering and car use in suburban Sydney: a preliminary investigation. *Geoforum*, 31(3), 345353.
- Dulal, H. B., & Akbar, S. (2013). Greenhouse gas emission reduction options for cities: Finding the “Coincidence of Agendas” between local priorities and climate change mitigation objectives. *Habitat International*, 38, 100105.
- Duranton, G., & Turner, M. A. (2012). Urban growth and transportation. *Review of Economic Studies*, 79(4), 14071440.
- Earnhart, D. (2013). Effect of systems to manage environmental aspects on environmental performance. *Sustainability*, 5(6), 25572588.
- Eberts, R. (2000). Understanding the impact of transportation on economic development. *Transportation in the New Millennium*, 8.
- Efe, A., & Özdemir, G. (2021). YAPAY ZEKÂ ORTAMINDA KAMU YÖNETİMİNİN GELECEĞİ ÜZERİNDE BİR DEĞERLENDİRME. *Kamu Yönetimi ve Teknoloji Dergisi*, 3(1), 3460.
- Eken, C. (2019). Learning from resilience: cities towards a selforganizing system. *Journal Of Contemporary Urban Affairs*, 3(1), 92103.
- Ekiz, D. (2003). Eğitimde araştırma yöntem ve metodlarına giriş: Nitel, nicel ve eleştirel kuram metodolojileri. Anı.
- Ekiz, D. (2003). Eğitimde araştırma yöntem ve metodlarına giriş: Nitel, nicel ve eleştirel kuram metodolojileri. Anı.
- Ekiz, D. (2015). *Bilimsel Araştırma Yöntemleri*, Ankara; Anı Yayıncılık Genişletilmiş 4. Baskı Elçi.
- Elassy, M., AlHattab, M., Takturi, M., & Badawi, S. (2024). Intelligent transportation systems for sustainable smart cities. *Transportation Engineering*, 100252.
- Elyasi, S. N., He, L., Tsapekos, P., Rafiee, S., Khoshnevisan, B., CarbajalesDale, M., ... & Angelidaki, I. (2021). Could biological biogas upgrading be a sustainable substitution for water scrubbing technology? A case study in Denmark. *Energy Conversion and Management*, 245, 114550.
- Epplé, D., & Sieg, H. (1999). Estimating equilibrium models of local jurisdictions. *Journal of political economy*, 107(4), 645681.
- Erbey, A. (2025). Akıllı Şehirlerde Teknoloji ve Veri Yönetimi: Geleceğin Şehir Yaşamı. *Yönetim Bilişim Sistemleri Alanında Yenilikçi Çözümler ve Güncel Yaklaşımlar*, 69.
- Erceylan, G., & Akcayol, M. A. (2022). Türkiye’de Bağlantılı Araç Teknolojisinin Gelişimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (37), 139146.
- Eremia, M., Toma, L., & Sanduleac, M. (2017). The smart city concept in the 21st century. *Procedia Engineering*, 181, 1219.

- Evripidou, S., Georgiou, K., Doitsidis, L., Amanatiadis, A. A., Zinonos, Z., & Chatzichristofis, S. A. (2020). Educational robotics: Platforms, competitions and expected learning outcomes. *IEEE access*, 8, 219534219562.
- Faisal, A., Kamruzzaman, M., Yigitcanlar, T., & Currie, G. (2019). Understanding autonomous vehicles. *Journal of transport and land use*, 12(1), 4572.
- Farahdel, A., Vedaiei, S. S., & Wahid, K. (2022, December). An IoT based traffic management system using drone and AI. In 2022 14th International conference on Computational intelligence and communication Networks (CICN) (pp. 297301). IEEE.
- FathollahiFard, A. M., HajiaghahiKeshteli, M., Tian, G., & Li, Z. (2020). An adaptive Lagrangian relaxationbased algorithm for a coordinated water supply and wastewater collection network design problem. *Information Sciences*, 512, 13351359.
- Fatmah, F. (2023). The driving factors behind urban communities' carbon emissions in the selected urban villages of Jakarta, Indonesia. *PloS one*, 18(11), e0288396.
- Ferreira, M., & d'Orey, P. M. (2011). On the impact of virtual traffic lights on carbon emissions mitigation. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 13(1), 284295.
- Ficzere, P. (2023). The role of artificial intelligence in the development of railway transportation. *Design of Machines and Structures*, 13(1), 5863.
- Finlay, L. (2011). *Phenomenology for therapists: Researching the lived world*. John Wiley & Sons.
- Flick, U. (2022). *An introduction to qualitative research*.
- Friedrich, J., & Restel, F. J. (2020). A fuzzy approach for evaluation of reconfiguration actions after unwanted events in the railway system. In *Engineering in Dependability of Computer Systems and Networks: Proceedings of the Fourteenth International Conference on Dependability of Computer Systems DepCoSREL COMEX*, July 1–5, 2019, Brunów, Poland (pp. 195204). Springer International Publishing.
- Gaber, J. (2020). *Qualitative analysis for planning & policy: Beyond the numbers*. Routledge.
- Gadsby, A., & Watkins, K. (2020). Instrumented bikes and their use in studies on transportation behaviour, safety, and maintenance. *Transport reviews*, 40(6), 774795.
- Gall, J. P., & Gall, M. D. (2003). *Instructor's manual to accompany Educational research: An introduction*, by Gall, Borg, and Gall. Pearson Education.
- Gall, J. P., & Gall, M. D. (2003). *Instructor's manual to accompany Educational research: An introduction*, by Gall, Borg, and Gall. Pearson Education.
- Garg, T., & Kaur, G. (2023). A systematic review on intelligent transport systems. *Journal of Computational and Cognitive Engineering*, 2(3), 175188.
- Geurs, K. T., & van Wee, B. (2004). Landuse/transport interaction models as tools for sustainability impact assessment of transport investments: review and research perspectives. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 4(3), 333355.
- Ghai, D. P., & Vivian, J. M. (Eds.). (1995). *Grassroots environmental action: people's participation in sustainable development*. Psychology Press.
- Ghani, A. R. A., Fatayan, A., Azhar, N. C., & Ayu, S. (2022). Evaluation of technologybased learning in an Islamic school. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 20(3), 190195.
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., & Meijers, E. (2007). Cityranking of European mediumsized cities. *Cent. Reg. Sci. Vienna UT*, 9(1), 112.

- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., PichlerMilanovic, N., & Meijers, E. J. (2007). Smart cities. Ranking of European mediumsized cities. Final report.
- GilGarcia, J. R., Zhang, J., & PuronCid, G. (2016). Conceptualizing smartness in government: An integrative and multidimensional view. *Government Information Quarterly*, 33(3), 524534.
- Gong, T., Zhu, L., Yu, F. R., & Tang, T. (2023). Edge intelligence in intelligent transportation systems: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(9), 89198944.
- Göçoğlu, V. (2020). Kamu hizmetlerinin sunumunda dijital dönüşüm: Nesnelerin interneti üzerine bir inceleme. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9(1), 615628.
- Gössling, S. (2013). Urban transport transitions: Copenhagen, city of cyclists. *Journal of Transport Geography*, 33, 196206.
- Gössling, S. (2016). Urban transport justice. *Journal of transport Geography*, 54, 19.
- Greene, D. L., & Wegener, M. (1997). Sustainable transport. *Journal of transport geography*, 5(3), 177190.
- Greenhill, L., Stojanovic, T. A., & Tett, P. (2020). Does marine planning enable progress towards adaptive governance in marine systems? Lessons from Scotland's regional marine planning process. *Maritime Studies*, 19(3), 299315.
- Gretzel, U., Sigala, M., Xiang, Z., & Koo, C. (2015). Smart tourism: foundations and developments. *Electronic markets*, 25, 179188.
- GriškevičiūtėGečienė, A., & Griškevičienė, D. (2016). The influence of transport infrastructure development on sustainable living environment in Lithuania. *Procedia Engineering*, 134, 215223.
- Grosvenor, T. (2000). Qualitative research in the transport sector (No. EC008.).
- Gruel, W., & Stanford, J. M. (2016). Assessing the longterm effects of autonomous vehicles: a speculative approach. *Transportation research procedia*, 13, 1829.
- Guerrero- Ibañez, J., Contreras- Castillo, J., & Zeadally, S. (2021). Deep learning support for intelligent transportation systems. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 32(3), e4169.
- Guevarra, M., Das, S., Wayllace, C., Epp, C. D., Taylor, M., & Tay, A. (2023). Augmenting flight training with AI to efficiently train pilots. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* (Vol. 37, No. 13, pp. 1643716439).
- Guo, Y., Wu, S., Wang, Y., Wen, C., Luo, L., & Fu, Q. (2023, May). Application and Implementation of Artificial Intelligence Technology for Intelligent Vehicle. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2508, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.
- Guze, S. (2019). Graph theory approach to the vulnerability of transportation networks. *Algorithms*, 12(12), 270.
- Güler, A., Halıcıoğlu, M. B., & Taşgın, A. (2015). Sosyal bilimlerde nitel araştırma: teorik çerçevepratik öneriler7 farklı nitel araştırma yaklaşımıkalite ve etik hususlar. Seçkin.
- Gürsaka, N. (2007). Sosyal bilimler karmaşıklık ve kaos. Nobel Yayın Dağıtım.
- Güven, A. (2016). Urban, urbanization and urban management needs. *Journal of International Management Educational and Economics Perspectives*, 4(1), 2130.
- Güzelci, O. Z. (2015). Kişiselleştirilmiş Bir Akıllı Ulaşım Bilgilendirme Sistem Önerisi.

- Halpern, E. S. (1983). Auditing naturalistic inquiries: The development and application of a model. Indiana University.
- Hancock, D. R., & Algozzine, B. (2006). Doing case study research.
- Hancock, D. R., & Algozzine, B. (2006). Doing case study research.
- Harrison, C., & Donnelly, I. A. (2011, September). A theory of smart cities. In Proceedings of the 55th Annual Meeting of the ISSS2011, Hull, UK.
- Hartmann, T., & Trappey, A. (2020). Advanced Engineering Informatics Philosophical and methodological foundations with examples from civil and construction engineering. Developments in the built environment, 4, 100020.
- Hashem, I. A. T., Yaqoob, I., Anuar, N. B., Mokhtar, S., Gani, A., & Khan, S. U. (2015). The rise of “big data” on cloud computing: Review and open research issues. Information systems, 47, 98115.
- Hasibuan, H. S., Soemardi, T. P., Koestoer, R., & Moersidik, S. (2014). The role of transit oriented development in constructing urban environment sustainability, the case of Jabodetabek, Indonesia. Procedia Environmental Sciences, 20, 622631.
- Hassebo, A., & Tealab, M. (2023). Global models of smart cities and potential IoT applications: A review. IoT, 4(3), 366411.
- Hayakawa, K. (2013). Japan: Intelligente Transport Systemen in de Logistiek. Innovatie Attache Tokio, Agentschap NL Ministerie van Economische Zaken.
- Háznagy, A., Fi, I., London, A., & Nemeth, T. (2015, June). Complex network analysis of public transportation networks: A comprehensive study. In 2015 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MTITS) (pp. 371378). IEEE.
- Hennink, M., Bailey, A., & Hutter, I. (2020). Qualitative research methods.
- HesseBiber, S. (2010). Qualitative approaches to mixed methods practice. Qualitative inquiry, 16(6), 455468.
- Hickman, R., Hall, P., & Banister, D. (2013). Planning more for sustainable mobility. Journal of Transport Geography, 33, 210219.
- Hoepfl, M. C. (1997). Choosing qualitative research: A primer for technology education researchers.
- Holland, J. H. (1992). Complex adaptive systems. Daedalus, 121(1), 1730.
- <http://safeway2schooleu.org/index.php?id=34> ET: 19.06.2025
- <http://www.itsa.org/>, ET: 19.06.2025
- <http://www.jreast.co.jp/e/index.html>, ET: 19.06.2025
- <http://www.jreast.co.jp/press/2011/20110802.pdf>, ET: 19.06.2025
- http://www.mlit.go.jp/road/road_e/03key_challenges/21.pdf ET: 19.05.2025
- <http://www.octopus.com.hk/aboutus/milestones/en/index.html>, ET: 19.06.2025
- http://www.readwriteweb.com/archives/hong_kongs_octopus_card.php, ET: 19.06.2025
- <http://www.scats.com.au/index.html>, ET: 19.06.2025
- <http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/corporate/Annualreport2010.PDF> ET: 19.06.2025
- <http://www.tfl.gov.uk/tickets/14836.aspx>, ET: 19.06.2025

<http://www.tolltickets.com/country/scandinavia/ Autopass.aspx?lang=enGB> ET: 19.06.2025

<http://www.transportdirect.info/Web2/Home.aspx>, ET: 19.06.2025

<http://www.transportenvironment.org/news/%E2%80%99eco pass%E2%80%99beginsmilanfightscity pollution>, ET: 19.06.2025

<http://www.vicroads.vic.gov.au/Home/Moreinfoandservices/RoadManagementAndDesign/TrafficSystemsAndSignals/TrafficSignalsSCATS.htm>, ET: 19.06.2025

<http://www.vicroads.vic.gov.au/Home/Moreinfoandservices/RoadManagementAndDesign/TrafficSystemsAndSignals/TrafficSignalsSCATS.htm>, ET: 19.06.2025

<https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulamalar/64ba7c1ea10a34bb489ce3a4> ET: 14.05.2025

<https://apps.apple.com/tr/app/smou/id1439898721?l=tr> ET: 15.05.2025

https://climatelaws.org/document/unitedarabemiratesfirstlongtermstrategyts_09cb ET: 22.06.2025

https://japan.kantei.go.jp/policy/it/2018/2018_roadmaps.pdf ET: 19.05.2025

<https://rider.umoio.com/content/whatsnew/find>, ET: 19.06.2025

<https://slideplayer.biz.tr/slide/1959805/>. ET: 19.06.2025

<https://slideplayer.biz.tr/slide/1959805/>. ET: 19.06.2025

<https://uym.ibt.gov.tr/hizmetler/ibtceptrafik> ET:14.06.2025

<https://www.112.gov.tr> ET: 25.05.2025

<https://www.cslgroup.com/> ET: 22.06.2025

<https://www.hsdiinstitute.org/resources/complexadaptivesystem.html> ET: 29.07.2025

<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf>, ET: 14.06.2025

<https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Otoyollar/HGS.aspx> ET:14.06.2025

<https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Otoyollar/OGS.aspx> ET: 14.06.2025

<https://www.smartcitiesworld.net/aiandmachinelearning/floridausesaitoincreaseroadsafetyand efficiency>, Erişim Tarihi: 14.05.2025.

<https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/stratejikyonetim/2020uabfaaliyetraporu.pdf> ET: 14.06.2025)

Hussain, R., & Zeadally, S. (2018). Autonomous cars: Research results, issues, and future challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(2), 12751313.

Hutchins, M. J., & Sutherland, J. W. (2008). An exploration of measures of social sustainability and their application to supply chain decisions. *Journal of cleaner production*, 16(15), 16881698.

I. Meneguette, R., E. De Grande, R., AF Loureiro, A., I. Meneguette, R., E. De Grande, R., & AF Loureiro, A. (2018). Intelligent transportation systems. *Intelligent transport system in smart cities: Aspects and challenges of vehicular networks and cloud*, 121.

İlcalı, A. M., & Kızıltaş, M. Ç. (2016). Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Güvenli ve Düzenli Bir Trafik İçin Önemi. İstanbul Ticaret Üniversitesi.

International Institute for Energy Conservation. 1996. *The World Bank and Transportation*. Washington, DC: International Institute for Energy Conservation.

- Inturri, G., Le Pira, M., Giuffrida, N., Ignaccolo, M., Pluchino, A., Rapisarda, A., & D'Angelo, R. (2019). Multiagent simulation for planning and designing new shared mobility services. *Research in Transportation Economics*, 73, 3444.
- Ismagilova, E., Hughes, L., Rana, N. P., & Dwivedi, Y. K. (2022). Security, privacy and risks within smart cities: Literature review and development of a smart city interaction framework. *Information Systems Frontiers*, 122.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (t.y.). Ulaşım Yönetim Merkezi. <https://uym.ibb.gov.tr/> ET: 20.04.2025
- Jagatheesaperumal, S. K., Bibri, S. E., Huang, J., Rajapandian, J., & Parthiban, B. (2024). Artificial intelligence of things for smart cities: advanced solutions for enhancing transportation safety. *Computational Urban Science*, 4(1), 10.
- Jang, Y. J., Jeong, S., & Ko, Y. D. (2015). System optimization of the OnLine Electric Vehicle operating in a closed environment. *Computers & Industrial Engineering*, 80, 222235.
- Japonya Arazi, Altyapı ve Turizm Bakanlığı. (2017). Tokyo. ET: 19.05.2025
- Japonya Arazi, Altyapı, Ulaştırma ve Turizm Bakanlığı. (2016). Japonya'da Akıllı Ulaşım Sistemleri Girişimleri. Tokyo, Japonya.
- Jäppinen, S., Toivonen, T., & Salonen, M. (2013). Modelling the potential effect of shared bicycles on public transport travel times in Greater Helsinki: An open data approach. *Applied geography*, 43, 1324.
- Jeong, S., Jang, Y. J., & Kum, D. (2015). Economic analysis of the dynamic charging electric vehicle. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(11), 63686377.
- Jia, G. L., Ma, R. G., & Hu, Z. H. (2019). Urban transit network properties evaluation and optimization based on complex network theory. *Sustainability*, 11(7), 2007.
- Jia, L., Chen, X., Ma, X., Xu, Q., Yu, H., Sun, W., ... & Dong, H. (2022). On autonomous transportation systems. *Smart and resilient transportation*, 4(2), 6677.
- Jiang, P., Chen, Y., Geng, Y., Dong, W., Xue, B., Xu, B., & Li, W. (2013). Analysis of the cobenefits of climate change mitigation and air pollution reduction in China. *Journal of Cleaner Production*, 58, 130137.
- Johansson, R. (2007). On case study methodology. *Open house international*, 32(3), 4854.
- Johnson, J. (2020). Artificial intelligence, drone swarming and escalation risks in future warfare. *The RUSI Journal*, 165(2), 2636.
- Kahn, M. E. (2007). *Green cities: urban growth and the environment*. Rowman & Littlefield.
- Kalinowski, M., & Weichbroth, P. (2023). The sensorsbased artificial intelligence Train Control and Monitoring System (TCMS) for managing the railway transport fleet. *Rail Vehicles/Pojazdy Szynowe*, (12), 2026.
- Kansky, K. J. (1963). *Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics*. The University of Chicago.
- Kaplan, A., & Haenlein, M. (2019). Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Business horizons*, 62(1), 1525.
- Karadağ, H. (2024). KAMU ÖRGÜTLERİNİN DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜNDE DİNAMİK YETENEKLER YAKLAŞIMI VE BÜYÜK VERİ ANALİTİĞİNİN ROLÜ. *Kamu Yönetimi ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 1339.
- Karasar, N. (2005). *Bilimsel araştırma yöntemleri*.

- Karlı, R. G. Ö., & Çelikyay, H. S. (2022). Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) üzerine Türkiye'deki politikaların araştırılması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 5(2), 114.
- Karner, A., & Niemeier, D. (2013). Civil rights guidance and equity analysis methods for regional transportation plans: a critical review of literature and practice. *Journal of Transport Geography*, 33, 126134.
- Karri, C., Machado, J. J., Tavares, J. M. R., Jain, D. K., Dannana, S., Gottapu, S. K., & Gandomi, A. H. (2024). Recent Technology Advancements in Smart City Management: A Review. *Computers, Materials and Continua*.
- Kashinath, S. A., Mostafa, S. A., Mustapha, A., Mahdin, H., Lim, D., Mahmoud, M. A., ... & Yang, T. J. (2021). Review of data fusion methods for realtime and multisensor traffic flow analysis. *IEEE Access*, 9, 5125851276.
- Katanalp, B. Y., Yıldırım, Z. B., Eren, E., & Uz, V. E. (2018, November). Akıllı Ulaşım Sistemleri Üzerine Bir Değerlendirme. In 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, SETSCI Conference Indexing System (Vol. 3, pp. 15031506).
- Kaya, Ö., Alemdar, K. D., Atalay, A., Çodur, M. Y., & Tortum, A. (2022). Electric car sharing stations site selection from the perspective of sustainability: A GISbased multicriteria decision making approach. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102026.
- Kayseri Büyükşehir Belediyesi (2017). Akıllı Kavşak İmalatları ve Trafik Kontrol Merkezi Kapsamında Yapılan Faaliyetler Hakkında Bilgi Notu, <https://www.kayseri.bel.tr/akilliulasimsistemlerisbmd>, Erişim Tarihi: 14.05.2025.
- Keith, D. W., & Farrell, A. E. (2003). Rethinking hydrogen cars. *Science*, 301(5631), 315316.
- Kelly, E. D. (1994). The transportation landuse link. *Journal of Planning Literature*, 9(2), 128145.
- Kenanoğlu, M. E., & Aydın, M. (2019). TRAFİKTE YAŞANAN DIŞSALLIKLARA BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ OLARAK AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ: ÇANAKKALE ÜZERİNE NİCEL BİR ARAŞTIRMA. *Düzce Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(2), 193208.
- Kennedy, C., Miller, E., Shalaby, A., Maclean, H., & Coleman, J. (2005). The four pillars of sustainable urban transportation. *Transport Reviews*, 25(4), 393414.
- Kent, J. L. (2022). The case for qualitative methods in transport research. *The Case for Qualitative Methods in Transport Research*.
- Kenworthy, J. R. (2006). The ecocity: ten key transport and planning dimensions for sustainable city development. *Environment and urbanization*, 18(1), 6785.
- Khan, M. S., Woo, M., Nam, K., & Chathoth, P. K. (2017). Smart city and smart tourism: A case of Dubai. *Sustainability*, 9(12), 2279.
- Khan, S. M., Rahman, M., Apon, A., & Chowdhury, M. (2017). Characteristics of intelligent transportation systems and its relationship with data analytics. In *Data analytics for intelligent transportation systems* (pp. 129). Elsevier.
- Khan, S., Adnan, A., & Iqbal, N. (2022, July). Applications of artificial intelligence in transportation. In 2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET) (pp. 16). IEEE.
- Khanna, M., & Speir, C. (2013). Motivations for proactive environmental management. *Sustainability*, 5(6), 26642692.

- Khorasani, G., Tatari, A., Yadollahi, A., & Rahimi, M. (2013). Evaluation of intelligent transport system in road safety. *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences (IJCEBS)*, 1(1), 110118.
- Kikuo, H. (2013). Japonya: Lojistikte Akıllı Ulaşım Sistemleri. e [https://www.rvo.nl/sites/default/files/2013/10/Intelligent%20Transport%20Systems%20\(ITS\)_logistics.pdf](https://www.rvo.nl/sites/default/files/2013/10/Intelligent%20Transport%20Systems%20(ITS)_logistics.pdf) ET: 19.05.2025.
- King, N. (2004). 21—Using templates in the thematic analysis of text—. *Essential guide to qualitative methods in organizational research*, 256.
- Kitchin, R. (2016). The ethics of smart cities and urban science. *Philosophical transactions of the royal society A: Mathematical, physical and engineering sciences*, 374(2083), 20160115.
- Klein, N. J., Linovski, O., Lowe, K., & Smart, M. J. (2025). How Transport Journals Weed Out Qualitative Research and Why It Matters.
- Klopp, J. M., & Cavoli, C. (2019). Mapping minibuses in Maputo and Nairobi: engaging paratransit in transportation planning in African cities. *Transport Reviews*, 39(5), 657676.
- Knoflacher, H. (2022, May). Smart City and the effects of the Paradigm Shift in Transportation on Spatial and Urban Planning in Times of Climate Change. In *2022 Smart City Symposium Prague (SCSP)* (pp. 15). IEEE.
- Kolotusha, V. (2022, December). Application of artificial intelligence technology in the process of individualized training of air traffic controllers. In *2022 12th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)* (pp. 14). IEEE.
- Komninos, N. (2011). Intelligent cities: Variable geometries of spatial intelligence. *Intelligent Buildings International*, 3(3), 172188.
- Komninos, N., Pallot, M., & Schaffers, H. (2013). Special issue on smart cities and the future internet in Europe. *Journal of the knowledge economy*, 4, 119134.
- Kontzinos, C., Kanellou, I., Michalakopoulos, V., Mouzakitis, S., Tsapelas, G., Kapsalis, P., ... & Askounis, D. (2022). Stateofheart analysis of artificial intelligence approaches in the maritime industry. In *Proceedings of the International Conferences on Applied Computing 2022 and WWW/Internet 2022* (Vol. 10).
- Konya Büyükşehir Belediyesi (2023a). Otopark Bul, <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulamalar/64be20893fd871a7a393e459>, Erişim Tarihi: 14.05.2025.
- Konya Büyükşehir Belediyesi (2023b). ABUS (Akıllı Bisikletli Ulaşım Sistemi), <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulamalar/64ba7c1ea10a34bb489ce3a4>, Erişim Tarihi: 14.05.2025
- Kour, S. P., Sharma, P., & Jalal, M. (2022, October). Artificial intelligence in transporta survey. In *2022 IEEE 3rd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)* (pp. 16). IEEE.
- Kourtit, K., & Nijkamp, P. (2012). Smart cities in the innovation age. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 25(2), 9395.
- Köhler, J. (2014). Globalization and sustainable development: Case study on international transport and sustainable development. *The Journal of Environment & Development*, 23(1), 66100.

- Kruse, S., & Pütz, M. (2014). Adaptive capacities of spatial planning in the context of climate change in the European Alps. *European Planning Studies*, 22(12), 26202638.
- Kumar, P. B., & Hariharan, K. (2022). Time series traffic flow prediction with hyperparameter optimized ARIMA models for intelligent transportation system. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 81(04), 408415.
- Kumar, S., Tiwari, P., & Zymbler, M. (2019). Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review. *Journal of Big data*, 6(1), 121
- Kuminoff, N. V., Smith, V. K., & Timmins, C. (2013). The new economics of equilibrium sorting and policy evaluation using housing markets. *Journal of economic literature*, 51(4), 10071062.
- Kwan, M.P. (2012). The uncertain geographic context problem. *Annals of the Association of American Geographers*, 102(5), 958–968.
- Kwan, M.P. (2016). Algorithmic geographies: Big data, algorithms, and the production of geographic knowledge. *Annals of the American Association of Geographers*, 106(2), 270–279.
- Kwan, M.P. (2018). Algorithmic geographies: Big data, algorithms, and the production of geographic knowledge. *Annals of the American Association of Geographers*, 108(3), 650–662.
- Laszlo, A., & Krippner, S. (1998). Systems theories: Their origins, foundations, and development. In *Advances in psychology* (Vol. 126, pp. 4774). NorthHolland.
- Le, B. C. (2016). The prediction method and application of pedestrian traffic flow based on Hadoop big data platform (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Guangdong University of Technology, Guangzhou.
- Lee, E., Khan, J., Son, W. J., & Kim, K. (2023). An efficient feature augmentation and LSTMbased method to predict maritime traffic conditions. *Applied Sciences*, 13(4), 2556.
- Lee, J. (2012). Economic growth and transport models chapter 9: ITS (Intelligent Transport Systems). The Korea Transport Institute, Seoul.
- Leinbach, T. R. (1995). Transport and third world development: review, issues, and prescription. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 29(5), 337344.
- LeRoy, S. F., & Sonstelie, J. (1983). Paradise lost and regained: Transportation innovation, income, and residential location. *Journal of urban economics*, 13(1), 6789.
- Letaifa, S. B. (2015). How to strategize smart cities: Revealing the SMART model. *Journal of business research*, 68(7), 14141419.
- Leung, D. Y., Caramanna, G., & MarotoValer, M. M. (2014). An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 39, 426443.
- Li, C. Research on Connectivity of Urban Transit Network Based on Theory of Complex Network. Master's Thesis, Southwest Jiaotong University, Chengdu, China, 2014.
- Li, J., Cheng, H., Guo, H., & Qiu, S. (2018). Survey on artificial intelligence for vehicles. *Automotive Innovation*, 1(1), 214.
- Li, M., & Han, J. (2017, May). Complex Network Theory in Urban Traffic Network. In 2017 2nd International Conference on Materials Science, Machinery and Energy Engineering (MSMEE 2017) (pp. 910913). Atlantis Press.

- Li, S., Xing, J., Yang, L., & Zhang, F. (2020). Transportation and the environment in developing countries. *Annual Review of Resource Economics*, 12(1), 389409.
- Li, Z.X. (2015). The industrialization trend of urban intelligent transportation system in China. *Automation Expo*, (7), 60–62.
- Lin, X., Wells, P., & Sovacool, B. K. (2017). Benign mobility? Electric bicycles, sustainable transport consumption behaviour and sociotechnical transitions in Nanjing, China. *Transportation research part A: policy and practice*, 103, 223234.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry* (vol. 75).
- Linneker, B. J., & Spence, N. A. (1992). An accessibility analysis of the impact of the M25 London orbital motorway on Britain. *Regional studies*, 26(1), 3147.
- Linovski, O., & Baker, D. M. (2023). Communitydesigned participation: Lessons for equitable engagement in transportation planning. *Transportation research record*, 2677(6), 172181.
- Litman, T., & Burwell, D. (2006). Issues in sustainable transportation. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6(4), 331347.
- Liu, A. A., Linn, J., Qin, P., & Yang, J. (2018). Vehicle ownership restrictions and fertility in Beijing. *Journal of Development Economics*, 135, 8596.
- Liu, M. (2021, July). Urban smart transportation based on big data. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1972, No. 1, p. 012092). IOP Publishing.
- Liu, Y., Zhang, H., Wang, Y., & Chen, X. (2023). Pathways to achieve low-carbon transition in the transportation sector. *Journal of Cleaner Production*, 419, 139707. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139707> ET: 10.05.2025
- Lnc Prakash, K., Ravva, S. K., Rathnamma, M. V., & Suryanarayana, G. (2023). AI applications of drones. *Drone Technology: Future Trends and Practical Applications*, 153182.
- López, E., Gutiérrez, J., & Gómez, G. (2008). Measuring regional cohesion effects of largescale transport infrastructure investments: an accessibility approach. *European Planning Studies*, 16(2), 277301.
- Lowe, K. (2021). Undone science, funding, and positionality in transportation research. *Transport reviews*, 41(2), 192209.
- Lu, H., & Shi, Y. (2007). Complexity of public transport networks. *Tsinghua Science and Technology*, 12(2), 204213.
- Lubitow, A., Liévanos, R. S., Carpenter, E., & McGee, J. A. (2021). Transformative transportation survey methods: Enhancing household transportation survey methods for hardtoeach populations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 98, 102953.
- Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D., Mangla, S. K., & Garg, C. P. (2017). An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. *Journal of cleaner production*, 140, 16861698.
- Lv, Z., & Shang, W. (2023). Impacts of intelligent transportation systems on energy conservation and emission reduction of transport systems: A comprehensive review. *Green Technologies and Sustainability*, 1(1), 100002.
- Lv, Z., & Shang, W. (2023). Impacts of intelligent transportation systems on energy conservation and emission reduction of transport systems: A comprehensive review. *Green Technologies and Sustainability*, 1(1), 100002.

- Ma, X., He, Z., & Zhang, Q. (2018). Big data and urban computing: Current status and future prospects. *Frontiers of Computer Science*, 12(1), 138–153.
- Machin, M., Sanguesa, J. A., Garrido, P., & Martinez, F. J. (2018, April). On the use of artificial intelligence techniques in intelligent transportation systems. In *2018 IEEE wireless communications and networking conference workshops (WCNCW)* (pp. 332337). IEEE.
- Macit, A. (2024). Ulaştırma Modlarının Geleceği: Yapay Zekânın Akıllı Ulaşım Sistemlerine Entegrasyonu. *Ege Üniversitesi Ulaştırma Yönetimi Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 6076.
- Madill, A., & Gough, B. (2016). Qualitative research and its place in psychological science.
- Madill, A., Jordan, A., & Shirley, C. (2000). Objectivity and reliability in qualitative analysis: Realist, contextualist and radical constructionist epistemologies. *British journal of psychology*, 91(1), 120.
- Mahardhika, S. P., & Putriani, O. (2023, January). A review of artificial intelligenceenabled electric vehicles in traffic congestion management. In *Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Engineering Development and Technological Innovation, ICSEDTI 2022* (Vol. 2022, p. 255). Tanjungpinang, Indonesia.
- Makino, H., Tamada, K., Sakai, K., & Kamijo, S. (2018). Solutions for urban traffic issues by ITS technologies. *IATSS research*, 42(2), 4960.
- Malasek, J. (2016). A set of tools for making urban transport more sustainable. *Transportation Research Procedia*, 14, 876885.
- Mallik, S. (2014). Intelligent transportation system. *International Journal of Civil Engineering Research*, 5(4), 367372.
- Mandreoli, F., Martoglia, R., Penzo, W., & Sassatelli, S. (2010). Data management issues for intelligent transportation systems. In *Proceedings of the 18th Italian Symposium on Advanced Database Systems (SEBD 2010)* (pp. 198209). Società Editrice Esculapio.
- Manfreda, A., & Mijač, T. (2024). Highlighting gaps in technology acceptance research: A call for integrating happiness and wellbeing into smart city development. *Journal of innovation & knowledge*, 9(4), 100585.
- Manoharan, S. (2019). An improved safety algorithm for artificial intelligence enabled processors in self driving cars. *Journal of artificial intelligence*, 1(02), 95104.
- Mao, Q., Hu, F., & Hao, Q. (2018). Deep learning for intelligent wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(4), 25952621.
- Marantis, L., Rongas, D., Paraskevopoulos, A., Oikonomopoulos- Zachos, C., & Kanatas, A. (2018). Pattern reconfigurable ESPAR antenna for vehicle- to- vehicle communications. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 12(3), 280286.
- MarksBielska, R., & Kurowska, K. (2017). Institutional efficiency of communes in Poland in respect of space management. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 17, 521528.
- Mars, L., Arroyo, R., & Ruiz, T. (2016). Qualitative research in travel behavior studies. *Transportation research procedia*, 18, 434445.
- MarsalLlacuna, M. L., ColomerLlinàs, J., & MeléndezFrigola, J. (2015). Lessons in urban monitoring taken from sustainable and livable cities to better address the Smart Cities initiative. *Technological Forecasting and Social Change*, 90, 611622.

- Mathew, E. (2019, October). Intelligent transport systems and its challenges. In International conference on advanced intelligent systems and informatics (pp. 663672). Cham: Springer International Publishing.
- Mehdizadeh, M., Solbu, G., Klöckner, C. A., & Skjølvold, T. M. (2024). Navigating acceptance and controversy of transport policies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 187, 104176.
- Meijer, A., & Bolívar, M. P. R. (2016). Governing the smart city: a review of the literature on smart urban governance. *International review of administrative sciences*, 82(2), 392408.
- Merriam, S. B. (2015). Nitel araştırma: Desen ve uygulama için bir rehber. Nobel.
- Merriam, S. B. (2015). Nitel araştırma: Desen ve uygulama için bir rehber. Nobel.
- Mester, G. (2009). Intelligent mobile robot control in unknown environments. In *Intelligent Engineering Systems and Computational Cybernetics* (pp. 1526). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Mester, G. (2009, April). Obstacleslope avoidance and velocity control of wheeled mobile robots using fuzzy reasoning. In 2009 International Conference on Intelligent Engineering Systems (pp. 245249). IEEE.
- Midgley, P. (1994). Urban transport in Asia: an operational agenda for the 1990s.
- Miller, P., de Barros, A. G., Kattan, L., & Wirasinghe, S. C. (2016). Public transportation and sustainability: A review. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(3), 10761083.
- Mitchell, B. (2013). Resource and environmental management. Routledge.
- MoralMuñoz, J. A., Cobo, M. J., Chiclana, F., Collop, A., & HerreraViedma, E. (2015). Analyzing highly cited papers in intelligent transportation systems. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 17(4), 9931001.
- Morgan, H. (2022). Conducting a qualitative document analysis. *The qualitative report*, 27(1), 6477.
- Mouzakitis, S., Kontzinos, C., Kapsalis, P., Kanellou, I., Kormpakis, G., Tsapelas, G., & Askounis, D. (2022, July). Optimising maritime processes via artificial intelligence: the vesselai concept and use cases. In 2022 13th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA) (pp. 15). IEEE.
- Muth, R. (1969). *Cities and Housing*, chicago, university of chicago Press. MuthCities and Housing1969.
- Nam, T., & Pardo, T. A. (2011, June). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th annual international digital government research conference: digital government innovation in challenging times* (pp. 282291).
- Nama, M., Nath, A., Bechra, N., Bhatia, J., Tanwar, S., Chaturvedi, M., & Sadoun, B. (2021). Machine learning- based traffic scheduling techniques for intelligent transportation system: Opportunities and challenges. *International Journal of Communication Systems*, 34(9), e4814.
- Neves, A., & Brand, C. (2019). Assessing the potential for carbon emissions savings from replacing short car trips with walking and cycling using a mixed GPStravel diary approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 123, 130146.
- Newman, P., Kenworthy, J., & Laube, F. (2019). The global city and sustainability—perspectives from Australian cities and a survey of 37 global cities. In *East West Perspectives on 21st Century Urban Development* (pp. 327354). Routledge.

- NewmanAskins, R., Ferreira, L., & Bunker, J. M. (2003). Intelligent transport systems evaluation: From theory to practice. In 21st ARRB and 11th REAAA conference.
- Ng, J. W., Azarmi, N., Leida, M., Saffre, F., Afzal, A., & Yoo, P. D. (2010, July). The intelligent campus (iCampus): endtoend learning lifecycle of a knowledge ecosystem. In 2010 sixth International Conference on intelligent environments (pp. 332337). IEEE.
- Nickayin, S. S., Bianchini, L., Egidi, G., Cividino, S., Rontos, K., & Salvati, L. (2022). 'Pulsing' cities and 'swarming' metropolises: A simplified, entropybased approach to longterm urban development. *Ecological Indicators*, 136, 108605.
- Niglas, K. (2000, September). Combining quantitative and qualitative approaches. In European Conference on Educational Research (Vol. 20, p. 23).
- Nijkamp, P. (1999). Sustainable transport: new research and policy challenge for the next millennium. *European Review*, 7(4), 551563.
- Notarnicola, I., Petrucci, C., De Jesus Barbosa, M. R., Giorgi, F., Stievano, A., Rocco, G., & Lancia, L. (2017). Complex adaptive systems and their relevance for nursing: An evolutionary concept analysis. *International Journal of Nursing Practice*, 23(3), e12522.
- Novotný, R., Kuchta, R., & Kadlec, J. (2014). Smart city concept, applications and services. *J. Telecommun. Syst. Manag*, 3(1), 21670919.
- Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic analysis: Striving to meet the trustworthiness criteria. *International journal of qualitative methods*, 16(1), 1609406917733847.
- Nwankwo, W., Olayinka, A. S., & Ukhurebor, K. E. (2019). The urban traffic congestion problem in Benin City and the search for an ICTimproved solution. *International Journal of Science and Technology*, 8(12), 6572.
- O'brien, O., Cheshire, J., & Batty, M. (2014). Mining bicycle sharing data for generating insights into sustainable transport systems. *Journal of Transport Geography*, 34, 262273.
- OâÂ ÂLeary, Z. (2021). *The Essential Guide to Doing Your Research Project*.
- Odeh, S. M. (2013). Management of an intelligent traffic light system by using genetic algorithm. *Journal of Image and Graphics*, 1(2), 9093.
- Ogryzek, M. (2017). NoSustainable transport as a tool for the implementation of stable communication development. *Some Aspects of the WarmiaMazury Road Safety System*; Chmieli nski, B., Zukowska, J., Eds.
- Ogryzek, M., AdamskaKmieć, D., & Klimach, A. (2020). Sustainable transport: An efficient transportation network—Case study. *Sustainability*, 12(19), 8274.
- Ogryzek, M., Wisniewski, R., & Kauko, T. (2018). On spatial management practices: revisiting the" optimal" use of urban land.
- Okonta, D. E., & Vukovic, V. (2024). Smart cities software applications for sustainability and resilience. *Heliyon*, 10(12).
- Oliveira, E. (2018). Land ownership and land use development: the integration of past, present, and future in spatial planning and land management policies.
- Osorio, C., & Bierlaire, M. (2009). A surrogate model for traffic optimization of congested networks: an analytic queueing network approach.
- Osorio, C., & Bierlaire, M. (2010). A simulationbased optimization framework for urban traffic control.

- Ostermeijer, F., Koster, H., Nunes, L., & van Ommeren, J. (2022). Citywide parking policy and traffic: Evidence from Amsterdam. *Journal of Urban Economics*, 128, 103418.
- Paiva, S., Ahad, M. A., Tripathi, G., Feroz, N., & Casalino, G. (2021). Enabling technologies for urban smart mobility: Recent trends, opportunities and challenges. *Sensors*, 21(6), 2143.
- Paiva, S., Ahad, M. A., Tripathi, G., Feroz, N., & Casalino, G. (2021). Enabling technologies for urban smart mobility: Recent trends, opportunities and challenges. *Sensors*, 21(6), 2143.
- Patton, M. Q. (1990). *Qualitative evaluation and research methods*. SAGE Publications, inc.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods* (Vol. 3). Sage.
- Patton, M. Q. (2014). *Nitel Araştırma ve Değerlendirme Yöntemleri*. (Çev. M. Bütün ve SB Demir), 1. Baskı. Ankara: Pegem Akademi.
- Peak, E. (2020). What makes transportation smart. Defining Intelligent Transportation. Available online: <https://www.iiotforall.com/whatmakestransportationsmartdefiningintelligenttransportation> (accessed on 13 June 2023).
- Perallos, A., HernandezJayo, U., Onieva, E., & Zuazola, I. J. G. (Eds.). (2015). *Intelligent transport systems: technologies and applications*. John Wiley & Sons.
- Pereira, G. V., Macadar, M. A., Luciano, E. M., & Testa, M. G. (2017). Delivering public value through open government data initiatives in a Smart City context. *Information systems frontiers*, 19, 213229.
- Pisarov, J. L., & Mester, G. (2021). The use of autonomous vehicles in transportation. *Tehnika*, 76(2), 171177.
- Pisarov, J., & Mester, G. (2020). Rang lista fizičara Srbije. *Proceedings of the XXVI Skup Trendovi razvoja: „Inovacije u modernom obrazovanju”* (TREND 2020), 559562.
- Pistrang, N., & Barker, C. (2012). Varieties of qualitative research: A pragmatic approach to selecting methods.
- PoulenezDonovan, C. J., & Ulberg, C. (1994). Seeing the trees and missing the forest: qualitative versus quantitative research findings in a model transportation demand management program evaluation. *Transportation Research Record*, 11.
- Pternea, M., Kepaptsoglou, K., & Karlaftis, M. G. (2015). Sustainable urban transit network design. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 276291.
- Pucher, J., & Buehler, R. (2017). Cycling towards a more sustainable transport future. *Transport reviews*, 37(6), 689694.
- Puglisi, S., Moreira, Á. T., Torregrosa, G. M., Igartua, M. A., & Forné, J. (2015). MobilitApp: Analysing mobility data of citizens in the metropolitan area of Barcelona. In *International Internet of Things Summit* (pp. 245250). Cham: Springer International Publishing.
- Puliafito, A., Tricomi, G., Zafeiropoulos, A., & Papavassiliou, S. (2021). Smart cities of the future as cyber physical systems: Challenges and enabling technologies. *Sensors*, 21(10), 3349.
- Punch, K. F. (2005). *Sosyal Araştırmalara Giriş: Nicel ve Nitel Yaklaşımlar* (D. Bayrak; HB Arslan; Z. Akyüz, Çev.) Ankara: Siyasal Kitabevi.

- Ragin, C. C. (2000). *Fuzzyset social science*. University of Chicago Press ; Ragin, C. C. (2009). *Redesigning social inquiry: Fuzzy sets and beyond*. University of Chicago Press.
- Rammohan, A. (2023). Revolutionizing Intelligent Transportation Systems with Cellular VehicletoEverything (CV2X) technology: Current trends, use cases, emerging technologies, standardization bodies, industry analytics and future directions. *Vehicular Communications*, 43, 100638.
- Ramos, A. L., Ferreira, J. V., & Barceló, J. (2012). Modeling & simulation for intelligent transportation systems. *International Journal of Modeling and Optimization*, 2(3), 274.
- Rauws, W. (2017). Embracing uncertainty without abandoning planning: Exploring an adaptive planning approach for guiding urban transformations. *DisPThe Planning Review*, 53(1), 3245.
- REN21. (2023). *Renewables 2023 Global Status Report*. Global Renewable Energy Network (REN21). <https://www.ren21.net/gsr> ET: 10.05.2025
- Richards, L., & Morse, J. M. (2012). *README FIRST for a User' s Guide to Qualitative Methods*. Sage publications.
- Richardson, B. C. (2005). Sustainable transport: analysis frameworks. *Journal of transport geography*, 13(1), 2939.
- Riger, S. T. E. P. H. A. N. I. E., & Sigurvinsdottir, R. A. N. N. V. E. I. G. (2016). Thematic analysis. *Handbook of methodological approaches to communitybased research: Qualitative, quantitative, and mixed methods*, 3341.
- Ritchie, H., & Roser, M. (2017). CO₂ and other greenhouse gas emissions. *Our World in Data*.
- Roads, P. (1997). Demo '97: Proving AHS Works.
- Rocha Filho, G. P., Meneguette, R. I., Neto, J. R. T., Valejo, A., Weigang, L., Ueyama, J., ... & Villas, L. A. (2020). Enhancing intelligence in traffic management systems to aid in vehicle traffic congestion problems in smart cities. *Ad Hoc Networks*, 107, 102265.
- Romero, M., Guédria, W., Panetto, H., & Barafort, B. (2020). Towards a characterisation of smart systems: A systematic literature review. *Computers in industry*, 120, 103224.
- Roth, A., & Kåberger, T. (2002). Making transport systems sustainable. *Journal of Cleaner Production*, 10(4), 361371.
- Rudskoy, A., Ilin, I., & Prokhorov, A. (2021). Digital twins in the intelligent transport systems. *Transportation Research Procedia*, 54, 927935.
- SAE On-Road Automated Vehicle Standards Committee. (2018). *SAE International's Standard J3016: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*.
- Saeed, A., Aftab, A. B., Junejo, F., & Amin, I. (2023). Current and Future Trends in an Intelligent Transportation System with Applications of AI. *Artificial Intelligence in CyberPhysical Systems*, 7593.
- Sak, R., Sak, İ. T. Ş., Şendil, Ç. Ö., & Nas, E. (2021). Bir araştırma yöntemi olarak doküman analizi. *Kocaeli Üniversitesi Eğitim Dergisi*, 4(1), 227256.
- Saldana, J. (2011). *Fundamentals of qualitative research*. Oxford university press.
- Saranya, K. G. (2023). Significance of artificial intelligence in the development of sustainable transportation. *The Scientific Temper*, 14(02), 418425.
- Sarkar, S. (2012). The role of information and communication technology (ICT) in higher education for the 21st century. *Science*, 1(1), 3041.

- Sarol, S. D., Mohammad, M. F., & Rahman, N. A. A. (2022). Mobile technology application in aviation: Chatbot for airline customer experience. In *Technology application in aviation, tourism and hospitality: Recent developments and emerging issues* (pp. 5972). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Savage, J. (2000). One voice, different tunes: issues raised by dual analysis of a segment of qualitative data. *Journal of advanced nursing*, 31(6), 14931500.
- Saxena, A. K., Tripathi, R. C., & Khan, G. (2023, February). Design of a smart public transport system based on IoT. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2427, No. 1). AIP Publishing.
- Schneider, M., Kutila, M., & Höß, A. (2022). Applications of AI in Transportation Industry. In *Artificial Intelligence for Digitising Industry—Applications* (pp. 355362). River Publishers.
- Schneider, R. J. (2013). Theory of routine mode choice decisions: An operational framework to increase sustainable transportation. *Transport Policy*, 25, 128137.
- Schoenherr, T. (2012). The role of environmental management in sustainable business development: A multicountry investigation. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 116128.
- Schofer, J. L., & Mahmassani, H. S. (2016). *Mobility 2050. A vision for transportation infrastructure*.
- Schulz, T., Gewald, H., Böhm, M., & Krcmar, H. (2023). Smart mobility: Contradictions in value cocreation. *Information Systems Frontiers*, 121.
- Sengupta, U. (2017). Complexity theory: The urban is a complex adaptive system. Iossifova, CNH Doll.
- Seyidoğlu, H. (2016). *Bilimsel araştırma ve yazma el kitabı*. İstanbul: Güzem Yayınları, 8.
- Shaaban, K., Elamin, M., & Alsoub, M. (2021). Intelligent transportation systems in a developing country: benefits and challenges of implementation. *Transportation Research Procedia*, 55, 13731380.
- Shi, Y., Arthanari, T., Liu, X., & Yang, B. (2019). Sustainable transportation management: Integrated modeling and support. *Journal of cleaner production*, 212, 13811395.
- Shiftan, Y., Kaplan, S., & Hakkert, S. (2003). Scenario building as a tool for planning a sustainable transportation system. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 8(5), 323342.
- Siddiqui, S. Y., Ahmad, I., Khan, M. A., Khan, B. S., Ali, M. N., Naseer, I., ... & Usama, H. M. (2021). AIoT Enabled Traffic Congestion Control System Using Deep Neural Network. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*, 8(33).
- Sieg, H., Smith, V. K., Banzhaf, H. S., & Walsh, R. (2004). Estimating the general equilibrium benefits of large changes in spatially delineated public goods. *International economic review*, 45(4), 10471077.
- Sienkiewicz, J., & Hołyst, J. A. (2005). Statistical analysis of 22 public transport networks in Poland. *Physical Review E—Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 72(4), 046127.
- Silverman, D. (2024). Interpreting qualitative data. ; Silverman, D. (2020). Qualitative research.
- Singh, P., Dulebenets, M. A., Pasha, J., Gonzalez, E. D. S., Lau, Y. Y., & Kampmann, R. (2021). Deployment of autonomous trains in rail transportation: Current trends and existing challenges. *IEEE access*, 9, 9142791461.

- Song, M., Yin, M., Chen, X. M., Zhang, L., & Li, M. (2013). A simulationbased approach for sustainable transportation systems evaluation and optimization: theory, systematic framework and applications. *Procediasocial and behavioral sciences*, 96, 22742286.
- Soy, H. (2023). Edge AIBased Crowd Counting Application for Public Transport Stops. In *Convergence of Deep Learning and Internet of Things: Computing and Technology* (pp. 182205). IGI Global.
- Stake, R. E. (2005). Qualitative case studies.
- Stake, R. E. (2005). Qualitative case studies.
- Stappen, L., Dillmann, J., Striegel, S., Vögel, H. J., FloresHerr, N., & Schuller, B. W. (2023, September). Integrating generative artificial intelligence in intelligent vehicle systems. In *2023 IEEE 26th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 57905797). IEEE.
- Steg, L., & Gifford, R. (2005). Sustainable transportation and quality of life. *Journal of transport geography*, 13(1), 5969.
- Steg, L., & Gifford, R. (2005). Sustainable transportation and quality of life. *Journal of transport geography*, 13(1), 5969.
- Steg, L., & Gifford, R. (2005). Sustainable transportation and quality of life. *Journal of transport geography*, 13(1), 5969.
- Stępnia, C., Jelonek, D., Wyrwicka, M., & ChomiakOrsa, I. (2021). Integration of the infrastructure of systems used in smart cities for the planning of transport and communication systems in cities. *Energies*, 14(11), 3069.
- Stockx, T., Hecht, B., & Schöning, J. (2014, November). SubwayPS. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*. ACM.
- Straubinger, A., Rothfeld, R., Shamiyeh, M., Büchter, K. D., Kaiser, J., & Plötner, K. O. (2020). An overview of current research and developments in urban air mobility–Setting the scene for UAM introduction. *Journal of Air Transport Management*, 87, 101852.
- Subaşı, M., & Okumuş, K. (2017). Bir araştırma yöntemi olarak durum çalışması. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 419426.
- Subrahmanian, E., & Rachuri, S. (2008). Special Issue on “Engineering Informatics”.
- Suryani, E., Hendrawan, R. A., Adipraja, P. F. E., & Indraswari, R. (2020). System dynamics simulation model for urban transportation planning: a case study. *International Journal of Simulation Modelling*, 19(1), 516.
- Sussman, J. S. (2008). *Perspectives on intelligent transportation systems (ITS)*. Springer Science & Business Media.
- Synopsys, (2023). The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained. Erişim Adresi: <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html> (Erişim Tarihi: 20.06.2025)
- Şahin, İ. (2016, Ocak). Ulaştırma mühendisliği eğitiminde sürdürülebilirlik yaklaşımları. 3. İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, İstanbul, Türkiye.
- Şen, E. B. (2020). BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİ VE AKILLI ŞEHİR SİSTEMLERİ. *Uluborlu Mesleki Bilimler Dergisi*, 3(1), 19.

- Şengül, R., & Altıntaş, H. Y. (2020). Akıllı Kentin Bir Bileşeni Olarak Akıllı Ulaşım Uygulamalarının İncelenmesi: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Örneği. *Uluslararası Kültürel ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 487502.
- T.C. Resmî Gazete. (2018). Cumhurbaşkanlığı teşkilatı hakkında Cumhurbaşkanlığı kararnamesi (No. 1). 10 Temmuz 2018 tarihli ve 30474 sayılı Resmî Gazete. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/07/201807101.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Haberleşme Bakanlığı. (2014). Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014–2023) ve eki Eylem Planı (2014–2016). Ankara.
- Talih, Ö., & Çelikok, K. (2023). Intelligent Transportation Systems and Policies in the World and in Türkiye: Assessment from A Sustainable Transportation Perspective. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 14(100. Yıl Özel Sayısı), 254279.
- Tánczos, K., & Török, Á. (2008). Impact of transportation on environment. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 36(12), 105110.
- TANER, T., ÜNAL, H. T., MENDİ, A. F., ÖZKAN, Ö., & NACAR, M. A. (2023, June). Artificial Intelligence Based Transportation System. In 2023 5th International Congress on HumanComputer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA) (pp. 18). IEEE.
- TANER, T., ÜNAL, H. T., MENDİ, A. F., ÖZKAN, Ö., & NACAR, M. A. (2023, June). Artificial Intelligence Based Transportation System. In 2023 5th International Congress on HumanComputer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA) (pp. 18). IEEE.
- Taniguchi, E. (2014). Concepts of city logistics for sustainable and liveable cities. *Procediasocial and behavioral sciences*, 151, 310317.
- Tasci, A. D., Wei, W., & Milman, A. (2020). Uses and misuses of the case study method. *Annals of Tourism Research*, 82(4), 102815.
- Tekindal, S. (2021). Nicel, nitel, karma yöntem araştırma desenleri ve istatistik. Ankara: Nobel Yayınevi.
- Tektaş, M., & Tektaş, N. (2019). Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) uygulamalarının sektörlere göre dağılımı. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 2(1), 3241.
- Tektaş, N., & Tektaş, M. (2019). Dünyada akıllı ulaşım sistemlerinin gelecek hedefleri Japonya örneğinin incelenmesi. *Paradoks Ekonomi Sosyoloji ve Politika Dergisi*, 15(2), 189210.
- Thorne, S. (2000). Data analysis in qualitative research. *Evidencebased nursing*, 3(3), 6870.
- Tian, G., Ren, Y., Feng, Y., Zhou, M., Zhang, H., & Tan, J. (2018). Modeling and planning for dualobjective selective disassembly using AND/OR graph and discrete artificial bee colony. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 24562468.
- Tian, H., Wang, X., Lim, E. Y., Lee, J. T., Ee, A. W., Zhang, J., & Tong, Y. W. (2021). Life cycle assessment of food waste to energy and resources: Centralized and decentralized anaerobic digestion with different downstream biogas utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111489.
- Tisdell, E. J., Merriam, S. B., & StuckeyPeyrot, H. L. (2025). Qualitative research: A guide to design and implementation. John Wiley & Sons.
- Tiwari, R. (2023). How Can AI Help in Reducing Traffic in India? *INTERANTIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 07(01).
- Tokuyama, H. (1996). Intelligent transportation systems in Japan. *Public Roads*, 60(2), 4145.

- Tolley, R. S. (Ed.). (2003). Sustainable transport: Planning for walking and cycling in urban environments (1st ed.). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier (Woodhead Publishing in Environmental Management).
- Townsend, A. M. (2013). Smart cities: Big data, civic hackers, and the quest for a new utopia. WW Norton & Company.
- Travers, M. (2001). Qualitative research through case studies.
- Tuckett, A. G. (2005). Applying thematic analysis theory to practice: A researcher's experience. Contemporary nurse, 19(12), 7587.
- Tufan, H. (2014). Akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları ve türkiye için bir aus mimarisi önerisi. Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, TC Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı.
- Tuffour, I. (2017). A critical overview of interpretative phenomenological analysis: A contemporary qualitative research approach. Journal of healthcare communications, 2(4), 52.
- Tuleya, L. G. E. (2007). Thesaurus of psychological index terms. American Psychological Association.
- Turken, A. O., & Eyuboglu, E. E. (2021). Eparticipatory approaches in urban design. Journal of Contemporary Urban Affairs, 5(2), 169182.
- Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2024, Haziran). 2023 yılı genel faaliyet raporu (s. 215). Ankara
- Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2019) https://webdosya.csb.gov.tr/db/cbs/menu/akillisehirler_kitap_20190311022214_20190313032959.pdf ET: 15.05.2025
- Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2020). 2020 yılı faaliyet raporu (s. 33–40).Ankara
- Türkkan, A. Z. (2019). Yapay zekâ ve kentsel sistemler: Akıllı ulaşım sistemlerinin kentsel güç içindeki rolü (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı. (2012, Mayıs 25). Akıllı ulaşım sistemleri çalıştayı sonuç raporu. Ankara.
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2020). Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020–2023 Eylem Planı. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı., 2010. Türkiye Ulaşım ve İletişim Stratejisi Hedef 2023.
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı., 2014. Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi.
- UNESCAP. (2013). Gender and transport (Transport and Communications Bulletin for Asia and the Pacific, Nos. 76 & 82). Bangkok, Thailand: Economic and Social Commission for Asia and the Pacific.
- Uzer, O., & Özasan, A. (2023). Bursa ve Antalya'nın akıllı kentiçi ulaşım denemeleri. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 6(2), 238252.
- Vahidi, A., & Sciarretta, A. (2018). Energy saving potentials of connected and automated vehicles. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 95, 822843.
- Valiantis, M. (2014). Sustainable urban transport. In Sustainability behind Sustainability (pp. 345369). Nova Science Publishers, Inc..

- Van Vliet, O., Brouwer, A. S., Kuramochi, T., van Den Broek, M., & Faaij, A. (2011). Energy use, cost and CO₂ emissions of electric cars. *Journal of power sources*, 196(4), 22982310.
- Varian, H. R. (2014). *Intermediate microeconomics with calculus: a modern approach*. WW norton & company.
- Vatakov, V., Pencheva, E., & Dimitrova, E. (2022, October). Recent advances in artificial intelligence for improving railway operations. In 2022 30th National Conference with International Participation (TELECOM) (pp. 14). IEEE.
- Veitch, E., & Alsos, O. A. (2021). Humancentered explainable artificial intelligence for marine autonomous surface vehicles. *Jourof Marine Science and Engineering*, 9(11), 1227.
- Veleva, V., & Ellenbecker, M. (2001). Indicators of sustainable production: framework and methodology. *Journal of cleaner production*, 9(6), 519549.
- Vitunskaitė, M., He, Y., Brandstetter, T., & Janicke, H. (2019). Smart cities and cyber security: Are we there yet? A comparative study on the role of standards, third party risk management and security ownership. *Computers & Security*, 83, 313331.
- Von Bertalanffy, L. (1950). An outline of general system theory. *The British Journal for the Philosophy of science*, 1(2), 134165.
- Wadud, Z., MacKenzie, D., & Leiby, P. (2016). Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 86, 118.
- Wallius, E., Klock, A. C. T., & Hamari, J. (2022). Playing it safe: A literature review and research agenda on motivational technologies in transportation safety. *Reliability Engineering & System Safety*, 223, 108514.
- Walsh, C. L., Roberts, D., Dawson, R. J., Hall, J. W., Nickson, A., & Hounscome, R. (2013). Experiences of integrated assessment of climate impacts, adaptation and mitigation modelling in London and Durban. *Environment and Urbanization*, 25(2), 361380.
- Wang, X., Zhang, F., Li, B., & Gao, J. (2017). Developmental pattern and international cooperation on intelligent transport system in China. *Case Studies on Transport Policy*, 5(1), 3844.
- Winchester, C. L., & Salji, M. (2016). Writing a literature review. *Journal of Clinical Urology*, 9(5), 308312.
- Winston, C., & Karpilow, Q. (2020). *Autonomous vehicles: The road to economic growth?*. Brookings Institution Press.
- Wolniak, R. (2023). Smart mobility in smart city—Copenhagen and Barcelona comparison. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*.
- Wolny, A., Ogryzek, M., & Żróbek, R. (2019). Towards sustainable development and preventing exclusions—determining road accessibility at the subregional and local level in rural areas of Poland. *Sustainability*, 11(18), 4880.
- Wu, C. K., He, Y., Tsang, K. F., & Mozar, S. (2020, November). The IDex case study on the safety measures of AIoTbased railway infrastructures. In 2020 IEEE International Symposium on Product Compliance EngineeringAsia (ISPCECN) (pp. 14). IEEE.
- Wu, H., Xue, Y., Hao, Y., & Ren, S. (2021). How does internet development affect energysaving and emission reduction? Evidence from China. *Energy Economics*, 103, 105577.

- Xiao, Z., Xiao, Z., Wang, D., & Li, X. (2015, August). An intelligent traffic light control approach for reducing vehicles CO2 emissions in VANET. In 2015 12th international conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD) (pp. 20702075). IEEE.
- Yalçın, E. G., & Büyük, M. (2015). Otomatik Kaza Bildirim Sistemlerinin Trafik Çarpışmalarının Sonuçları Üzerindeki Yeri ve Önemi. 6. Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi, 426.
- Yan, X., Zhang, H., & Wu, C. (2012, October). Research and development of intelligent transportation systems. In 2012 11th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering & Science (pp. 321327). IEEE.
- Yenisu, E., Şahin, F., & Öztekkeli, H. (2019). YÖNETİM DÜŞÜNCESİNİN EVRİMİNDE SİSTEM KURAMININ ETKİLERİ: KAVRAMSAL BİR ÇÖZÜMLEME. Akademi Sosyal Bilimler Dergisi, 6(18), 514527.
- Yılmaz, M. (2021). AKILLI KENT UYGULAMALARININ YEŞİL EKONOMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6(12), 228239.
- Yılmaz, Ö. (2012). Karayolu ulaşımında akıllı ulaştırma sistemleri: Uzmanlık tezi. Kalkınma Bakanlığı.
- Yigitcanlar, T., Fabian, L., & Coiacetto, E. (2008). Challenges to urban transport sustainability and smart transport in a tourist city: The Gold Coast, Australia. Open Transportation Journal, 2, 2946.
- Yildirim, A., & Simsek, H. (2008). Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri. Ankara: Seçkin.
- Yildirim, A., & Şimşek, H. (2011). Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri. Ankara: Seçkin Yayıncılık, 8.
- Yin, R. K. (2005). Case study research design and methods.
- Yin, R. K. (2005). Case study research design and methods.
- Yin, R. K. (2009). Case study research: Design and methods (Vol. 5). sage.
- Yovanof, G. S., & Hazapis, G. N. (2009). An architectural framework and enabling wireless technologies for digital cities & intelligent urban environments. Wireless personal communications, 49, 445463.
- Yu, D., Li, Z., Zhong, Q., Ai, Y., & Chen, W. (2020). Demand Management of Station- Based Car Sharing System Based on Deep Learning Forecasting. Journal of Advanced Transportation, 2020(1), 8935857.
- Zanero, S. (2017). Cyberphysical systems. Computer, 50(4), 1416.
- Zantalis, F., Koulouras, G., Karabetsos, S., & Kandris, D. (2019). A review of machine learning and IoT in smart transportation. Future Internet, 11(4), 94.
- Zeyu, J., Shuiping, Y., Mingduan, Z., Yongqiang, C., & Yi, L. (2017). Model study for intelligent transportation system with big data. Procedia Computer Science, 107, 418426.
- Zhang, C., Patras, P., & Haddadi, H. (2019). Deep learning in mobile and wireless networking: A survey. IEEE Communications surveys & tutorials, 21(3), 22242287.
- Zhang, D. W. (2011). The prosperity and loneliness of urban intelligent transportation. China Traffic Informatization, (9), 28–29.

- Zhang, F., Pan, Z., & Lu, Y. (2023). AIOEnabled smart surveillance for personal data digitalization: Contextual personalizationprivacy paradox in smart home. *Information & Management*, 60(2), 103736.
- Zhang, J., Li, S., & Wang, Y. (2023). Shaping a smart transportation system for sustainable value cocreation. *Information Systems Frontiers*, 25(1), 365380.
- Zhang, L., Zhang, J., Duan, Z. Y., & Bryde, D. (2015). Sustainable bikesharing systems: characteristics and commonalities across cases in urban China. *Journal of cleaner production*, 97, 124133.
- Zhou, X., Delicato, F. C., Wang, K. I. K., & Huang, R. (2020). Smart computing and cyber technology for cyberization. *World Wide Web*, 23, 10891100.
- Zhu, J., Xie, N., Cai, Z., Tang, W., & Chen, X. (2023). A comprehensive review of shared mobility for sustainable transportation systems. *International Journal of Sustainable Transportation*, 17(5), 527551.
- Zhu, L., Yu, F. R., Wang, Y., Ning, B., & Tang, T. (2018). Big data analytics in intelligent transportation systems: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(1), 383398.
- Zhu, Q., SangiovanniVincentelli, A., Hu, S., & Li, X. (2018). Design automation for cyberphysical systems [scanning the issue]. *Proceedings of the IEEE*, 106(9), 14791483.
- Zhu, Y., Ni, K., Li, X., Zaman, A., Liu, X., & Bai, Y. (2024). Artificial intelligence aided crowd analytics in rail transit station. *Transportation research record*, 2678(2), 481492.
- Ziakkas, D., Pechlivanis, K., & Flores, A. (2023, July). Artificial intelligence (AI) implementation in the design of single pilot operations commercial airplanes. In 14th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (pp. 2024).
- Zygiaris, S. (2013). Smart city reference model: Assisting planners to conceptualize the building of smart city innovation ecosystems. *Journal of the knowledge economy*, 4, 217231.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Rümeysa Tortum
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Nevzat Karabağ Anadolu Lisesi
Lisans:	Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ulaştırma Anabilim Dalı (2025)
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası	