

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TRAFİK YÖNETİM TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ: AKILLI ULAŞIM
SİSTEMLERİ BAĞLAMINDA TRAFİK YÖNETİMİNİN GELECEĞİ**

Özgür TALİH

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı

TEMMUZ 2024

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TRAFİK YÖNETİM TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ: AKILLI ULAŞIM
SİSTEMLERİ BAĞLAMINDA TRAFİK YÖNETİMİNİN GELECEĞİ**

Özgür TALİH

DANIŞMAN
Prof. Dr. Necla TEKTAŞ

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı

TEMMUZ 2024

ONAY

Özgür TALİH tarafından hazırlanan “**Trafik Yönetim Tekniklerinin İncelenmesi: Akıllı Ulaşım Sistemleri Bağlamında Trafik Yönetiminin Geleceği**” adlı tez çalışması 05/07/2024 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bandırma Onyedİ Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Necİa TEKTAŞ

(Danışman)

Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

(Üye)

Prof. Dr. Halim CEYLAN

(Üye)

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Abdullah YEŞİL

Enstitü Müdürü

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Trafik Yönetim Tekniklerinin İncelenmesi: Akıllı Ulaşım Sistemleri Bağlamında Trafik Yönetiminin Geleceği**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 05/07/2024

Özgür TALİH
İmza

ÖN SÖZ

Yüksek lisans sürecimin başından itibaren, özellikle tez döneminde bilgisi ve deneyimiyle her zaman yanımda olduğunu hissettiren; desteği, yardımları, yönlendirmeleri, özverisi, hoşgörüsü ve mütevazı yaklaşımları benim için büyük bir motivasyon kaynağı olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Necla TEKTAŞ'a büyük bir minnettarlıkla teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans yapmam konusunda beni cesaretlendirip teşvik ederek iş yaşamımdaki çalışmalarımın akademik anlamda değer bulmasında yol gösterici olan Sayın Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ'a ve başta tez dönemim olmak üzere akademik yayınlarım esnasında sunduğu değerli katkılar ile ne zaman ihtiyaç duysam her zaman telefonun diğer ucunda olan Sayın Prof. Dr. Halim CEYLAN'a en derin şükranlarımı sunarım.

Tez konumun belirlenmesi, kapsamının netleştirilmesi ve tezimin tamamlanmasına kadar tüm süreçlerde başından sonuna kadar yardımlarını esirgemeyen Esma DİLEK'e, kıymetli katkılardan dolayı Ebubekir TÜRKSOY'a, tezin şekilsel ve dil bilgisi kuralları çerçevesinde incelenmesine yardımcı olan mesai arkadaşlarım Sevinç TURGUT ve Ertuğrul HASGÜL'e çok teşekkür ederim.

Yaşamımda her şeyin daha güzel hale gelmesini sağlayan ve motivasyon kaynağım olan başta annem ve babam Melahat ve İdris TALİH ile varlıklarıyla güçlü hissetmemi sağlayan ve her zaman en büyük destekçilerim olan canım kardeşlerim Umut KARACAN, Tutkun TALİH ve Taylan TALİH olmak üzere ailemin tüm fertlerine, sevgilerimi ve destekleri için sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TRAFİK YÖNETİM TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ: AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ BAĞLAMINDA TRAFİK YÖNETİMİNİN GELECEĞİ

Özgür TALİH

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Necla TEKTAŞ

Temmuz 2024, 214 sayfa

Son yıllarda, Türkiye de dahil olmak üzere dünya genelinde şehir içi ve şehirlerarası yollarda araç sayısı ve hareketlilik taleplerindeki artış, yol altyapısı kullanımının optimize edilmesine ve trafik yönetimin iyileştirilmesine yönelik çözüm arayışlarını hızlandırmaktadır. Ayrıca, trafik talebindeki arz-talep dengesini korumak ve ulaşımdan kaynaklanan olumsuz çevresel etkileri azaltmak için etkili trafik kontrol yöntemleri araştırılmaktadır. Bu doğrultuda, Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) hizmetleri, uygulamaları ve faaliyetleri, trafik yönetimi ihtiyaçlarına yenilikçi çözümler sunmak için önemli bir potansiyele sahiptir.

Bu tez çalışması; “trafik yönetimi”, “trafik yönetimi ve AUS arasındaki ilişki” ve “trafik yönetimi için AUS uygulama önerileri” ana başlıklarını incelemektedir. İlk olarak trafik yönetimi, kontrolü, denetimi ve veri toplama için kullanılan teknolojiler avantaj ve dezavantajlarıyla birlikte incelenmiştir. Ardından, etkin trafik yönetimi için AUS çözümleri analiz edilmiştir. Trafik sıklıkklığını önlemeye yönelik trafik talep yönetimi stratejileri özetlenerek AUS'un bu stratejiler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Tüm analiz ve değerlendirmelerin sonuçlarına dayanarak Türkiye için etkin trafik yönetimi çözüm önerileri listelenmiştir. Bu süreçte, literatür ve iyi dünya

örnek uygulamaları üzerinde yapılan araştırma ve incelemelerden elde edilen sonuçlar kullanılarak Türkiye'nin yeni dönem Ulusal AUS Strateji Belgesi ve Eylem Planı'nın hazırlanmasına girdi olabilecek hususlar ortaya koyulmuştur.

Ayrıca bu tez çalışması ile dünyada öne çıkan trafik yönetimi uygulamaları incelenerek Türkiye'de ulaşım faaliyetlerinin etkin ve verimli yürütülmesinde referans alınabilecek kaynak bir dokümanın temel çerçevesi oluşturulmaya çalışılmıştır. Aynı zamanda, bu tez çalışması, trafik yönetiminin gelişiminde AUS'un etkilerini kapsamlı olarak inceleyerek Türkiye için Karayolu Kapasite El Kitabı niteliğinde bir referans dokümanın oluşturulmasında öncü olmayı hedefleyen ilk araştırmalar arasındadır.

Sonuç olarak elde edilen bulgular doğrultusunda hazırlanan bu çalışma, karayolu trafik yönetimi ile ilgili faaliyet gösteren kuruluşlar ve yerel yönetimler gibi organizasyonlara, trafik yönetimi ve AUS alanında yapacakları çalışmalarda referans niteliğindedir. Aynı zamanda kent içi ve kentler arası etkili ulaşım planları hazırlanması, bu planların uygulanması, karar verme süreçlerinin iyileştirilmesi ve yol ağı ihtiyaç ve sorunları belirlenerek çözümler bulunması gibi hususlara katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Anahtar kelimeler: Sıkışıklık, Sürdürülebilirlik, Trafik Yönetimi, Akıllı Ulaşım Sistemleri, Trafik Talep Yönetimi

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

REVIEW OF TRAFFIC MANAGEMENT TECHNIQUES: THE FUTURE OF TRAFFIC MANAGEMENT IN THE INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM CONTEXT

Özgür TALİH

Bandırma Onyedi Eylül University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Intelligent Transportation Systems and Technologies

Supervisor: Prof. Dr. Necla TEKTAŞ

July 2024, 214 pages

In recent years, the increase in the number of vehicles and mobility on demands on urban and intercity roads worldwide, including Türkiye, has accelerated efforts to find solutions to optimize the use of road infrastructure and enhance traffic management. In addition, effective traffic control methods are being investigated to maintain the supply-demand balance in traffic demand and reduce the negative environmental impacts caused by transportation. Accordingly, Intelligent Transportation Systems (ITS) services, applications and activities have significant potential to provide innovative solutions to traffic management needs.

This thesis work examines the main topics of “*traffic management*”, “*relationship between traffic management and ITS*”, and “*ITS application recommendations for traffic management*”. Firstly, the technologies used for traffic management, control, enforcement, and data collection are examined with their advantages and disadvantages. Then, ITS solutions for effective traffic management are analyzed. The traffic demand management strategies to prevent traffic congestion are summarized and the effects of ITS on these strategies are evaluated. Based on these examinations, effective traffic management solutions are proposed for Türkiye. In this process, the results of the research and analysis of the literature and best practices from around the world have

been used to provide input for the preparation of Türkiye's new National ITS Strategy Document and Action Plan.

In addition, this thesis study aims to establish the basic framework of a reference document that can be taken as a reference for the effective and efficient conduct of transportation activities in Türkiye by examining the prominent traffic management applications in the world. At the same time, this thesis is among the initial researches aiming to be a pioneer in the creation of a reference document in the format of a Highway Capacity Manual for Türkiye by comprehensively examining the effects of ITS in the improvement of traffic management.

As a result, this study, which was prepared in line with the findings obtained as a result, is a reference for organizations such as organizations and local governments operating in the field of road traffic management, in their studies in the field of traffic management and ITS. It also aims to contribute to the preparation of effective urban and inter-urban transportation plans, the implementation of these plans, improving decision-making processes, and finding solutions by identifying road network needs and problems.

Keywords: Congestion, Sustainability, Traffic Management, Intelligent Transport System, Traffic Demand Management

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT	III
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ.....	X
KISALTMA LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1 PROBLEMİN TANIMI	5
1.2 AMAÇ	6
1.3 METOT	8
1.4 ÇALIŞMANIN ÖNEMİ	8
2. TRAFİK YÖNETİMİ.....	10
2.1 TRAFİK YÖNETİMİ VE TEKNİKLERİ	11
2.2 KONTROL YÖNTEMLERİ VE TEDBİRLER.....	16
2.3 KAVŞAK KONTROL YÖNTEMLERİ.....	21
2.3.1 Trafik Dedektörü.....	23
2.3.2 Trafik Tesisleri.....	25
2.3.3 Hizmet Seviyesi	25
2.3.4 Koridor Kontrolü	26
2.3.5 Sinyalize Olmayan Kavşaklar	29
2.3.6 Sinyalize Kavşaklar	30
2.3.6.1 İzole Sinyalize Kavşak Kontrol.....	32
2.3.6.2 Kavşaklarda Koordine Sinyalizasyon Sistemi.....	33

2.3.7	Adaptif Trafik Sinyalizasyon Kontrol Modelleri	34
2.3.7.1	Döngüsel Akış Profilleri (Cyclic Flow Profiles).....	34
2.3.7.2	Bölünmüş Çevrim Ofseti Optimizasyon Tekniği (SCOOT).....	34
2.3.7.3	Sidney Koordineli Trafik Kontrol Sistemi (SCATS)	37
2.3.8	Çevrim Dışı Sinyal Zamanlama Teknikleri	40
2.3.8.1	Trafik Ağı Çalışma Aracı (TRANSYT)	40
2.3.8.2	Sinyalli ve Sinyalsiz Kavşak Tasarım ve Araştırma Yardımı (SIDRA)....	42
2.3.8.3	LinSig	43
2.4	TRAFİK YÖNETİMİ İÇİN VERİ TOPLAMA YÖNTEMLERİ	45
2.4.1	Manuel Veri Toplama	47
2.4.2	Otomatik-Dijital Veri Toplama.....	48
2.4.2.1	Talep Yönlü Veriler	49
2.4.2.2	Arz Yönlü Veriler	50
2.4.3	Zorluklar ve Riskler	51
3.	TRAFİK YÖNETİMİ VE AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ İLİŞKİSİ	54
3.1	ULAŞIM PARADİGMA DEĞİŞİMİNDE AKILLI ULAŞIMIN YERİ	57
3.2	ULUSAL AUS MİMARİSİ VE TRAFİK YÖNETİMİ İLİŞKİSİ	64
3.3	STANDARTLAR VE REHBERLİK	72
3.4	KENT İÇİ ULAŞIM ÇÖZÜMLERİNDE AUS	81
3.5	YOLCU VE YÜK TAŞIMACILIĞINDA AUS	85
3.6	AUS YASAL ALTYAPISININ GÜÇLENDİRİLMESİ.....	90
3.6.1	ABD, AUS Yasal Altyapı Gelişimi	92
3.6.2	Avrupa Birliği AUS Yasal Altyapı Gelişimi.....	94
3.6.3	Asya Pasifik Ülkeleri AUS Yasal Altyapı Gelişimi.....	95
3.6.4	Türkiye’de AUS Yasal Altyapı Gelişimi.....	97
4.	TRAFİK YÖNETİMİ VE AUS UYGULAMA ÖNERİLERİ	101

4.1	TRAFİK TALEP YÖNETİMİ UYGULAMALARI	103
4.1.1	Yönetilen Şeritler	110
4.1.1.1	Emniyet Şeridinin Trafik Akışı İçin Kullanımının Modellenmesi	112
4.1.1.2	Yön Değiştirebilen Şerit Sistemleri.....	119
4.1.1.3	Yüksek Doluluklu Şerit.....	123
4.1.2	Sıkışıklık Ücretlendirme	132
4.1.2.1	Endişeler.....	134
4.1.2.2	Faydalar	135
4.1.2.3	Politika geliştirme.....	137
4.1.2.4	Teknolojik unsurlar	138
4.1.2.5	Ödeme kanalları	139
4.1.2.6	Ülke uygulamaları.....	139
4.1.2.7	Ücretlendirme tasarımı yaklaşımları	142
4.1.2.8	Öneriler	144
4.1.3	Düşük Emisyon Bölgesi.....	146
4.1.4	Acil Durum Araç Önceliği	155
4.1.5	Esnek Çalışma Saatleri	160
4.2	KENTSEL HAREKETLİLİK TRAFİK KONTROL STRATEJİLERİ	165
4.3	TRAFİK YÖNETİMİ İÇİN YENİLİKÇİ YÖNTEMLER.....	169
4.4	AUS İLE TRAFİK YÖNETİMİNİN GELECEĞİ	171
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	178
6.	KAYNAKLAR	183
	ÖZGEÇMİŞ	212

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1-1: Tez içerik akış diyagramı.....	9
Şekil 2-1: Trafik akışının temel parametreleri	12
Şekil 2-2: Trafik yönetimi fonksiyonel yapısı	15
Şekil 2-3: Trafik ve ulaşım sistemleri için hiyerarşik bir hedef konsept.....	18
Şekil 2-4: Kullanıcı merkezli trafik yönetimi yaklaşımı	21
Şekil 2-5: Nokta, Segment, Tesis ve Koridorlar (Transportation Research Board, 2010) ...	27
Şekil 2-6: SCOOT'ta temel trafik kontrol sistemi bilgi akışı	37
Şekil 2-7: Trafik verisi kaynakları.....	49
Şekil 2-8: Veri yönetimi çerçevesi	52
Şekil 3-1: Trafik ve ulaşım verileri ve kullanım alanları	54
Şekil 3-2: Ulaştırma sisteminin yapısı.....	61
Şekil 3-3: AUS trafik yönetimi uygulamaları	62
Şekil 3-4: AUS ile kent içi ulaşımın AUS ile dönüşümü.....	63
Şekil 3-5: AUS ile kentler arası ulaşımın dönüşümü.....	64
Şekil 3-6: FRAME mimarisi trafik yönetimi ilişkisi	68
Şekil 3-7: Ulusal AUS mimarisi uygulama alanı önerileri (Dilek, Talih, & Ceylan, 2023)...	70
Şekil 3-8: Ulusal AUS mimarisi yaygınlaştırma önerileri (Dilek, Talih, & Ceylan, 2023) ..	71
Şekil 3-9: ABD, AUS standardizasyon politika gelişimi zaman çizelgesi	75
Şekil 3-10: AB, AUS standardizasyon politika gelişimi zaman çizelgesi	76
Şekil 3-11: Tipik bir AUS çalışması örneği	84
Şekil 3-12: Yolcu bilgilendirme sistemlerinde öne çıkan uygulamalar	87
Şekil 3-13: Toplu taşıma AUS örnek teknoloji sınıflandırması (Hwang vd., 2006)	89
Şekil 3-14: Türkiye AUS yasal altyapı gelişme süreci	98
Şekil 4-1: Trafik ve ulaşım sistemleri için bir model konsepti	102
Şekil 4-2: Trafik arz ve talep ilişkisi	105
Şekil 4-3: Yol alanı tahsis mühendislik yöntemleri	106
Şekil 4-4: Trafikte kuyruklanma ve darboğaz.....	108
Şekil 4-5: Yönetilen şerit stratejilerine bakış	111
Şekil 4-6: Emniyet şeridinin trafik akışında kullanılması	113
Şekil 4-7: RL Sistemlerindeki farklı bölgeler (Guebert, 2010).....	122

Şekil 4-8: HOV şeridi oluşturmanın etkileri	127
Şekil 4-9: Trafik sıkışıklığının ücretlendirilmesine yönelik politika tasarım süreci	138
Şekil 4-10: Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi için temel tasarım yaklaşımları.....	142
Şekil 4-11: Ülkelere göre LEZ ifadeleri.....	146
Şekil 4-12: LEZ'in kabulünü etkileyen faktörleri	155
Şekil 4-13: EVP sistemleri türleri ve kullanılan teknolojiler.....	156



TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 3-1: AUS tarafından sağlanan temel kullanıcı hizmetlerinden bazıları	56
Tablo 3-2: Ulaşım planlamasının gelişimi	60
Tablo 3-3: ABD mimarisi hizmet paketleri	66
Tablo 3-4: Politika süreçleri ve standartlaşmaya etkisi	77
Tablo 3-5: Avusturalya trafik yönetimi hizmet grupları	79
Tablo 3-6: Ulaştırma politikaları hedefleri için örnek sınıflandırma	92
Tablo 3-7: Ulaşım alt sistemleri, politika hedefleri ve AUS uygulamalarının çeşitliliği arasında ilişki	99
Tablo 4-1: Trafik sıkışıklığı yönetilmesi yöntemlerine ilişkin literatür çalışmaları	110
Tablo 4-2: HSR'nin temel riskleri	114
Tablo 4-3: HOV şerit türleri	128
Tablo 4-4: Sıkışıklık ücretlendirme geçiş ücreti durumuna göre ayrımı	138
Tablo 4-5: Sıkışıklık ücretlendirmesi önerileri, ihtiyaçlar ve muhtemel sonuçlar	144
Tablo 4-6: Sıfır Emisyon Bölgelerine doğru yol alan şehirlere genel bakış	151
Tablo 4-7: EVP sistemleri türleri ve teknolojileri	157
Tablo 4-8: EVP'nin temel faydaları	160

KISALTMA LİSTESİ

Kısaltma	Açıklama
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AB	: Avrupa Birliği
Ar-Ge	: Araştırma ve Geliştirme
AUS	: Akıllı Ulaşım Sistemleri
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DMİ	: Değişken Mesaj İşareti
DTİ	: Değişken Trafik İşareti
İSBAK A.Ş.	: İstanbul Bilişim ve Akıllı Kent Teknolojileri Anonim Şirketi
K-AUS	: Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
MÖ	: Milattan Önce
MS	: Milattan Sonra
UAB	: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
CAPRI	: Dinamik programlama tabanlı gerçek zamanlı trafik uyarlamalı sinyal kontrol sistemi içinde toplu taşıma sinyal önceliği ve demiryolu/acil durum önceliğini entegre eden bir sistemdir (Categorized Arrivals-Based Phase Reoptimization at Intersections).
ATAK	: İSBAK A.Ş. tarafından geliştirilen adaptif trafik yönetim sistemidir.
LHOVRA	: İzole kavşaklar için İsveç tarafından geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan sinyal kontrol stratejisidir. Kamyon, otobüs ve müfreze önceliği, ana yol önceliği, olay azaltma, değişken sarı süre, değişken kırmızı zaman, tüm kırmızı dönüşler ifadelerinin sıra ile İsveç dilinde baş harflerinin temsilidir. (Lastbilsprioritering, Huvudvägsprioritering, Olycksreduktion, Variabel gultid, Rödkörningskontroll, Allrödvänding)
mil	: 1,609344 kilometre
Wi-Fi	: Kablosuz Ağ teknolojisi
Xbee	: Digi International tarafından üretilen, düşük güçlü devrelerin haberleşmesini sağlayabilen, düşük maliyetli prototipleme deneyleri ve gömülü geliştirme uygulamalarında kullanılan, Bluetooth'tan daha uzun bir etki alanına sahip ve Wi-Fi'dan daha az güç tüketen, Zigbee protokolünü kullanan bir modemdir.
Zigbee	: ZigBee ittifakı tarafından yönetilen, IEEE 802.15 spesifikasyonunu temel alan, 802.15.4 telsiz fiziksel arabirim standardında çalışan kontrol ve sensör ağları için üretilmiştir düşük maliyetli, makineden makineye (M2M) ve nesnelerin interneti (IoT) gibi düşük güçte kablosuz ağların etkin kullanımı için geliştirilmiş, standart tabanlı bir kablosuz ağ protokolüdür.

Kısaltma	İngilizce	Türkçe
ACS Lite	: Adaptive Control Software Lite	Adaptif Kontrol Yazılımı
AVC	: Autonomous Vehicles Comprehensive	Kapsamlı Otonom Araçlar
ADS	Automated Driving Systems	Otonom Sürüş Sistemleri
AFMS	: Advanced Fleet Management Systems	Gelişmiş Filo Yönetimi Sistemleri
AHS	: Automated Highway Systems	Otomatik Otoyol Sistemleri
AI	Artificial Intelligence	Yapay Zekâ
AID	: Automatic Incident Detection	Otomatik Olay Algılama
ALPR	: Automated License Plate Recognition	Otomatik Plaka Tanıma
AMTICS	: Advanced Mobile Traffic Information and Communication System	Gelişmiş Mobil Trafik Bilgi ve İletişim Sistemi
ANPR	: Automatic Number-Plate Recognition	Otomatik Plaka Tanıma
ANSI	: American National Standards Institute	Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü
APTS	: Advanced Public Transport Systems	Gelişmiş Toplu Taşıma Sistemleri
AR	Augmented Reality	Artırılmış Gerçeklik
ARCADY	: Assessment of Roundabout Capacity and Delay	Yuvarlak Ada (Döner) Kavşak Kapasitesi ve Gecikme Değerlendirmesi
ARC-IT	: Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation	Kooperatif ve Akıllı Ulaşım için Referans Mimari
ATC	: Area Traffic Control	Alan Trafik Kontrolü
ATCMTD	: Advanced Transportation and Congestion Management Technology Deployment	Gelişmiş Ulaşım ve Sıkışıklık Yönetimi Teknolojisi Geliştirilmesi
ATDM	: Active Transportation Demand Management	Aktif Ulaşım Talep Yönetimi
ATM	: Active Traffic Management	Aktif Trafik Yönetimi

ATMS	: Advanced Traffic Management Systems	Gelişmiş Trafik Yönetim Sistemleri
ATIS	: Advanced Traveller Information Systems	Gelişmiş Yolcu Bilgilendirme Sistemleri
AWS	: Amazon Web Services	Amazon Web Hizmetleri
AWSC	: All-Way Stop-Controlled	Her Yöne Dur Kontrollü
BLs	: Bus-only Lanes	Sadece Otobüs Şeritleri
BOS	: Bus-on Shoulder	Otobüs Banketi
BRT	: Bus Rapid Transit	Metrobüs
CITS	: Cooperative Intelligent Transport Systems	Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri
CAN	: Controller Area Network	Denetleyici Alan Ağı
CAPRI	: Categorized Arrivals-Based Phase Reoptimization at Intersections	Kavşaklarda Kategorilere Ayrılmış Varışlara Dayalı Yeniden Faz Optimizasyonu
CCAM	: Connected, Cooperative, Automated Mobility	Bağlantılı, Kooperatif, Otonom Hareketlilik
CEN	: European Committee for Standardization	Avrupa Standardizasyon Komitesi
CENELEC	: European Committee for Electrotechnical Standardization	Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi
CHAOS	: Dynamic Junction Control System	Dinamik Kavşak Kontrol Sistemi
CCTV	: Closed-Circuit Television	Kapalı Devre Televizyon
CN	: Cellular Network	Hücresel Ağ
CORSIM	: Corridor Simulation	Koridor Simülasyonu
CVO	: Commercial Vehicle Operations	Ticari Araç Operasyonları
CTP	: Collection Tree Protocol	Toplama Ağacı Protokolü
CW	: Continuous Wave	Sürekli Dalga
CWW	: Compressed Work Week	Sıkıştırılmış Çalışma Haftası
DoS	: Degree of Saturation	Doygunluk Derecesi
DSRC	: Dedicated Short Range Communications	Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme

D-PTSU	: Dynamic Part-Time Shoulder Use	Dinamik Yarı Zamanlı Banket Kullanımı
ETL	: Express Toll Lane	Ekspres Ücretli Geçiş Şeridi
EU	: European Union	Avrupa Birliği
EUREKA	: Europe-wide Market Oriented Industrial Research and Development Network	Avrupa Pazarına Yönelik Endüstriyel Araştırma ve Geliştirme Ağı
EV	: Emergency Vehicle	Acil Durum Aracı
EVP	: Emergency Vehicle Preemption	Acil Durum Araç Önceliği
FAST	: Fixing America's Surface Transportation	Amerika'nın Kara Taşımacılığını Düzeltme
FAST-TRAC	: Faster and Safer Travel Through Routing and Advanced Controls	Güzergâh Belirleme ve Gelişmiş Kontroller Sayesinde Daha Hızlı ve Emniyetli Seyahat
FFS	: Free Flow Speed	Serbest Akım Hızı
FHWA	: Federal Highway Administration	Federal Karayolu İdaresi
FMCW	: Frequency Modulated Continuous Wave	Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga
FWA	: Flexible Work Arrangements	Esnek Çalışma Düzenlemeleri
GNSS	: Global Navigation Satellite System	Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi
GPS	: Global Positioning System	Küresel Konumlandırma Sistemi
HA	: Highways Agency	Karayolları Ajansı
HCS	: Highway Capacity Software	Karayolu Kapasite Yazılımı
HCM	: Highway Capacity Manual	Karayolu Kapasite El Kitabı
HODE	: Hierarchical Optimized Distributed Effective	Hiyerarşik Optimize Edilmiş Dağıtılmış Etkili
HOT	: High-Occupancy Toll	Yüksek Doluluklu Geçiş Ücreti
HOV	: High-Occupancy Vehicle	Yüksek Doluluklu Araç
HSR	: Hard Shoulder Running	Emniyet Şeridi Yönetimi (Rijit Banket Çalışması)

HUF	: Highway Users Federation	Karayolu Kullanıcıları Federasyonu
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IFTS	: Intelligent Freight Transport Systems	Akıllı Yük Taşıma Sistemleri
ILEV	: Inherently Low Emission Vehicles	Kendiliğinden Düşük Emisyonlu Araçlar
IoT	: Internet of Things	Nesnelerin İnterneti
ISO	: International Organization for Standardization	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
ISTEA	: Intermodal Surface Transportation Efficiency Act	İntermodal Kara Taşımacılığı Verimliliği Yasası
ITS	: Intelligent Transportation Systems	Akıllı Ulaşım Sistemleri
ITS JPO	: ITS Joint Program Office	AUS Ortak Program Ofisi
IVHS	: Intelligent Vehicle-Highway System	Akıllı Araç-Karayolu Sistemi
JPO	: Joint Program Office	Ortak Program Ofisi
KAREN	: Keystone Architecture Required for European Networks	Avrupa Ağları için Gerekli Anahtar Mimari
LQF-MWM	: Longest Queue First-Maximal Weight Matching	Maksimum Ağırlık Eşleştirme-Önce En Uzun Kuyruk
MAP-21	: Moving Ahead for Progress in the 21st Century	21. Yüzyılda Kalkınma için İlerleme
MAS	: Multi-Agent Systems	Çoklu Ajan Sistemleri
ML	: Managed Lanes	Yönetilen Şeritler
MLIT	: Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism	Arazi, Altyapı, Ulaştırma ve Turizm Bakanlığı
MOLIT	: Ministry of Land, Infrastructure and Transport	Arazi, Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı
MUV	: Mobilidade Urbana de Viseu	Viseu'da Kentsel Hareketlilik
NHTSA	: The National Highway Traffic Safety Administration	Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi
NYC	: New York City	New York Şehri

LIDAR	: Laser Imaging Detection and Ranging / Light Detection and Ranging	Lazer Görüntü Algılama ve Mesafe Tespiti / Işık Algılama ve Mesafe Tespiti
LEZ	: Low Emission Zone	Düşük Emisyon Bölgesi
LoS	: Level of Service	Hizmet Seviyesi
LOV	: Lower Occupancy Vehicle	Düşük Doluluklu Araç
MAC	: Medium Access Control	Ortam Erişim Kontrolü
MaaS	: Mobility-as-a-Service	Bir Hizmet Olarak Hareketlilik
NSW	: New South Wales	Yeni Güney Galler
OST-R	: The Office of the Assistant Secretary for Research and Technology	Araştırma ve Teknoloji Müsteşarlığı Ofisi
OPAC	: Optimization Policies for Adaptive Control	Adaptif Kontrol için Optimizasyon Politikaları
OSCADY	: Optimized Signal Capacity and Delay	Optimize Edilmiş Sinyal Kapasitesi ve Gecikmesi
PASSER	: Progression Analysis and Signal System Evaluation Routine	İlerleme Analizi ve Sinyal Sistemi Değerlendirme Programı
PE-MAC	: Priority for Emergency Traffic Based Medium Access Control	Acil Durum Trafiği Tabanlı Ortam Erişim Kontrolü için Öncelik
PRC	: Practical Reserve Capacity	Pratik Rezerv Kapasitesi
PROMETHEUS	: Programme for European Traffic with highest Efficiency and Unprecedented Safety	Maksimum Verimlilik ve Benzersiz Emniyet ile Avrupa Trafik Programı
PICADY	: Priority Intersection Capacity and Delay	Öncelikli Kavşak Kapasitesi ve Gecikmesi
RACS	: Road Automotive Communication System	Karayolu Araç Haberleşme Sistemi
RFID	: Radio Frequency Identification	Radio Frekansı ile Tanımlama
RHODES	: Real-Time Hierarchical Optimized Distributed Effective System	Gerçek Zamanlı Hiyerarşik Optimize Edilmiş Dağıtık Etkili Sistem

RITA	: Research and Innovative Technology Administration	Araştırma ve Yenilikçi Teknoloji İdaresi
RL	: Reversible Lane	Yön Değiştirebilir (Tersine Çevrilebilir) Şerit
RM	: Ramp Metering	Katılım Kontrolü, Katılım Yönetimi
RLS	: Reversible Lane System	Yön Değiştirebilir Şerit Sistemi
RSU	: Road Side Unit	Yol Kenarı Ünitesi
NTCIP	: National Transportation Communications for ITS Protocol	AUS Protokolü için Ulusal Ulaştırma Haberleşmesi
RTA	: Roads and Traffic Authority	Yollar ve Trafik Otoritesi
SAE	: Society of Automotive Engineers	Otomotiv Mühendisleri Birliği
SCATS	: Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic Control System	Sidney Koordineli Adaptif Trafik Kontrol Sistemi
SCOOT	: Split Cycle Offset Optimization Technique	Bölünmüş Çevrim Ofseti Optimizasyon Tekniği
SIDRA	: Signalized and Unsignalized Intersection Design and Research Aid	Sinyalli ve Sinyalsiz Kavşak Tasarım ve Araştırma Yardımı
SOV	: Single Occupant Vehicles	Geçiş Ücreti Ödeyen Tek Kişilik Araçlar
SWH	: Staggered Work Hours	Kademeli Çalışma Saatleri
S-PTSU	: Static Part-Time Shoulder Use	Statik Yarı Zamanlı Banket Kullanımı
T-Charge	: Toxicity Charge	Toksisite Ücreti – Zehirlleme Ücreti
TCP/IP	: Transmission Control Protocol / Internet Protocol	İletim Kontrol Protokolü / İnternet Protokolü
TEA	: Transportation Efficiency Act	Ulaşım Verimliliği Yasası
TENT-T	: Trans European Transport Network	Trans Avrupa Ulaşım Ağı
TDM	: Traffic Demand Management	Trafik Talep Yönetimi
TLs	: Truck Only Lanes	Sadece Kamyon Şeritleri
TRANSYT	: Traffic Network Study Tool	Trafik Ağı Çalışma Aracı

TRRL	: Transport and Road Research Laboratory	Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarı
TWSC	: Two-Way Stop-Controlled	İki Yönlü Dur Kontrollü
U.S. DOT	: United States Department of Transportation	ABD Ulaştırma Bakanlığı
ULEZ	: Ultra-Low Emission Zone	Ultra Düşük Emisyon Bölgesi
UTC	: Urban Traffic Control	Kentsel Trafik Kontrolü
UTMC	: Urban Traffic Management and Control	Kentsel Trafik Yönetimi ve Kontrolü
VANET	: Vehicular Ad Hoc Network	Araç Özel Ağı
VMS	: Variable Message Sign	Değişken Mesaj İşareti
VMT	: Vehicle Miles Traveled	Kat Edilen Araç Mili
VR	: Virtual Reality	Sanal Gerçeklik
V2I	: Vehicle-to-Infrastructure	Araçtan Altyapıya
V2P	: Vehicle-to-Pedestrian	Araçtan Yayaya
V2X	: Vehicle-to-Everything	Araçtan Her Şeye
V2V	: Vehicle to Vehicle	Araçtan Araca
VSL	: Variable Speed Limit	Değişken Hız Limiti
WSDOT	: Washington Department of Transportation	Washington Eyaleti Ulaştırma Bakanlığı
WSN	: Wireless Sensor Network	Kablosuz Sensör Ağları
ZEV	: Zero Emission Vehicle	Sıfır Emisyonlu Araç
ZEZ	: Zero Emission Zone	Sıfır Emisyonlu Bölge
4G/5G	: 4th Generation / 5th Generation	4.Nesil/ 5. Nesil

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun her geçen gün hızla artışı, şehirlerin büyümesi, teknolojinin gelişimi gibi durumların sosyal, ekonomik ve kültürel açıdan çevre ve insan odaklı çeşitli ihtiyaçlara yönelik olumlu ve olumsuz sonuçları bulunmaktadır. Bu durum; ulaştırma, enerji, gıda, sağlık, finans, tarım, otomotiv gibi birçok hizmet ve üretimle ilgili sektörü değişim, gelişim ve dönüşüme zorlarken, insan yaşamının ve çevrenin olumsuz etkilenmesine neden olacak birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu sorunların ulaştırma kaynaklı olanlarının negatif etkilerini azaltmayı ya da ortadan kaldırmayı hedefleyen çözümler için çalışmalar, sürdürülebilir bir dünya odağında yoğun bir şekilde devam etmektedir.

Ulaştırma sektörünün geliştirilmesi, verilen hizmetlerin etkin ve verimli olması, ulaşım emniyeti ve güvenliğinin iyileştirilmesi, ulaşım ağının sürekliliğinin sağlanması gibi faaliyetler; deprem, sel baskını, heyelan, çığ, yangın benzeri öngörülemeyen doğal afetler, kentsel nüfusun her geçen gün artması, araç sahipliği ve kullanımının daha çok tercih edilmesi, kentsel alanlarda meydana gelen trafik yoğunluğu gibi durumlardan pozitif ya da negatif açıdan etkilenebilmektedir. Negatif etkilerin bazıları ise park yeri ihtiyacı, can ve mal kaybına sebep olan kazalar, kentsel alanlarda trafik sıkışıklığı, seyahat süreleri ve maliyetleri, iklim ve çevresel olumsuz etkiler gibi durumlarda artış olması olarak sıralanabilmektedir.

Günümüzde giderek artan trafik ve onun yol açtığı sorunlar, psikolojiden sosyolojiye, hukuktan tıba, coğrafyadan çevreye, ekonomiden etik alana kadar çağdaş yaşamın merkezinde yer almaktadır. Trafik kazaları, neden olduğu sorunlar sebebiyle kimi zaman bir terör olarak bile nitelendirilmektedir (Alemdar, 2019).

Kısaca günümüzde “*akıllı trafik*” yönetiminin, insan ve madde ile ilgili kaynaklardaki kayıpları en aza indirebileceği öngörülmektedir. Geleneksel yöntemlerin çözümde yetersiz kaldığı iddiasında hareketle yeni yöntemler, birimler ve aktörlere gereksinim olduğu açıktır. Trafikte, bilişim teknolojilerine dayalı denetim olmadan can ve mal güvenliğini sağlamak zordur. Etkin denetim eksikliğinden kaynaklanan sorunlardan, bir toplumu oluşturan tüm unsurlar olumsuz etkilenebilmektedir (Mahmutoğlu & Çukurçayır, 2012).

Bir şehrin veya bölgenin trafik akışının etkin, emniyetli ve güvenli olmasını sağlamak için kullanılan politika ve tekniklerin bir bütünü oluşturarak trafik yönetimi kavramı, üzerinde çözümler geliştirme için yoğun çalışılan günümüzün önemli konularından biri haline gelmiştir. Kentler çoğunlukla; insanların ikamet etmek, çalışmak, alışveriş yapmak, eğlenmek, dinlenmek, seyahat etmek gibi birçok ihtiyacının karşılandığı sokaklar, caddeler, mahalleler gibi yerel

alanlardan oluşmaktadır. Bu alanlarda meydana gelmesi muhtemel trafik sıkışıklıkları ve bunların olumsuz etkilerini en aza indirmek için modern toplumlar trafik yönetim sistemlerine başvurmaktadır. Trafik yönetimi, yollar ve yolları kullananlarla ilgili amaçlara odaklansa da aynı zamanda şehirlerin dokusunu oluşturan yerel alanların kalitesini artırmak için de çözümler sağlamaktadır.

Trafiğin etkin yönetimi, mevcut karayolu ağından en iyi şekilde faydalanmak için bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Arazinin imara açılması, kullanıma sunulması ve geliştirilmesine ilişkin hükümet politikaları da çeşitli arazi kullanımlarının ortaya çıkardığı ve karayolu ağları tarafından taşınması gereken trafik miktarı ve türünün başlıca belirleyicileridir. Hükümetler, arazi kullanımı ve karayolu ağlarının daha sürdürülebilir bir şekilde etkin planlanması, geliştirilmesi ve yönetilmesinin önemini giderek daha fazla kabul etmektedir. Bu, durum, hükümetler ve bu alanda çalışan tüm paydaşlar tarafından sadece yol ağının farklı bölümlerinde gerekli veya arzu edilen trafik akış ilerlemesi koşullarının yanında aşağıdaki stratejik konuları da dikkate almayı gerektirmektedir:

- Arazi kullanım planlama stratejileri
- Kentsel tasarım gereklilikleri
- Verimli, emniyetli, güvenli, dayanıklı ve sürdürülebilir bir ulaşım ağı
- Enerji/yakıt tüketimi
- Park yeri ihtiyaçları
- Seyahat talep yönetimi
- Tüm yol kullanıcıları için etkin hareketlilik ve verimli erişilebilirlik
- Farklı kullanıcı grupları için adil erişim ve eşit ulaşım koşulları
- Ticaret, alışveriş, sanayi, yerleşim alanları ile eğlence, dinlenme, iş merkezleri gibi yaşamın sürekliliği için gerekli yerlere kolay erişim
- Yerleşim alanlarında huzur, mahremiyet, refah, dostluk, güvenlik gibi sosyal yaşam ve çevreyle ilgili sorunlar
- Kırsal yol ağı için çevresel biyo-çeşitlilik sorunları

Trafik yönetiminin geleceği genellikle teknolojiye meydana gelen gelişmeler ve insanların yaşam tarzında zamanın koşulları doğrultusunda ortaya çıkan değişimler ile birlikte şekillenmektedir. Bu doğrultuda ulaşım temelli birçok sorunun çözümü için ulaşım otoriteleri, yerel yönetimler, teknoloji geliştiriciler, araştırmacılar gibi farklı paydaşlar tarafından çeşitli teknikler geliştirilerek uygulamaya koyulmaya çalışılmaktadır.

Trafik yönetiminin; güvenli, emniyetli, güvenilir, verimli, etkili ve sürdürülebilir bir hareketliliği beraberinde getirmesi amaçları çerçevesinde iyi tasarlanması ve planlanabilmesi için doğru ve tutarlı bilgilerin bir araya getirildiği bir veri havuzuna ihtiyaç olduğu aşikardır. Trafik yönetim sistemi bileşenleri tarafından heterojen kaynaklardan bilgi toplanarak trafik verimliliğini bozma ihtimali olan durumları belirlemek için bu bilgilerden yararlanılır ve ardından bunları kontrol edecek hizmetler sunulabilir. Bu doğrultuda bu bilgilerin toplanması, işlenmesi, entegrasyonu, paylaşılması gibi konular bir dizi standart ve kuralları ihtiyaç haline getirmektedir. Kurum ve kuruluşların veri paylaşımında içe dönük (muhafazakâr) yaklaşım sergileme ihtimali önemli bir risk ve kendi içinde aşılması gereklilik içeren zorluklar barındırmaktadır. Bu doğrultuda verinin toplanabilmesi ve paylaşımına ilişkin bu zorluğun aşılmasında yasal mevzuat bir ihtiyaç olabilmektedir. Bunun yanında veri paylaşımı ve entegrasyonu için belirli standartların oluşturulması, bu noktadaki zorlukların çözümünde atılması gerekli olabilecek bir adım olabilmektedir.

Türkiye’de de trafik yönetimini iyileştirmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar, akıllı ulaşım sistemlerinin (AUS) geliştirilmesi, yol tasarımının iyileştirilmesi, trafik işaretlerinin ve trafik sinyallerinin optimizasyonu, trafik polisinin etkinliğinin artırılması, toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi, yaya ve bisiklet yollarının iyileştirilmesi, sürüş eğitiminin iyileştirilmesi ve trafik bilincinin artırılması gibi konuları içermektedir.

Bu çalışma, bugüne kadar Türkiye’de trafik yönetim tekniklerinin incelenmesi özelinde yapılmış diğer çalışmalardan farklı olarak trafik yönetimi, trafik yönetimi teknikleri, trafik yönetiminin gelişiminde AUS’un etkisi hususlarını kapsamlı bir şekilde ele alan ilk çalışmalardan biri olma özelliği taşımaktadır. Trafikğin düzgün akışına katkıda bulunan operasyonel, teknik, idari ve mühendislik önlemlerini içeren trafik yönetimi kavramının genel yapısını dikkate alan bu çalışmanın, önceki çalışmalardan en temel farkı aşağıdaki konuları bir bütün olarak ele alan ve inceleyen ilk çalışmalar arasında olmasıdır:

- Trafik yönetimi ve tekniklerinin literatür, teknik raporlar, ülke uygulamalarından ve bu konuya yönelik faaliyet gösteren özel sektör çalışmalarından edinilen bilgiler dahil kaynak taraması doğrultusunda inceleme yapılmış olması,
- Trafik yönetiminin gelişiminde AUS etkilerinin ayrıntılı incelemesine yer verilmesi,
- Akıllı ulaşımın, trafik yönetiminin geleceğine etkilerinin araştırılması, Türkiye için ulusal AUS mimarisinin uygulamaya alınması, standartlar ve rehberlik ile ilgili yaklaşımlar sunulması,

- Yolcu ve yük taşımacılığı, kent içi ulaşım çözümleri gibi alanlarda uygulanacak AUS çözümlerinin trafik yönetimine etkisinin incelenmesi,
- AUS yasal altyapısının tüm paydaşları içine alacak şekilde politika, strateji, mevzuat dokümanları ile güçlendirilmesinin trafik yönetimi dahil ulaşım sektörüne temel etkilerinin incelenmesi ve Türkiye için değerlendirmeler yapılması,
- Sıkışıklık ücretlendirme, yüksek doluluklu şerit, düşük emisyon bölgesi, esnek çalışma saatleri, emniyet şeridinin boş olduğunda trafiğe dahil edilmesi, yön değiştirebilen şerit sistemleri ve acil durum araç önceliği gibi trafik talep yönetimi uygulamalarının incelenmesi,
- Kentsel trafik kontrol stratejileri geliştirme, kent içi ulaşım ağlarında değiştirilebilir yönlendirilmiş trafik şeridi analizi, trafik ölçümü ve kontrolü için yeni yöntemler, uyarlanabilir (dinamik) hız kontrolü gibi çözümlerin trafik yönetimindeki yerinin araştırılması,
- Trafik yönetimi ve AUS çözümleri kapsamında Türkiye için gelecek projeksiyonu önerisi konularına yer verilmesi
- AUS'un yeni dönem ulusal strateji belgesi ve eylem planına temel olacak stratejik amaç, hedef ve eylemler ile kısa, orta ve uzun dönem hedefleri belirleme kapsamındaki içeriğe sahip olması.

Kentsel karayolu ulaşım yönetimi planlamasında karar verme kalitesinin artırılması, yol iyileştirme ihtiyaçlarının belirlenmesi ve eğitim gibi faaliyetler kapsamında, trafikle ilgili kurum ve kuruluşlar ile yerel yönetimlerin bu çalışmadan istifade edebilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca trafik yönetimi uygulamalarını inceleyen bir referansın Türkiye için temel çerçevesini ortaya koymayı amaçlaması ve Türkiye için Karayolu Kapasite El Kitabının oluşturulmasında ilk aşama olması ile de diğer benzerlerinden ayırmaktadır.

Türkiye kent içi ve kentler arası yol ağında trafik yönetimi ile ilgili faaliyetlerde iyileşme sağlamak için öneriler sunmayı amaçlayan bu tez çalışmasının geri kalan bölümü şu şekilde organize edilmiştir: İlk olarak ikinci bölümde trafik yönetimi, üçüncü bölümde trafik yönetimi ve AUS ilişkisi, dördüncü bölümde trafik yönetimi ve AUS uygulama önerileri ile beşinci ve son bölümde sonuç ve değerlendirmelere yer verilmiştir. Bu çalışmanın ulaşım otoriteleri, yerel yönetimler ve ulaşım ile trafik alanında faaliyet gösteren özel sektör kuruluşlarına rehberlik ederek yeni dönem ulusal AUS strateji belgesi ve eylem planının hazırlanmasına katkı sunması açısından ve literatüre sağlayacağı faydalar bakımından ilklerden olması hedeflenmektedir.

1.1 PROBLEMİN TANIMI

Trafik yönetiminin etkin bir şekilde nasıl sağlanacağı konusu günümüzün küresel anlamda en önemli sorunlarından biridir ve trafik yönetimi teknikleri ise bu sorunları çözmek için sürekli olarak gelişen, değişen ve dönüşen yaşayan bir fonksiyon haline gelmiştir. Tez çalışmasında trafik yönetimi, AUS ile ilişkisi ve AUS uygulama önerileri literatür çalışmaları ve dünyadaki iyi uygulamalar dikkate alınarak sistematik bir biçimde incelenmiştir. Bu doğrultuda, aşağıdaki temel konular trafik mühendisliği yaklaşımıyla ele alınarak sorulara cevap ve sorunlara çözüm bulunmaya çalışılmıştır:

- Trafik yönetimindeki ilerlemelerin kentleri, bireyleri, çevreyi ve ekonomiyi nasıl etkileyeceği
- Şehirlerdeki başlıca trafik sorunları ile mevcut yol ve trafik durumu algısının nasıl olduğu
- Trafik sorunlarını hafifletmek için kullanılan trafik talep yönetimi önlemleri ve alternatif yöntemlerin neler olduğu
- Trafik yönetimini engelleyen başlıca zorluk ve çözüm önerileri neler olacağı
- Kentsel hareketlilik politikaları ve stratejileri
- Yenilikçi trafik ölçüm, kontrol ve yönetim yaklaşımları
- Etkin bir trafik yönetiminde verinin önemi ve Türkiye'nin bu konu özelindeki mevcut durumunun ortaya koyulması
- Veri kültürünün oluşmasının trafik yönetiminde bir paradigma değişimi oluşturup oluşturmayacağını araştırılması
- Verinin toplanması, analizi, paylaşılması gibi hususlarda standartların olmamasının sonuçlarının neler olabileceği
- AUS gibi yenilikçi yaklaşımların trafik yönetimine katkıları ve uygulanmasında karşılaşılabilecek muhtemel engellerin neler olabileceği
- Türkiye'nin mevcut trafik yönetimindeki yaklaşımının temel eksiklikleri ve darboğazlarının neler olabileceği

Çalışmanın özel hedefleri ise aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Mevcut trafik yönetimi yöntem, tedbir ve tekniklerini değerlendirmek
- Trafiğin etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesini engelleyen faktörleri tespit etmek
- Yenilikçi trafik yönetimi yaklaşımlarının AUS ile kesiştiği yönleri ortaya koymak
- Türkiye'nin trafik yönetimi ve AUS çerçevesinde mevcut durumunu özetleyerek uzun vadeli hedefleri belirlemektir.

Bu doğrultuda; trafik ölçüm ve kontrol yöntemleri, trafik talep yönetimi, yenilikçi yaklaşımlar ve AUS'tan oluşan üç temel başlık altında aşağıdaki problemler tespit edilmiştir:

- Türkiye için trafik yönetimi hususlarını ele alan temel bir çerçeve yani referans ihtiyacı
- Kent içi ve kentler arası trafik yönetiminde etkili çözümlerin tespitinde yaşanan karmaşa
- Kent içi ve kentler arası ulaşım ve trafik yönetiminin iyileşmesi çerçevesinde talep yönetimi uygulamalarının kullanımına ilişkin tereddütlere açıklık getirme ihtiyacı
- Talep yönetimi uygulamalarının tümünü derleyip etkilerini değerlendiren bir yol haritasının bulunmaması
- Yenilikçi trafik ve ulaşım çözümleri ve AUS uygulamalarının hayata geçirilmesinde yaşanan zorluklar
- Avrupa'da Uyumlaştırılmış AUS Temel Hizmet Kurulumu için Referans El Kitabı (EUEIP, 2021) ve Karayolu Kapasite El Kitabı (Transportation Research Board, 2022) benzeri kılavuzlara olan ihtiyaç
- Ulusal AUS mimarisinin ve standartlarının henüz resmi olarak yayınlanmaması
- Mevzuat ve stratejilerdeki boşluklara açıklık getirme ihtiyacı

Yukarıda temel konulara cevap bulabilmek ve özel hedeflere ulaşabilmek için bir kılavuz ya da referansın ihtiyaç olduğu değerlendirilmektedir. Türkiye için trafik yönetimi hususlarını ele alan bir referansın temel çerçevesinin ortaya koyulması bir ihtiyaç olarak görülmektedir. Bu çalışmanın, bu ihtiyacın çözümü için ilk adımlardan biri olma niteliği taşıması istenmiştir.

Karayolu trafik sorunlarının azaltılmasında kullanılan yöntemlerin uygulanması ve yürütülmesi sürecinde karşılaşılan zorlukları inceleyen, trafik yönetimi tekniklerini bir bütün olarak ele alan ve trafik yönetiminin gelişimine AUS'un etkilerini kapsamlı olarak inceleyen bir kılavuz ihtiyacına çözüm olarak ortaya koyulan ilk çalışmalar arasında yer almaktadır.

1.2 AMAÇ

Son yıllarda iklim değişikliği ile ilgili çalışmaların yoğunlaşması, çevre kirliliğinin her türüsüne sebep olan faktörlerin etkilerini azaltma çalışmaları, enerjinin verimli kullanımı kapsamındaki faaliyetler, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin taleplerin artması gibi sürdürülebilir dünya için olan yaklaşımlar, tüm sektörleri çözüm arayışına sevk etmiştir. Trafik yönetimi ve bu kapsamda kullanılan tekniklerin etkin bir şekilde tasarlanması ve uygulanması ile tüm yol kullanıcılarının, çevre ve ulaşım faaliyetlerinden maksimum fayda elde edilebilmesi ve olumsuzlukların önlenmesi mümkün olabilmektedir. Dolayısıyla trafik yönetimi

teknikleri, günümüzde giderek daha önemli hale gelmektedir. Trafik yönetimi ve tekniklerinin gelişimi ve geleceğinde ise; temelini bilişim teknolojileri ve yenilikçi yaklaşımların oluşturduğu AUS önemli bir faktördür. AUS, trafik yönetimini optimize etmek amacıyla trafik akışını ölçen sensörleri ve bunlardan toplanan verileri işleyip analiz eden yöntemleri kullanırken trafik yönetim merkezleri ve diğer sistemler arasında haberleşmeyi sağlayan teknolojilerden de faydalanabilmektedir.

Ayrıca, küresel ısınmayı 2°C - $1,5^{\circ}\text{C}$ 'nin altında tutabilmek maksadıyla ülkelerin ortak çabalarını koordine etmeyi amaçlayan Paris İklim Anlaşması, Türkiye tarafından 22 Nisan 2016 tarihinde imzalanmıştır. Ülke genelinde etkin bir trafik yönetimi ve uygun tekniklerin kullanılması, bu doğrultuda bir stratejinin belirlenmiş olması ise Türkiye'nin Paris Anlaşması'ndaki taahhütlerini yerine getirmesinde önemli bir rol oynayacaktır. Trafik yönetiminin fırsatları kullanılarak Türkiye'de ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonları ve dolayısıyla iklim değişikliğinin olumsuz etkileri azaltılabilecektir.

Bu çalışmanın amacı trafik sıkışıklığını ve yoğunluğunu azaltmak, kazaları önlemek, çevresel olumsuz etkileri ortadan kaldırmak, tüm yol kullanıcılarının emniyetini sağlamak, seyahatleri daha rahat ve keyifli hale getirmek, ekonomik büyümeyi desteklemek gibi temel faydalara ulaşmak amacıyla trafik yönetimi tekniklerini bütünsel bir bakış açısıyla incelemektir. Aynı zamanda akıllı ulaşım bağlamında trafik yönetimindeki paradigma değişimine ilişkin bir araştırma yapmak ve trafik yönetiminin AUS ile ilişkisine odaklanmaktır. Ayrıca iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak ve Türkiye'yi daha yaşanabilir bir ülke haline getirmek için trafik yönetimi fırsatlarını ortaya koymaktır. Türkiye'de trafik yönetimi ve AUS uygulamaları için bir çerçeve oluşturması planlanan bu çalışma ile trafik sorunlarının coğrafya, demografi ve ekonomi gibi farklı parametrelere göre ele alınarak birlikte çalışabilen, entegre ve etkin çözümlerin artması için öneriler sunulması planlanmıştır.

İlave olarak bu tez çalışmasının, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından ilki 1950'li yıllarda yayınlanan (Committee on Highway Capacity, 1950) ve yıllar içerisinde çeşitli versiyonları ile geliştirilerek yedinci versiyon ile yürürlükte olan Karayolu Kapasite El Kitabı (HCM-Highway Capacity Manual) (Transportation Research Board, 2000, 2010, 2022) benzeri bir çalışmanın Türkiye için yapılmasında ilk aşama olması hedeflenmiştir. Çalışmanın temel amacı, özellikle karayolu trafik sorunlarını azaltma çabalarında, uygulama ve yürütme sürecinde karşılaşılan zorluklara atıfta bulunarak trafik yönetimi uygulamalarını inceleyen bir referansın Türkiye için temel çerçevesini ortaya koymaktır.

1.3 METOT

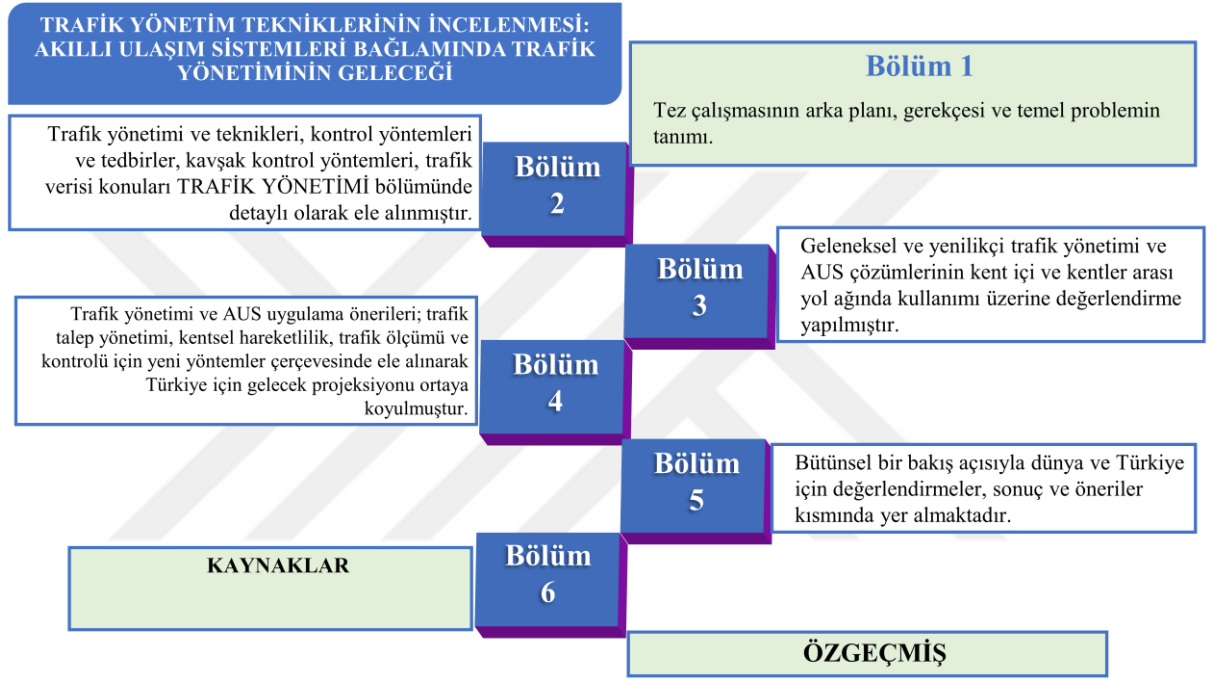
Bu çalışma kapsamında trafik yönetimi hakkında mevcut literatür incelenerek trafik yönetimi teknikleri ve bunların gelecekteki potansiyellerine yönelik araştırma yapılmıştır. Literatürün yanında politika dokümanları, strateji dokümanları, mevzuat, kılavuzlar ve farklı sektörel raporlar gibi yol gösterici belgeler taranmıştır. Ayrıca trafik yönetimi tekniklerinin etkileri çerçevesinde, çeşitli trafik modelleme yöntemlerine ilişkin iyi uygulama örnekleri incelenmiştir. Trafik talep yönetimi teknikleri ve bunların gelecekteki potansiyelleri hakkında da literatür taraması ve iyi örnek ülke uygulamaları araştırılmıştır. Ayrıca trafik yönetimi tekniklerinin etkileri ortaya koyulmaya çalışılarak AUS ile trafik yönetiminin geleceğine yönelik çıkarımlar yapılmıştır.

1.4 ÇALIŞMANIN ÖNEMİ

Bu çalışma benzerlerinden farklı olarak trafik yönetimi tekniklerini bir bütün olarak ele alan, trafik yönetiminin gelişimine AUS'un etkilerini kapsamlı olarak inceleyen ilk çalışmalar arasındadır. Bu alandaki tez çalışmalarının, genellikle gerçek zamanlı, çoklu etmen tabanlı, kavşaklar ve kent içi gibi alan bazlı, kazı çalışması gibi olay temelli, bluetooth ve dronlar gibi teknolojileri içeren trafik yönetimi uygulamalarına yöneldiği görülmektedir. Diğer taraftan literatürdeki birçok çalışma da belirli bir konuyu odağına almaktadır. Bu bakış açısıyla bu çalışma, konuyu bütünsel olarak ele alan ilk çalışmalardan biri olarak görülebilir. Trafik yönetimindeki başarı, ulaşım ağının verimliliğini, bir şehrin ekonomik rekabet gücünü ve toplumların yaşam kalitesini doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla bu araştırmanın amacı, karayolu trafik yönetimi ile ilgili kurumlar ve belediye yetkilileri için trafik yönetimi operasyonlarındaki mevcut uygulamaların güncel ve kapsamlı bir incelemesini ortaya koymaktır. Bunların yanında, HCM benzeri bir çalışmanın Türkiye için oluşturulmasında ilk aşama olması ile trafik yönetimi uygulamalarını inceleyen bir referansın Türkiye için temel çerçevesini ortaya koymayı hedefleyen ilk çalışmalardan olması, çalışmayı diğer benzerlerinden ayırmaktadır. Aynı zamanda tez sürecinde elde edilen bulgular yeni dönem ulusal AUS strateji belgesi ve eylem planının hazırlanmasına destek olmuştur.

Bu çalışma altı bölümden oluşmakta olup birinci bölümde çalışmanın arka planı, problem tanımı, çalışmanın amacı, önemi, kapsamı ve sınırlılıkları yer verilmektedir. İkinci bölümde, trafik yönetimi ve teknikleri, kontrol yöntemleri ve tedbirler, kavşak kontrol yöntemleri, trafik verisi konuları ile ilgili kitaplar, yayınlar ve diğer ilgili akademik çalışmalar incelenerek literatür

taraması yapılmak suretiyle detaylı olarak ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, geleneksel ve yenilikçi trafik yönetimi ile AUS çözümlerinin kent içi ve kentler arası yol ağında kullanımı üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise trafik yönetimi ve AUS uygulama önerileri; trafik talep yönetimi, kentsel hareketlilik, trafik ölçümü ve kontrolü için yeni yöntemler çerçevesinde ele alınarak Türkiye için gelecek projeksiyonu ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Sonuç ve önerilere beşinci bölümde yer verilmiş olup bu bölümü kaynakça listesi altıncı bölüm olarak takip etmektedir. Şekil 1-1’de tezin içerik akış diyagramına yer verilmektedir.



Şekil 1-1: Tez içerik akış diyagramı

2. TRAFİK YÖNETİMİ

Hızlı kentleşme, dünya nüfusu ve bireysel araç sahipliği artışı gibi nedenlerden kaynaklanan hem trafik akışını hem de çevreyi etkileyen birçok zorluk ve olumsuz etkinin ortaya çıkardığı üç temel trafik sorunu; trafik sıkışıklığı, kirlilik ve kazalar (Yılma, 2014) olarak özetlenebilmektedir. Trafik yönetimi; çoğunlukla karayolu trafiği ile ilgili bu sorunları ele alan farklı uygulamalardan oluşmaktadır (Ankeli, 2018) ve öncelikli öneme sahip bölgesel sorunların gerektirdiği belirli hedefler doğrultusunda, mevcut karayolu ağını optimize etme yöntemleridir (Adebisi, 2004).

Yol ağında meydana gelmesi muhtemel emniyet, güvenlik, sıkışıklık, kirlilik gibi ulaşım kaynaklı zorluk ve sorunların çözümünde trafik yönetiminin etkili olduğu gözlemlenmektedir. Trafik sıkışıklığı zorlukları için ise arz ve talep yönlü yönetim önlemlerini içeren yöntemler kullanılmaktadır (Muslih vd., 2023). Arz yönlü yönetim toplu taşıma ve trafik operasyonun iyileştirilmesi ile hareketlilik yönetimini kapsarken talep yönlü yönetim ise ekonomik, mevzuat ve yasal düzenlemelerle ilgili önlemleri ve arazi kullanımı politikalarını içermektedir (Yılma, 2014).

Ulusal ve uluslararası literatür trafik yönetimi kavramı çerçevesinde incelendiğinde, sosyal yapı, siyasal çevre, kültürel doku, teknolojik gelişmeler, kurumsal altyapı, eğitim ihtiyacı, ekonomik denge, kaynakların etkin kullanımı ve çevresel sürdürülebilirlik gibi çok farklı çeşitlilikte geniş yelpazeli konu başlıkları ve içerikleriyle ele alındığı görülmektedir. Karayolları, otoyollar, kent içi ulaşım, yolcu ve yük taşımacılığı, yaya ve motorsuz taşıt olanakları için konseptler, veri gereklilikleri ve öngörülen değerlerin ortaya koyulduğu; HCM (Transportation Research Board, 2000, 2010, 2022), Trafik Kontrol Sistemleri El Kitabı (U. S. Federal Highway Administration, 2005) ve Trafik Modelleme Kılavuzu Sürüm 4.0 (Transport for London, 2021) gibi kılavuzlar ile Avusturalya tarafından hazırlanarak çevrim içi kullanıma sunulmuş olan Trafik Yönetimi Kılavuzu Bölüm 1: Trafik Yönetimi Kılavuzuna Giriş (Austroads, 2020a), Trafik Yönetimi Kılavuzu Bölüm 2: Trafik Teorisi Kavramları (Austroads, 2020b), Trafik Yönetimi Kılavuzu Bölüm 3: Ulaşım Çalışmaları ve Analiz Yöntemleri (Austroads, 2020c), Trafik Yönetimi Kılavuzu Bölüm 4: Ağ Yönetimi Stratejileri (Austroads, 2020d), Trafik Yönetimi Kılavuzu Bölüm 6: Kavşaklar, Köprülü Kavşaklar ve Geçitlerin Yönetimi (Austroads, 2020e), Trafik Yönetimi Kılavuzu Bölüm 9: Ulaşım Kontrol Sistemleri - Stratejiler ve Operasyonlar (Austroads, 2020f) gibi kaynaklar, trafik yönetimini derinlemesine incelemekte ve tavsiyeler içermektedir. Bu kaynaklar, sektörün kurallarını ve disiplinlerini ortaya koyarken araştırmacılar, ulusal yol

otoriteleri, sektör çalışanları ve yol kullanıcıları dahil birçok ilgili paydaş için yol gösterici ve kolaylaştırıcı bir motivasyon sağlamaktadır.

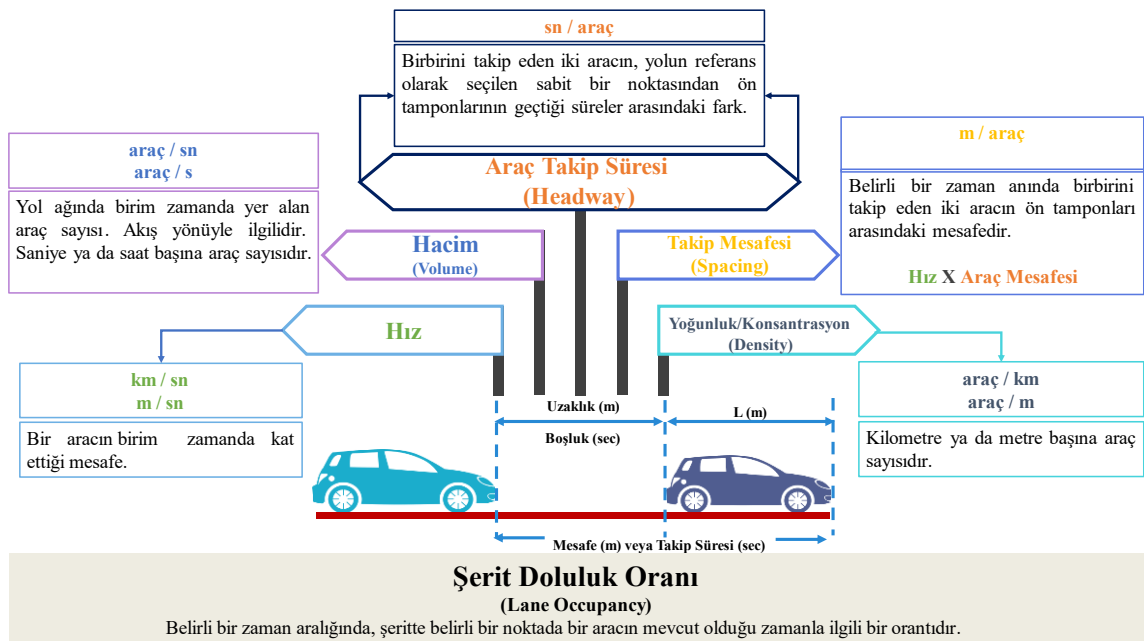
Bu bölümde trafik yönetiminin kavramsal çerçevesi ve trafik yönetiminin temel unsurları, trafik kontrol yöntemleri, sinyalizasyon kavşakları, trafik yönetimi için veri toplama konuları ile ilgili trafik yönetimi temelinde genel bir değerlendirme, literatür ile kamu ve özel sektör tarafından ortaya koyulan raporlar ve uygulamalar gibi farklı çalışmaların bir incelemesi yer almaktadır. İlave olarak trafik kontrol sistemleri ve yöntemleri hakkında özet bir inceleme sunulmaktadır. Bu inceleme, konunun çok geniş çerçevesinin olması nedeniyle hiçbir şekilde bu alandaki araştırma ve uygulamaları eksiksiz olarak sunmayı amaçlamamaktadır. Bu kısımda trafik modelleme ve algoritmalarındaki ilerlemeler incelenerek çıkarımlar yapılmış olup önümüzdeki 10 yıllık dönemde Türkiye için de AUS bileşenleri, sinyalizasyon sistemleri, Değişken Mesaj İşaretleri (DMI), Değişken Trafik İşaretleri (DTİ) gibi ekipmanların kurulum ve işletilmesine yönelik kriterlerin belirlenmesinin önemli bir ihtiyaç olduğu gözlenmiştir.

2.1 TRAFİK YÖNETİMİ VE TEKNİKLERİ

İnsanlık tarihinin başlangıcından itibaren ulaşım, tüm yaşam döngüsü boyunca bireylerin ihtiyaçlarını karşılamak için önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmıştır (Bilgiç, 2022). Sosyal, ekonomik, demografik ve benzeri açılardan hızla farklılaşan dünyada, teknolojik gelişmelere paralel olarak değişim, dönüşüm ve yenilenmeye ihtiyaç duyan alanlardan biri ulaşım ve ulaştırma sektörüdür. Ulaşım; yolcu, yük ve hizmetlerin yer değiştirmesine ilişkin organizasyon faaliyetlerini içerirken, ulaştırma kavramı bu faaliyetlerin gerçekleşmesini sağlayan mekanizmalar ve araçların tamamını kapsamaktadır (Talih & Çelikok, 2023). İktisadi bir faaliyet alanı olan ulaştırma sistemleri kavramsal olarak tüm ulaştırma modları ile haberleşme ve iletişim teknolojilerinin, toplumsal yaşamı etkileyen sağlık, çevre, eğitim ve istihdam gibi ihtiyaçlara göre tesis edilmesi, düzenlenmesi, iyileştirilmesi ve işletilmesine yönelik hizmetleri ifade etmektedir (Saatcioğlu, 2016). Yer değiştirme eylemini yorumlayan farklı bir yolu olan hareketlilik kavramı ise ulaştırma çalışmaları için geleneksel sınırları genişleterek daha nitelikli, uygulanabilir ve iyi tasarlanmış yolculukları ifade eden, bir çalışma evrenini tanımlamaktadır (Gutiérrez, 2020). Hareketlilik kavramı, ekonomik faaliyetler ve sosyal refah üzerindeki etkisi sebebiyle pek çok ülke insanı için önemli bir değer olmaktadır. İnsanlar; rahat, özgür, güvenli, emniyetli, hızlı ve makul bir maliyetle seyahat edebilmeleri için hareketliliği yaşamlarının önemli bir unsuru olarak görmektedir. Dolayısıyla hareketliliğin erişilebilir olması ve kısıtlanmaması gerektiği genel kabul

görmüş bir yaklaşımdır (Boltze & Anh Tuan, 2016). Bu noktadan bakıldığında ulaşım yer değiştirme eylemini, yani hareketi sağlayan araçlara odaklanmaktadır. Ulaştırma faaliyetleri ise kara, hava, demir ve deniz yolları özelinde kullanılan araçlarla sağlanmakta olup her bir ulaşım türünün farklı işlevsel nitelikleri bulunmaktadır. Bu ulaşım türlerinin unsurları arasında yer alan otomobil, otobüs, tren, uçak, gemi gibi araçlar, altyapı üzerinde bir trafik oluşturmaktadır.

Trafik terimi, genellikle araçların karayolundaki seyirleriyle yakından ilişkilendirilmiştir. Aynı zamanda yük ve yolcu taşımacılığı, mikro hareketlilik, raylı sistem ve bireysel özel araç kullanımı gibi farklı yolculuk yaklaşımları ile yolların yol koridoruna dahil olduğu seyahat durumu da trafik olarak ifade edilmektedir. Bu çerçevede trafik akışının temel tanımlayıcılarını hacim, yoğunluk, hız, sefer sıklığı, uzaklık ve şerit doluluğu kavramları oluşturmaktadır (Austroads, 2020b). Trafik akışı ya da hacmi, bir alan ya da bölgeden belirlenen süreler içerisinde geçen motorlu-motorsuz araçlar ile yayalar gibi hareketliliği etkileyen tüm faktörlerin sayısı olarak ifade edilmektedir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2023). Bir trafik akışını tanımlamak için kullanılan temel parametreler, Şekil 2-1’de görüleceği üzere hacim, hız, araçlar arası mesafe ve araçlar arası ilerleme süresinden meydana gelmektedir. Burada şerit doluluk oranı, temel trafik akış parametreleri arasında olmasa da trafik yönetimi için önemli bir değişkendir (Austroads, 2020a). Bunların dışında pik saat faktörü, ilk aracın arka tamponu ile ikinci aracın ön tamponu arasındaki zaman farkı boşluk (gap) ve mesafe farkı ise uzaklık (clearance) parametreleri olarak trafik akışında yerini alan unsurlar arasındadır (Oregon State University, 2023).



Şekil 2-1: Trafik akışının temel parametreleri

Toplumun hareketlilik ihtiyacının etkin, verimli, emniyetli ve herkesi kapsayacak şekilde karayolları, caddeler, sokaklar, yürüyüş yolları gibi alanlarda sunulabilmesi için ulaşım, araçlar, yolcular ve seyahatlerle ilgili tüm bileşenleri içeren trafik sisteminin, titizlikle yönetilmesi gerekmektedir (CTCN, 2023). Bu doğrultuda trafik, muhtemel yönetim, donanım ve yazılım gibi ihtiyaçların güçlü bir merkezi kurum ve ileri bir trafik yönetimi anlayışı ile ele alınması gereken bir kavram olup bu kavram, modern bir ulaşım politikası, en ücra bölgeye kadar hiyerarşik bir denetim sistemi organizasyonu, verilerin tam olarak toplanması ve değerlendirilmesi, çevreye olan zararlı etkilerin azaltılması gibi faaliyetlere yönelik çeşitli tedbirleri içermektedir (Akbaş, 2001).

Yol ağı üzerindeki tüm trafiğin; ulaşım sistemlerinden kaynaklanan farklı sorunlardan etkilenmesini önlemek amacıyla yönlendirme ve kontrole dayalı olarak tasarlanan sistemli ve süreklilik arz eden çabaların tamamı (Asiyanbola vd., 2012), mevcut yol ağını iyi bir şekilde planlayarak geliştirmek için oluşturulmuş eylem paketi ya da faaliyetler bütünü (Adebisi, 2004), mevcut bir yol sisteminin kullanımına ilişkin belirlenmiş hedefleri sağlamaya yönelik olarak yeni bir yol inşaatına ihtiyaç olmadan dizaynı ya da uyarlanması süreci (Newman & Kenworthy, 1999) trafik yönetimi olarak tanımlanabilmektedir. Mevcut altyapının verimliliğini ve trafik sisteminin performansını artırmak için alternatif bir çözüm olarak kullanılan trafik yönetimi ve kontrol yaklaşımları tarafından (Baskar, 2009), trafik mühendisliği yöntemlerinden ve yönetsel tekniklerden önemli ölçüde faydalanılmaktadır. Yeni yol inşaatında harcanacak zaman ve maliyetler gibi etkiler göz önünde bulundurulduğunda, doğru planlanmış bir trafik yönetimi sayesinde yol ağının kapasite ve verimliliği artarken ekonomik ve sosyal açıdan olumlu farklı sonuçların ortaya çıkması da söz konusu olmaktadır.

Trafik yönetimi; yayalar, bisikletliler ve her türlü araç dahil olmak üzere hem durağan, yavaş ve yoğun akan trafik üzerinde organizasyon, düzenlenme, yönlendirilme ve denetim faaliyetlerinin tamamını içermektedir. Ulusal, bölgesel veya yerel yönetimler tarafından belirlenen hedeflere ulaşmak amacıyla tanımlanmış bir politika çerçevesinde, bir yol güzergahı boyunca veya bir bölgeye özel olarak tanımlanan trafik kontrol uygulamalarının hayata geçirilmesi faaliyetlerini kapsamaktadır (Austroads, 2020a). Ayrıca, trafik talebi ve arzının (kapasitesini) zaman ve mekân içinde en optimum şekilde dengede olmasını sağlamayı amaçlayan tedbirleri uygulamayı ele alan yaklaşımlar trafik yönetimi olarak değerlendirilebilmekte (Boltze & Anh Tuan, 2016; Newman & Kenworthy, 1999; TrafficQuest, 2012) olup bu yaklaşımlar, trafik koşullarının iyileştirilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması için arz ve talep yönlü idari ve teknik önlemleri içermektedir (ESMAP, 2004).

Tipik trafik yönetimi tedbirleri arasında katılım kontrolü ya da katılım yönetimi (RM-Ramp Metering), dinamik hız sınırları, pik saat şeritleri (sabit banket çalışması) ve karayolunun üzerindeki değişken mesaj işaretleri veya diğer kanallar aracılığıyla görüntülenen seyahat bilgileri yer almaktadır. Bu tedbirler öncelikle güvenilirlik, erişilebilirlik, hareketlilik unsurlarını artırmayı amaçlarken yol emniyeti ve güvenliğini iyileştirerek can ve mal kayıplarını önlemek için de kullanılmaktadır (TrafficQuest, 2012). Doğru bir trafik yönetimi planlaması aşağıdaki temel faydaları sunabilmektedir (Austroads, 2020a; CTCN, 2023):

- Trafiğin sorunsuz ve verimli bir şekilde ilerlemesi,
- Ulaşımın farklı modları kapsamında adil erişim sağlayarak daha sürdürülebilir ulaşım türlerinin desteklenmesi,
- Yollar, cadde ve sokakların tüm yol kullanıcıları için daha emniyetli hale getirilmesi,
- Farklı bölgeler arasındaki geçişlerde, motorlu trafiğin yoğun olduğu yolların, hareketliliğe engel teşkil edecek bariyerler oluşturmaması,
- Trafik sıkışıklığı, bölgesel çevre kirliliği ve gürültünün en aza indirilmesi,
- Mahallelerin, yayalara ayrılmış alanların ve yerleşim yerlerinin genel yapısının yoğun trafiğin olumsuz etkilerinden korunarak sera gazı emisyonlarının azaltılması,
- Hareketlilik, emniyet, güvenlik ve erişilebilirlik oranlarındaki artışın tüm yol kullanıcılarını kapsamı,
- Karayolu odağındaki araçlardan ziyade bireylerin hareketliliğine öncelik verecek şekilde toplu taşımanın iyileştirilmesi,
- Yol kullanıcıları için gerçek zamanlı bilgilerin sağlanması,
- Park yeri sorunlarının iyileştirilmesi.

Trafik yönetimi vasıtasıyla hareketlilik faaliyetlerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi, ulaşımın hem çevre hem de toplum üzerindeki olumlu etkilerinin artırılması ile bu alanı ilgilendiren birçok farklı sektörün sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sunulması amaçlanmaktadır.

Takip edilen trafik akışının unsurlarını genellikle ulaşım talebinin özellikleri, yol kullanıcılarının davranışlarının nitelikleri, araçların performansı, yol ve hava koşulları gibi durumlar oluşturmaktadır. Bu temel unsurların farkında olmak, trafik akışının niteliklerini kavrayabilmek, trafik koşullarını ölçmek ve analiz etmek, trafik akışını yönlendirmek ve denetlemek gibi amaçlar doğrultusunda uygun tekniklerin belirlenmesi ve uygulamaya koyulması uzmanlık gerektirmektedir. Trafik koşullarının izlenmesi, analizi ve idare edilmesine yönelik faaliyetler, trafik yönetiminin temelini oluşturmaktadır (Austroads, 2020a).

Trafiğin etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi için birçok akademisyen tarafından üzerinde durulan konular arasında eğitim, uygulama ve mühendislik teknikleri ve tedbirleri gelmektedir (Yılma, 2014). Eğitim, yol kullanıcılarının belirlenen kurallar ya da ortaya çıkan hizmetlere adaptasyonunda etkili olabilirken aynı zamanda bireylerin farkındalığının oluşmasına da yardımcı bir rol üstlenebilir. Trafik kurallarının uygulanması ise çeşitli caydırıcı önlemler ile mevzuat düzenlemelerini içerebilir. Mühendislik önlemleri ise genel olarak altyapı ve üstyapı bileşenlerinin bakımı, onarımı, kurulumu ve yeniden yapımı gibi konularla ilgili olabilmektedir.

2.2 KONTROL YÖNTEMLERİ VE TEDBİRLER

Trafiğin kontrolüne ilişkin çözüm arayışları, trafik sıkışıklığı sorunları ile baş etmek üzere, Roma dönemine kadar dayanmaktadır. Şehir planlarında yolların genellikle tüm bölgelerden gelen trafiği, merkezdeki bir kavşak noktasında toplayacak şekilde tasarlanmış olması, trafik sıkışıklığı ve diğer ulaşım sorunlarının temel sebeplerinden biri olmuştur. Bu doğrultuda bilinen en eski trafik kontrol yöntemleri, şehir yaşamının bir parçası olarak (Falcocchio & Levinson, 2015), Roma’da, M.Ö.1. yüzyılda gündüzleri tekerlekli araç trafiğinin yasaklanması ve MS 1. yüzyılın sonlarında, şehre giren toplam araç sayısına kısıtlama getirilmesidir. Kalabalık ve yoğun İtalyan şehirlerinde akut olan kentsel trafik sorunları için 1500’lü yıllarda Leonardo da Vinci, farklı seviyelerde güzergahlar oluşturarak tekerlekli araçlar ile yayaların oluşturduğu trafiği birbirinden ayırmayı önermekle zamanının çığır açıcı bir çözümünü öngörmüştür. Ancak demir yolu dışında kalan karayolu ağında, çok az sayıda ayrılmış güzergâh sistemi kurulabilmiştir. Ayrıca Avrupa şehirlerinde, 17. yüzyılda, trafik kontrolünü ve yönetimini desteklemek amacıyla belirli caddelerde park etmeyi yasaklayan ve trafiği tek yönlü hale getiren yasal düzenlemeler çıkarılmıştır (Britannica, 2023).

Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD) 1920’li yıllarda, trafik kontrolü ve yönetimi kapsamında etkili çözümler ortaya çıkmadan önce, motorlu araçlar hızla yaygınlaşmıştır. Bu durum, Los Angeles gibi birçok şehir ve iş merkezi için kaotik bir trafik karmaşası ile sıkışıklığını ortaya çıkarmıştır. ABD’de trafiğin olumsuz etkilerinin hissedilmeye başladığı dönemler daha da eskiye, 1880’li yıllara dayanmaktadır. Trafiğin olumsuz koşulları için çözüm arayışı sonucunda; trafik düzenlemeleri ve kontrolleri oluşturma, ürün pazarlarının şehir merkezlerinden uzağa taşınması ve cadde genişliklerinin artırılması gibi yöntemler uygulanmıştır. Örneğin Chicago’da, bazı alışveriş merkezlerinin yeri değiştirilmiş, yenileri şehrin merkezden uzağına inşa edilmiş, döngüde (left turn in the loop) sola dönüşler yasaklanmış ve şehir merkezindeki kavşaklar

sinyalize hale getirilmiştir. Trafik yönetimi ve kontrolünün sistematik ve kurallı çözümler gerektiren önemli bir alan olması nedeniyle trafik mühendisliği alanı ortaya çıkmıştır (Falcocchio & Levinson, 2015).

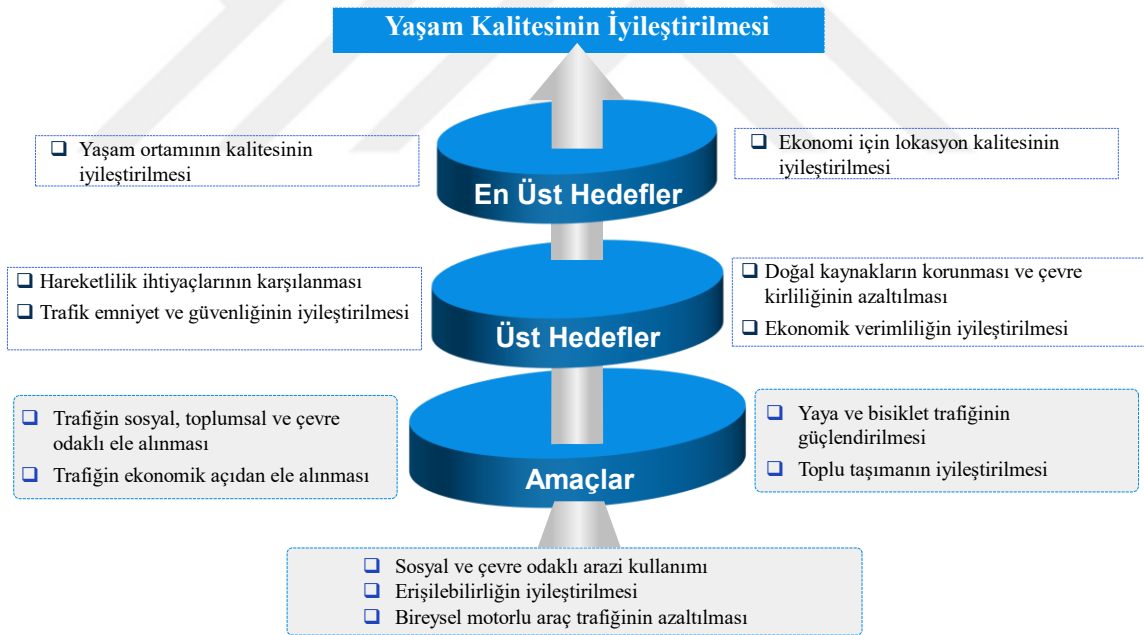
Genellikle yoğun nüfuslu kentsel alanlar için trafik kontrolü, trafik sıkışıklığı ve ulaşım kaynaklı çevresel olumsuz etkileri azaltmak, yaya hareketliliğini teşvik etmek, emniyet ve güvenliği sağlamak amacıyla önceden belirlenmiş trafik kuralları ve düzenlemeleri ile sinyaller, tabelalar ve işaretler gibi araçları kullanan trafik mühendisliği sistematığı olarak tanımlanmaktadır. Trafik yoğunluğu nispeten daha az olan küçük şehirler için ise daha basit kontrol cihazları ve mühendislik teknikleri uygulanmaktadır (Kassahun, 2007).

Karayolu trafik kontrolü, bir bölgedeki çeşitli seyahat ihtiyaçlarına hizmet etmek için yolların ve ulaştırma unsurlarının düzenini içermektedir. Otoyollar veya otobanlar trafiği yüksek hızlarda taşıyabilmektedir. Arter niteliğindeki yollar, kentsel alanlar içinde ve arasında kullanılırken yerel yollar, düşük hızda seyahat imkânı sunmakta ve birçok varış noktasına erişim sağlayabilmektedir. Farklı hız seviyelerinde performans gösteren ve farklı erişim seviyeleri sağlayan yolların hiyerarşisi, trafik sorunlarının ortaya çıkışının temeli olarak görülebilmektedir. En temel düzeyde sinyal, tabela ve işaretleme sistemlerinin yol ağı boyunca yüklerin, yolcuların veya araçların hareketliliğini sağlamak için kullanılmasıyla trafik kontrolü mümkün olabilmektedir. Bu doğrultuda ayrıntılı trafik operasyon süreçleri, yasal düzenlemeler, belirlenen kurallar ve standartlar ile levhalar, tabelalar ve ışıklar gibi fiziksel cihazlar, trafik kontrol sisteminin temel bileşenlerindendir. Ayrıca trafik kontrol cihazlarının yol kullanıcılarına açık, basit ve anlaşılır olmasını sağlamak için ayrıntılı mühendislik yöntem ve standartları kullanılmaktadır (Britannica, 2023). Yolcu ve yük hareketliliği hedefleri doğrultusunda karşılaşılan bazı trafik koşulları, arzu edilen çalışma şartlarını zorlayabilmektedir. Bu koşullar, trafik yönetimine ilişkin genel bir politika ya da strateji ile uyumlu bir yaklaşım ya da işleyiş geliştirmek için yol kullanıcılarının davranışlarına, kısıtlayıcı kontrol yöntemleri gerektirebilmektedir. Ulaşım, hareketlilik, emniyet, güvenlik, çevre, erişilebilirlik gibi unsurlar arasında gerekli denge ve uyumu sağlamak amacıyla kullanılan sinyaller, tabelalar ve trafik işaretleri gibi mühendislik araçları, temel trafik kontrol yöntemleri arasındadır (Austroads, 2020a).

Trafik düzeninin ve kontrolünün öncelikli amacı; sürücü ve yaya güvenliğinin sağlanması, insan hayatının ve maddi kaynakların korunması, sosyal ve ekonomik kayıpların önlenmesi, çevre kirliliğinin ve çevredeki bozulmaların azaltılması, gürültünün önlenmesi, insanların psikolojisini bozan zararlı etkenlerin ortadan kaldırılmasıdır. Ayrıca, insan ve maddi kaynakların kullanımında azami tasarruf, zaman ve yakıt tüketiminin minimize edilmesi, gecikmelerin en aza indirilmesi ve

ulaşının ortalama hızının makul seviyede tutulması, trafik verilerinin toplumsal huzur, emniyet ve asayiş olaylarının önlenmesi açısından kullanılması ile diğeri idari birimlere bilgi ve belge sağlanması suretiyle katkı yapılması gibi faydalar hedeflenmektedir. Bunların gerçekleşmesi ise optimum ölçekli bir trafik kontrolüne bağıdır (Akbaş, 2001).

Trafik yönetimine ilişkin tedbirlerin ve yöntemlerin belirlenmesinde kamu kurumları, belediyeler, halk, yol kullanıcıları, özel şirketler, üniversiteler, sivil toplum kuruluşları gibi farklı paydaşlar yer almaktadır. Genellikle, bu çeşitlilikteki paydaşların bu alandaki amaçları ve hedefleri birbirinden farklı değildir. Bu amaç ve hedeflerin her birine verdikleri önem derecesi; ihtiyaçlarındaki, yaklaşımlarındaki ve bakış açılarındaki farklılıklara bağı olarak değişebileceğinden, ortak bir anlayış geliştirmek çok önemlidir. Bu nedenle, planlanan her faaliyette olduğu gibi trafik yönetimi de ulaşım ve trafiğe ilişkin belirli bir hedef konseptini benimsemelidir. Hareketlilik ihtiyaçları, trafik emniyeti ve güvenliği, çevre koruma ve ekonomik verimlilikten oluşan dört temel öncelik, Şekil 2-3'te (Boltze, 2013) hiyerarşik bir hedef konsepti olarak sunulmaktadır (Boltze & Anh Tuan, 2016).



Şekil 2-3: Trafik ve ulaşım sistemleri için hiyerarşik bir hedef konsept

Trafik kontrolünün temel odağı ise trafiğin kentsel yollar ve otoyollar üzerinde güvenli, emniyetli ve verimli bir şekilde akmasıyla ilgilidir. Bunu sağlamak için kullanılan yöntemler, trafik işaretleri ve yol çizgileri yerleştirmek suretiyle kent içi yolların iyileştirilmesinden başlayıp kapsamlı otoyol kontrol sistemleri kurmaya kadar uzanabilmektedir. Bu tür kapsamlı sistemler,

otayol hareketliliğini izlemek ve kontrol etmek için yol erişim ölçüm cihazlarını, trafik akışındaki herhangi bir bozulmayı hızlı bir şekilde tespit etmek için kapalı devre televizyon izleme sistemini, kaza ve yaralanma durumunda yardım sağlamak için acil durum hizmetlerini kullanmaktadır. Diğer trafik kontrol teknikleri arasında tek yönlü yolların uygulanması, trafik akış düzenlemeleri yapılması, trafik sinyallerinin kullanımı ile trafik adaları, yuvarlak ada kavşak (dönel kavşak) gibi yönlendirme sistemlerinin inşa edilmesi yer almaktadır (Kassahun, 2007). Kent içi yollarda sinyal kontrolleri; önceden zamanlanmış ya da trafiğe duyarlı sinyal kontrolü, arteriyel ya da ağ koordinasyon kontrolü yöntemleri kullanılarak yapılabilmektedir. Aynı zamanda gerçek zamanlı ya da çevrim dışı ağ kontrolü bilgisayar programları vasıtasıyla sinyal kontrolleri yapılabilmektedir (Jingtoa, 2008).

Dünya genelinde trafik sinyalleri, işaretleri ve yol çizgileri, basit ve kolay anlaşılır bir yöntem kullanarak sürücülere bilgi iletmek üzere tasarlanmıştır. Bu doğrultuda Avrupa ve ABD’de tek tip resimli işaret ve levhaların kullanımı benimsenmiştir. Aynı zamanda trafik sinyalleri, yoğun kavşaklarda güvenli ve emniyetli hareketliliği sağlamak için kurulmaktadır (Kassahun, 2007). Bununla birlikte, sinyal, levha ve işaret gibi bileşenlerin boyut ve tasarımı için standartlar ile trafik akışının kontrolü için yasal düzenlemeler bulunmaktadır. Ayrıca yoğun kavşaklarda araçların ve yayaların emniyetli ve güvenli bir şekilde hareket etmesini sağlamak amacıyla trafik sinyallerinin tesis edildiği görülmektedir (Yılma, 2014). Modern trafik sinyalleri, en basit iki fazlı ön zamanlamalı moddan en karmaşık çok fazlı harekete geçirilmiş moda kadar zamanı çeşitli şekillerde tahsis edebilmektedir. Aşağıda belirtilen üç tip trafik sinyal kontrolü bulunmaktadır (Transportation Research Board, 2000):

- Bir dizi aşamanın tekrarlayan sırayla gösterildiği, önceden zamanlanmış olanlar
- Bir kavşağa tüm yaklaşımlarda, araç algılayıcıları tarafından zamanlamanın etkilendiği tam harekete geçirmeli olanlar,
- Tipik olarak küçük caddeler üzerinde bazı yaklaşımlarda algılayıcıların yer aldığı ve tipik olarak ana cadde üzerinde bazı yaklaşım yerlerinin algılayıcıya sahip olmadığı kısmen hareketli olanlar.

Trafik yönetimi ve kontrol yöntemleri gelişmiş ülkelerde giderek iyileşme ve ilerleme göstermekte olup bazı yeni trendlerin daha fazla uygulama alanı bulması öngörülmektedir. Bu kullanım alanları aşağıdaki başlıklarda özetlenebilmektedir (Cracknell, 2000):

- Toplumu oluşturan bireylerin planlama süreçlerine katılımın sağlanması,
- Trafik talebine duyarlı Alan Trafik Kontrolü (ATC) yöntemlerinin kullanılması,
- Otobüs önceliği gibi yol alanının yeniden tahsisi,

- Yol ağıyla ilgili tüm kuruluşların tedbirlerin belirlenmesi aşamalarına dahil edilmesi ile ortak bir çözüm paketi oluşturulması,
- Geliştiricilerin mali katkılarıyla geliştirme gelirleri sağlanması,
- Yol ücretlendirmesi,
- Özel sektörle iş birliği yapılması,
- Ulaşım alanında telematik potansiyelinin kullanılması,
- Cadde ve sokaklarda yol üstü park yönetimi,
- Yayalar ve kamusal alan yönetimi,
- Ticari araçlar ve motorsuz araçlar için trafik yönetimi,
- Tabelalar, levhalar, sinyaller gibi yol işaretleri ve işaretlemeleri,
- Hem geniş alanda hem de izole kavşaklarda trafik sinyallerinin kullanımı,
- Kavşaklarda trafik kapasitesinin yönetilmesi,
- Trafik kurallarının uygulanması,
- Kurumsal kapasite gelişimi.

Trafik sinyal kontrol sistemleri, trafik akışını ve emniyet hedeflerini güvence altına almak için kullanılan en yaygın trafik yönetim araçlarıdır. Yeşil dalgalar oluşturmak için koordinasyonsuz sinyallerin birbirine bağlanması, kontrol edilen alanda seyahat sürelerini ve emisyonları %10 oranında azaltabilmektedir. Aynı zamanda “*kırmızıda yakın tarafa dönüş*” izninin verilmesi tedbiriyle %1,5’luk bir iyileşme sağlanabilmektedir. Çevreyi kirleten salımları en aza indiren döngü sürelerinin uzunluğu, gecikmeleri en aza indirenlere göre %50 daha fazladır. Yoğun trafik koşullarında bu uzatılmış döngü süreleri, salımları %3’e kadar azaltabilmektedir (ESMAP, 2004).

Bazı trafik yönetim sistemleri altyapıdan bağımsız ve altyapı temelli olmak üzere iki kavram çerçevesinde ele alınmaktadır. Altyapıdan bağımsız olanlar, kooperatif sıkışıklık algılama, sıkışıklık önleme ile kaza tespit ve uyarısı dahil olmak üzere tamamen dağıtılmış trafik yönetim sistemlerinden oluşmaktadır. Trafik ışığı yönetimi, rota önerisi, sıkışıklık tespiti ile yeniden yönlendirme ve hız ayarlama sistemleri ise altyapı temelli olarak gruplandırılmaktadır (de Souza vd., 2017).

Ulaşım süreci talep tarafındaki tedbirlerle başlar ve arz tarafının ihtiyaçlarının iyileştirilmesiyle sona ermektedir. Bu doğrultuda kullanıcı odaklı bir bakış açısıyla ulaşım sistemlerini bileşenlerine göre ayrıştırmak suretiyle trafik yönetim süreçlerinin ele alınması da Şekil 2-4’te gösterildiği gibi mümkün olup bu yaklaşım yolculuk öncesi ve yolculuk esnasındaki önlemleri birbirinden ayırmaktadır (CEDR, 2012).

genişletilen ve genişletilmeyen olmak üzere farklı seçenekler bulunmaktadır. Yol sistemi üzerindeki kavşaklar genel olarak eş düzeyli (hemzemin) ve farklı seviyeli (Köprülü-Eşdüzey Olmayan) olmak üzere (Alemdar, 2019), iki şekilde kategorize edilebilmektedir. Eş düzeyli kavşaklar ise temelde üç kollu (T veya Y kavşak), dört kollu (çapraz kavşak) ve çok kollu (beş veya daha fazla) olarak gruplara ayrılmaktadır. Bu temel biçimlerin yanı sıra kavşaklar aşağıdaki özelliklerde de tasarlanabilmektedir (Austroads, 2020e):

- Sinyalize, sinyalize olmayan ve yuvarlak ada kavşak
- Farklı sürücü beklentileri ya da farklı trafik yönetimi kurallarının geçerli olabildiği özel tasarım kavşaklar

Eş düzeyli kavşaklar, ana yol trafiğinin kontrol edilip edilmemesine bağlı olarak geçiş öncelikli ve kontrollü kavşak olmak üzere iki temel kategoride sınıflandırılabilir. Ana yol trafiği için öncelik taşıyan ve sadece tali yol trafiğinin kontrol edildiği eş düzeyli kavşak, geçiş öncelikli olarak ifade edilir. Kontrollü kavşaklarda ise ana yol trafiğinin yanı sıra tali yol trafiği de kontrol edilmektedir. Bunlar sinyalize ve yuvarlak ada kavşak olmak üzere iki temel kategoride incelenebilmektedir (SWEROAD, 2000).

Kent içi kavşaklarda, toplayıcı yolların kent içi yollara göre ve arterlerin toplayıcı yollara göre önceliğe sahip olması genel bir kuraldır. Benzer hiyerarşik statüye sahip kent içi yollar tercihen eşit önceliğe sahiptir. Bu yollarda karşılaşılan sorunlar genellikle yuvarlak ada kavşaklar ya da trafik sinyalleri ile çözülmektedir. Bununla birlikte, kent içi caddelerde dört yönlü durdurma kontrolü ya da fiziksel hız azaltma cihazları başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Kent içi yollarda kavşaklardaki araç hızlarını kontrol altına almak, trafikteki gecikmeleri azaltmak ve akış verimliliğini korumaktan daha önemli olabilmektedir. Dur ve yol ver gibi trafik işaretlerinin kullanılması, yaklaşma hızlarının azaltılması ve yuvarlak ada kavşaklar uygulanması gibi yöntemlerle bir kavşak için öncelik kontrolü sağlanabilmektedir (Land Transport Safety Authority, 2001).

Karayolu ağında; bir veya daha fazla yan kolda trafik akışının ana yola verildiği yerler öncelik kontrollü, tüm kollara geçiş hakkının belirlenmesinin trafik ışıkları tarafından kontrol edildiği sinyal kontrollü, tüm trafik yaklaşımlarındaki akışların nispeten dengeli olduğu yerlerde en iyi şekilde çalışan dönel ve dönüş hareketlerinin ana yol akışından uzaklaştırıldığı sınıflara ayrılmış olmak üzere dört temel kavşak türü bulunmaktadır (Highway Engineer, 2022).

Trafik sinyalleri, trafik yönetiminin birincil araçlarından ve yol kapasitesinin maksimize edilmesi ile güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla kavşaklardaki trafik hareketlerini kontrol etmek için kullanılmaktadır (Cracknell, 2000). Trafik sinyal optimizasyonu; gerçek

zamanlı trafik durumu, yoğunluk, sıkışıklık ve gecikme süresi, kullanıcı açısından trafik yükü, aşırı yoğunluk, yolcuların güzergâh seçimi gibi çeşitli kriterlere bağlıdır. Şehrin yol ağındaki trafik ışıklarının optimize edilebilmesi için bu değişkenler dikkate alınmakta ve sorunun çözümü için en uygun yöntemin bulunmasına çalışılmaktadır. Çevrim içi ya da çevrim dışı yazılımlar, genetik algoritma, genelleştirilmiş oransal tahsis kontrolörleri, grup tabanlı sinyal kontrolü, memetik algoritma, adaptif trafik sinyal kontrolörleri tasarlamak için pekiştirmeli öğrenme algoritmaları, adaptif sinyal kontrolü ile bir ağda dinamik yönlendirme, ortadan kaldırma eşleştirme sistemi, bulanık yaklaşımlar, sinir ağları, koloni algoritması, parçacık kümesi optimizasyonu, simülasyon modeli bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılanlardan bazılarıdır (Mahavar vd., 2018).

Trafik sinyal optimizasyonu için yararlanılan tüm bu yöntemlerin yanında, trafik kontrolünde kavşaklarla ilgili tasarım, uygulama ve çözümler ortaya koyulurken yol kullanıcılarının özellikle sürücülerin öncelikli beklentilerinin de dikkate alınması önemli bir husustur. Trafik kontrolü yöntemi, sürücülerin öncelikli beklentilerini karşılayamama riski taşıyorsa ve bu durum başka çözüm yöntemleriyle ortadan kaldırılamıyorsa, kontrol yaklaşımını ek tedbirlerle destekleme yoluna gidilmelidir (Land Transport Safety Authority, 2001).

Bir kavşak tasarımında dikkate alınması gereken temel prensipler; kavşağın yol ağındaki durumu ve önemi, mevcut trafiğin nitelikleri, kavşağı oluşturan bileşenlerin ve kullanan araçların özellikleri, yol ağının geometrik yapısı, kavşağın yakınında bulunan diğer kavşaklar ile uyumu, coğrafi ve çevresel koşullar ile yol kullanıcılarının yaklaşım ve davranışları gibi durumlar olarak özetlenebilmektedir.

2.3.1 Trafik Dedektörü

Trafiğe duyarlı herhangi bir kontrol sisteminin, yerel kavşak kontrolü ve/veya zamanlama planlarının sistem genelinde ayarlanabilmesi, trafiğin doğru algılanabilmesi ile ilgilidir. Bir sistemin etkin çalışması için aşağıdaki dedektör tiplerinden biri veya daha fazlası kullanılabilir (U. S. Federal Highway Administration, 2005):

- Asfalt İnvazif Dedektörler

- **Endüktif Döngü:** En yaygın dedektör teknolojisidir. Asfalt üzerinde kazılmış derin olmayan bir çukura yerleştirilmiş bir veya daha fazla sayıda yalıtımlı döngü kablosundan oluşmaktadır.
- **Manyetometre:** Yeryüzünün manyetik alanının hem yatay hem de dikey bileşenlerindeki değişiklikleri ölçmektedir. Manyetometreler, çelik destek yapısının

döngü dedektörlerine müdahale ettiği ve döngülerin mevcut yapıyı zayıflatabildiği köprü tabliyelerinde ve viyadükler ile inşaat alanlarındaki geçici kurulumlarda kullanışlıdır.

- **Manyetik Dedektör:** Oldukça geçirgen bir çekirdeğe sahip tel bobinden oluşmaktadır. Yeryüzü manyetik alanının akı çizgilerindeki değişimini ölçmektedir. Yalnızca belirli bir minimum hızdan daha hızlı hareket eden araçları tespit edebilir ve bu nedenle bir varlık dedektörü olarak kullanılamaz. Asfaltın kazılamadığı veya bozulmuş olduğu yerler ile don ve buzlanma gibi hava koşullarının endüktif döngü kablolarına zarar verdiği yerlerde kullanışlıdır.
- **Asfalt Müdahalesiz (non-invazif) Dedektörler**
 - **Mikrodalga Radar:** Karayoluna doğru mikrodalga enerjisini iletir. Sürekli Dalga (CW) Doppler radarı yalnızca akışı ve hızı algılamakten Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga (FMCW) radarı varlık dedektörü olarak işlev görebilmektedir. Büyük çelik yapılara sahip bazı köprüler, radar tabanlı sistemlerde sorunlara neden olabilmektedir.
 - **Aktif Kızılötesi:** Dedektörden kızılötesi enerji iletir ve geri yansıyan dalgaları belirler.
 - **Pasif Kızılötesi:** Herhangi bir enerji iletmez; araçlardan, karayolundan ve diğer nesnelerden gelen enerjiyi ve ayrıca araçlar, karayolu ve diğer nesneler tarafından yansıtılan güneş enerjisini algılamaktadır.
 - **Ultrasonik:** Ultrasonik ses enerjisi dalgaları ileterek yansıyan dalganın kat ettiği mesafeyi ölçmektedir. Araç sayısı ve varlığı ile şerit doluluğunu tespit edebilmektedir.
 - **Akustik:** Araç trafiği tarafından üretilen akustik enerjiyi veya duyulabilir sesleri pasif olarak algılayarak araç geçişlerini ve varlıkları ile hızlarını ölçebilmektedir.
 - **Video Görüntü İşlemcisi:** Video kameralar tarafından algılanan trafik görüntüleri sayısallaştırılır ve işlenerek trafik, yol ve ulaşım verilerine dönüştürülür. Trafiki tek bir nokta yerine sınırlı bir alanda ölçebilir ve birden fazla döngü dedektörünün yerini alabilmektedir.
- **Özel Dedektör Görevi**
 - Otobüsler
 - Otomatik Araç Tanımlama / Elektronik Geçiş Ücreti ve Trafik Yönetimi
 - Aşırı yükseklik tespit etme yöntemleri
 - Çevresel durumlar
 - Yayalar
 - Önceliklendirme sistemleri (Preemption)

2.3.2 Trafik Tesisleri

Ulaşım hizmetleri ve trafik tesisleri, kesintisiz ve kesintili akışlı tesisler olarak iki geniş kategoride sınıflandırılabilir. Kesintisiz akışlı tesislerde trafik akış koşulları, trafikteki araçlar arasında ve araçlar ile yolun geometrisi ve çevresel özellikleri arasındaki etkileşimlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Trafik sinyalleri gibi akış dışında kalan ve trafik akışını kesintiye uğratabilecek sabit unsurlar bulunmamaktadır. İki şeritli ve çok şeritli kırsal yollar ile otoyollar bunun örnekleri arasında yer almaktadır. Kesintili akış ise trafiği aksatacak kontrollü ve kontrolsüz kavşaklara sahiptir. Kesintili akış tesislerindeki trafik koşulları; trafik sinyalleri, dur işaretleri, yol verme işaretleri, yuvarlak ada kavşaklar veya trafiğin periyodik olarak durmasına neden olan diğer kontrol yöntemleri gibi sabit unsurların etkisine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Kent içi caddeler, sinyalsiz ve sinyalize kavşaklar, kesintili akış tesisleri için örnek verilebilir. Kesintisiz ve kesintili trafik akışları herhangi bir zamanda trafik yönetiminde kullanılan bileşenin türünü tanımlamakta olup trafik akışının kalitesi ile ilgili değildir (Austroads, 2020c; Transportation Research Board, 2000). Örneğin, aşırı sıkışıklık yaşayan bir otoyol hâlâ kesintisiz akışlı bir tesistir çünkü sıkışıklığın nedenleri kendi yapısal özellikleri ile ilgilidir. Otoyollar ve bileşenleri kesintisiz akışın en tipik örneğidir. Toplu taşıma, yaya ve bisiklet hareketliliğinin ise genellikle kesintili bir akış olduğu kabul edilmektedir (Transportation Research Board, 2000).

2.3.3 Hizmet Seviyesi

Bir ulaşım tesisi veya hizmetinin performansını ölçmenin birçok yolu ve hangi ölçümlerin yapılacağına karar verirken dikkate alınabilecek birçok bakış açısı bulunmaktadır. Yol işleten kurumlar, sürücüler, yayalar, bisikletliler, yolcular, karar vericiler ve hatta toplumun genelinin yolun ya da yol hizmetinin performansının ölçümünde kullanılacak yöntemler konusunda, kendilerine özgü görüşleri bulunabilmektedir. Hizmet kalitesi, bir ulaşım tesisinin veya hizmetinin yolcuların bakış açısından ne kadar iyi çalıştığını tanımlamaktadır. Hizmet seviyesi (LoS), hizmet kalitesini temsil eden bir performans ölçüsünün veya ölçülerinin nicel bir sınıflandırmasıdır. Ulaşım sistemi unsurları için LoS'u belirlemek üzere kullanılan ölçütlere hizmet ölçütleri denilmektedir. LoS, A en iyi, F ise en kötü çalışma koşulları ölçeğini kullanarak yol kullanıcısının bakış açısından sonuçların sunumunu kolaylaştırmaktadır (Transportation Research Board, 2010).

Hizmet kalitesi, bir trafik akışı içindeki operasyonel koşulları karakterize etmek için nicel ölçümler gerektirmektedir. LoS, genellikle hız ve seyahat süresi, manevra özgürlüğü, trafikteki

kesinti, konfor, kolaylık ve rahatlık gibi hizmet ölçütleri açısından bir trafik akışı içindeki operasyonel koşulları tanımlayan kalite ölçütüdür. Her hizmet seviyesi bir dizi çalışma koşulunu ve sürücünün bu koşullara ilişkin algısını yansıtmaktadır. Güvenlik, hizmet seviyelerini belirleyen önlemler arasına dahil edilmemiştir (Transportation Research Board, 2000). Kapasite analizi ve LoS kavramları; trafik tesislerinin planlanması, tasarımı ve işletilmesi için temel teşkil etmektedir (Austroads, 2020c). Yolcuların hizmet kalitesi algısını etkileyen faktörler arasında aşağıdakiler yer almaktadır (Transportation Research Board, 2010):

- Seyahat süresi, hız ve gecikme
- Meydana gelen duraklama sayısı
- Seyahat süresi güvenilirliği
- Manevra kabiliyeti (şerit değiştirme kolaylığı, diğer araçları takip etmek için harcanan zaman yüzdesi gibi)
- Konfor (bisiklet ve yayaların trafikle etkileşimi ve trafikten ayrılması, toplu taşıma araçlarının yoğunluğu, sürüş konforu gibi)
- Kolaylık (güzergâhın doğruluğu, toplu taşıma hizmetinin sıklığı gibi)
- Emniyet (gerçek veya algılanan)
- Kullanıcı maliyeti
- Tesis ve hizmetlerin mevcudiyeti
- Tesis estetiği (temizlik, tasarım gibi)
- Bilgi mevcudiyeti (yön bulma tabelaları, toplu taşıma güzergâh ve tarife bilgileri gibi)

2.3.4 Koridor Kontrolü

Yol kullanıcılarını iki nokta arasında taşımak için tasarlanmış olan paralel ulaşım tesisleri kümesi, koridor olarak ifade edilmektedir. Bir koridor yapısı içinde otoyollar, kırsal (veya iki şeritli) yollar, arterler, toplu taşıma ile yaya ve bisiklet tesisleri gibi çeşitli mikro hareketlilik araçlarına ilişkin alt sistemler yer almaktadır (Transportation Research Board, 2000).

Noktalar, segmentler, tesisler, koridorlar, alanlar ve sistemlerden oluşan en küçükten en büyüğe doğru sıralanmış altı temel tip karayolu sistemi ögesi tanımlanabilmektedir. Bir koridor, bir otoyol tesisi ve bir veya daha fazla paralel kent içi tesisten oluşabilmektedir. Otoyolda, kent içi sokaklarda veya her ikisinde de demiryolu ya da otobüs taşımacılığı hizmeti olabilir ve ulaşım hizmeti paralel ayrı bir geçiş hakkıyla sağlanabilir. Yaya veya bisiklet tesisleri de koridor içinde, karayollarının belirlenmiş bölümleri olarak veya bağımsız, paralel tesisler olarak mevcut olabilir.

cihazları, uygun şekilde kullanıldığında, bu hedefe ulaşmak için trafiğin dengelenmesine yardımcı olabilmektedir (U. S. Federal Highway Administration, 2005).

Katılım kontrolü, otoyol trafik akışını iyileştirmek için kullanılmaktadır. Katılım şeritlerinden otoyola girebilecek araçların akış hızlarını belirler. Kontrol, katılım şeridinin sonuna yerleştirilen bir trafik ışığı tarafından sağlanmaktadır. Sahadaki sürüş davranışına bağlı olarak uygun olan yeşil ve kırmızı zamanlamalar seçilerek istenen ölçüm oranı uygulanmaktadır. Genellikle saat başına araç sayısı olarak gösterilen ölçüm oranları, yerel trafik durumuna göre esnek bir şekilde ayarlanabilmektedir. Sinyal kontrolü veya katılım kontrolüne göre daha az kullanılsa da çeşitli entegre otoyol koridor kontrol çalışmaları yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar; optimizasyon tabanlı, zamana bağlı ve ileri beslemeli sistem çapında kontrol ile yerel trafiğe duyarlı geri beslemeli kontrol yöntemi olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Entegre koridor kontrol sorunları, genellikle optimal kontrol veya matematiksel programlama problemleri olarak formüle edilmektedir ve trafik akışı kinematik dalgalar veya yüksek dereceli sürekli akışkanlar olarak modellenmektedir. Bunlar için üzerinde çalışılan trafik kontrol önlemleri arasında; katılım kontrolü, kavşak sinyal kontrolü ve güzergâh sapmaları veya bunların kombinasyonları yer almaktadır. Burada oluşan problemler, genellikle doğrusal veya kısıtlı doğrusal olmayan programlama teknikleri ile çözülmektedir. Yerel trafik bilgisini kullanarak trafik kontrolünün dağıtık bir şekilde yapıldığı yerel entegrasyon ve kural tabanlı kontrol yönteminde ise koridor sıkışıklığının önem derecesine bağlı olarak kullanılabilecek stratejiler aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Jingtoa, 2008):

- a. Otoyol talepleri entegre kontrol gerektirmediğinde katılım kontrol oranını ve/veya sinyal zamanlama parametrelerini ayarlamak için yerel koordineli strateji,
- b. Kısa vadeli otoyol akış dalgalanmalarıyla başa çıkmak için hem sinyal zamanlamasını hem de katılım kontrolünü sık sık ayarlayarak koridor akışını duyarlı bir şekilde optimize etmek amacıyla alan çapında entegre kontrol,
- c. Otoyoldaki olayların üstesinden gelmek için yönlendirme stratejisi,
- ç. Trafik talebi bir koridorun kritik bir alt bölgesindeki kapasiteyi aştığında tıkanıklığın yayılmasını yönetmek için ağ çapında koordinasyon.

Koridor kontrolünün temel hedefleri arasında altyapının optimum kullanımı, emniyet ve güvenliğin sağlanması, güvenilir taşıma süreleri ve azaltılmış gecikme süreleri olduğu görülmektedir. Trafik yoğunluğu her geçen gün daha da arttıkça yönetimine ilişkin çözümler için yapılan çalışmalar da daha çok ilgi görmektedir. Bu doğrultuda mevcut kontrol yöntemlerinin iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar sürerken bir taraftan da yenilikçi yöntemlerin bulunmasına

yönelik faaliyetler sürmektedir. Bu çalışmalar, zaman ve yer kavramları doğrultusunda toplumun en öne çıkan ihtiyacı ne ise o konuya odaklanmaktadır. Bunun istisnası ise her zamana ve döneme göre değişiklik arz etmeyen eşitlik ve adil hizmet kavramı olmaktadır.

2.3.5 Sinyalize Olmayan Kavşaklar

Sinyalize olmayan kavşaklar, bir YOL VER (YIELD) veya DUR (STOP) işaretinin varlığıyla geçiş hakkının kontrolünün yapıldığı ya da hiçbir işaretin bulunmadığı (kontROLSÜZ) iki veya daha fazla yolun aynı seviyede birleştiği kavşaklardır (McGee & Soika, 2016). Başka bir ifadeyle trafik sinyali tarafından kontrol edilmeyen eş düzey kavşaklar sinyalize olmayan olarak tanımlanabilmektedir (Prassas & Roess, 2020). Sinyalize olmayan kavşaklar trafik kontrolünün türü, alan türü (kentsel, kırsal vb.) ve yaklaşım ayaklarının sayısı gibi çeşitli şekillerde kategorize edilebilir. Temelde, sinyalize olmayan herhangi bir kavşak; kontROLSÜZ, YOL VER işareti ile kontrol edilen, DUR işareti ile kontrol sağlanan (UİİG, 2015) ve yuvarlak ada kavşaklar olarak sınıflandırılabilir (Transportation Research Board, 2000). Ayrıca bunlar iki yönlü DUR kontrollü (TWSC), her yöne DUR kontrollü (AWSC) ve iki yönlü YOL VER kontrollü kavşaklar şeklinde de gruplandırılabilir (Prassas & Roess, 2020). Herhangi bir yönden kavşağa girişin bir denetleyici tarafından yönetilmediği kavşaklar, kontROLSÜZ sinyalize olmayan kavşaklardır. Sinyalize olmayan kavşaklara bir veya daha fazla yönden girişlerin YOL VER ya da DUR işareti ile de kontrol edilmesi de mümkündür.

Sinyalize olmayan kavşaklar, genellikle gecikmelerin fazla olduğu, trafik kuyrukları veya güvenlik ve emniyet endişeleri gibi operasyonel sorunların nadiren bulunduğu ya da hiç olmadığı ulaşım koşulları için tercih edilebilmektedir. Bu koşullar, yuvarlak ada kavşaklara ya da trafik ışıklarına ihtiyaç olunmayan durumları da kapsamakta olup kesişen ya da birleşen küçük çaplı yolların trafik hacimlerini karşılamak için yeterli boşluğa sahip ana yolar için uygun bir seçenek olabilmektedir. Ayrıca konutların olduğu cadde ve sokaklar ile düşük trafik hacmi koşulları için de uygulanabilmektedir. Sinyalize olmayan kavşaklarda trafik hareketleri arasındaki öncelik dur veya yol ver işaretleri, fiziksel cihazlar ve genel yasal düzenlemelerden biri veya birkaçı tarafından kontrol edilmektedir. Sinyalize olmayan bir kavşak kapasiteye yaklaştıkça ana trafik akışındaki kabul edilebilir boşluklar azalır, kuyruklar ve gecikmeler artar ve sürücüler daha küçük boşlukları kabul etme eğilimine girebilir. Bu durum emniyet ve güvenlik üzerinde negatif bir etki oluşturabilir. Bu kavşaklardaki gecikmelerin ve kuyruklanmaların mevcut veya muhtemel

boyutunu öngörmek ve değerlendirmek için kullanılan yöntemlerden bazıları aşağıda sunulmuştur (Austroads, 2020e):

- Mevcut bir kavşak söz konusu olduğunda trafik etütleri yapılması,
- Boşluk kabul kriterlerine ve ana akışların absorbe kapasitesine dayalı analitik yöntemlerden faydalanılması,
- Analiz tabanlı bilgisayar programları (Sidra Intersection gibi) kullanılması,
- Kademeli T kavşak türleri gibi karmaşık durumlar için mikro-simülasyon programları (VISSIM veya Paramics gibi) tercih edilmesi.

Ayrıca sinyalizasyon olmayan kavşaklarda trafik güvenliğini ve emniyetini sağlamaya yönelik alınacak kararları desteklemeyi amaçlayan Kavşak İyileştirme Kılavuzu (UİİG, 2015) benzeri kaynaklar mevcuttur (McGee & Soika, 2016).

2.3.6 Sinyalize Kavşaklar

Sinyalizasyon, birbiriyle kesişmeyen hareketlerin her birine veya kombinasyonlarına döngüsel bir şekilde yol hakkı tahsis edilmesi prensibiyle çalışan bir ara kontrol tedbiridir. Bu kontrol, talep ve sinyal fazları ile bunların zamanlamasına karar vermek için kullanılan tasarım tekniğine bağlı olarak kaçınılmaz olarak değişen bir gecikme süresi ortaya çıkarır. Trafik sinyallerinin çalışma şekli, büyük ölçüde sürücülerin davranışlarına ve araçların özelliklerine bağlıdır. Dolayısıyla sinyal kontrolünün etkin bir şekilde yapılabilmesi için bu davranışın anlaşılması gerekmektedir. Trafikteki heterojen yapı kavşakların verimliliğini etkilemektedir ve genellikle kavşak analiz teknikleri homojen trafik durumları için tasarlanmıştır. Bu nedenle heterojen trafik koşulları, analiz için karşılaştırmaların kolay yapılabilmesi için binek araçlar vasıtasıyla homojen hale dönüştürülür. Böylece analiz tekniklerinin heterojen trafik üzerinde kullanılması mümkün hale gelebilmektedir (Padmakumar, 2010).

Kesintili akışlı bir trafik sisteminde, sabit kesintilerin en önemli kaynaklarından biri trafik sinyalleridir. Trafik sinyalleri her hareket veya hareket dizisinde akışı periyodik olarak durdurabilecek etkiye sahiptir. Bazı zamanlarda sinyal tarafından hareket engellediğinden, belirli bir hat üzerinde hareket etmek, toplam sürenin yalnızca bir kısmı için mümkün olabilmektedir. Burada sadece sinyalin yeşil olduğu süre hareket için kullanılabilir. Örneğin, sinyalizasyon bir kavşakta bir şerit grubu, 90 saniyelik bir toplam döngünün 30 saniyelik etkin yeşil süresini alırsa, bu şeritlerde hareket için toplam sürenin yalnızca 30/90 (1/3) kullanılabilir (Transportation Research Board, 2000).

Trafik sinyalleri, her bir trafik akışına geçiş izni vererek yol kullanıcılarının seyahatlerini kolaylaştıran ve elektrikle çalışan trafik kontrol cihazlarıdır. Trafik sinyalleri; yol faaliyetleri, güvenlik ve emniyet konularını ele almak üzere merkezi ve yerel yönetimler tarafından kullanılan yaygın bir trafik kontrol biçimidir. Trafik sinyalleri, zaman içinde çakışan hareketleri ayırarak ve gecikmeleri paylaştırarak yol alanının ortak kullanımına olanak sağlamaktadır. Ayrıca bazı trafik akışı durumlarında hareketlilik, emniyet ve güvenliği artırmak için kullanılabilir. Seyahat gecikmesinin optimizasyonu, kaza sıklığının veya şiddetinin azaltılması, yayalar gibi belirli bir yol kullanıcısı türünün veya sola dönüş gibi hareket şeklinin önceliklendirilmesi, yeni bir kavşak çözümünün eklenmesi veya trafik hacimlerindeki artış hedeflerinin sağlanması için çalışmalar yapılırken trafik sinyallerinin kurulumu göz önünde bulundurulmaktadır (U.S. Department of Transportation, 2013). Trafik sinyallerinin kurulumu ve sinyalizasyon kavşakların tasarımında dönemsel, mevsimsel ve günlük trafik hacmi değişiklikleri, kaza geçmişi verileri, yol ve kavşak geometrisi, trafik akışının özellikleri ve diğer saha koşullarıyla ilgili analizler belirleyici faktör olmaktadır (Gülsün & Gonca, 2019; U.S. Department of Transportation, 2013).

Gecikmeleri azaltmayı amaçlayan sinyalizasyon sistemleri kontrol türlerine göre sabit zamanlı, trafik ve yaya uyarmalı, manuel kumandalı olarak gruplara ayrılabilir. Bir sinyalizasyon kavşağındaki ortalama gecikmeler; trafik hacmi ve sinyal zamanları doğrultusunda hesaplanıyorsa üniform gecikme, kuyruk oluşumu ve araçların kavşaklara rastgele varışları dikkate alındığında ise üniform olmayan gecikme söz konusu olmaktadır. Sinyalizasyon sistemleri genel olarak kontrolsüz kavşaklarda ortaya çıkabilecek kazaları önlemek, gecikmeleri azaltmak ve kontrolü sağlamak için kullanılmaktadır. Sinyalizasyon kavşakların tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlardan biri gecikme, kuyruk oluşumu ve trafik akımı arasındaki ilişkinin doğru tahmin edilmesidir. Gecikmelerin tahmini için gözlem yöntemi kullanılmaktadır. Ancak bu yöntem bazı zorluklar içermektedir. Bu zorlukların üstesinden gelmek ve doğruluk tahmin oranlarının iyileştirilmesi için yaklaşık değer hesaplama metodu gibi farklı matematiksel yöntemler kullanılmaktadır (Ceylan vd., 2007). Sinyalizasyon sistemlerinin çalışma kuralları ve düzenlemeler dikkate alındığında kavşaklarda trafik akışının kontrolünü sağlamanın en yaygın iki yöntemi izole sistemler ve koordineli sistemlerdir (Dağüstü, 2010).

Şehirlerdeki nüfus artışı ve araç sahipliği oranlarındaki artış gibi faktörler, yol ağı yapısının fiziksel olarak genişlemesi ve trafiğin yoğunlaşması nedeniyle özellikle kent içi yol ağındaki sinyalizasyon kavşakların sürekli olarak yoğun trafik akışına hizmet etmesine yol açmaktadır (Gülsün & Gonca, 2019). Dolayısıyla sinyalizasyon kavşaklar kentsel ulaşım ağına ana unsurları ve kritik noktalarıdır. Bu doğrultuda sinyalizasyon kavşakların kapasitesi ve işletme performansına ilişkin doğru

ve ayrıntılı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler ile bunlardan elde edilen veriler bir şehrin ulaşım sistemi ve yol ağının kapasitesinin değerlendirilebilmesi ve iyileştirmeler için önem arz etmektedir (Flamarz Arkawazi, 2017).

2.3.6.1 İzole Sinyalize Kavşak Kontrol

Tek başına çalışabilen, diğer sinyalize kavşaklar ya da sinyalize sistemlerden etkilenmeyen yapılardır. İzole sinyalizasyonlu kavşak kontrolü, dört farklı şekilde yapılabilmektedir: (i) sabit zamanlı, (ii) trafik uyarmalı, (iii) yaya uyarmalı ve (iv) el ile kumandalı. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemleri, trafik hacimlerinin değişkenliğinin düzenli olduğu kavşaklar ya da yeşil dalga sisteminin uygulandığı durumlarda kullanılmaktadır. Kavşağa farklı yönlerden yaklaşan, yaya ve araçlara daha önceden belirlenen zamanlama programlarına uygun olarak sıra ile geçiş hakkı verilmektedir. Trafik talebi ve yoğunluklarına göre düzenlenen trafik uyarmalı sistemler ise yarı trafik uyarmalı ve tam trafik uyarmalı olarak ikiye ayrılmaktadır (Dağüstü, 2010; Gülsün & Gonca, 2019; Murat, 1996). Araçların geçiş süre ve sıralamasını, sensörlerden elde edilen gerçek zamanlı verilere göre düzenleyen trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemleri sayesinde bekleme ve gecikme süreleri azalırken kavşak yönetim performansı artmaktadır (Balaban & Ozturk, 2022; Gülsün & Gonca, 2019).

Kavşak bulunmayan yaya geçitlerinde ve kavşaklarda, yayaların güvenli ve emniyetli bir şekilde geçiş yapabilmesi, yani yayalar ile araçların etkileşiminin sağlanabilmesi amacıyla yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemleri kullanılmalıdır. El ile kumandalı sinyalizasyon yöntemi ise trafik akış yoğunluğunun büyük dalgalanma ve sapma gösterdiği özellikle sabit zamanlı kavşak sistemiyle yönetilen kavşaklarda kullanılmaktadır (Alemdar, 2019).

İzole bir kavşağın işletilmesinde dikkate alınması gereken başlıca faktörler arasında araç gecikmeleri, kavşak kapasitesi ile emniyetli ve planlı trafik akışı bulunmaktadır. Araç gecikmesi, kırmızıda beklenen süreler gibi durma zamanı ve toplam gecikme zamanlarından kaynaklanabilmektedir. Toplam gecikme zamanı, durma zamanından kaynaklanan gecikmelere ek olarak durma ve kalkış sırasındaki gecikme sürelerinden oluşmaktadır. Toplam gecikmeyi en aza indirmeye yönelik hedefler arasında, kavşak kapasitesini en üst düzeye çıkarmak ve kaza sebebi olabilecek olası ihtimalleri azaltmak bulunmaktadır (U. S. Federal Highway Administration, 2005).

İzole adaptif sistemler, kavşak geçiş önceliğini trafik akışının anlık değerlerine göre vermektedir. Bunlar trafik miktarı, sıklık ve kuyruklanma gibi parametrelere göre gerçek zamanlı olarak sinyal sürelerini optimize eden sistemlerdir (Balaban & Ozturk, 2022).

Adaptif (uyarlanabilir) trafik sinyali kontrol cihazları, özellikle trafik akış düzeninin tüm yaklaşımlar için farklı olduğu durumlarda sinyal süresinin daha iyi yönetilmesini sağlamaktadır. İzole bir kavşak için adaptif kontrol modelleri ise genel olarak sezgisel, bulanık mantık, optimizasyon ve takviyeli öğrenme algoritmaları olarak sınıflandırılabilir. İzole bir kavşakta adaptif trafik kontrol sistemi uygulanmasına ilişkin tespitler, aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir (Nuli & Mathew, 2022):

- a. Şerit bazlı olmayan trafikte, araç dedektörlerinin durma noktasına yerleştirilmesiyle, trafik sinyalinin adaptif kontrolü önemli ölçüde sağlanabilmektedir.
- b. Durma noktası dedektör bilgilerini kullanan trafiğin adaptif kontrolü için uygun algoritmaların daha fazla çalışmaya ihtiyacı bulunmaktadır.
- c. Trafik akışı doğası gereği rastlantısal olduğundan, durum geçişinin belirleyici olduğu varsayımı geçerli değildir ve optimal altında çözümle sonuçlanabilmektedir.
- ç. Geleneksel takviyeli öğrenme algoritmaları, gerçek zamanlı çok fazlı sinyal kontrolü gibi büyük ölçekli problemlerle başa çıkamamaktadır.

İzole sinyalizasyon kavşaklarının işletilmesine yönelik analizler, bir şehirdeki ulaşım sisteminin performansı hakkında değerli ve önemli bilgiler sağlayabilmektedir (Flamarz Arkawazi, 2017).

2.3.6.2 Kavşaklarda Koordine Sinyalizasyon Sistemi

Önemli trafik akışlarına sahip yoğun yol ağlarında, kavşaklar birbirleriyle etkileşim halindedir ve izole kavşaklarda trafik sinyallerinin basit kontrolü yeterli olmayabilir. Bu durumda kavşaklar arasındaki trafik etkileşimlerinin bilinmesine ya da genellikle toplu taşıma araçları ve yayalar gibi yol kullanıcı kategorilerinin önceliklendirilmesini sağlayan kontrol sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle genellikle ana yol ağı boyunca birbirine yakın kavşaklarda trafik sinyallerinin koordinasyonunun sağlanması (Dağüstü, 2010; Murat, 1996) gerekmektedir (Cracknell, 2000).

Kavşaklar arasındaki bağlantılılık sayesinde, trafik akışı kesintisiz olabilmektedir. Trafik sürekliliği, gecikmelerin azalması ve kesintisiz hizmet sağlanması için kavşaklar arası mesafenin 700 m'ye kadar olması halinde, koordineli çalışan kavşak tasarımı yapılabilir (Alemdar, 2019). Koordine sistemler çalışma şekillerine göre senkronize, alternatif, progresif ve arazi (alan) trafik kontrol sistemi olarak sınıflandırılabilir (Dağüstü, 2010; Murat, 1996). Yol ağı boyunca birbirine yakın kavşaklarda trafik sinyallerinin koordinasyonunun, merkezi bilgisayar kontrolü ile sağlanması, Alan Trafik Kontrolü (ATC) olarak adlandırılmaktadır (Cracknell, 2000).

Bölünmüş Çevrim Ofseti Optimizasyon Tekniği (SCOOT) ve Sidney Koordineli Adaptif Trafik Kontrol Sistemi (SCATS) gibi yöntemler trafiğe duyarlı mevcut ticari sistemlere örnektir. Algılayıcı gereksinimleri sistemin uygulanışına göre farklılık gösterse de SCOOT genellikle sinyalizasyon kavşak başına bir algılayıcı (sensör) gerektirmektedir. SCATS ise her ana yol şeridinde bir algılayıcı (sensör) kullanmaktadır (U. S. Federal Highway Administration, 2005).

2.3.7 Adaptif Trafik Sinyalizasyon Kontrol Modelleri

Dünya genelinde SCOOT, SCATS, Gerçek Zamanlı Hiyerarşik Optimize Edilmiş Dağıtık Etkili Sistem (RHODES), LHOVRA, Adaptif Kontrol için Optimizasyon Politikaları (OPAC), Basit Adaptif Kontrol Yazılımı (ACS Lite), Dinamik Kavşak Kontrol Sistemi (CHAOS) ve ATAK gibi adaptif trafik kontrol stratejileri ve yöntemleri kullanılmaktadır. Bu bölümde bu yöntemlerden SCOOT ve SCATS modelleri incelenmektedir.

2.3.7.1 Döngüsel Akış Profilleri (Cyclic Flow Profiles)

Döngüsel akış profili, döngünün her bir parçası sırasında, yol üzerinde seçilen herhangi bir noktadan geçen araçların ortalama tek yönlü akışının bir ölçüsüdür. Döngünün her bir bölümündeki ortalama akışlar, birden fazla döngü süresi boyunca alınabilmektedir ya da her dört saniyede bir güncellenebilmektedir. Böylece, döngüsel akış profilleri, akışlar yüksek olduğunda trafikteki araçların tamamını, döngü içinde birbirini izleyen adımlar olarak kaydedebilmektedir. Döngüsel akış profilleri, elle oldukça kolay bir şekilde ölçülebilmektedir. Bu ölçümlerden, çoğu bölgede trafiğin düzgün şeritler halinde yoğunlaşmadığı, sinyallerin tüm döngüler boyunca değişen yoğunlukta dağıldığı görülebilmektedir (Robertson & David Bretherton, 1991).

2.3.7.2 Bölünmüş Çevrim Ofseti Optimizasyon Tekniği (SCOOT)

SCOOT, birbirine yakın trafik sinyallerinin koordine edilmesi ve ulaşım ile ilgili zorlukların kolaylaştırılması için kullanılan gerçek zamanlı çevrim içi bir sinyal kontrol yöntemidir. Bu yöntem yol kullanıcılarının deneyimini her şeyin önüne ve merkezine koymaktadır (TRL Software, 2021a). Büyük Britanya'daki Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarı (TRRL), trafik sistemleri üretici ve tedarikçileri iş birliği ile 1973'te, çevrim içi sinyal zamanlama iyileştiricisi (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021), SCOOT kentsel kontrol sistemini geliştirerek (Department for Transport, 1999; Robertson & David Bretherton, 1991), 1979'da

Glasgow’da kapsamlı bir test sırasında uygulamaya almıştır (U. S. Federal Highway Administration, 2005).

Bir kavşağın önüne yerleştirilmiş olan algılayıcılardan elde edilen trafik sinyalleri ölçümünden elde edilen bilgilere dayanan SCOOT modeli, her dört saniyede bir (Robertson & David Bretherton, 1991), her trafik bağlantısı için döngüsel bir akış tahminini hesaplamaktadır. SCOOT bu profilleri Trafik Ağı Çalışma Aracı (TRANSYT) dağılım modelini kullanarak akış sonrası kavşağa aktarmaktadır (U. S. Federal Highway Administration, 2005).

SCOOT’u oluşturan üç temel prensip; döngüsel akış profilini gerçek zamanlı olarak ölçme, çevrim içi kuyruk modelinin sürekli olarak güncellenmesi ve sinyal ayarlarının artan optimizasyonu (Mathew, 2019a) olarak sıralanabilmektedir. Döngüsel akış profili için trafik verileri, genellikle her saniyede bir, sinyal durma hatlarının oldukça yukarısında, tercihen önceki kavşağın hemen aşağısında yer alan endüktif döngü sensörlerinden toplanmaktadır. Bu durumda, kurulum maliyetleri azalmaktadır ve durma hattının aşağısındaki varışlar için mümkün olan en erken doğrudan tahmin yapılabilir. Ayrıca kuyruğun, yukarı akış kavşağına kadar uzanması durumunda oluşabilecek sıkışıklık sensörler tarafından önceden tahmin edilebilmektedir. Araçlar sensörlerin üzerinde sıraya girdiği sırada SCOOT tarafından özel bir aksiyon alınabilmektedir (Robertson & David Bretherton, 1991).

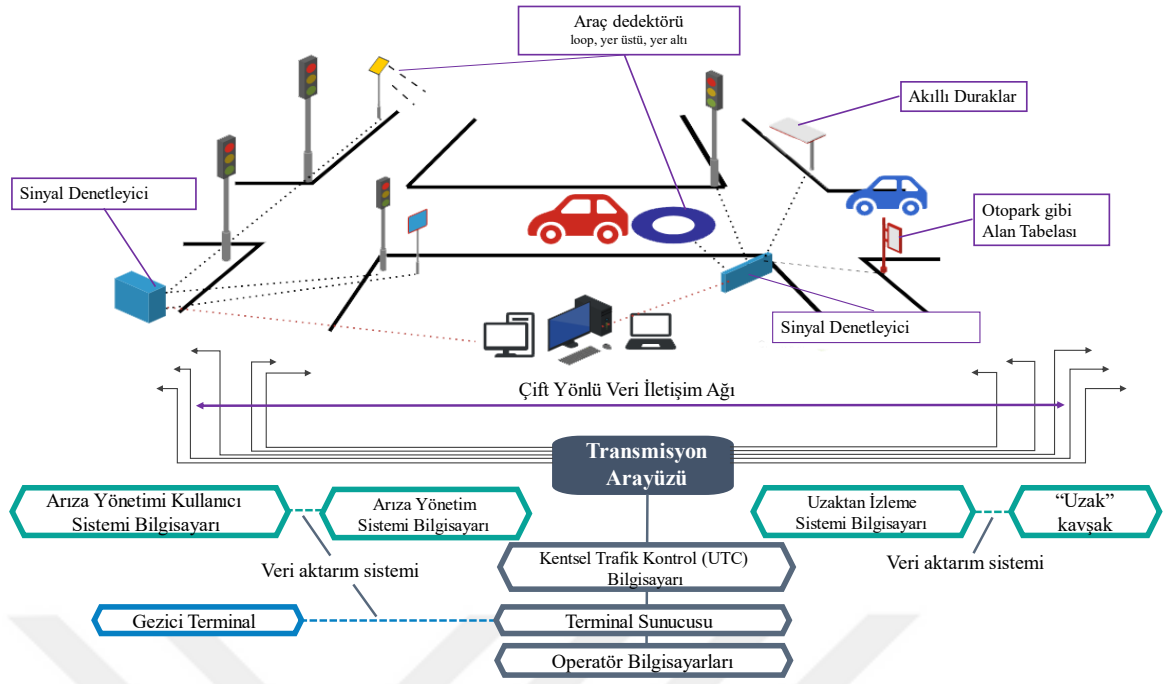
TRANSYT ve SCOOT; kuyruk hacmini tahmin edebilen birbirine benzer trafik modelleri içermektedir. Bu modeller, optimize ediciler tarafından alternatif sinyal zamanlamalarını değerlendirmek ve böylece en iyi ayarları bulmaya yardımcı olmak için kullanılmaktadır. Trafik modellerinin gerçek dünyayı simüle etmesi gerekmektedir. Aksi takdirde optimizasyon uzmanlarının, trafik sorunlarının çözümü çerçevesinde yanlış yönlendirilmesi söz konusu olabilmektedir.

SCOOT uyarlanabilir bir yapıya sahiptir ve trafikteki değişikliklere anında müdahale edebilmektedir. Bu yöntem sayesinde, hazırlanması ve güncel tutulması oldukça maliyetli olan trafik sinyal planlarına olan ihtiyaç, ortadan kalkmaktadır. SCOOT, sinyalize yol ağlarında trafiği yönetmek için etkili ve verimli bir araç olduğunu kanıtlayarak Birleşik Krallık’ta ve farklı birçok ülkedeki 170’den fazla kasaba ve şehirde kullanılmaktadır (Department for Transport, 1999).

Bir bölgedeki trafik sinyallerinin çalışmasının doğru koordinasyonu ile araçların bir yol ağı boyunca sorunsuz hareket etmesi ve aynı zamanda yol kullanıcılarının süre optimizasyonu, SCOOT ile mümkün olabilmektedir. SCOOT, 1995 yılında 3.1 sürümü ile ortaya çıkmış olup en son sürümü 2020 yılında 7.0 olarak kullanıma sunulmuştur. Her bir sürümünde yeni trafik yönetimi özellikleri eklenerek geliştirme ve iyileştirmeler yapılmaktadır. SCOOT’un 7.0 sürümü

ile gelen özelleştirilmiş trafik sıkışıklığı yönetimi, genellikle %15'lik gecikme azalmaları, maksimum yol ağı verimliliği, esnek haberleşme mimarisi, araç emisyonlarının tahmini, kapsamlı trafik bilgileri ve yaya önceliği gibi temel faydalar sunmaktadır (TRL Software, 2021a). Değişken mesaj işaretlerinin görüntülenmesi, yönlendirmeler, acil durum yeşil dalga rotaları ve sabit zaman planı, SCOOT'un diğer özellikleri arasında yer almaktadır (Mathew, 2019a).

Bir SCOOT sisteminin merkezindeki çekirdek yazılım, tüm kurulumlar için standart olup bu sistemi yol üstü ekipmanına bağlayan ve kullanıcı arayüzü oluşturan ek yazılım (örgü yazılımı) ise üreticisine özeldir. SCOOT, tahsis edilen haberleşme hatlarını kullanarak yol üstü ekipmanlarına gerekli komutları göndermektedir. Bu komutlar yol kenarındaki trafik sinyal ekipmanları tarafından yorumlanarak uygulamaya alınmaktadır. Bu ekipmanlar, merkezdeki bilgisayara cevap vererek komutun kabul edildiğini teyit etmekte veya bir arıza durumunu detaylandırmaktadır. SCOOT trafik akış verilerini genellikle sensör ve dedektörlerden elde etmektedir. Bu doğrultuda her bağlantı üzerinde gerekli olan sensör ve dedektörlerin konumlandırıldıkları yer önemli olmakla birlikte, genellikle yaklaşma bağlantısının yukarı akış ucuna yerleştirilmektedir. SCOOT'un sinyal zamanlamalarını ayarladığı bölünmüş, ofset ve çevrim süresinden oluşan üç optimizasyon prosedürü bulunmaktadır. Her bir optimize edici, sinyal zamanlamalarında yapılan küçük bir artımlı değişikliğin bölgenin trafik sinyal ağının genel performansı üzerindeki etkisini tahmin edebilmektedir. Her bir bağlantıdaki araç gecikmeleri ve duraklamalarına ilişkin tahminlere dayanan bir performans endeksi kullanılmaktadır. Split optimize edici, her kademe değişiminde mevcut kırmızı ve yeşil zamanlamaları analiz ederek kademe değişim süresinin iletilmesi, geciktirilmesi veya aynı kalması gerekip gerekmediğini belirlemektedir. Bölme optimize edici bir ila dört saniyelik artışlarla çalışmaktadır. Ofset optimize edici, yukarı akış veya aşağı akış düğümleriyle olan bağlantıların her biri için öngörülen döngüsel akış profillerini kullanarak her düğümdeki mevcut durumu analiz etmekte ve her düğüm için döngü başına bir kez çalışmaktadır. Daha sonra mevcut eylem süresinin dört saniyelik artışlarla iletilmesi, geciktirilmesi veya aynı kalması gerekip gerekmediğini değerlendirmektedir. Döngü süresi optimize edici, her beş dakikada bir veya döngü sürelerinin hızla arttığı durumlarda her iki buçuk dakikada bir bölge bazında çalışmaktadır. Trafik sinyal zamanlamalarında nispeten küçük değişikliklerin kombinasyonu sayesinde SCOOT, trafik talebindeki kısa vadeli bölgesel zirvelere yanıt verebilmekte ve zaman içindeki eğilimleri takip ederek sinyal ağının sürekli koordinasyonunu sağlayabilmektedir (Department for Transport, 1999). Şekil 2-6'da SCOOT'ta temel trafik kontrol sistemi bilgi akışı görülmektedir.



Şekil 2-6: SCOOT'ta temel trafik kontrol sistemi bilgi akışı

SCOOT'un kısıt ve sınırlılıkları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir (Mathew, 2019a):

- Özel algılama yapılandırma gereksinimleri nedeniyle yakın aralıklı sinyallerin işlenememesi, aracın algılanması için biraz zaman gerekmesi.
- Oldukça teknik olduğu için anlaşılması ve kullanılması zor olan bir arayüze sahip olması.
- Öncelikle kısa vadeli rastgele dalgalanmalara değil, trafik talebindeki uzun vadeli, yavaş değişimlere tepki vermek üzere tasarlanmış olması.

2.3.7.3 Sidney Koordineli Trafik Kontrol Sistemi (SCATS)

SCATS, 1970'li yıllarda Avustralya'nın Yeni Güney Galler (NSW) Eyaleti Yollar ve Trafik Otoritesi (RTA) tarafından geliştirilen (NSW Government, 2022), gerçek zamanlı (U. S. Federal Highway Administration, 2005), otomatik ve trafiğe duyarlı bir alan trafik kontrol sistemi ve sinyal kontrol stratejisidir (Mathew, 2019a). Güvenli, emniyetli, entegre ve verimli ulaşım sistemlerinin geliştirilmesine öncülük eden kurumlardan biri olan NSW'deki özel bir ekip tarafından geliştirme, iyileştirme ve güncelleme çalışmalarının sürekli olarak devam ettiği SCATS, ticari olarak kullanıma sunulan ilk adaptif kontrol sistemlerinden biridir (NSW Government, 2022).

Sistem, 1978 yılında Melbourne'de denenmiş ve 1980 yılında Victoria'da kullanılmaya başlanmış olup Avustralya ve Yeni Zelanda'daki neredeyse tüm büyük şehirler ile uluslararası birçok farklı şehirde kullanılmaktadır. SCATS; 2018 yılında Melbourne ile Victoria'nın Ballarat,

Bendigo, Traralgon, Geelong ve Mildura gibi diğer kırsal şehirlerinde 4.000'den fazla trafik sinyali setini kontrol etmiştir. Uluslararası alanda dünyanın en iyi trafik sinyal kontrol sistemlerinden biri olarak kabul edilen SCATS, 27 ülkede yaklaşık 150 şehirde kullanılmaktadır. Ayrıca SCATS oldukça gelişmiş ve dinamik bir AUS olup dünyanın en iyi trafik yönetim sistemlerinden biri olarak da kabul edilmektedir (VicRoads, 2021).

SCATS, trafik talebi ve sistem kapasitesinde oluşan değişiklikler sebebiyle ortaya çıkan ihtiyaçlara çözüm olarak sinyal süresini ayarlamak için şeritlerde dur çizgisinin hemen öncesinde bulunan araç dedektörlerinden gelen bilgileri kullanmaktadır (U. S. Federal Highway Administration, 2005). Tamamen bilgisayarlardan oluşması ve trafik talebine tamamen uyarlanabilir olması bakımından, istisnai bir sinyalizasyon kent içi trafik kontrolü sistemidir (Sims & Dobinson, 1980).

Sinyallerin zamanlaması bilgisayar tabanlı kontrol mantığı ile yapılmaktadır. SCATS, kavşak yaklaşımı dur çizgilerinde toplanan trafik akış bilgilerini kullanarak sinyal zamanlamalarını periyot bazında değiştirme yeteneğine sahiptir. Model tabanlı değildir, ancak seçtiği planlardan oluşan bir kütüphaneye sahiptir ve bu nedenle büyük ölçüde mevcut trafik verilerini kullanmaktadır. Sistem çok esnek, güçlü, genişletilebilir ve benzersiz izleme ve kontrol imkânı sunmaktadır. Kavşak, bölge ve merkezi sistemlerin yönetimini sağlamak için tasarlanan bu sistem kapsamında bölgelerde kullanılacak bilgisayarların koyulacağı yerler, bağlantı kurma ve haberleşme maliyetlerinin ekonomik olmasına göre belirlenmektedir. Her bölge bilgisayarı, kendi bölgesinin kontrolünü bağımsız olarak sürdürmekte ve girdi verileri bir trafik sensörleri sistemi tarafından toplanmaktadır. Bu sensörler yol yüzeyine gömülü endüktif döngü dedektörleri (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021) ya da sinyal gergi direklerine monte edilmiş video görüntü cihazları olabilmektedir. Sistem, ayrıca alınan verilere göre kendini otomatik olarak kalibre edecek şekilde tasarlanmıştır. SCATS; entegre trafiğe duyarlı çalışma sağlayan normal mod, herhangi bir arıza durumunda uygulanacak yedekleme modu, izole kontrol modu ile sinyal ekranının tüm yaklaşımlarda sarı ve kırmızı yanıp söndüğü dördüncü mod olmak üzere dört çalışma şeklini desteklemektedir (Mathew, 2019a).

SCATS dünya çapında birçok şehirde uygulama alanı bulmuştur. Kuzey Amerika'daki ilk uygulaması Güzergâh Belirleme ve Gelişmiş Kontroller Sayesinde Daha Hızlı ve Güvenli Seyahat (FAST-TRAC) projesi kapsamında Michigan Oakland County'de bulunan Autoscope video dedektörü ile birlikte gerçekleştirilmiştir. SCATS; (i) yerel, (ii) bölgesel ve (iii) merkezi olmak üzere üç kontrol seviyesine sahiptir. SCATS programlamaları, trafik operasyon merkezindeki bölgesel bir bilgisayar ile saha kontrolörü arasında dağıtılmaktadır. SCATS'ın başlıca

avantajlarından biri otomatik olarak zamanlama planlarını oluşturma yeteneği sayesinde, işletmeci kurum için kolaylık ve avantaj sağlamasıdır. Bir diğer avantajı ise dedektörleri otomatik olarak kalibre etme becerisi ile sistem testi ve bakımı esnasında bu görevden kaynaklanan zahmeti ortadan kaldırmasıdır (U. S. Federal Highway Administration, 2005).

SCATS, trafik sinyal zamanlamasını trafik koşullarına uyacak şekilde gerçek zamanlı olarak adapte edebilmektedir. Yollardaki dedektörler, araç saymanın yanında trafik yoğunluğunu ölçerek her yeşil periyodun sonunda merkezi bilgisayara raporlamaktadır. Bu doğrultuda, aşağıdaki üç trafik sinyali zamanlama parametresi, SCATS tarafından trafik koşullarını sağlamak amacıyla kontrol edilmektedir (VicRoads, 2021):

- **Faz bölünmeleri:** her hareket için yeşil süresi / faz
- **Çevrim süresi:** tüm hareketleri çalıştırmak için toplam süre / fazlar
- **Bağlantı ofsetleri:** yakındaki kavşaklarda yeşilin başlangıcı arasındaki zaman farkı

SCATS'ın kısıt ve sınırlılıkları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir (Mathew, 2019a):

- a. Günlük operasyonlar ve planlama görevlerini desteklemek için kullanıcı dostu arayüz özelliklerinden yoksundur.
- b. Hata mesajlarının okunması kolay değildir ve sistem operatörlerinin düzeltme yapmasına olanak tanımamaktadır.
- c. Gelişmiş ve ileri teknolojiyi içermesinden dolayı pahalıdır.
- ç. Bu tür bir teknolojiyi anlayıp çalıştırmak için oldukça iyi bilgiye sahip insan kaynağı gerekmektedir.

SCATS aracılığıyla sinyal işletiminin iyileştirilmesi sayesinde; seyahat sürelerinde %21, yakıt tüketiminde %12 ve durma sürelerinde %40 oranında azalma gibi önemli faydalar sağlanabilmektedir. SCATS, daha sorunsuz bir trafik akışı ile trafik kazalarının azaltılmasına da yardımcı olabilmektedir. Kötü hava koşulları, beklenmedik şerit kapamaları, trafik kazaları, özel etkinlikler, okul zamanları ve resmî tatiller gibi düzensiz trafik ve yol koşullarına müdahale kapsamında SCATS'ın uyarlanabilir yapısı, sağladığı faydaları artırabilmektedir. SCATS, ayrıca herhangi bir zamanda hangi alanların koordine edileceğine de karar verebilme özelliğine sahiptir. Ancak bazı kavşaklar, trafiğin az olduğu zamanlarda koordinasyon olmadan daha verimli çalışabilmektedir. Dünyada kullanılan diğer birçok sinyal sistemi, değişken koşullar karşısında bu düzeyde bir esnekliğe sahip olmamakla birlikte bunun yerine sabit zaman planlarını esas almayı tercih etmektedir (VicRoads, 2021).

2.3.8 Çevrim Dışı Sinyal Zamanlama Teknikleri

Sinyal zamanlama programları; trafik mühendisleri tarafından genellikle durma, gecikme, emisyon, yakıt tüketimi ve hizmet seviyesi gibi verimlilik ölçütlerine ilişkin tahminleri ortaya koymak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoğu sinyal zamanlama programının temel hedefi, durma ve gecikme kombinasyonu gibi bir ya da daha fazla iyileştirme kriterine dayalı olarak sinyal zamanlama parametresi sunmaktır (U. S. Federal Highway Administration, 2005).

Sinyalize kavşak analizlerinin en optimum şekilde yapılması amacıyla ve Karayolu Kapasite Yazılımı (HCS-97), İlerleme Analizi ve Sinyal Sistemi Değerlendirme Programı (PASSER), SYNCHRO, Sinyalli ve Sinyalsiz Kavşak Tasarım ve Araştırma Yardımı (SIDRA-aaSIDRA), Koridor Simülasyonu (CORSIM) ve Trafik Ağı Çalışma Aracı (TRANSYT) gibi birçok çevrim dışı yazılım geliştirilmiştir (U. S. Federal Highway Administration, 2005; Washburn & Larson, 2002). Bunların dışında; T-kavşaklar gibi öncelik kontrollü kavşaklarda, Öncelikli Kavşak Kapasitesi ve Gecikmesi (PICADY), öncelik kontrollü yuvarlak ada kavşaklarda Yuvarlak Ada Kavşak Kapasitesi ve Gecikme Değerlendirmesi (ARCADY), Optimize Edilmiş Sinyal Kapasitesi ve Gecikmesi (OSCADY), tüm sinyal kontrollü kavşak türlerinde LINSIG ile büyük çaplı projeler için grafiksel gösterim amacıyla VISSIM ve PARAMICS gibi programlar da yaygın olarak kullanılmaktadır (Highway Engineer, 2022). Trafik modellemesi için hangi bilgisayar destekli paket programının kullanılacağına, seçilen kavşağın türüne bağlı olarak karar verilebilmektedir.

2.3.8.1 Trafik Ağı Çalışma Aracı (TRANSYT)

TRANSYT, ABD ve Avrupa’da trafik simülasyon ve sinyal zamanlama için en yaygın kullanılan optimizasyon programlarından biridir. TRANSYT modeli ilk olarak 1967 yılında Dr. Dennis I. Robertson tarafından Birleşik Krallık’ta geliştirilmiştir (McTrans Center, 2022).

Bu orijinal versiyon bir Myriad bilgisayarı için makine koduyla yazılmış olup ilk versiyon olarak FORTRAN’a dönüştürmüş ve yıllar içinde iyileştirmeler yapılmaya devam edilmiştir. Programın 5. versiyonu 1972 yılında kullanıma girmiş olup ABD’de yaygın olarak kullanılan ilk versiyondur. Veri hazırlama ve çalışma süresi, sırasıyla bir “*bağlantı listesi*” kodlama ihtiyacının ortadan kaldırılması yöntemi ve optimizasyon sürecinde yapılan bir değişiklikle önemli ölçüde azaltılarak 7. versiyon olarak 1978 yılında TRANSYT-7F ortaya çıkmıştır. Bu versiyona aynı zamanda darboğazların modellenmesi de ilave edilmiştir (McTrans Center, 2022). Son versiyonu

ve halen güncellenen sürümleriyle 2019 yılında kullanıma alınan program 16. versiyondur (TRL Software, 2021b).

TRANSYT, bilinen akışların bir yol ağından en az engelle geçmesini sağlayan optimum sabit zamanlı trafik sinyali ayarlarının belirlenmesine yönelik bir yöntemdir. Yöntem dijital bir bilgisayar programı tarafından uygulanmaktadır. Burada ardışık yol kesimleri arasındaki akış etkileşimine, trafikteki araç gruplarının dağılımına ve sinyaller veya geçiş hakkı önceliğine sahip başka bir trafik akışı tarafından, akışın kontrol edilmesine izin verilen bir trafik modeli kullanılmıştır. Hesaplama yöntemi kısa bir çözüm süresi sağlamaktadır. Optimum sinyal ayarlarında iyi bir yakınsama, toplam gecikme ve durma sayısı arasında seçilen herhangi bir dengeyi en aza indiren tepe tırmanma tipi bir optimizasyon prosedürü kullanılarak elde edilmektedir. Burada hem sinyal ofsetleri hem de yeşil sürelerin tahsis edilmesi optimize edilebilmektedir (Robertson, 1969).

TRANSYT, karayolu ağındaki sinyal ayarlarını optimize etmek için dünya çapında kullanılan bir programdır. Program, trafik akış profilleri veya histogramları ile araçların hareketini simüle edebilmektedir. Bir yol bağlantısındaki araç gruplarının dağılımı da kullanıcılar tarafından yerel koşullara uyacak şekilde ayarlanan parametrelerle modellenmektedir (Luk, 1990).

TRANSYT, tek bir izole kavşaktan büyük karma sinyal kontrollü ve öncelik kontrollü trafik ağlarına kadar her şeyin tasarlanması, değerlendirilmesi ve modellenmesi amacıyla makroskopik bir trafik modeli, bir sinyal optimizasyon aracı ve bir simülasyon modeli içeren bir yazılım paketidir. Uzun yıllara varan araştırma ve geliştirme çalışmalarına dayanan TRANSYT, tek bir kavşakta ve karma kontrollü büyük trafik ağlarında trafik sinyallerini optimize etmek için kullanılan kapsamlı bir küresel üründür. Özellikle minimum kullanıcı girdisi ile hızlı çözümler ve gerektiğinde daha ayrıntılı çözümler sunmak üzere tasarlanmıştır. TRANSYT modellemesi; sabit zamanlı sinyaller için kullanılan sinyal planları, kablosuz bağlantı sistemleri, SCOOT taban zamanlamaları, araç harekete geçirme için maksimum süreleri gibi birçok işlemi destekleyebilmektedir. Ayrıca bu belirtilen işlemlerin performanslarını tahmin etmek için de kullanılabilmektedir (TRL Software, 2021b).

TRANSYT, standart trafik verisi zamanlama parametrelerini girdi olarak kullanarak mevcut zamanlamanın gözden geçirilmesini sağlayarak aynı zamanda ağırlıklı gecikmelerin, duraklamaların ve kuyruklanmaların doğrusal bir kombinasyonu ya da toplam işletme maliyetini en aza indirmek için yeni planları optimize edebilmektedir. Günümüzde kullanıcı dostu olacak şekilde güncellenmiş olan bu programdaki optimizasyon teknikleri tepe tırmanma metodu (hill climb method) ve genetik algoritma optimizasyonunu içermekte olup kuyruklanma ve trafik

uyarmalı sinyallerin yönetimini de içermektedir. ABD’de sinyal zamanlaması için yaygın olarak kullanılmaktadır (U. S. Federal Highway Administration, 2005).

Ayrıca TRANSYT simülasyon/optimizasyon modeli, sabit ve ortak bir döngü uzunluğunda çalışan trafik sinyali ağlarını koordine eden diğer yöntemlerin verimliliğini ölçen, resmi olmayan uluslararası bir standart olarak hizmet vermektedir (Rakha & Van Aerde, 1996).

2.3.8.2 Sinyalli ve Sinyalsiz Kavşak Tasarım ve Araştırma Yardımı (SIDRA)

SIDRA, trafik ve ulaşım planlaması, yönetimi, tasarımı ve operasyonları alanında 1975’ten günümüze kadar kullanılan bir trafik modelleme aracıdır. Kavşakları, köprülü kavşakları, caddeleri ve yol ağlarını modellemek için analitik bir yaklaşım kullanmaktadır. Uygulamaları arasında trafik etki analizi, yuvarlak ada kavşak geometrik tasarımı, trafik sinyal kontrol sistemlerinin verimli çalışması ve dengeli hareket ve yer çözümlerinin geliştirilmesi yer almaktadır. SIDRA; yayalar, bisikletliler, otobüsler, tramvay gibi hafif raylı sistem, otomobiller ve yük araçları dahil olmak üzere tüm ulaşım kullanıcılarının birbiriyle kesişen gereksinimlerini dikkate alarak ortaya koyduğu dengeli çözümler aracılığıyla ulaşım planlaması ve trafik mühendisliği karar verme süreçlerine önemli bir değer katmaktadır. Böylece maliyet tasarrufu ve çevresel faydalar da sağlamaktadır. Orijinal ilk versiyonu, 1975-1979 arasında Dr. Rahmi Akçelik tarafından geliştirilmiştir. Beşinci sürümü sonrasında 2000’li yıllarda adı aaSIDRA olarak değişerek iki sürüm sonrasında 2006 yılında SIDRA Intersection 3 olarak değişerek günümüzdeki sürümlerine kadar gelmiştir (Sidra Solutions, 2023). SIDRA, trafik akışına ve geometriye dayalı olarak gecikmeleri ve kuyrukları tahmin eden bir kavşak ve yuvarlak ada kavşak operasyon analizi bilgisayar yazılımı paketidir (Shokri vd., 2010). SIDRA, dur işareti kontrollü yaklaşımlar ve sinyalleme yaya geçitleri, kırmızıda sağa dönüş ve korumalı izinli sola dönüşler dahil olmak üzere uyarmalı kavşakları ve sinyalleme edilmemiş kavşakları modelleyebilmektedir (U. S. Federal Highway Administration, 2005).

SIDRA hesaplamaları; büyük ölçüde şerit akışlarının tahmin edilmesi, herhangi bir şerit bloke edilmesi de dahil olmak üzere paylaşılan şeritlerde trafiğin modellenmesi, herhangi bir fiili (etkin) tahsisli şerit tanımlanması, azaltılmış kısa şerit kapasitelerinin ve kısa şeritlerden bir sonraki şeride olan aşırı akış miktarının belirlenmesi gibi hususlarla ilişkilidir. SIDRA yöntemleri Avustralya’da davranış parametreleri, kapasite, yerinde kalibrasyon ve tasarıma güven oluşturma gibi konularda yürütülen kapsamlı araştırmalara dayanmaktadır. SIDRA kapasite ve performans modellerini, diğer modellerden ayıran temel özellikler ise aşağıdaki gibidir (Akçelik, 1997).

- **Şerit bazında analiz:** SIDRA tarafından kullanılan tüm kapasite ve performans analiz teknikleri şerit bazında gerçekleştirilmektedir.
- **Yuvarlak ada kavşak bir dizi T-kavşağı anlamına gelmemektedir:** SIDRA’da kullanılan etkileşimli yöntem, özellikle düzensiz giriş akışlarının olduğu çok şeritli kavşaklarda, yoğun akış koşulları altında kapasitelerin tahminini iyileştirmektedir. Aşırı doyuma ulaşmış şeritlerde, trafik akışına katkıda bulunan akışları kapasite değerleriyle sınırlandırmak için bir kapasite kısıtlama yöntemi de kullanılmaktadır. SIDRA, bu faktörlere izin veren bir denge çözümü bulmak için birçok sayıda tekrar (iterasyon) yapmaktadır.
- **Kapasite ve performans modelleri:** SIDRA’nın kapasite ve performans tahmini yöntemi geleneksel boşluk kabul ve kuyruk teorisi modelleriyle tutarlıdır. SIDRA kapasite formülünden elde edilen tahminler, giriş ve sirkülasyon akışı özelliklerini tanımlayan aynı parametre değerleri dikkate alındığında, alternatif boşluk kabul formülleri tarafından elde edilenlere çok benzemektedir.
- **Diğer kavşak türleri ile tutarlılık:** SIDRA yöntemi, entegre bir modelleme çerçevesinin kullanılmasıyla elde edilen yuvarlak ada kavşaklar, sinyal kontrollü ve sinyalize kavşaklar için kapasite ve performans analizi yöntemlerinin tutarlılığını vurgulamaktadır. Bu durum, tüm kavşak tipleri için geometrik gecikmeler ile buna bağlı yavaşlama etkilerinin hesaplanmasını kapsamaktadır ve alternatif kavşak uygulamalarının tutarlı bir şekilde değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır.
- **Hizmet seviyesi:** SIDRA, yuvarlak ada kavşaklar ve trafik sinyalleri için aynı hizmet seviyeleri kriterlerini kullanmaktadır. Bunun temel nedeni yuvarlak ada kavşakların performansının geniş bir akış koşulu aralığında trafik sinyallerine daha yakın olmasıyla ilgili beklentiyi karşılamaktır.

2.3.8.3 LinSig

Detaylı trafik sinyali tasarımı için Birleşik Krallık’ta kullanılan, sinyalize kavşakların münferit olarak ya da birkaçının bir ağ şeklinde değerlendirilmesi, geliştirilmesi ve tasarlanmasına yardımcı olan bir bilgisayar yazılım paketidir. Program, Birleşik Krallık’taki karayolu idarelerin ve uzmanlarının çoğu tarafından çeşitli bölgelerde kullanılmaktadır. Dolayısıyla Birleşik Krallık’ta en yaygın kullanılan trafik sinyali tasarım ve analiz yazılımı olarak görülmektedir. Bu yazılım bilgisayar teknolojisi ve kullanıcı gereksinimleri değişip geliştikçe 1985’ten günümüze

kadar düzenli ve kapsamlı bir şekilde güncellenmiştir. LinSig 3, 2009 yılında ortaya koyulan en son sürümdür ve şu anda 3.2 versiyonu bulunmaktadır (JCT Consultancy, 2021).

JCT Consultancy Ltd (JCT) tarafından geliştirilen LinSig, ayrıntılı kavşak dizaynı, tasarım tekliflerinin değerlendirilmesi ve kavşak denetleyici şartnamelerine göre yapılacak kontrollere yönelik çerçeve modellerin oluşturulması için kullanılabilir. LinSig, mevcut kavşakların çalışma şeklini ve herhangi bir tasarım önerisinin uygulanması halinde nasıl çalışacağını doğru bir şekilde gösterilmesini sağlamak için geometrik yerleşim, trafik ve denetleyici modellemesini birleştirmektedir. Kavşak performansının optimizasyonu açısından LinSig, kademeler arası tasarım verimliliğinin en üst düzeye çıkarılmasını sağlamaktadır ve gecikmeyi en aza indirmek veya Pratik Rezerv Kapasitesini (PRC) bir kavşak veya ağ düzeyinde en üst seviyeye çıkarmak için sinyal zamanlamalarını optimize edebilmektedir. Sinyal zamanlamaları, sürelerin iyileştirilmesi veya sahaya özgü güvenlik ve emniyet gereksinimlerine uygun hale getirilmesi için kullanıcı tarafından manuel olarak ayarlanabilmektedir. LinSig, aynı zamanda, gecikme ve kapasitenin döngü süresi artışlarına göre nasıl değiştiğini göstererek optimum döngü süresinin seçilmesine yardımcı olabilen bir döngü süresi optimizasyon aracına sahiptir. LinSig, izole sinyalize kavşaklar, birbirine yakın kavşaklar ve birden fazla denetleyici kullanan daha büyük ağların modellenmesi için tasarım ve değerlendirmeler yapmak amacıyla kullanılmaktadır (Transport for London, 2021).

LinSig'in ardındaki temel mantık, sinyalize kavşaklarındaki işleyişi, gerçek trafik sinyali denetleyicilerinin kavşaklarda nasıl çalıştığına benzer bir şekilde modellemesidir. LinSig özellikle seçeneklerin test edilmesi için uygundur ve çok sayıda seçeneğin hızlı bir şekilde test edilmesini kolaylaştırarak uygulanabilir olmayan tasarımların veya plan seçeneklerinin hızlı bir şekilde reddedilmesini veya iyileştirilmesini sağlamak üzere tasarlanmıştır (JCT Consultancy, 2021).

LinSig, tekil kavşak tasarımının yanında ayrı denetleyicilere sahip çoklu kavşak ağlarını modelleyebilmekte ve optimize edebilmektedir. LinSig modellerinden elde edilen en yaygın performans çıktıları, Doygunluk Derecesi (DoS) ve kuyruk uzunluğudur. Bunlar bir kavşağın ve dolayısıyla hemen çevresindeki yol ağının yeni bir planla etkin bir şekilde çalışıp çalışmayacağını değerlendirmek için kullanılabilir. LinSig'i kullanmanın avantajlarından biri, arayüzünün kavşak denetleyici spesifikasyonlarına benzerliğidir. Bu durum, verilerin girilmesini ve sürelerin yol (cadde, sokak vb.) üzerine aktarmasını kolaylaştırmaktadır. Modellerin oluşturulması ve sonuçların elde edilmesi çok hızlı olmasına rağmen, farklı modları ve engellemeleri modellemek için minimum kapasiteye sahiptir. Bu nedenle daha kapsamlı trafiğin yeniden yönlendirilmesi gibi durumları simüle edememektedir. Bu sistemde, toplu akışlar ve sinyal zamanlamaları

kullanıldığından, gerçek hayatın rastlantısallığı, özellikle de talep bağımlılığı, doğrudan taklit edilememektedir (Transport for London, 2021).

2.4 TRAFİK YÖNETİMİ İÇİN VERİ TOPLAMA YÖNTEMLERİ

Trafik yönetiminin temel amacı, genel trafik verimliliğini artırmaktır. Trafikte yaşanan temel sorun ve zorlukların azaltılmasında büyükşehir ve kentler tarafından trafik yönetim sistemlerine güvenilmektedir. Trafik yönetimine fayda sağlayabilecek en etkili araçlardan biri ise trafik ve ulaşım verileridir. Bu verilerin analizi sadece herhangi bir yol ağının trafik durumunu ortaya koymakla kalmaz, aynı zamanda gelecekte ortaya çıkabilecek aksaklıkları tahmin etmek ve bunları azaltmada kullanılabilmektedir (Afrin & Yodo, 2023). Trafik ve ulaştırma verileri, ulaşım altyapısına yapılan birçok yatırımda avantaj ve dezavantaj dengesini sağlayabilme kabiliyeti ile ulaşımın birçok alanında iyileşmeler ve dönüşümler için fırsatlar sunabilmektedir. Böylece ülkelerin gelişimine yönelik olumlu bir değişim için katalizör olabilme gücü taşıyabilmektedir. Ulaştırma verileri ulaşım alanında tasarlanan her türlü analiz, planlama, proje ve operasyonlarda zamanın koşullarını iyileştirmek ve gelecek projeksiyonları oluşturmak için kullanılabilmektedir.

Bilinen trafik yönetimi prosedürlerinin çoğunluğu, genellikle trafiğin doğru tahminine dayanmaktadır. Bu nedenle ulaşım verilerinin toplanmasıyla ilgili çözümler trafiğin yönetilmesinde birincil ve önemli işlevlerden biri olarak görülebilmektedir. Birçok araştırmacı tarafından trafik ve yol koşullarıyla ilgili verileri toplamak için çok sayıda yöntem önerilmektedir. Temelde sıklıkla ölçmeye yönelik farklı türlerdeki bu çalışmalarda; yol kenarına yerleştirilen ses kaydedici cihazların (mikrofon) kullanımı, araçlara yerleştirilen makine öğrenimi ve büyük veri destekli gerçek zamanlı veri toplayan sensörler geliştirilmesi, uyarlanabilir bir mimari çerçeve ile veri madenciliği ve makine öğrenim algoritmalarından faydalanılması, sismometre ve ses bilgisi tabanlı teknolojilerin uygulanması, piezoelektrik teknolojilerinin denemeleri ve kablosuz ağ teknolojilerinden yararlanılması gibi yöntemler ile veri toplamaya ilişkin girişimler ortaya koyulmaktadır. Akıllı cihazların kullanımındaki artış ve kablosuz teknolojilerdeki büyük gelişmeler, GPS tabanlı kablosuz tekniklerin uygulanmasını ve araçla ilgili verilerin toplanması için konum verilerinin kullanılmasını kolaylaştırmaktadır (Ravish & Swamy, 2021).

Trafik verileri, yol ağı kullanıcıları ile ilgili kurumların ulaşım ağını nasıl kullanacakları ve yönetecekleriyle ilgili kararları iyileştirebilmektedir. Mevcut trafik koşullarını tahmin etmek amacıyla kullanılan ulaşım verileri, etkili ve verimli trafik yönetiminin önemli unsurlarındandır (Alexandre, 2013). Trafik verilerinin kullanım amaçları, trafik yönetiminin de temel adımları

olarak değerdendirilebilecek aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Austroads, 2006, 2020c; Young vd., 1989):

- **İzleme:** Herhangi bir zamanda geçerli olan ve zaman içinde değişen trafik koşulları hakkında bilgi toplanması.
- **Tahmin:** Mevcut trafik sistemlerine ilişkin verilerin, mevcutta ya da gelecekte farklı koşullar altında trafiğin nasıl olacağını tahmin etmeye yönelik bir prosedürün girdilerinden biri olarak kullanılması.
- **Kalibrasyon:** Teorik veya simülasyon modelindeki bir veya daha fazla parametrenin değerlerini tahmin etmek için trafik verilerinin kullanılması.
- **Doğrulama:** Bir analitik veya simülasyon modelinin, modeli kalibre etmek için kullanılan bilgilerden bağımsız bilgilerle doğrulanması.

Trafik araştırmalarında genellikle araç ve yol akışları, bekleyen araç veya yaya sayısı, bisiklet kullanıcılarının akışları, parkeden araç sayıları, araçlarda bulunan yolcu sayısı, araçların hızı, seyahat ve gecikme süreleriyle bunların unsurları, yolculukların başlangıç ve varış noktaları, araç ağırlık ve boyutları, yakıt tüketimi ve emisyonlar, trafik sinyallerindeki doygunluk akış oranları ve kritik trafik kabul mesafesi ile yuvarlak ada kavşaklarda ve sinyalize olmayan kavşaklarda takip mesafesi gibi sürücü davranışıyla ilgili trafik özellikleri hakkında bilgiler istenilmektedir (Austroads, 2020c).

Trafik ve ulaşım verileri, bilgi kaynağı ve toplama yöntemine göre gözlemsel ve otomatik olmak üzere iki temel gruba ayrılabilir. Gözlemsel veri toplama yönteminde; bilgi üretimi genellikle ulaşımla ilgili faaliyetleri gözlemlemek ve bunları kaydetmek için fiili olarak çaba harcayarak olmaktadır. Otomatik veri ise ulaşım sürecinin kendisinden, yani hareketlilik hizmetlerinin kullanımı ve oluşu gibi süreçlerinin bir dereceye kadar dijitalleştirilmesi şartıyla toplanabilmektedir. Çağdaş ulaştırma biliminde her iki veri türü de yaygın olarak kullanılmakla birlikte, dijitalleştirilmiş ulaştırma süreçlerinin artması ve dolayısıyla otomatik veri toplama maliyetlerinin düşmesi nedeniyle ikinci kaynağa doğru kademeli bir kayma gözlemlemektedir. Veri yönetimine yönelik girişimlerin verimliliğini belirleyen kilit başarı faktörleri ise aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir (Graham & Hörcher, 2018):

- Veri teknolojisine ve insan kaynağına yapılan yatırımların dengeli olması.
- Talep tahmini, müşteri deneyimi ve ulaştırma faaliyetlerinin teknoloji boyutu ile ilgili veri uygulamalarına eşit derecede odaklanması.
- Özellikle mahremiyete odaklanarak veriyle ilgili politikaların uygulanmasında daha önce karşılaşılan tehlike ve sorunlara gereken dikkatin gösterilmesi.

- Çeşitli kentsel ulaşım türleri arasında veri paylaşımı da dahil olmak üzere kurumlar içinde ve arasında mevcut verilerin kesintisiz akışının sağlanması.
- Dijitalleştirilmiş sistemler tarafından otomatik olarak oluşturulan ayak izinin verimli bir şekilde geri dönüştürülmesinin sağlanması.

Veri kullanımına yapılan yatırımların ulaşım hizmeti operatörleri, yol kullanıcıları ve genel olarak toplum için bireysel seyahat kararlarının verimliliği, performans ölçümü ve kıyaslama yapabilme, paylaşımlı ulaşım modlarının oluşturduğu ölçek ekonomisi gibi çeşitli potansiyel faydaları bulunmaktadır (Graham & Hörcher, 2018). Ulaşım verilerinin toplanmasında veri sağlayıcılarının faydalandığı, AUS'un temel unsurları arasında yerini alan ve ulaşım yönetiminde etkili parametreler olarak görülebilen bazı sistem ve bileşenler aşağıda yer almakta olup bunlarla sınırlı değildir:

- Park bilgi sistemi
- Otoyol ulaşım kontrol cihazları
- Şerit kontrol sistemi
- Katılım kontrol sistemi
- Araçlar arasında otomatik mesafe kontrolü
- Otomatik kontrol sistemleri
- Araç üstü cihazlar
- Gerçek zamanlı sinyal kontrolü cihazları
- Otobüs bilgi sistemi
- Gerçek zamanlı trafik bilgisi sağlayan haberleşme sistemleri
- Bağlantılı hareketlilik verileri
- Araçtan araca bilgi sağlama (V2V)
- Toplu taşıma ücret ödeme altyapı sistemi
- Ulaşım verileri transfer merkezleri
- Lojistik bilgileri
- Entegre ulaşım yönetim sistemi

2.4.1 Manuel Veri Toplama

Manuel veri toplamanın klasik örnekleri arasında, bireylerin katılımı, manuel veri işleme ve ankete dayalı veri temini bulunmaktadır. Nicel ulaşım analizlerinin ana hedeflerinden biri, insan davranışını ve bunun sonucunda ulaşım talebinin altında yatan mekanizmaları anlamaktır. Bu

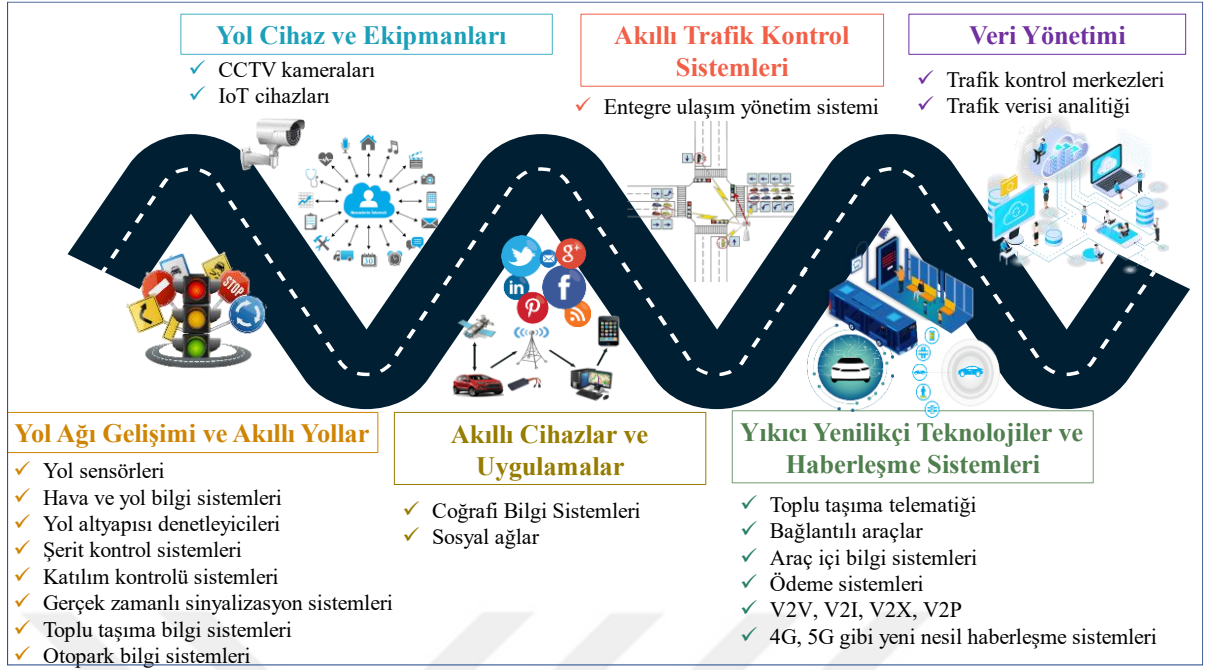
amaca ulaşmak için insanlara alışkanlıkları hakkında açıkça sorular sorulabilmektedir. Ancak bu yöntemde, kişisel çıkarlar veya yanlış yargılar da dahil olmak üzere bir dizi nedenden dolayı bazı cevaplarda yanlış davranılması söz konusu olabilmektedir (Graham & Hörcher, 2018).

2.4.2 Otomatik-Dijital Veri Toplama

İnsanların, malların ve araçların hareketleri dijital ayak izleri bırakıyorsa, bu veri öğeleri sistematik bir şekilde bir araya getirilebilir ve işlenebilir. Otomatik veri kaynakları, tek seferlik seyahat kararlarının yanı sıra düzenli hareketlilik alışkanlıkları da dahil olmak üzere, belirlenen seyahat tercihlerinin gözlemlenen gerçek davranışlarla değiştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu doğrultuda veri toplama için insan müdahalesine ihtiyaç duyulmadığı göz önüne alındığında, veri miktarı ve örneklenen kullanıcıların büyüklüğü ile gözlemlerin doğruluğu veya kalitesi açısından önemli iyileştirmeler ortaya çıkabilmektedir. Otomatik veriler talep ve arz yönlü olarak sınıflandırılabilir (Graham & Hörcher, 2018).

Trafik yönetiminde çok çeşitli veriler ve veri kaynakları kullanılmaktadır. Bu nedenle veri kalitesi farklılıklarını göz önünde bulundurarak verilerin daha verimli ve doğru bir şekilde nasıl toplanabileceği, analizi ve entegre edilebileceğine ilişkin yöntemleri incelemek önemli olmaktadır (TrafficQuest, 2012).

Günümüzde en yaygın ulaşım verisi toplama kaynakları, AUS unsurları ve bir derece daha ötesi olan Kooperatif AUS (K-AUS) bileşenleridir. Bağlantılı, kooperatif, otonom hareketlilik (CCAM) ve paylaşımlı ulaşım modellerinin tüm bileşenlerinin dijitalleşmesi ile bu bileşenlerin topladığı verilerin yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler ile işlenebilmesi gibi gelişmeler ulaşım ve trafiğin yönetiminde verimliliği iyileştirebilecek sonuçların ortaya çıkmasını muhtemel hale getirmiştir. Bluetooth teknolojileri, GPS tabanlı ölçüm cihazları, mobil telefonlar, araç içi bilgi ve haberleşme teknolojileri, yol üstü üniteler, trafik kontrol merkezleri, çevrim içi uygulamalar gibi çeşitli veri kaynakları, her geçen gün giderek daha fazla kullanılabilir hale gelmektedir. Şekil 2-7'de, günümüzdeki trafik veri kaynakları görülmektedir.



Şekil 2-7: Trafik verisi kaynakları

2.4.2.1 Talep Yönlü Veriler

Talep yönlü verilerin en sık elde edildiği veri kaynaklarını; cep telefonları, akıllı telefonlar, çevrim içi iletişime sahip diğer tüketici elektroniği cihazları ve Küresel Konumlandırma Sistemleri (GPS) ile donatılmış araçlar dahil olmak üzere kişisel elektronik cihazların dijital işaretleri oluşturmaktadır. Bu tür veri kaynaklarını kullanma yöntemi basittir. Akıllı telefonların kullanım oranlarının son yıllarda hızla artmış olması, ulaşım analitiği için akıllı telefon konum verilerinin kullanılması açısından iyi bir fırsat olmuştur. Ancak yerel gizlilik yasaları, cep telefonu pazarının parçalı yapısı, piyasada çok sayıda operatörün bulunması gibi sebepler, verilere erişimi zorlaştırabilmektedir (Graham & Hörcher, 2018).

Talep verilerinin bir diğer tipik kaynağı ise ödemelerde veya bilet doğrulamasında dijital teknolojilerin kullanıldığı durumlardır. Otomatik ücret toplama ve ödeme sistemlerinde akıllı kartların ya da dijital farklı yöntemlerin yaygın kullanımı veri üretilmesi ve toplanması için iyi bir fırsat olarak değerlendirilmektedir. Burada temel amaç gelir toplamak olsa da aynı zamanda büyük miktarlarda çok ayrıntılı veriler de üretilmektedir. Bu veriler, toplu taşıma sisteminin günlük işleyişinden, uzun vadeli stratejik planlamalara kadar ulaşım, toplu taşıma ve diğer planlamacılar ile karar vericiler için çok faydalı olabilmektedir. Ancak bu verilerin değerli hale gelebilmesi, bunları kullanabilecek ve analizini yapabilecek uzmanlığı gerektirmektedir (Graham & Hörcher, 2018; Pelletier vd., 2011). Bunun dışında ulaşım ve seyahat için hala kâğıt bilet kullanılan

sistemlerden elde edilecek veriler de yolcu sayıları, yolculuk istikametleri gibi kıymetli bilgiler sağlayabilmektedir.

Rota planlayıcıları ve konuma dayalı çevrim içi sosyal ağ uygulamaları da zengin bir seyahat talebi verisi kaynağı olarak hizmet edebilmektedir (Llorca vd., 2018). Sosyal medya, yolcuların ulaşım ve diğer hizmetlerle ilgili izlenimlerini ve hayal kırıklıklarını ifade ettikleri ana platform olduğundan, müşteri memnuniyetiyle ilgili ölçümler için giderek daha popüler bir kaynak haline gelmektedir (Graham & Hörcher, 2018). Sosyal ağ uygulamaları seyahat edenlerin ve yol kullanıcılarının ulaşımına ilişkin temel motivasyonlarını ve tercihlerini ortaya koyan nicel bilgi kaynağı olmasıyla da iyi bir araç olarak görülebilmektedir.

Genellikle Bir Hizmet Olarak Hareketlilik (MaaS) olarak adlandırılan kişiselleştirilmiş ulaşım hizmet paketlerinin, talep üzerine sunulmasına işaret eden eğilimler, hızlı veri aktarımı, ulaşım arzını; gerçekleşen talepteki ve insanların seyahat etme niyetindeki anlık değişikliklere duyarlı hale getirebilmektedir. Ayrıca Kapalı Devre Televizyon (CCTV) kameraları, sensörler gibi bir dizi ek cihaz tarafından taleple ilgili bilgiler kaydedilebilmektedir. Bunlardan elde edilen veriler ise yolcu davranışı analizinden duraklarda inen ve binen kişi sayısını belirlemeye kadar çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Veri birleştirme (entegrasyon), başka bir ifadeyle birden fazla veri kaynağının eşleştirilmesi, talep verilerinin kullanılabilirliğini katlanarak artırabilir, çünkü yolcu modellerinin kapsamlı bir resmi; nedensel çıkarım, tahmin ve diğer istatistiksel analizleri önemli ölçüde daha sağlam hale getirmektedir. Ayrıca, otomatik veri kaynakları devlete ait çeşitli veri tabanlarındaki geleneksel toplu istatistiklerle zenginleştirilebilmektedir (Graham & Hörcher, 2018).

2.4.2.2 Arz Yönlü Veriler

Arz yönlü ulaşım verileri; araç hareketleri, teknoloji kullanımı, hizmet kullanılabilirliği, sefer saatleri güvenilirliği ve gerektiğinde ücretlendirmeye ilgili ölçümleri içermektedir. Bu verilerin çoğu araçlardaki sensörler, altyapı veya trafik / tren kontrol sistemleri tarafından üretilmektedir. Arz yönlü veriler, işletmeciler ve ulaştırma kurumları için sundukları hizmetin kalitesi ve bunun arkasındaki mühendislik çözümlerinin verimliliği hakkında temel geri bildirim kaynağıdır. Arz yönlü veri kaynakları arasında demiryolu ve karayolu araçlarının anlık olarak izlenmesi birincil öneme sahip konulardandır. Bu izleme, araçlara takılan GPS ve diğer konumlandırma sistemleri ile buradan alınan verilerin merkezi bir sisteme kablosuz haberleşme sistemleriyle aktarılmasıyla olabilmektedir. Araç içi veri toplama, tüm filo düzeyinde araçların teknolojik durumunu izlemek ve bakım için kullanılabilir. Bu tür veriler, araç içi

ekipmanlar tarafından büyük miktarlarda üretilmektedir. Benzer şekilde, sinyalizasyon ve pist tarafındaki cihazların dijital çıktıları genellikle daha yüksek teknik performans için kullanılmaktadır (Graham & Hörcher, 2018).

2.4.3 Zorluklar ve Riskler

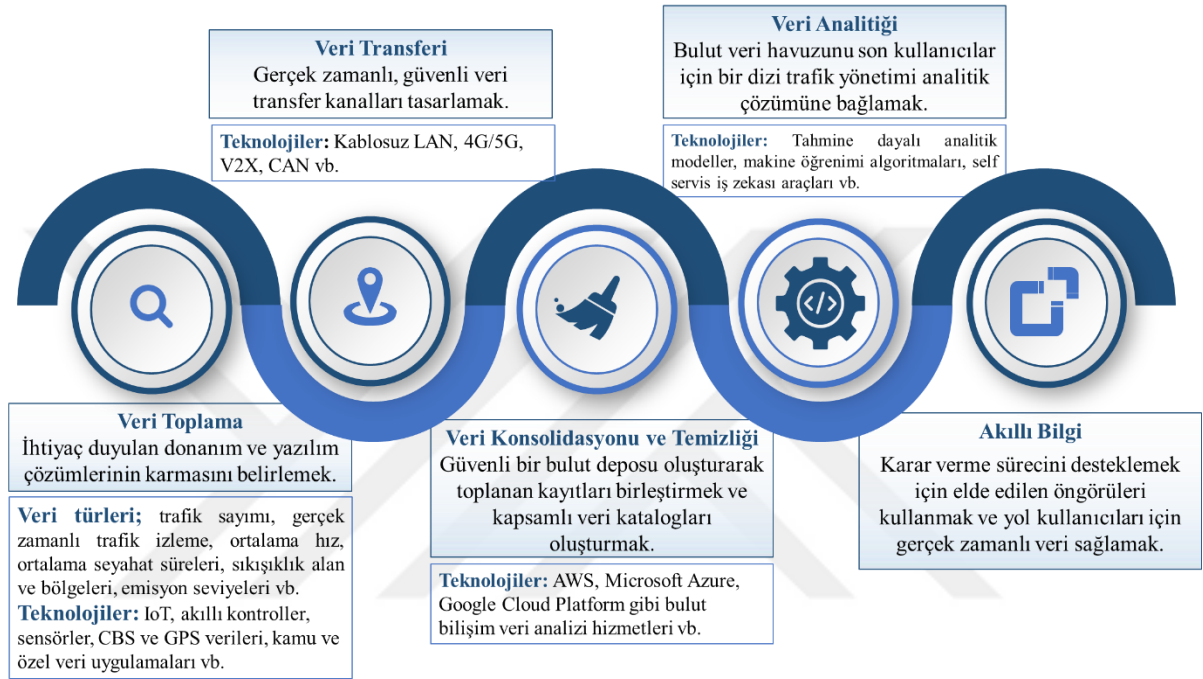
Veri toplamak ve araçları tespit etmek için çok sayıda teknik kullanılmasına rağmen, bu tekniklerin uygulanması, trafik yönetiminin odaklandığı yerin yapısal, coğrafi, demografik gibi farklı özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle, büyük ölçüde spesifik ihtiyaçlar göz önünde bulundurulmak suretiyle veri toplama ile ilgili bir tasarım ve planlanın yapılması, verimli sonuçlara ulaşılması için muhtemel iyi bir yaklaşım olabilmektedir. Trafik yönetiminin başarısının en önemli unsurlarından birinin veri olduğu göz önünde bulundurulduğunda; verinin toplanması, işlenmesi, analizi, entegrasyonu, yönetilmesi, gizliliği gibi birçok konu ile ilgili çeşitlilik içeren zorluk ve riskler gün yüzüne çıkabilmektedir.

Araçların sürekli hareketliliği, veri toplama standartlarının net olmaması gibi sebeplerle toplanan verilerin doğru, eksiksiz veya güvenilir olmasıyla ilgili olumsuz durumlar oluşabilmektedir. Verilerin toplandığı cihazların her birinin farklı özelliklerde olması ve ortak standartların bulunmaması, homojen olmayan veri kaynaklarının entegrasyonunda ortak standartları gerekli kılmaktadır. Ortak standartlar geliştirmek ise önemli bir iş birliği araştırması gerektiren önemli ve aşılması ihtiyaç olan bir zordur. Nesnelerin interneti (IoT) ile birlikte veriler de devasa boyutlara ulaşabilmekte, bu verilerin entegrasyonu, işlenmesi, analizi ve dolayısıyla büyük verinin yönetilmesi de üzerinde ciddi araştırmalar yapılması gereken bir zorluk olabilmektedir. Toplanan verilerin gizliliği ve güvenliği konuları da endişeler, riskler barındırmaktadır. Politika yapıcılar ve kural belirleyiciler için trafik ihlalleri ve kaza gibi parametrelerin trafik yönetim sistemleri ile entegre edilmesi de bir ihtiyaç olarak görülmekte olup bu tür verilerin entegrasyonuna ilişkin de zorluk içeren çeşitli durumlar bulunmaktadır (Ravish & Swamy, 2021).

Trafik yönetim sistemlerinin ayrıca büyük miktarda veriyi işlemesi de gerekmektedir. Bu nedenle, her veri kaynağının bağımsız bir ölçüm ve biçimlendirme kullanması durumunda birçok sorun ortaya çıkabilmektedir. Bu kapsamda veri sunumunda bir standardizasyonun benimsenmesi gerekebilir. Ayrıca birçok veri kaynağı tarafından veriler eş zamanlı olmayan bir şekilde paylaşabilmekte ve bu tür bir sorunun nasıl yönetileceği büyük bir zorluk olarak görülmektedir. Farklı kaynaklardan sağlanan veriler arasında entegrasyon olmamasının ortaya çıkaracağı temel

zorluk ise bu verilerin ortak bir kaynak ile nasıl ilişkilendirilebileceği ile ilgili olabilmektedir (de Souza vd., 2017).

Basit veri işleme, entegrasyon ve analiz araçları trafik yönetimi kavramının da içinde bulunduğu karmaşık AUS veri işleme ve paylaşımına yönelik ihtiyaçları karşılayamayabilir. Bu nedenle Şekil 2-8'deki gibi bir veri yönetimi çerçevesinin ortaya koyulması bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır (Zavadko, 2023).



Şekil 2-8: Veri yönetimi çerçevesi

Veri toplama ve paylaşımında bağlantılılık hususu, ulaşım ve trafik yönetimi sistemlerinin siber saldırı vektörlerine açık hale gelmesi riski ve zorluklarını beraberinde getirebilmektedir. Verilerin toplanmasından sunumuna kadar olan tüm trafik yönetimi ve hatta ulaşımın tüm süreçlerinde bilgi ve haberleşme teknolojilerinin yoğun kullanımı siber güvenlik açıklarına neden olabilmektedir (Dilek, Talih, & Tektaş, 2023; Zavadko, 2023). Bu durum, muhtemel siber güvenlik zafiyet, saldırı ve zorluklarını beraberinde getirme potansiyeli taşıması nedeniyle, can ve mal kayıplarının yaşandığı kazalar ya da trafik sıkışıklıkları gibi olumsuzlukların ortaya çıkmasına da sebep olabilmektedir (Dilek, Talih, & Tektaş, 2023).

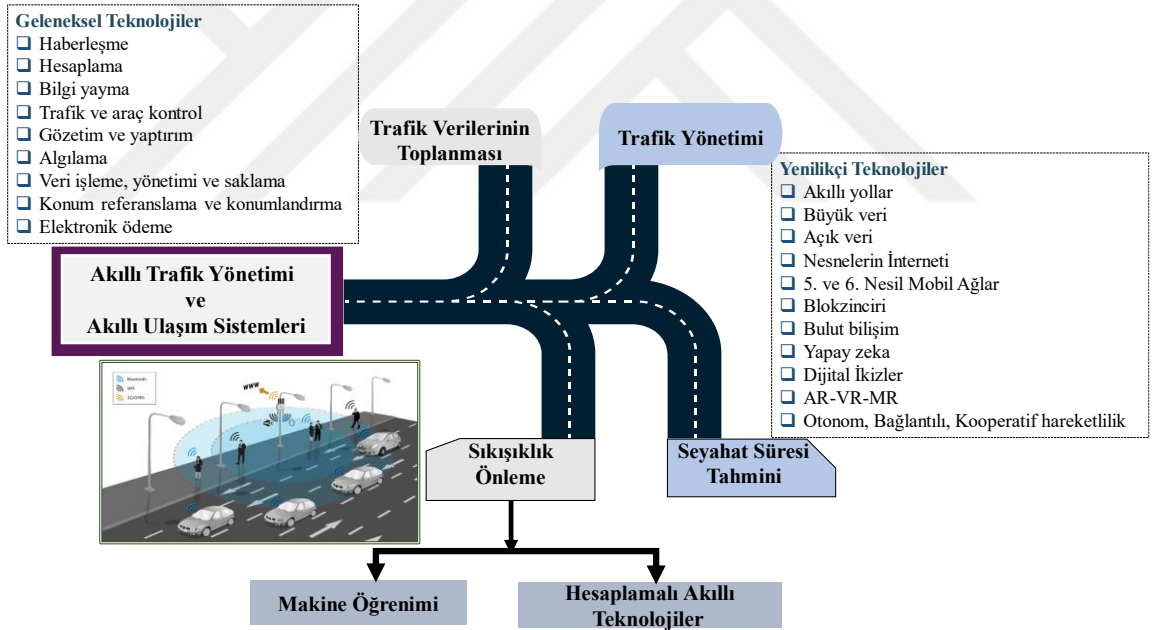
Veri toplama, temizleme, işleme, saklama, analiz etme gibi birçok işlemi içeren veri ihtiyacı kapsamında temel zorluklar; teknik, adil olmayan erişim, kapasite, yeterlilik, vatandaş katılımı, sahiplik gibi kavramlar ile ifade edilebilmektedir. Verinin toplanması ve yönetimi

erevesinde veri tabanlarının oluşturulmasından, analizler ve kurtarma yöntemlerine varana kadar bir dizi zorlu teknik altyapı ihtiyaı söz konusudur. Bunun yanında veriye erişimin adil olmamasının yanında, bu verilerin toplanmasından anlamlı hale getirilmesi için vatandaş katılımı ile bu alanda yetişmiş insan kaynağı ihtiyaı da diğer bir zorluk olabilmektedir. En önemli zorluklardan biri de verinin sahipliği ve korunmasıyla ilgili olarak ortaya çıkabilmektedir.



3. TRAFİK YÖNETİMİ VE AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ İLİŞKİSİ

Ulaşım altyapısı ve sistemlerinin, yol ağı kullanıcısı ile araç sayılarındaki artışa yeterli derecede cevap verememesi; trafikte sıkışıklığı, trafik yoğunluğu ve çevre kirliliği gibi olumsuz etkileri belirgin bir şekilde artırmakta olup trafik yönetiminin etkinliğini ve verimliliğini azaltabilmektedir. Artarak karmaşıklaşan trafiğin yönetilmesi ise dünya genelinde önemli bir sorun haline gelirken AUS, bu duruma farklı çözüm seçenekleri sunabilme potansiyeline sahiptir. AUS, trafiği etkin bir şekilde yönetmek için mevcut ve yenilikçi teknolojileri doğru planlamayla kullanarak yol ağı ile ilgili verileri bir araya getirmeye çalışmaktadır. AUS tarafından sıkışıklık ve daha geniş çerçevede trafik yönetimi çözümü; işlevsel olarak trafik verilerinin toplanması, trafik yönetimi, sıkışıklıktan kaçınma ve seyahat süresi tahmini olarak kategorize edilebilmektedir. Şekil 3-1 trafik verisini üreten ve kullanan geleneksel ve yenilikçi teknolojilerin bazıları ile kullanım alanları görülmektedir (Ravish & Swamy, 2021).



Şekil 3-1: Trafik ve ulaşım verileri ve kullanım alanları

Ulaşım sorunlarıyla başa çıkmak için karar vericiler tarafından, genellikle ilk olarak, mevcut altyapının yeterliliğiyle ilgili sorgulamalar yapılmaktadır. Ulaşım altyapısının, talep artışını tamamen karşılayabilecek seviyede genişletilemeyecek olması nedeniyle ulaşım sorunlarının tümüyle çözülebilmesinde altyapı inşa etmek tek başına yeterli olmamaktadır. Aynı zamanda doğru altyapıya sahip olmak ve kapasite artışı gibi konular da önemli bileşenler olarak

görülmektedir. Bu nedenle ulaşım arzı ve talebinin, olumlu sonuçları veya faydaları en üst düzeye çıkaracak ve olumsuz etkileri veya maliyetleri en aza indirecek şekilde dengelenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda trafik arz ve talebin dengelenmesi ihtiyacı ile ulaşımaya yönelik diğer amaç ve hedefleri sağlamak doğrultusunda yapılan çalışmalar trafik yönetimi kavramını ortaya çıkarmıştır (Boltze & Anh Tuan, 2016).

Ulaştırma sektörüyle yatay ve dikey yönlü faaliyetleri olan alanların, ulaşımaya ilişkin geliştirdikleri uygulama ve çözümler çerçevesinde, bilgi teknolojileri unsurlarından faydalanması, akıllı ulaşım kavramını ortaya çıkarmaktadır. AUS'un dünya literatürü, politika belgeleri, strateji dokümanları, mevzuat, raporlar, projeler gibi birçok farklı kaynaktan çok çeşitli tanım bulunmaktadır. Ancak bu tanımların temelde ortak noktası bilgi ve haberleşme teknolojilerini odağa almalarıdır. Türkiye'de, AUS'un yol haritası niteliğini taşıyan Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı'nda, AUS; *“Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); seyahat sürelerinin azaltılması, trafik güvenliğinin artırılması, mevcut yol kapasitelerinin verimli kullanılması, hareketliliğin artırılması, enerjinin verimli kullanılması ve çevreye verilen zararın azaltılması gibi amaçlar doğrultusunda geliştirilen kullanıcı, araç, altyapı ve merkez arasında çok yönlü veri alışverişi ile izleme, ölçme, analiz ve kontrol mekanizmalarını içeren bilgi iletişim temelli sistemlerdir.”* şeklinde ifade edilmektedir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020). Trafik yönetimi açısından ise AUS, araçlar ve karayolu sistemlerinin emniyet, güvenlik ve verimliliğine olumlu etkileri olan ulaşım teknolojisi olarak tanımlanmaktadır (Transportation Research Board, 2000). AUS, ulaşımın farklı modları ile trafik yönetimi alanlarında yenilikçi hizmetler sunarken, bunun sonucunda yol kullanıcıları tarafından ulaşım ağlarının daha etkin, verimli, emniyetli ve güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlayan gelişmiş uygulamalar içermektedir. Dolayısıyla AUS, trafiği yönetmek, yol ağını optimize etmek ve ulaşım faaliyetlerini iyileştirmek, birlikte çalışabilirlik ve entegrasyonu hedefleyen bilgi ve haberleşme temelli, geleneksel ve yenilikçi teknolojileri içeren donanım ve yazılım çözümlerinin bir bütünüdür.

AUS; gelişmiş bilgi işleme, haberleşme ve elektronik teknolojilerinin mevcut ve yenilikçi yaklaşımlarından yararlanmaktadır ve bunları birbiriyle entegre edebilmektedir. Bununla birlikte şehir merkezlerinde ya da kırsal yol ağında yolcu ve yüklerin taşınması çerçevesinde daha emniyetli, güvenli ve verimli ulaşım sistemlerine yönelik katkıda bulunabilmektedir. Bu katkılar ile birlikte ticari ve yol ağı operatörlerine gerçek zamanlı olarak faydalı bilgiler sunabilmektedir. AUS uygulamaları, hizmet aileleri olarak gruplandırılabilen ve bu gruplandırmalardan trafik yönetimi ile ilgili olan sınıflandırma, Tablo 3-1'de gösterilmektedir (Austroads, 2020f).

Tablo 3-1: AUS tarafından sağlanan temel kullanıcı hizmetlerinden bazıları

Kullanıcı Bilgileri	Trafik Yönetimi
- Yolcu ve yolculuk bilgileri (yolculuk sırasında ya da öncesinde) - Rota rehberliği ve navigasyon - Sürüş eşleştirme ve rezervasyonlar - Seyahat hizmetleri ve rezervasyonlar	- Trafik kontrolü - Olay yönetimi - Seyahat talep yönetimi - Çevresel koşulların izlenmesi - İşletme ve bakım - Otomatik dinamik trafik denetleme (Elektronik denetleme sistemleri) - Yol kullanıcısı emniyeti ve güvenliği - Çok modlu kavşak kontrolü, emniyet ve güvenliği - Yaptırım

AUS uygulamalarının, karayolu ulaşımının performansını önemli ölçüde artırması beklenmektedir. Bu nedenle, kamu politikası yapıcıları genellikle AUS'un uygulama ve yaygınlaştırılması olanaklarına yönelmektedir. AUS, karayolu trafik yönetiminin sağlanması kapsamında araçlar, trafik piyasası ve altyapıdan oluşan üç alt sisteme odaklanmaktadır. Araç içi AUS uygulamaları ise motor performansı ve araç dinamiklerini iyileştirmeyi veya hız kontrolü, mesafe koruma, navigasyon, yol durumu ve kazalardan kaçınma gibi sürücü sorumluluklarını kolaylaştırmayı amaçlamaktadır (Heijden & Marchau, 2002).

AUS uygulamalarının, belirli kapasite analizleri üzerinde aşağıdaki etkilere sahip olabileceği öngörülmektedir (Transportation Research Board, 2000):

- Otoyollar ve diğer kesintisiz akışlı karayolları tesisleri için AUS, kapasiteyi artıracak şekilde sefer aralıklarında bir miktar azalma sağlayabilmektedir. Ayrıca, eğer araç yönlendirme sistemleri, bekleme süreleriyle ilgili iyileşmeler olmasa bile sürücüler için hizmet seviyelerini iyileştirebilmektedir.
- Sinyal ve arter operasyonları için yeşil sinyal süresinin daha etkin bir şekilde ayarlanması ve kapasitenin artırılması, AUS'un başlıca faydalarındandır. AUS özelliklerinin kesintili akış üzerinde kesintisiz akış tesislerine kıyasla daha az belirgin bir etkisi olması muhtemeldir.
- AUS, sinyalize olmayan kavşaklarda, sürücülere karşıt trafik akışlarındaki boşlukları değerlendirmede yardımcı olduğunda veya ana caddedeki akıştaki boşlukları kontrol ettiğinde, kapasite iyileştirmeleri elde edilebilmektedir.

Trafik yönetimi hizmetleri, projeleri ve faaliyetlerinde, yıkıcı yenilikçi teknolojiler ile araç, bilgi ve haberleşme teknolojilerinden faydalanmak, AUS uygulamaları içerisinde yer almaktadır. Bu doğrultuda bağlantılı araçlar ve yol kenarı birimleri arasındaki akıllı iş birliğinin; yol emniyeti, güvenliği ve verimliliği için yeni fırsatlar sunması beklenmektedir. Dinamik bir sinyalize olmayan

kavşak ortamının getirdiği karmaşık trafik bilgileriyle başa çıkmak için veri odaklı kavşak yönetimi stratejileri kapsamında, V2X iletişim teknolojileriyle birlikte yapay zekâ (AI) çözümleri de kullanılabilmektedir. Araç trafiği planlaması için uygulanan AI teknolojileri arasında takviyeli öğrenme, yapay sinir ağları ve çoklu ajan sistemleri (MAS) bulunmaktadır. Bu üç türdeki algoritmalar, ayrı ayrı veya birlikte kullanılabilmektedir. Kavşak yöneticisi ve araçlar normalde akıllı ajanlar olarak görülmektedir. Gerçek dünyaya yansıtılan sanal bir trafik modeli aracılığıyla veya doğrudan pratik bir trafik ortamı kullanarak ajanlar, farklı durumlarda alınan geri bildirimle dayalı olarak en uygun zamanlama stratejisini elde edebilmektedir. Sinyalize olmayan kavşak yönetim mekanizmaları, trafik yönetimi verimliliğini artırmak, yol emniyeti ve güvenliğini sağlamak gibi faydalar doğrultusunda potansiyel olarak çeşitli AI teknolojilerinden yararlanabilmektedir (Wang vd., 2021). Teknoloji gelişmeye devam ettikçe, bilgisayarlı görü uygulamaları AUS bağlamında giderek yaygınlaşmaktadır. Bu uygulamalar ulaşım sistemlerinin verimliliğini artırarak trafik emniyeti ve güvenliğini iyileştirmek için geliştirilmektedir. Bilgisayarlı görü teknolojilerindeki gelişmeler trafik izleme ve kontrolü, olay tespiti ve yönetimi, yol kullanım fiyatlandırması ve yol durumu izleme gibi alanlardaki sorunların çözümünde otomasyon sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Dilek & Dener, 2023). Ayrıca, “*Trafik Gözlem Kameralarında Derin Öğrenme Yöntemleriyle Gerçek Zamanlı Video Akışı Analizi ve Kötücül Aktivite Tespiti*” başlıklı TÜBİTAK destekli Ar-Ge projesi kapsamında yapılan literatür araştırmaları, günümüzde etkin trafik ve olay yönetimi için hibrit derin öğrenme yöntemlerine dayalı AI tekniklerinden yararlanıldığını göstermektedir (Dener vd., 2023).

Ayrıca AUS’un önemli gelişmelerinden biri olarak görülen ve yakın gelecekte yaygınlaşması öngörülen bağlantılı araç teknolojileri, trafik sıkışıklığının yönetilmesine ve ulaşım koridorları boyunca kullanıcıların hareketliliğinin iyileştirilmesine önemli ölçüde yardımcı olmayı vaat etmektedir. Bağlantılı hareketlilik teknolojisi sayesinde, ulaşım koridorunu oluşturan bileşenlerden toplanan veriler analiz edilerek yol ağındaki trafik akış durumuna ilişkin kapsamlı bir tahmin elde edilebilmektedir. Böylece mevcut ulaşım altyapısı kaynaklarının daha verimli kullanıldığı, küresel olarak optimize edilmiş trafik yönetimi stratejilerinin ortaya çıkması mümkün olabilmektedir (Tyler, 2023).

3.1 ULAŞIM PARADİGMA DEĞİŞİMİNDE AKILLI ULAŞIMIN YERİ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle ortaya çıkan değişimler, ulaştırma sektörünü de etkilemekte, özellikle kentsel ulaşımında yıkıcı-yenilikçi teknolojilerin etkisiyle farklı çeşitlilikte

ulaşım türleri ve sistemleri ortaya çıkmaktadır. Nesnelerin İnterneti (IoT), sensor teknolojileri, otonom araçlar, bulut bilişim, büyük veri, AI, dijital ikiz, blok zincir teknolojileri gibi dördüncü endüstri devrimi bileşenlerinin, ulaşım türlerinde ve sistemlerinde kullanılmaya başlaması, akıllı şehirlerde akıllı ulaşım kavramını  ne çıkarmaktadır ( nder & Akdemir, 2020). Rota optimizasyonu, park etme, sokak aydınlatması, kazaların önlenmesi, anormal trafik koşullarının tespiti ve yolların bakımı gibi AUS uygulamalarının faydalarını daha da iyileştirmek için yıkıcı yenilikçi teknolojilerden faydalanılmaktadır (Oladimeji vd., 2023). CCAM, sarmal arayüzler, açık veri, dron, hava taksi, hyperloop, MaaS, akıllı yollar gibi birçok yenilikçi ulaşım yöntemlerinin yanında AI teknolojilerinden etkin bir şekilde faydalanılması, ulaşım paradigmasının değişimine öncülük eden diğer yıkıcı yenilikçi teknolojileri arasındadır. İleri teknolojilerin kullanımı sayesinde bu yöntemlerle sağlanan  oz mler, geleneksel yaklaşımlara kıyasla bireyler, ülkeler ve hükümetler için çok çeşitli fayda ve etkiler sunabilmektedir. Bu dijital ulaşım altyapısı, sürekli değişim ve gelişimi içeren dinamik bir yönetişim yaklaşımını da beraberinde getirmektedir.

Küresel ölçekte ulaştırma, her geçen gün artan talep ve üstesinden gelinmesi gereken birçok zorluğun olduğu bir ağı temsil etmektedir. Bu zorluklar, çok sayıda bileşenin verimli bir şekilde yönetilmesi, birbiriyle  akişan hedeflere ulaşmak isteyen birçok paydaşın katılımı ve çok farklı disiplin içeren yapılar gibi durumlardan kaynaklanmaktadır. Ekonomik gelişmenin tetiklediği seyahat taleplerinde ve bireylerin konfor ihtiyaçlarındaki artış nedeniyle ulaşımda yaşanan zorlukların aşılması için geleneksel  oz mlerin, yenilikçi yaklaşımlarla güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, bireylerin ulaşım alanındaki ihtiyaçlarına odaklanan, farklı ulaşım modları ile paydaşlarının etkin ve koordineli bir şekilde entegrasyonuna olanak tanıyan bir yönetim stratejisi benimsenmesi ihtiya ı ortaya çıkmaktadır (Dilek vd., 2024). Sürekli büyüyen ulaşım sistemlerinin etkin bir şekilde yönetilebilmesi amacıyla birçok yenilikçi teknolojinin kullanıldığı, veri temelli akıllı yapılar ve dijitalleşmiş  oz mlerin geliştirildiği gözlenmektedir. Bu  oz mler, bireyler, ülkeler ve hükümetler açısından, ileri teknolojiler ile verinin dönüştürülmesi sayesinde, geleneksel yaklaşımlardan çok daha farklı olarak değerlendirilebilmekte, sürekli değişkenlik içeren bu dijital ulaşım ortamı, dinamik bir paradigma yaklaşımını da beraberinde getirmektedir. Ulaşımın her modunda ve alanındaki  oz mlerde daha çok yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin hâkim olduğu, insan ve  evre odaklı bu paradigma, geleneksel ulaşım paradigmasının çok daha ötesinde her an gelişime ve değişime açıktır. Ulaşımın bu paradigmatic değişiminde sürdürülebilirlik, erişilebilirlik, bağlanabilirlik, güvenlik ve emniyet gibi ilkelerin ulaşım ve hareketliliğin temellerini oluşturduğu görülmektedir. Bu ilkelere uyum kapsamında sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri olan AUS, ulaşımın paradigma değişiminde  ne çıkmakta ve

yolcu ve yük taşıma şeklimizde devrim yapma potansiyeli nedeniyle araştırmacıların ilgisini çekmektedir (Oladimeji vd., 2023).

Bilgi ve haberleşme teknolojilerinden yararlanarak insanı merkeze alan, bütüncül ve pratik çözümlerin ortaya koyulduğu yeni ulaşım paradigması, daha çok yol unsurunun hâkim olduğu çözümler içeren geleneksel yaklaşımın çok ötesindedir. Hızlı hareket edebilmeyi, aynı zamanda ulaşımında konforu, emniyeti ve güvenliğini sağlamayı, ulaşım kaynaklı birçok olumsuzluğu bertaraf etmeyi içeren bir seyahat deneyimi vadeden bu değişimde, üç konu dikkatleri çekmektedir: (i) tüm yol kullanıcıları için daha iyi bir erişilebilirlik sağlanarak kentlerin insan doğasına uygun hale getirilmesi, (ii) enerji tüketimi, trafik sıkışıklığı, trafik kazaları ve sosyal eşitsizlikler gibi olumsuz etkilerin azaltılarak sürdürülebilirliğin artırılması için yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler ile yasal düzenlemelere ihtiyaç duyulması, (iii) daha dengeli, bütüncül ve katılımcı bir kentsel ulaşım planı oluşturulması (Filippi, 2022).

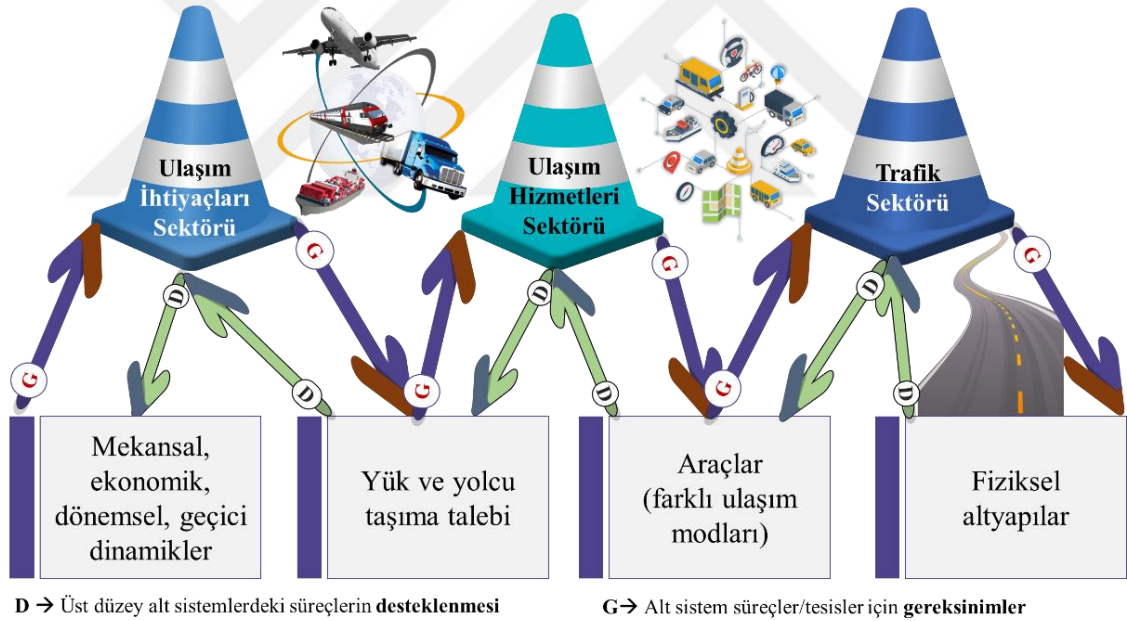
İnsan ihtiyaçlarının yoğun olarak gözlemlenebildiği kentsel hareketlilik ve yönetime ilişkin tüm faaliyetler, ulaşımında paradigmatik değişimin yaşandığı en dinamik alanlardandır. Bu nedenle, günümüzde birçok araştırmacı tarafından akıllı şehir ve kent içi ulaşım kavramları doğrultusunda, yeni hareketlilik teknolojilerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Bu noktada aşamalı bir paradigma değişimi söz konusu olup bu değişimin, yakıt türünden araç kullanma şekline kadar kentsel ulaşımına dair birçok şeyi değiştirme potansiyeli bulunmaktadır. Araçların kademeli olarak otonom hale gelirken birbirleriyle haberleşerek iş birliği yapabilmesi, MaaS kavramı ile seyahat şekillerinde uzun vadede köklü değişikliklerin ortaya çıkması gibi gelişmeler, kentsel hareketlilikte paradigmatik değişim dinamikleri olarak göze çarpmaktadır (Medina-Tapia & Robusté, 2018). Akıllı ulaşım, seyahatleri daha rahat ve emniyetli hale getirmek, şehir ve kullanıcılar için uygun maliyetli seçenekler sunmak ve ortaya çıkması muhtemel sorunlarda hızlı görünürlük ve bildirimler oluşturmak amacıyla gelişmekte olan haberleşme ve bulut bilişim, konum tabanlı sistemler, AI, IoT gibi modern teknolojileri kullanmaktadır (Mazur, 2020; Peak, 2020). Trafik yönetimi, yolcu bilgilendirme sistemleri, araç kontrol sistemleri, toplu taşıma, lojistik, acil durum yönetimi, elektronik ödeme ve güvenlik gibi yol ağının içerisindeki birçok unsuru içeren, ulaştırma faaliyetlerindeki paradigma değişiminin karşılaştırıldığı (Litman, 2013) ve günümüz koşullarına göre güncellenen ulaşım planlamasının gelişimi, değişimi ve dönüşümü Tablo 3-2’de özetlenmiştir.

Tablo 3-2: Ulaşım planlamasının gelişimi

Karşılaştırma Kriterleri	Eski Paradigma	Yeni Paradigma
Ulaşımın tanımı	Seyahatlerin fiziksel olması, bir noktadan diğer noktaya hareket etme faaliyeti.	Ulaşım hizmet ve faaliyetlerinin, tüm toplum için erişilebilir olması.
Planlama hedefleri	Sıkışıklığın, seyahat sürelerinin, kazaların, emisyonların ve maliyetlerin azalması.	Dezavantajlı gruplar dahil tüm yol kullanıcıları için ulaşım sisteminin, verimli ve adil hizmetler sunması.
Dikkate alınan modlar	Çoğunlukla bireysel araç kullanımının tercih edilmesi.	Kara, demir, deniz, hava yolundan oluşan çok modluluk ile yürüme, toplu taşıma, bisiklet gibi mikro hareketlilik yaklaşımları.
Yaygın etkileri	Seyahat hızı ve sıkışıklık süresi, araç operasyonlarının maliyeti, kaza ve emisyon oranları.	Dolaylı etkiler de dahil olmak üzere ekonomik, sosyal, çevresel ve psikolojik birçok etki.
Performans göstergeleri	Araç trafiğinin hızı, LoS, mesafeye dayalı kaza ve emisyon oranları.	- Ulaşım seçeneklerinin kalitesi - Çok modlu LoS - Arazi kullanımının erişilebilirlikle uyumu
Ulaşım-Trafik Talep Yönetiminin (TDM) dikkate alınması	Genel olarak bireysel araç kullanımının azaltılmasını gerekli görmesi ve TDM'yi en son çare olarak kabul etmesi.	- Uygun maliyetli olduğunda TDM'yi desteklemesi.
Avantajlı ulaşım iyileştirme stratejileri	Yol kapasitesi ve park alanlarının artırılması.	- Ulaşım seçeneklerinin iyileştirilmesi - TDM'nin kullanılması - Daha erişilebilir kentsel alan planlaması
Sürdürülebilirliğe etkisi	Kilometre başına trafik kazası ve çevre kirliliği emisyonu oranlarının azalması.	- Kişi başına düşen kaza ve emisyon oranlarının azalması - Fiziksel aktivite ve temel erişim koşullarının iyileşmesi
Teknoloji kullanım seviyesi	Geleneksel ulaşım ve ulaştırma sistemlerinin kullanılması.	- Geleneksel ve yenilikçi teknolojilerin birlikte değerlendirildiği AUS'un yoğun kullanımı - o CCAM çözümleri - o Toplu taşımayı dahil eden paylaşımlı hareketlilik araştırma ve faaliyetleri - o Mikro hareketliliğin kullanımının teşviki ve ulaşım modlarına entegrasyonu - o Bağlantılı ve otonom araç teknolojilerinde gelişmeler - o Büyük veri ve açık veri kavramları doğrultusunda oluşturulan ulaşım verisinin toplandığı analizin yapıldığı merkezleri - o Elektrikli araç ve teknolojilerinin yaygınlaşması - o 5. ve 6. nesil mobil haberleşme ağları - o Dijital ikiz, nesnelerin interneti, blokzincir, AI, bulut bilişim ve kuantum hesaplama teknolojilerinin ulaşım ve hareketlilik çözümlerinde uygulanması - o Hyperloop, hava taksi, dron gibi yeni nesil ulaştırma araçlarının gündeme gelmesi

AUS geleneksel olarak birbirinden bağımsız sistemlerden oluşmaktayken günümüzde büyük miktarda veriyi toplayabilen, işleyebilen ve verilere dayalı olarak uygun eylemleri gerçek zamanlı olarak gerçekleştirebilen çok çeşitli heterojen teknolojileri sorunsuz bir şekilde entegre etmeye doğru ilerlemekte ve gelişmektedir. Bu evrim sayesinde, trafik kazalarını önleme, sürücü üzerindeki gerilimi azaltma, trafik sıkışıklığını hafifletme gibi faydalarının tümü ile şehir genelinde trafik akışını düzenlemeye ve acil durumlarda bilgi alışverişini artırmaya yardımcı olabilmektedir (Oladimeji vd., 2023).

Ulaşım sisteminin çok çeşitli hizmet ve faaliyetinde yer alan bilgi ve iletişim teknolojilerini sistemli bir yapıda değerlendirmek, AUS'taki çeşitli gelişmeleri anlayabilmek için önemlidir. Bu doğrultuda Şekil 3-2'deki yaklaşım, ulaştırma sistemini yedi alt sisteme ayırmakta olup burada farklı alt sistemlerin işlevsel özelliklerine odaklanarak AUS gelişmelerinin sınıflandırılması ve değerlendirilmesi için faydalı bir yol gösterici olmaktadır (Heijden & Marchau, 2002).

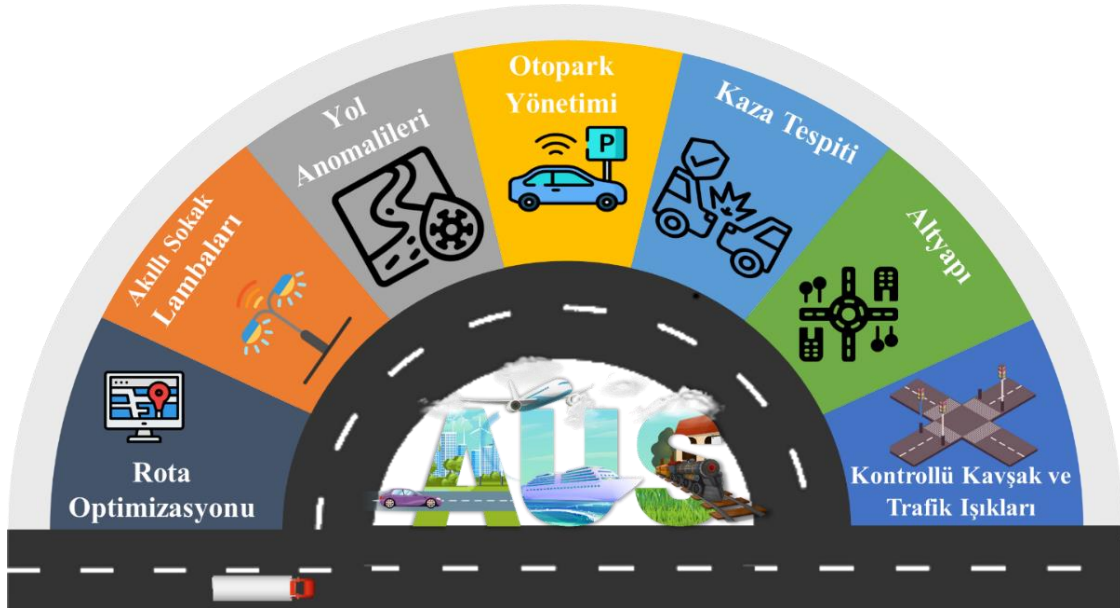


Şekil 3-2: Ulaştırma sisteminin yapısı

Şekil 3-2'de görüleceği üzere buradaki dört alt sistem; altyapı, araçlar, yük ve yolcular ile mekânsal/ekonomik modeller gibi ulaştırma sisteminin fiziksel özelliklerini içermektedir. Diğer üç alt sistem ise trafik, ulaşım hizmetleri ve ulaşım ihtiyaçları sektöründen oluşmaktadır. Ulaşım ile ilgili ana süreçlerin nasıl işlediğini açıklayan bu alt sistemlerin her birinin kendine özgü süreç ve problemleri ile paydaş etkileşimi bulunmaktadır. AUS temelli trafik yönetiminin gelecek

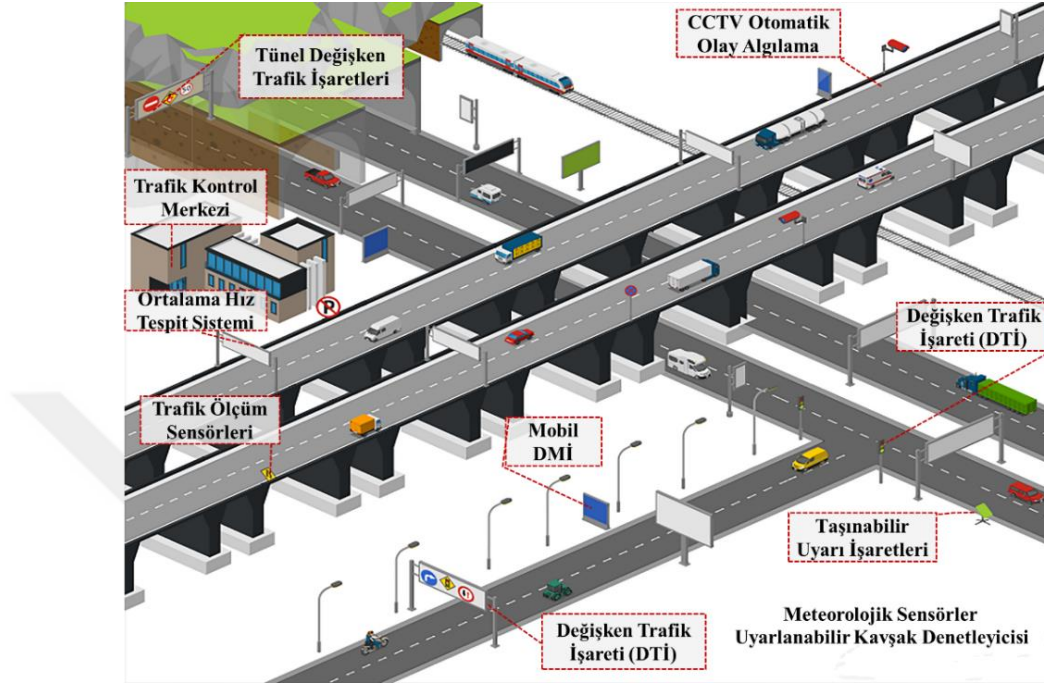
hedefleri, ulaşım ve trafik sektörünü içine alacak şekilde altıya ayrılmaktadır. Ulaşım sektöründeki hedefler arasında, gelişmiş çok modlu seyahatler ile yolculukların zamansal ve mekânsal dağılımları daha öncelikli yer tutmaktadır. Trafik sektörü ise farklı yol ağlarının koordineli kullanımı, yol kapasitesinin önceliklendirilmesi, sürücü davranışlarının kontrolü ve olaylara etkili müdahale temel hedeflerine odaklanmaktadır (Heijden & Marchau, 2002).

AUS ve haberleşme teknolojisindeki gelişmeler, yol ağı çapında bir dizi trafik kontrol ve yönetim stratejisi aracılığıyla gecikmeleri ve sıkışıklığı önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Otoyol koridorları için belki de en umut verici kontrol araçlarından ikisi trafiğe duyarlı katılım kontrolü ya da muhtemelen değişken mesaj işaretleri kullanılarak dinamik trafik yönlendirmesidir. Kendi kendine öğrenen uyarlanabilir bağımsız ve entegre bir otoyol kontrolü geliştirmek amacıyla takviyeli öğrenme gibi AI teknikleri de kullanılabilir (Jacob & Abdulhai, 2005). Ayrıca GPS cihazları, mobil cihazlar ve gömülü bilgisayarlar gibi çeşitli sensörler, algılayıcılar ve haberleşme cihazlarıyla donatılmış yeni nesil araçlar giderek artmaktadır. Araçlar ve yol ağı üzerindeki Yol Kenarı Üniteleri (RSU); güçlü iletişim, algılama, ağ oluşturma ve işleme yetenekleriyle donatılmış olup bir Araç Özel Ağı (VANET) oluşturmaktadır. Araçtan Araca (V2V), Araçtan Altyapıya (V2I), Araçtan Yayaya (V2P) ve Araçtan Her Şeye (V2X) haberleşme sistemleri ile Wi-Fi, 4G/5G, TCP/IP iletişim protokolleri ve IoT, bulut, dağıtık bilişim gibi teknolojiler, yol ağındaki araçları tarafından veri ve bilgi alışverişinde bulunabilmek amacıyla kullanılabilir. AUS'un trafik yönetimi kapsamındaki uygulamalarından bazıları Şekil 3-3'te gösterilmektedir (Oladimeji vd., 2023).



Şekil 3-3: AUS trafik yönetimi uygulamaları

trafik sinyal sistemleri, yaya butonu, merkezi sinyalizasyon yönetim yazılımı gibi sinyalizasyon sistemleri, vi) yönetim ve kontrol merkezleri bulunmaktadır. Ulaşım paradigma değişiminin kentler arası çözümlerinde kullanılan AUS unsurlardan bazıları ise Şekil 3-5'te görülmektedir.



Şekil 3-5: AUS ile kentler arası ulaşımın dönüşümü

3.2 ULUSAL AUS MİMARİSİ VE TRAFİK YÖNETİMİ İLİŞKİSİ

AUS, ulaşımın çeşitli türleri ile uygulamaları çerçevesinde koordineli ve verimli hareketliliğin yönetimini mümkün hale getirmeyi amaçlayan geleneksel ve yenilikçi teknoloji çözümlerinin tamamını kapsayan bir çatı olarak görülebilmektedir. Dolayısıyla trafik, acil durum, otoyol, lojistik ve toplu taşıma yönetimi ile elektronik ödeme, ticari araç operasyonları, hemzemin geçit emniyeti sistemleri ve trafik sinyal kontrolleri, yolcu bilgilendirme hizmetleri, acil durum yönetim hizmetleri, gelişmiş trafik analizi, bağlantılı araç altyapısı, yol ağı performansının izlenmesi gibi unsurlar da AUS'un modüler yapısı içinde yer alabilmektedir. Burada akıllı ulaşım uygulamaları, faaliyetleri ve hizmetlerinin daha iyi sunulması yoluyla kullanıcıları ve çevre için değer oluşturması hedeflenmektedir. AUS; güvenli, verimli ve sürdürülebilir ulaşım ve hareketliliği sağlarken aynı zamanda insanların üretkenliğini artırmayı ve trafiğin olumsuz etkilerini azaltmayı amaçlayan bir dizi teknolojileri ve uygulamaları içermektedir (I. Meneguette vd., 2018). Farklı yapısal özelliklere sahip bu karmaşık bileşenlerin, birlikte uyum içerisinde çalışabilmesi ve yönetilmesi ise sistematik bir yaklaşımı ihtiyaç haline getirmektedir. Dünya çapındaki başarılı

örneklerde, ulusal ve bölgesel akıllı ulaşım mimarisi, bu ihtiyaç için temel çözümlerinden biri olarak görülmektedir. Ayrıca kapsayıcı, entegre, çok modlu bir akıllı ulaşım yapısının etkin bir şekilde uygulanması ve geliştirilmesi için temel bir planlama aracı olarak AUS mimarisinden faydalanılmaktadır.

AUS mimarisi; AUS uygulama ve faaliyetlerinin, belirli bir sistem içinde yapılandırılması, uyumlu hale getirilmesi, entegrasyonu, birlikte çalışabilirliği gibi çerçeve prensipleri belirleyen kavramsal bir tasarım olarak tanımlanabilmektedir (European Commission, 2010). AUS hizmet ve uygulamalarının bir ülke ya da bölge genelinde etkin ve verimli bir şekilde sunumu ile yaygınlaştırılması (Yokota & Weiland, 2004) için ne yapılması gerektiği konusunun açıklayan yol gösterici bir rehber olan AUS mimarisi temelde, (i) sistem entegrasyonuna yönelik bir çerçeve sunmak, (ii) açık arayüz standartlarını ortaya koymak ve (iii) ortak veri ve fonksiyonları belirlemek (Hickman vd., 1996) şeklinde üç temel faydaya odaklanmaktadır (Dilek, Talih, & Ceylan, 2023). Bu tanımlar ışığında AUS mimarisi, belirli bir AUS uygulamasının nasıl yapılacağıyla ilgili bir yaklaşım sunmaktan ziyade, söz konusu uygulamanın hayata geçebilmesi için gereken adımları belirlemede yol gösterici olmaktadır.

AUS'un planlanması, tasarlanması, kurulumu, yaygınlaştırılması ve birbirleriyle entegre edilmesinin çerçevesini sunan AUS mimarisi; bir sistemi oluşturan kullanıcı hizmetleri, varlıklar bilgi ve veri akışlarını tanımlamaktadır. Böylece AUS'un ne yaptığı, hangi bileşenleri kullandığı ve bunlar arasında hangi bilgilerin taşındığı daha net bir şekilde anlaşılabilir. Burada kullanıcı hizmetleri, AUS ve uygulamalarının yerine getirdiği veya destek verdiği faaliyetleri tanımlamaktadır. Trafik yönetimi, yolcu bilgilendirme hizmetleri, elektronik ücret toplama, sürücülere yardımcı olma, trafik olaylarına müdahale etme, kamu ve özel araç filolarını yönetme gibi faaliyetler tipik kullanıcı hizmetlerinden bazılarıdır. Varlıklar ise kullanıcı hizmetlerinin faydalandığı fiziksel alanlar, insanlar, yardımcı sistemler, veri kaynakları gibi bileşenlerdir. İyi bir AUS mimarisinin, farklı varlık kategorilerini dikkate alması, ideal ve beklenen bir durumdur. Bilgi ve veri akışları ise, kullanıcı hizmetlerini ve varlıkları genel bir sisteme etkili bir şekilde entegrasyonu sağlamaktadır (Yokota & Weiland, 2004).

Dünyada AUS mimarileri ve gelişimi incelendiğinde, 1990'lı yılların ortalarında geliştirilmeye başlanan ve sürekli güncellenen ABD AUS Kooperatif ve Akıllı Ulaşım için Referans Mimarisi (ARC-IT) (U.S. Department of Transportation, 2023b, 2023a), Avrupa'nın ilk olarak 2000'li yıllarda yayınladığı AUS Çerçeve (FRAME) Mimarisi (FRAME Forum, 2023), Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) AUS referans mimarisi ile Japonya ve Güney Kore AUS mimarileri dikkat çekmektedir (Dilek, Talih, & Ceylan, 2023).

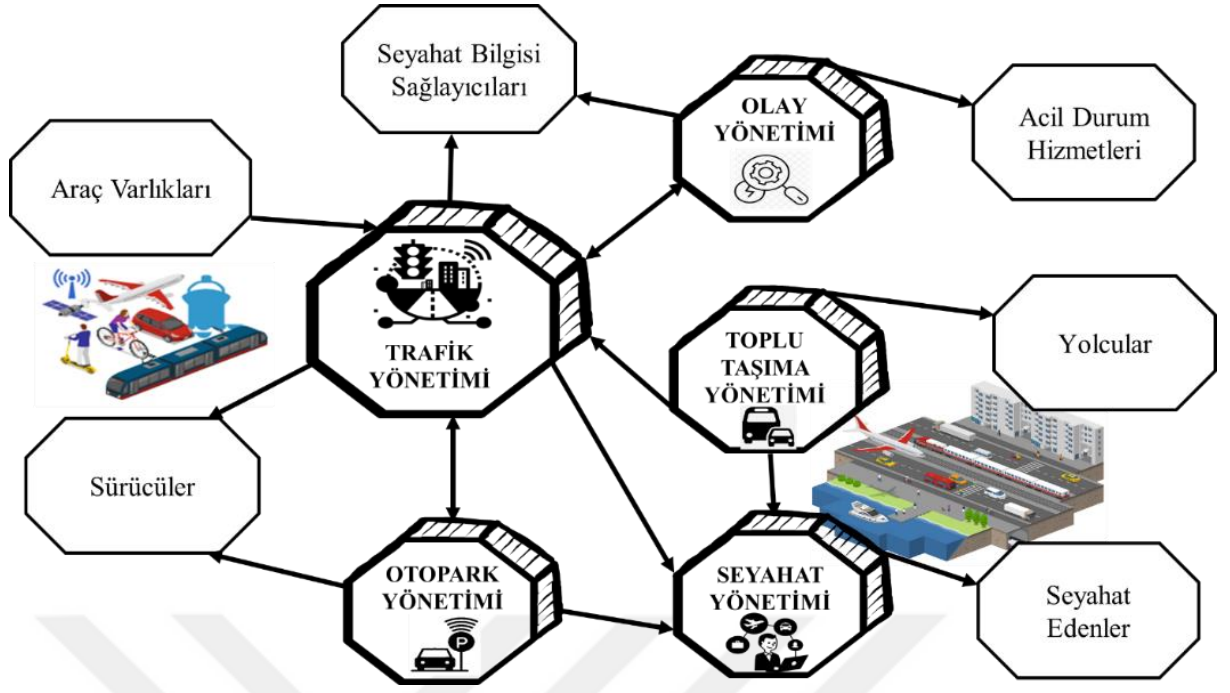
ABD'nin ulusal AUS mimarisi ARC-IT'de; ticari araç operasyonları, veri yönetimi, yapım ve bakım işleri, otopark yönetimi, kamu emniyet ve güvenliği, toplu taşıma, sürdürülebilir seyahat, destek, yolcu bilgileri ve bireysel hareketlilik, trafik yönetimi, araç emniyeti ve güvenliği, hava durumunun oluşturduğu 12 hizmet (gelişim) alanı ve 156 hizmet paketi bulunmaktadır. Hizmet paketleri, AUS mimarisinin trafik sinyal kontrolü gibi belirli hizmetlerini içeren bölümleri temsil etmektedir. Bir hizmet paketi, istenen hizmeti sağlayan birkaç farklı fiziksel nesneyi (sistemler ve cihazlar), bunların fonksiyonel nesneleri ve bilgi akışlarını, tek bir çatı altında toplamaktadır. Trafik yönetimi alanı özelinde ise 26 adet hizmet paketi bulunmakta ve Tablo 3-3'te gösterilmektedir. Kullanıcı hizmetlerinden ilk beşi, birden fazla uygulamayı desteklemektedir (U.S. Department of Transportation, 2023a).

Tablo 3-3: ABD mimarisi hizmet paketleri

Gelişim Alanları	Kullanıcı Hizmetleri
Trafik Yönetimi	1. Altyapı Tabanlı Trafik İzleme (uygulamalar)
	2. Araç Tabanlı Trafik İzleme (uygulamalar)
	3. Trafik Sinyalizasyon Kontrolü (uygulamalar)
	4. Bağlantılı Araçlar Trafik Sinyalizasyon Sistemi (uygulamalar)
	5. Trafik Bilgisinin Paylaşılması (uygulamalar)
	6. Trafik Ölçümü
	7. Bölgesel Trafik Yönetimi
	8. Trafik Olayları Yönetim Sistemi
	9. Entegre Karar Destek ve Talep Yönetimi
	10. Elektronik Ücret Toplama
	11. Yol Kullanım Ücretlendirmesi
	12. Dinamik Karayolu Uyarıları
	13. Standart Demiryolu Hemzemin Geçidi
	14. Gelişmiş Demiryolu Hemzemin Geçidi
	15. Demiryolu İşletmeciliği Koordinasyonu
	16. Yön Değiştirebilir Şerit Yönetimi
	17. Hız Uyarısı ve Denetimi
	18. Açılır-Kapanır Köprülerin Yönetimi
	19. Karayolu Kapatma Yönetimi
	20. Değişken Hız Sınırları
	21. Hız Uyumlaştırma
	22. Dinamik Şerit Yönetimi ve Emniyet Şeridi-Banket Kullanımı
	23. Sınır Yönetimi Sistemleri
	24. Tünellerin Yönetimi (uluslararası)
	25. Hatalı Yönde Giden Araçların Tespiti ve Uyarılması
	26. Trafik İşareti Kurallarının Uygulanması (uluslararası)

Avrupa Ağları için Gerekli Anahtar Mimari (KAREN) projesi çerçevesinde fonksiyonel, fiziksel ve iletişim olmak üzere üç katmanlı AUS mimarisi oluşturulmuş olup birden fazla sistemin kurulumu ve uygulanması için temel bir çerçeveyi 1999 yılında ortaya koyulmuştur (Dilek, Talih, & Ceylan, 2023; Duan, 2023). FRAME mimarisi ise AUS'un karayolu taşımacılığı alanında kullanılması ve diğer ulaşım modları ile arayüzlere ilişkin çerçeve hakkındaki 2010/40/EU Sayılı Avrupa Parlamentosu ve AB Konseyi Direktifi'ne (European Commission, 2010) uygun olarak AUS uygulamalarının planlanması için sistematik bir temel sunmak amacıyla güncellenip geliştirilmektedir. Ayrıca Avrupa AUS Platformu tarafından Avrupa'da Uyumlaştırılmış AUS Temel Hizmet Kurulumu için Referans El Kitabı (EUEIP, 2021) hazırlanmış ve yayınlanmıştır.

FRAME, birden fazla sistem uygulamaya alındığında entegrasyonunu kolaylaştırmak ve Avrupa sınırlarının ötesi de dahil olmak üzere birlikte çalışabilirliği sağlamak için bir çerçeve sunmaktadır. Ayrıca Avrupa'da, AUS'un özellikle karayolu odaklı olarak yaygınlaştırılmasını teşvik etmekte olan FRAME, alt kümeler oluşturulacak şekilde tasarlanmış olup genellikle bir bütün olarak kullanılmamaktadır. Bazı durumlarda, bir hizmeti sunmanın birden fazla yöntemini içermesi nedeniyle kullanıcılara en uygun fonksiyon setini seçme olanağı sunmaktadır. FRAME, trafik yönetimini de içine alan 10 fonksiyonel bölümden oluşmaktadır. AUS'un belirli uygulama alanlarının sistematik ve ortak bir şekilde oluşturulabileceği bir çerçeve sağlamaktadır. Bu alanlar arasında trafik yönetimi, elektronik ücret toplama, acil durum bildirimi ve müdahale, toplu taşıma yönetimi, araç içi sistemler, yolcu yardımı, kolluk kuvvetlerini destekleme, nakliye ve filo yönetimi, kooperatif sistemlere destek ve çok modlu arayüzler yer almaktadır. Burada trafik yönetimi Şekil 3-6'da görüleceği üzere kent içi ve kentler arası trafik yönetiminin yanı sıra park etme, çevresel olumsuz etkiler, olay ve talep yönetimiyle ilgili hizmetleri içermektedir (Dilek, Talih, & Ceylan, 2023; FRAME Forum, 2023).



Şekil 3-6: FRAME mimarisi trafik yönetimi ilişkisi

Japonya'nın 2000'li yıllarda oluşturulan AUS mimarisi; navigasyon sistemlerindeki gelişmeler, elektronik ücret toplama, emniyetli sürüş yardımı, trafik yönetimi optimizasyonu, yol yönetimi verimliliğini artırma, yaya desteği, toplu taşımanın teşviki, ticari araç ve acil durum araç operasyonlarından oluşan 9 gelişim alanı temelinde 21 kullanıcı hizmeti, 56 belirli kullanıcı hizmetleri ve 172 belirli kullanıcı alt hizmetini tanımlamaktadır. Burada yer alan trafik yönetimi alanı, trafik akışlarının optimizasyonu ve kaza durumunda trafik kısıtlama ile darboğazların bilgilerinin sağlanması kullanıcı hizmetleri ile bunlar için belirlenen kullanıcı hizmetleri ile alt kullanıcı hizmetlerini içermektedir (MLIT, 2012; T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020).

Güney Kore'nin AUS mimarisinde trafik yönetimi, toplu taşıma, trafik bilgi sistemi, akıllı araç ve yollar, elektronik ücret ödeme, ticari araç işlemleri ve yolcu bilgilendirme şeklinde yedi hizmet kategorisi bulunmaktadır (Berdyorova, 2022; Shah vd., 2006; T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020). Burada gelişmiş trafik yönetimi hizmet kategorisi altında; trafik kontrolü ve trafik bilgisi sistemi, trafik olaylarını yönetme, elektronik denetleme sistemi, gerçek zamanlı adaptif sinyal kontrolü şeklinde dört adet kullanıcı hizmeti bulunmaktadır (Dilek, Talih, & Tektaş, 2023; MOLIT, 2016; Shah vd., 2006).

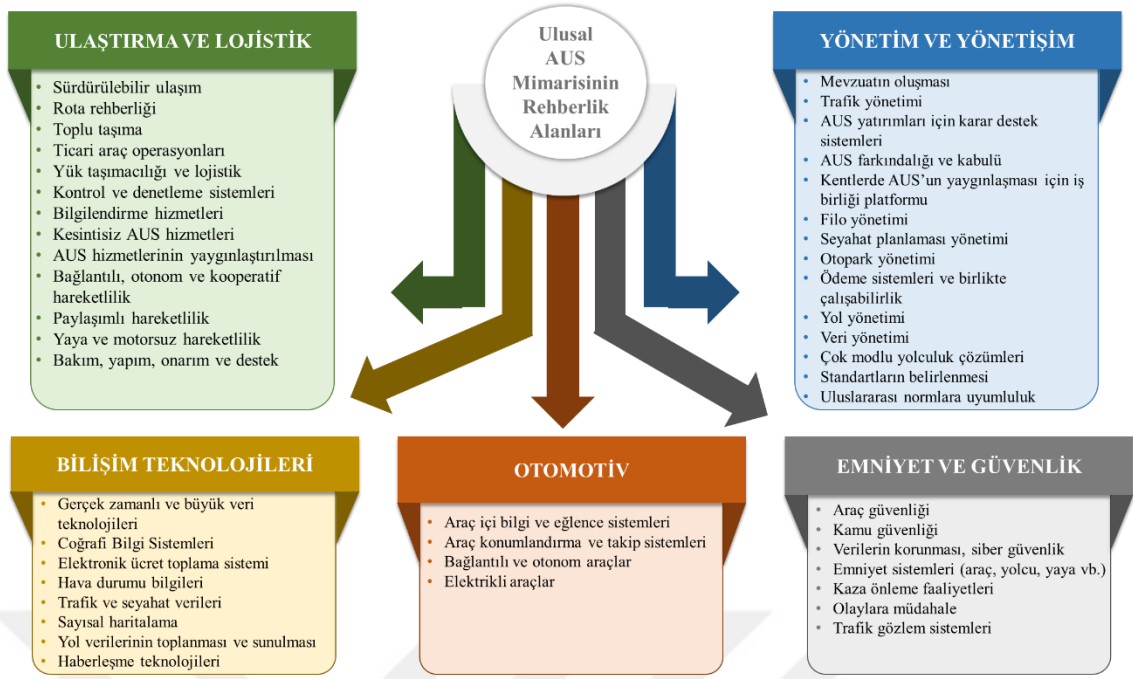
ISO AUS referans mimarisinde yer alan hizmet alanları ve hizmet gruplamaları 11 adettir. Bu gruplamalardan biri trafik yönetimi ve alt işlemleridir. Bu kategori altında trafik kontrolü,

ulaşımla ilgili olay yönetimi, talep yönetimi ve ulaşım altyapısı bakım yönetimi olmak üzere dört adet hizmet grubu bulunmaktadır (Dilek, Talih, & Tektaş, 2023; Yokota & Weiland, 2004).

Türkiye’de AUS mimarisi hazırlama çalışmaları ilk olarak Ulusal AUS Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eki Eylem Planı (2014-2016) ile gündeme gelmiş olup Karayolları Genel Müdürlüğü koordinasyonunda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda ortaya çıkan taslak dokümanda trafik yönetimi, yolcu bilgilendirme, toplu taşıma yönetimi, taşıt güvenlik ve kontrol, yük ve filo yönetimi, afet ve acil durum yönetimi, yol bakım ve yapım yönetimi, veri arşiv yönetimi, elektronik ücret toplama yönetimi, yaya ve trafik güvenliği olmak üzere 10 adet hizmet grubuna yer verilmiştir (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020). Bu taslak AUS mimarisinin geliştirilmesi ve mimarinin kılavuzları ile birlikte 2023 yılı sonuna kadar yayınlanması konusu, Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı ile tekrar gündeme gelmiştir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020). Dünya genelindeki iyi ülke örnekleri incelendiğinde, çoğunun 2000’li yıllarda AUS mimarisi ile ilgili çalışmalara başladığı ve günümüzde geliştirme ile yaygınlaştırmaya odaklandıkları görülmektedir.

AB, Asya Pasifik ülkeleri ve ABD, AUS konusunda çalışmalara nispeten daha erken dönemde başlamış ve bu alanda birçok güçlü ve zayıf yönler ile fırsat ve tehditleri deneyimlemişlerdir. Bu deneyimler, her ülkenin kendi koşullarına uygun ihtiyaçlarını belirlemeye çalıştığı kritik bir altyapı özelliği olan ulaşımın sürdürülebilirliği için önemlidir. Bu ülkelerin AUS alanındaki çalışmalarında ortak noktaları; standartlar, entegrasyon ve birlikte çalışabilirliğin sağlanabilmesi için çatı bir araca yani AUS mimarisine ihtiyaç duymalarıdır. Bu noktada her ülke kendi demografik, coğrafik, sosyal ve siyasal yapısı çerçevesinde AUS mimarisini oluşturup geliştirerek uygulanmasını politika ve mevzuatlar yardımıyla desteklemektedir. Ayrıca AUS mimarisinin kullanımını kolaylaştırmak ve cazip hale getirmek için yazılım araçları ve kılavuzlar kullanılmakta, eğitimler ve seminerler düzenlenmektedir.

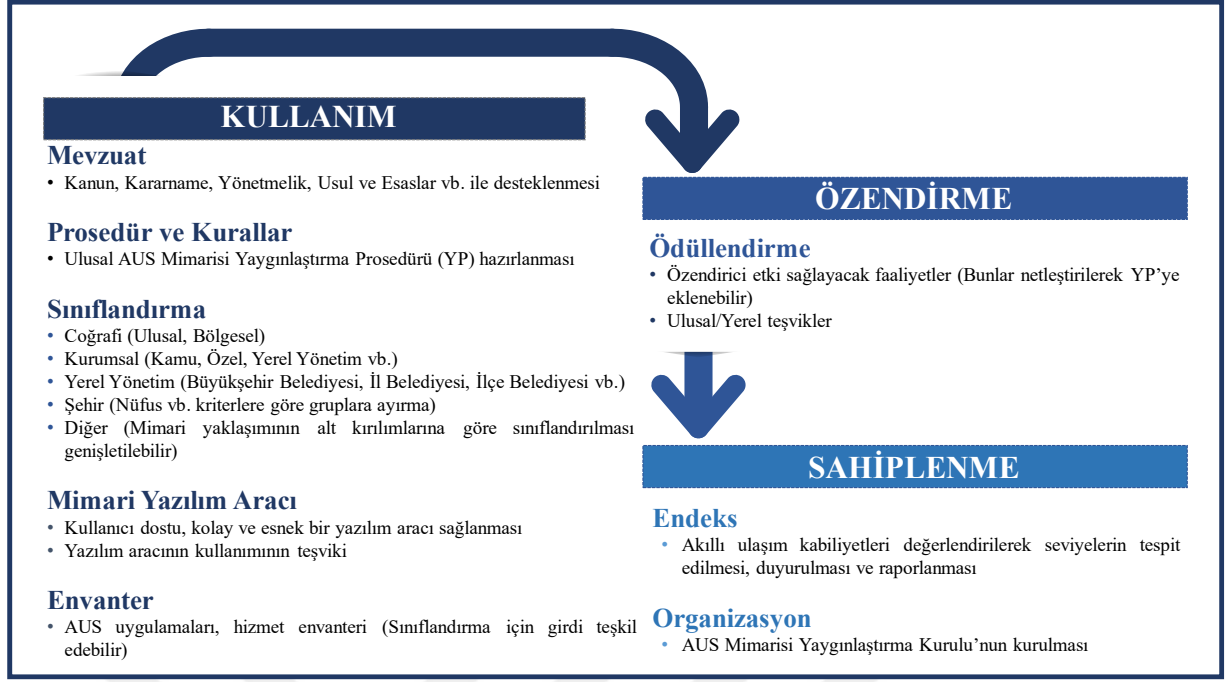
Türkiye için yayınlanması planlanan ulusal AUS mimarisinin, ülke koşulları ve iyi uygulamalar çerçevesinde; trafik yönetimi, tedarik ve lojistik yönetimi, merkezi ve yerel yönetişim, bilgi ve haberleşme teknolojileri, otomotiv, emniyet ve güvenlik gibi Şekil 3-7’de gösterilen alanlara rehberlik etmesi ve uluslararası uyumluluk konularını temel alması beklenmektedir. Bu mimari yapının esnek ve gelişmelere açık olması, ulaşımı etkileyen ya da ulaşımdan etkilenen tüm faaliyet alanlarında, kaynakların doğru kullanıldığı verimli çözümler sunabilme potansiyeli taşımaktadır (Dilek, Talih, & Ceylan, 2023). Tasarlanan mimarinin modüler yapısı, sayılan alanların genişletilmesine ve ihtiyaçlar doğrultusunda güncellenmesine izin verebilmelidir.



Şekil 3-7: Ulusal AUS mimarisi uygulama alanı önerileri (Dilek, Talih, & Ceylan, 2023)

Ulusal mimaride trafik yönetimi alanıyla ilgili hizmetler belirlenirken özellikle tüm ülke yapısına uyarlanabilecek, seçimlerin yapılabileceği temel bir çerçeve olması önemli bir husustur. Burada bölgesel ya da yerel trafik yönetimi kavramı, AUS mimarisinin özellikle şehirler nezdinde kullanılabilirliğini ve kabulünü artırabilecektir. Ayrıca AUS mimarisinde yer alan trafik yönetimi hizmet paketi ile uçtan uca trafik kontrolü, acil durum ve olay yönetimi, talep yönetimi, elektronik ödeme sistemleri ve trafik yönetim merkezleri ile ilgili hususları içine alan kavramlara kılavuzluk edilerek bunların, AUS veri yönetim merkezi gibi bir yapı ile otomasyonlu bir şekilde yönetilmesi beklenmektedir.

Türkiye genelinde AUS mimarisinin uygulanması, kullanımı, kabulü ve yaygınlaşması için önerilen bir model, Şekil 3-8’de yer almaktadır. Önerilen model, gönüllülük esaslı kullanım, özendirme ve sahiplenme politikaları ile uygulamaları çerçevesinde yaygınlaştırmaya dayanmaktadır. Ayrıca özellikle kullanıcı dostu bir yazılım aracının ilgili paydaşlara sunulması ile mimarinin uygulamaya alınması desteklenebilecektir (Dilek, Talih, & Ceylan, 2023).



Şekil 3-8: Ulusal AUS mimarisi yaygınlaştırma önerileri (Dilek, Talih, & Ceylan, 2023)

AUS projelerini uygulamak, kurumlar arasında birlikte çalışabilirliği ve kaynak paylaşımını sağlamak, projeler çerçevesinde gerekli olacak standartları belirlemek ve bölgesel bazda paydaşlar arasında uyumlu uzun vadeli planlamanın mümkün olması için bölgesel ya da yerel mimarilerin hazırlanması, bir çözüm olarak görülebilmektedir. Bu noktada ilgili bölgenin, bölgesel AUS mimarisini hazırlaması, kendi stratejisini ve eylemlerini oluşturmaya yardımcı bir araç olabilecektir. Örnek olarak Kuzeybatı Arkansas tarafından 2023 Mart ayında yayınlanan Bölgesel AUS Mimarisi raporunda, stratejiler ve eylemler aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Northwest Arkansas Regional Planning Commission & Arkansas Department of Transportation, 2023):

1. Strateji 1: Bölgesel trafik yönetiminin verimliliğini, etkinliğini ve güvenliğini artırmak.

1. Uyumluluğun ve birlikte çalışabilirliğin sağlanması için bölgedeki her bir yetkili kurum tarafından kullanılan bileşen, ekipman ve yazılımı tanımlamak.
2. Bölge ve her bir yetki alanı için ek trafik yönetimi işlevlerini tanımlamak.
3. Fiber optik haberleşme altyapısı ve sinyal sistemleri bağlantı planı geliştirmek için bölgesel bir strateji başlatmak.
4. Kentler arasında koordineli zamanlamayı desteklemenin bir yolu olarak zaman içinde bölgede sinyal denetleyici tutarlılığı sağlamanın tercih edilebilirliği konusunda bölgesel bir görüş birliği oluşturmak.

2. Strateji 2: Tüm ulaşım türleri kullanıcıları için operasyonları ve yolcu bilgilerini iyileştirmek üzere seyahatle ilgili daha fazla bilgi toplamak, saklamak ve paylaşmak.

1. Bölgede ve her bir yetki alanı kapsamında trafik yönetimi işlevleri için istenen ek veriler ile verilerin toplanması, depolanması ve paylaşılması için öncelikleri belirlemek.

2. Kurulum, bakım, onarım gibi özel faaliyetler için planlanan şerit veya yol banketlerini kaydetmek, görüntülemek ve izlemek için bölgesel bir program oluşturmak.

3. Trafik olaylarına, afet ve diğer acil durumlara karşı bölgesel acil durum müdahalesini iyileştirmek.

1. Acil durum müdahalesinin iyileştirilmesi için ilgili kurumlar arasında bölgesel bir strateji oluşturmak.

2. Bölgesel acil durum müdahalesini iyileştirmek için gerekli veri, iletişim ve protokoller ile bunu desteklemek için gerekli AUS unsurlarını belirlemek.

4. Alternatif ulaşım türlerine erişimi ve bu türlerin güvenli ve emniyetli kullanımını iyileştirmek, motorlu taşıt emisyonunu ve araçların kat ettiği mesafeyi azaltmak için AUS'u kullanmak.

1. Alternatif ulaşım türlerine erişimi ve bu türlerin güvenli kullanımını geliştirmeye yönelik fırsatları belirlemek ve talep yönetimi stratejilerini teşvik etmek için bölgesel bir komite kurmak.

2. Alternatif ulaşım türlerine erişimi ve bu türlerin güvenli kullanımını iyileştirmek için kullanılabilir AUS unsurlarını belirlemek ve potansiyel AUS uygulamalarına öncelik vermek.

3. Potansiyel finansman kaynaklarını tespit ve takip etmek.

5. AUS'un geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması konusunda, bölgesel iş birliğini artırmak ve uygulamak.

1. Paydaşlar arasında koordinasyonu teşvik etmek için komiteler oluşturmak gibi mevcut yöntemleri kullanmak.

2. AUS'u; planlama, programlama, tasarım, yapım ve bakım süreçlerine dahil etmek.

3. Bölgenin paydaşları için AUS stratejilerine girdi sağlamayı kolaylaştıracak bir iletişim çerçevesi geliştirmek.

4. AUS'u destekleyenleri bölgesel ve yerel karar alma organlarına entegre etmek.

5. Bölge paydaşları arasında veri ve bilgi paylaşımını teşvik etmek.

3.3 STANDARTLAR VE REHBERLİK

Akıllı ulaşım programları dünya genelinde birçok farklı isimle anılmaktadır. ABD'de AUS, Avrupa için Maksimum Verimlilik ve Benzersiz Emniyet ile Avrupa Trafik Programı (PROMETHEUS-Programme for European Traffic with highest Efficiency and Unprecedented

Safety), Japonya’da ise Gelişmiş Mobil Trafik Bilgi ve İletişim Sistemi (AMTICS-Advanced Mobile Traffic Information and Communication System) ve Karayolu Araç Haberleşme Sistemi (RACS-Road Automotive Communication System) bu çerçevedeki örneklerdir. Bu programların hepsinin ortak amacı ise gelişmiş trafik yönetim sistemleri, yolcu bilgi sistemleri, araç kontrol sistemleri, ticari araç operasyonları, toplu taşıma sistemleri ve kırsal ulaşım sistemlerinin geliştirilmesidir. Bu hedeflerin her birinin sentezine hizmet eden dijital haritalar, bilgisayar, yol planlama, insan faktörü, sensörler, haberleşme, araç ve trafik kontrolü gibi konuları ele alan teknolojiler bulunmaktadır (García-Ortiz vd., 1995). Bu teknolojilerin, sistemlerin, uygulamaların ve hizmetlerin birlikte çalışabilirliği ve verimliliğin sağlanması için ülkeler temel standartlara ihtiyacı duymaktadır.

ISO tarafından standart kavramı, *“Belirli bir konuda en yüksek düzeyde uyumu sağlamak amacıyla fikir birliği ile oluşturulan, ortak ve tekrarlı kullanım için faaliyetler ya da bunların sonuçları için kurallar, kılavuzlar veya özellikler sunan kabul görmüş bir kurum tarafından onaylanmış doküman.”* şeklinde tanımlarken, standardizasyon ifadesini ise *“Belirli bir konuda ideal düzen seviyesine ulaşmayı amaçlayan, mevcut veya muhtemel sorunlarla ilgili, ortak ve tekrarlanan kullanım için hükümler oluşturma faaliyeti.”* (ISO/IEC, 2004) şeklinde tanımlamaktadır.

Teknolojik bir sistemin araştırma ve geliştirme safhasından uygulamaya geçirilme sürecinin önemli bir adımı, standardizasyondur. Standardizasyon, yeni bir ürün veya hizmetin uyumluluğunu, birlikte çalışabilirliğini, güvenliğini, yeniden üretilmesini ve kalitesini en üst düzeye çıkarmaya yardımcı olabilmektedir. Ayrıca, teknik ara birimlerin bağlantısını ele alarak pazarı hızla ele geçirmek için etkili bir araç olarak da kullanılabilen bir rekabet unsuru olma özelliği taşımaktadır (Duan, 2023). AUS’un standardizasyonu, tedarik kaynaklarından bağımsız olarak tüm bileşenlerin teknik ve işlevsel olarak uyumlu olması ile bir araya getirildiklerinde kullanıcılarına beklenen hizmetleri doğru şekilde sunmayı hedeflemektedir (Austroads, 2010).

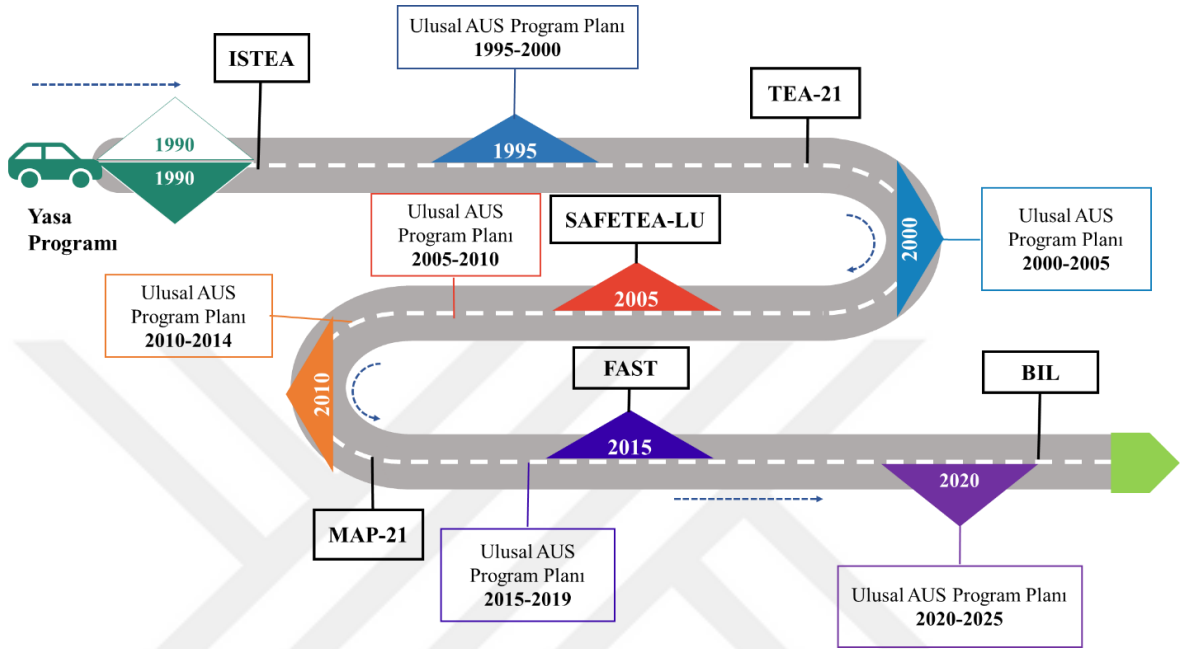
AUS standartlarının çoğunluğu, uyumlu ve birlikte çalışabilir standartlara sahip cihazlar arasındaki bağlantıyı ele almaktadır. Bu standartlar, tüm tarafların çıkarlarını göz önünde bulundurarak yapılan tartışmalar ve düzenlemelerle oluşturulan uzlaşi standartlarına dayanmaktadır. Uzlaşi standartları; endüstri, ulusal ve uluslararası standartları içermektedir. AUS standartlarının geliştirilmesine ulusal veya uluslararası farklı kuruluşlar ve ülkeler katkı sunmaktadır (Duan, 2023).

AUS’un Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) harcamalarını ulusal bütçeye dahil eden ilk ABD kanunu olma özelliği taşıyan İntermodal Kara Taşımacılığı Verimliliği Yasası (ISTEA), 1991

yılında yürürlüğe girmiştir. Akabinde ortaya çıkan ulaşım sistemleriyle ilgili her yasa, ülke çapında bir AUS programı başlatmanın yasal dayanağı olmuştur. ABD Ulaştırma Bakanlığı, Akıllı Araç-Karayolu Sistemi (IVHS) programının uygulanmasında intermodal politikayı yönetmek için bir Ortak IVHS Program Ofisi (JPO-Joint Program Office) kurmuştur. Ortak IVHS Program Ofisi'nin adı 1994 yılında AUS Ortak Program Ofisi (ITS JPO) olarak değiştirilmiştir. ITS JPO'nun o dönemdeki en önemli görevlerinden biri AUS kapsamında bir standardizasyon seviyesi oluşturmaktır. ITS JPO, havacılık ve uzay tecrübelerinden yararlanarak haberleşme, ulaştırma ve kurumsal katmanlardan oluşan ulusal bir sistem mimarisi tasarlamış olup birlikte çalışabilirliği ve koordineli bir ulusal yaklaşımı teşvik etmek için standartları geliştirmiştir (U.S. Department of Transportation, 2023b). ABD Ulaştırma Bakanlığı, 1996 yılında karayolu ulaşım sistemlerinde AUS teknolojilerinin yaygın kullanımını desteklemek için AUS Standartları Programını başlatmıştır. AUS Standartları Programı, açık iletişim arayüzü standartlarının geliştirilmesini kolaylaştırmak için standart geliştirme kuruluşları ve kamu kurumlarıyla birlikte çalışmaktadır. Bu standartlar, akıllı ulaşım bileşenlerinin ve sistemlerinin çok modlu bir ağ içinde ulusal mimari kapsamındaki AUS hizmetlerini sunmak için nasıl birbirine bağlandığını ve bilgi alışverişinde bulunduğunu tanımlamaktadır. AUS standartlarının tutarlı ve yaygın kullanımı, kamu kurumları ve özel kuruluşlar arasında veri ve bilgi paylaşımına izin vermektedir. AUS Standartları Programı'nın mevcut faaliyetleri arasında bağlantılı araç standartları, kısa vadeli intermodal araştırmalar ve daha önceki AUS araştırma programlarını destekleyen standartlar yer almaktadır. Bu program ortaklarını Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü (ANSI), Amerika Devlet Karayolu ve Ulaştırma Yetkilileri Birliği, Amerikan Toplu Taşıma Birliği, Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği, Ulaştırma Mühendisleri Enstitüsü, Uluslararası Amerikan Test ve Malzeme Kurumu, Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE), Otomotiv Mühendisleri Birliği (SAE-Society of Automotive Engineers) ile ABD Ulaştırma Bakanlığı ortaklıkları oluşturmaktadır. Bunun yanında AUS Protokolü için Ulusal Ulaştırma Haberleşmesi (NTCIP) ortak komitesi tarafından, AUS alanına ilişkin standartlar üretilmektedir. Günümüze kadar 99 standart yayınlanmıştır ve AUS sektörünün kullanımına hazır bulunmaktadır (U.S. Department of Transportation, 1996, 2023).

ABD'nin, 1991-2012 yılları arasındaki akıllı ulaşım alanında standardizasyon politikasının gelişimiyle ilgili değişiklikleri, dört dönemde incelemek mümkündür. Standart belirleme, revizyon, uygulama ve politika hedefleriyle uyumlu uluslararası iş birlikleri başlıklarından oluşan bu dönemlerde ortaya çıkan politika, mevzuat, strateji ve beyaz kitap gelişmeleri, Şekil 3-9'da gösterilmiştir. Burada, 2015-2019 yıllarını kapsayan AUS stratejik planında, bağlantılı araç uygulamalarının, sistem bağımlılığı ile otonom hareketlilik faaliyetlerinin artışıyla birlikte

çalışabilirliğin kritik ve önemli bir unsur olması ihtimali vurgulanmaktadır. AUS Stratejik Planı 2020-2025 ise ulusal ve uluslararası standartlar ile ulusal-bölgesel mimariler ve sektör bazındaki standartlar arasındaki uyumluluğa odaklanmaktadır. Ayrıca, bilgi ve iletişim teknolojileri alanındaki mevcut ve yeni standartlar arasında iş birliğini teşvik etmektedir (Duan, 2023).

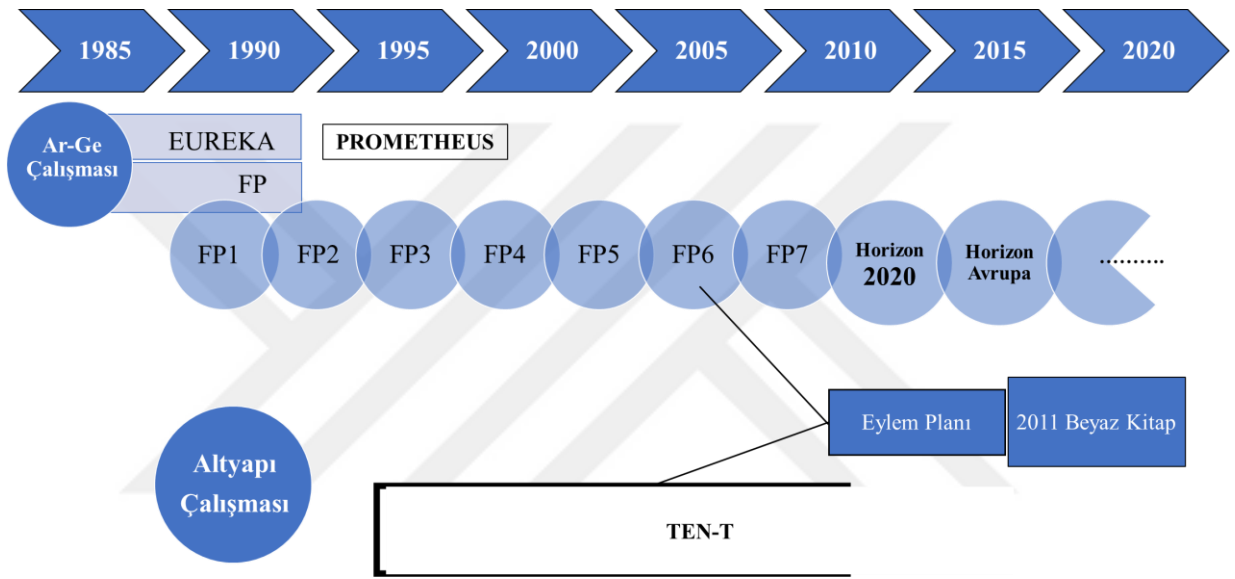


Şekil 3-9: ABD, AUS standardizasyon politika gelişimi zaman çizelgesi

AUS mimarisinin geliştirilmesi ve değerlendirilmesine yönelik sistematik bir yaklaşım ortaya koyan ve standartları pazar payı kazanmanın ön koşulu olarak gören bir kılavuz, Avrupa için 1998 yılında yayınlanmıştır. Bu kılavuz, ayrıca standartların mevcut standartlardan öğrenerek geliştirilebileceğine işaret etmektedir (Jesty vd., 1998). Avrupa Komisyonu, AUS'un Avrupa genelinde yaygınlaşmasını hızlandırmak amacıyla yasal çerçeveyi içeren 2010/40 Avrupa Birliği Direktifi'ni (European Commission, 2010) belirlemiştir. Direktif kapsamındaki öncelikli alanlar ve eylemler çerçevesinde AUS'un Avrupa'da yaygın kullanımının sağlanması için ihtiyaç duyulan standartlar, Avrupa AUS Komitesi (EIC-European ITS Committee) onayı alındıktan sonra, 98/34/EC sayılı Direktif'te belirtilen prosedüre uygun olarak ilgili standardizasyon organları tarafından geliştirilmektedir (European Commission, 2010). Bu standardizasyon organları arasında Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN-European Committee for Standardisation), Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (CENELEC-European Committee for Electrotechnical Standardisation) ve Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (ETSI-European Telecommunications Standards Institute), ISO, IEEE, ITU, 3GPP, W3C gibi kuruluşlar

yer almaktadır. Bunun dışında C-Roads, C-ITS ve CCAM Platformları ve C2C-CC (Car-2-Car Communication Consortium), 5G Otomotiv Derneği bulunmaktadır (5G Automotive Association-5GAA), ERTICO-ITS Europe, GSM-A (European Commission, 2023).

AUS'un gelişimi ve standardizasyonu, Şekil 3-10'da görüleceği üzere Çerçeve Programı (Framework Program-FP) olarak adlandırılan resmi bir teknoloji geliştirme ile Avrupa Pazarına Yönelik Endüstriyel Araştırma ve Geliştirme Ağı (EUREKA) programından oluşan iki proje tarafından kolaylaştırılmaktadır. Altyapı hizmetleri ise Trans-Avrupa Ulaşım Ağı projesi (TEN-T) tarafından desteklenmektedir (Duan, 2023).



Şekil 3-10: AB, AUS standardizasyon politika gelişimi zaman çizelgesi

ABD'nin AUS Standartları Geliştirme Planı, standardizasyonunun faydalarını aşağıdaki gibi belirlemiştir (Austroads, 2010):

- Ulusal karayolları altyapısını desteklemek için gereken işlevselliğin sağlanması.
- Emniyet ve güvenliğin artırılması.
- Farklı sistemler arasında ulusal birlikte çalışabilirliğin sağlanması.
- Mevcut altyapı için yapılan yatırımların korunması.
- Yeni teknolojilerden yararlanmak amacıyla AUS'un kademeli olarak geliştirilme potansiyeline sahip bir teknoloji dönüşümünün ortaya çıkarılması.
- Sektörün kabiliyetinin artırılması ve daha geniş pazarların oluşturulması.
- Artan rekabet yoluyla sermaye maliyetlerinin düşürülmesi ve daha küçük yedek parça stokları ve/veya daha ucuz yedek parçalar yoluyla bakım maliyetlerinin azaltılmasını sağlamak için karşılıklı değişim yeteneğinin oluşturulması.

- Yeni ve yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesinin önündeki engellerin azaltılması.
- Sektörde uyumsuz yöntemleri erken benimseyenlerin yatırımlarının tehlikeye atılmasına engel olunması.
- Pazar rekabeti gibi risklerin azaltılması.

AUS projelerinin kabul edilen standartları sağlaması ve merkezi yönetim politikaları ile uyumlu olması, belirtilen faydalara ulaşmak için önemli olabilmektedir. Aynı zamanda ulusal ya da bölgesel bir AUS mimarisinin mevcut olması halinde, bu projelerin süreçlerinin uyumluluğu, hedeflenen sonuçlara ulaşmakta önemli olabilmektedir. Dolayısıyla trafik yönetimi dahil AUS hizmetlerine ilişkin standartların belirlenen AUS mimarileriyle birlikte çalışabilir olması, önemli bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır.

Politikalar, standardizasyon sürecinde önemli bir rol oynamakta ve standardizasyon ise inovasyonda etkili olabilmektedir. Bu doğrultuda ABD ve AB için bu etkiler, Tablo 3-4'te (Duan, 2023) belirtilerek Türkiye için yapılan öneri ve değerlendirme de tabloya ilave edilmiştir. Türkiye için bir AUS mimarisi yaklaşımı ve aynı zamanda sektör çalışmalarında etkili olabilecek standartlar ile ilgili öneriler henüz resmi olarak ortaya koyulamamıştır. Ancak bu konuların Türkiye'de AUS için hazırlanan her iki dönem ulusal AUS eylem planlarında eylem olarak yer aldığı ve bu kapsamda çalışmaların hali hazırda devam ettiği bilinmektedir. Aynı zamanda ABD ve AB'nin 1990'lı yılların başından bu yana AUS'un gelişimi ile yaygınlaşmasına odaklandığı göz önüne alındığında, politika ve mevzuat gelişimi çerçevesinde Türkiye'nin AUS alandaki ilk önemli adımların strateji belgeleri ve eylem planları olduğu gözlemlenmektedir. Bu doğrultuda Türkiye'de, kent içi ve kentler arası yol ağında; trafik, toplu taşıma, acil durum, lojistik, otoyol, yolcu bilgi ve çarpışma önleme sistemlerinin yönetimi gibi AUS hizmetleri ile AUS bileşenlerinin geliştirilerek yaygınlaşmasında, merkezi ve yerel yönetimlerin politika ve mevzuat belirleme süreçlerine destekleri, önemli olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 3-4: Politika süreçleri ve standartlaşmaya etkisi

Süreç	ABD	AB	Türkiye için Öneri
Politika Öncelikleri	Altyapı yapımı ile desteklenmesi	Sanayi ve teknolojinin rekabet gücünün artırılması	Mevcut altyapının yenilikçi teknoloji ile desteklenmesi
Hükümetin rolü	Lider	Destekçi	Lider
Politika uygulama süreci	Erken bir aşamada	Teknolojiler geliştirildikten sonra	Teknoloji gelişimiyle eş zamanlı

İş birliği	Devlet tarafından teşvik edilmektedir	Proje odaklı	- Genel kapsamlı uygulama ve faaliyetler için devlet teşviklerinin kullanılması - Bölgesel uygulama ve faaliyetlerde proje odaklı yaklaşımın benimsenmesi - Özel uygulamalar için hem proje hem de devlet desteği sağlanması
Standardizasyona etkisi	- Taraflar arasındaki anlaşmazlıkların giderilmesi ve hukuk normu oluşumunun desteklenmesi - Hukuk normunun sadece ülke içinde geçerli olması ve uzlaşma standardının yerini tutmaması	Bir teknoloji için mümkün olduğunca çok sayıda Ar-Ge kurumunun ve uzmanın bir araya getirilerek uzlaşma standardının oluşmasının kolaylaştırılması	- Ulusal ve uluslararası birlikte çalışabilirlik için mevcut standartların, AB normlarına uyumu çerçevesinde belirlenmesi - AB ve ABD uygulamaları incelenerek ülke standartlarının geliştirilmesi - ABD ve AB’de olduğu gibi bir Standart Programı başlatılması ya da komite oluşturulması
Teknoloji geliştirmeye etkisi	- Teknolojik paradigma oluşumunun kolaylaştırılması - Hızlandırılmış teknoloji entegrasyonu ve uygulaması - Uygun olmayan bir teknoloji yönteminin seçilmesine sebep olabilmesi	- Geliştirme için farklı teknolojilere yönelik özelleştirilmiş (niş) alanlar oluşturulması - Ar-Ge için daha fazla bütçe ayrılması - Teknoloji entegrasyonunun engellenmesi	- Hizmet, bileşen, uygulama, projeler gibi geniş AUS yelpazesi için teknoloji geliştirme alanı oluşturulması - Ar-Ge için ayrılacak bütçelerin yeterli düzeyde ve sürdürülebilir olması

ISO/TC 204 teknik komitesi, AUS’un tüm yönleriyle birlikte mevcut uluslararası standardizasyon kuruluşlarının çalışmalarını dikkate alarak standart geliştirme takvimi de dahil olmak üzere, bu alandaki genel ISO çalışma programının koordinasyonundan sorumludur. Komite; araç içi ulaşım, bilgi ve kontrol sistemleri (ISO/TC 22) hariç olmak üzere, trafik yönetimi dahil tüm AUS hizmetleri ve bileşenleri ile kentsel ve kırsal karayolu ulaşımı alanında bilgi, iletişim ve kontrol sistemlerinin standardizasyonu ile ilgilenmektedir. Bu alanda yayınlanmış 335 ve geliştirilmekte olan 69 adet ISO standardı bulunmaktadır (ISO, 1992). Ayrıca CEN/TC 278, Avrupa’nın AUS alanında standart hazırlanma kuruluşudur ve 33 ülkeden 300’ün üzerinde katılımcı uzmandan oluşan grup, yaklaşık 200 aktif CEN çıktısından oluşan bir portföy ile AUS sektörünü desteklemektedir (CEN, 2024). ETSI’nin teknik komitesi ise birlikte çalışabilirliği sağlamak için ortak Avrupa standartlarını ve teknik spesifikasyonlarını geliştirerek AUS hizmet sunumunun sağlanması ve uygulanmasını desteklemekten sorumludur (ETSI, 2023).

Avustralya'nın AUS standartları ISO/TC204 Komitesi tarafından geliştirilmektedir. Avustralya genellikle ISO standartlarını benimsemekte olup ISO'da, Standards Australia aracılığıyla temsil edilmektedir. Standards Australia'nın AUS standartları için kurulmuş bir komitesi bulunmaktadır. Bu komite (IT-023) ISO TC 204 için bir ayna komite görevi üstlenmektedir. Avustralya'nın trafik yönetimi hizmeti özelindeki hizmet grupları ve açıklamaları ulusal AUS referans mimarisi dikkate alınmak suretiyle, ISO 14813'e uygun olarak Tablo 3-5'teki gibi kategorize edilmektedir (Austroads, 2010).

Tablo 3-5: Avusturalya trafik yönetimi hizmet grupları

Hizmet Alanı	Hizmet Grubu	Hizmet Açıklaması
Trafik Yönetimi	Ulaşım Planlama Desteği	- Trafik yönetim sistemlerinden alınan güncel trafik akışı verileri - Toplu taşıma bilgi sistemlerinden mevcut kullanım seviyeleri - Rota yönlendirme sistemlerinden veya araçlardan alınan başlangıç ve varış verileri - Rota yönlendirme sistemlerinden veya araçlardan alınan rota seçim verileri - Yolculuk öncesi bilgi sistemlerinden elde edilen seyahat talebi verileri
	Trafik Yönetimi ve Kontrolü	Trafik yönetim merkezleri arasında ve merkezler ile yol kenarı cihazları arasında koordinasyonu içermektedir. - Trafik izleme - Sokak trafik kontrolü - Otoyol trafik kontrolü - İntermodal otoyol kavşak yönetimi - Uyarlanabilir trafik sinyal kontrolü - Sinyal önceliği ve geçiş üstünlüğü - Değişken mesaj işaretleri - Önceden tanımlanmış trafik yönetim stratejilerinin uygulanması - Kentler arası ve kent içi kontrolün entegrasyonu - Park yönetimi - Katılım kontrolü, katılım yönetimi - Trafik kontrolü ile entegre güzergâh rehberliği - Hız kontrolü - Gelgit akışı (Yönlendirme şeridi kontrolü vb.) - Çalışma bölgesi trafik yönetimi - Trafik bilgilerinin yayılması
	Olay Yönetimi	Ulaşım ağında meydana gelen ve doğal afetler gibi öngörülemeyen tamamen dış kaynaklardan ziyade özellikle ağın kendisinden kaynaklanan durumları içeren çeşitli olayları tespit etme ve bunlara müdahale etme kabiliyeti sağlanmasını kapsamaktadır. - Yerde olay bilgisine müdahale - Olayın varlığının tespiti ve teyidi - Yol ağında dolaşan hizmet devriyeleri, duran araçları veya kazaları tespit etmek ve yoldan kaldırılması için yerinde yardım sağlanması - Yaralanmalara müdahale etmek, olayı ortadan kaldırmak ve normal işleyişi zamanında yeniden sağlamak için polis, acil durum ve bakım araçlarının gönderilmesi - Tehlikeli maddeler ve olay bildirim hizmeti ile bağlantılı olarak ulaşım ağları boyunca tehlikeli madde hareketlerinin izlenmesi

Talep Yönetimi	Seyahat talebini etkilemek üzere tasarlanmış yönetim ve kontrol stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanmasıyla ilgilidir. Bu stratejiler, fiyatlandırma yönetimi, alan erişiminin kontrolü, bölge giriş düzenlemeleri gibi yöntemler kullanarak günün farklı zamanlarında seyahat için genel talep seviyesi ve farklı ulaşım türlerine göreceli talebi etkileyebilir. - Erişim kontrolü - Hava kalitesine dayalı bölge fiyatlandırması - Sıkışıklık fiyatlandırması - Yüksek doluluk oranlı araç tesis yönetimi - Otopark fiyatlandırması - Toplu taşıma ücret yönetimi
Trafik Yasal Düzenlemelerinin Uygulanması / Polis Faaliyetleri	Trafik kanun ve yönetmelikleri gibi mevzuatların AUS teknolojilerini de içerecek şekilde uygulanmasına yönelik faaliyetleri içermektedir. - Erişim kontrolü - Yüksek yoğunluklu araç tesis kullanımı - Park yönetmeliği uygulaması - Hız sınırı uygulaması - Sinyal uygulaması (Kırmızı ışık ihlali vb.) - Emisyon izleme
Altyapı Bakımı Yönetimi	Yol ağı bakımı yönetiminde, AUS teknolojilerinin uygulanmasını içermektedir. Bunun yanında yol ağını kullanan yolcuları desteklemek için kullanılan haberleşme ve bilgi teknolojileri altyapılarının bakımını da kapsamaktadır. - Otoyol bakım yönetimi - AUS tarafından kullanılan kamu hizmetlerinin konum ve bakım ekipmanı - Planlanan yol çalışmalarının ve yol kapamalarının zamanlamasına ve konumuna rehberlik etmek için araştırma verilerinin kullanılması - Otoyol işaretlerinin bakım yönetimi - Altyapı bakım yönetimine girdi olarak ihtiyaç duyulan hava ve yol koşulları ile ilgili durum bilgilerinin toplanması konusunda, hava ve çevre koşulları izleme hizmetleri ile koordinasyon sağlanması - Karayolu yapım ve bakım yönetimi - Kış bakımı - Üstyapı yönetimi - Otomatik yol yönetimi - Çalışma bölgesi güvenlik yönetimi

Türkiye’de ulusal AUS mimarisinden bağımsız olarak mevcutta kentsel ve kentler arası yol ağında işleyen bir yapının olduğu göz önünde bulundurulduğunda, “*Akıllı Ulaşım Sistemleri için Uluslararası Standartların Uygulanabilirliğinin Tanımlanması (Austroads, 2010)*” gibi temel bir kullanım kılavuzu ya da benzeri bir yardımcı dokümana ihtiyaç olduğu öngörülmektedir. Bu dokümanın hazırlanması ve kullanıma sunulmuş olması ile özellikle kentsel uygulamalardaki farklılıklar ortadan kaldırabilecektir. Mevcut durumda ulaşım ağını oluşturan hali hazırdaki sistemler belirli seviyelerde farklılıklar içerebilmekte ve bazı kurallar dahilinde çalıştırılmaları mümkün olabilmektedir. Bu doğrultuda merkezi yönetim liderliğinde ortaya koyulacak *2010/40 Avrupa Birliği Direktifi* (European Commission, 2010), benzeri bir mevzuat ile AUS alanında belirlenecek kuralların uygulanabilirliği, birlikte çalışabilirliği ve verimliliğinin artırılması mümkün olabilecektir. Türkiye’de trafik yönetimi başta olmak üzere AUS hizmet ve bileşenlerine

yönelik ürün geliştirme ile Ar-Ge faaliyetleri yapan kurum kuruluşlar olduğu bilinmektedir. Buradaki pazarın ülke ekonomisine olan katkısı değerlendirildiğinde, standartların önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Sadece hizmet alanında değil, aynı zamanda sektörün ilgili endüstrileri için de piyasa rekabeti oluşturulması, önemli bir husus olabilmektedir. Burada, Türkiye’de trafik yönetimi doğrultusunda kullanılan standartlara yönelik mevcut durum, dünyadaki iyi uygulama örnekleri göz önünde bulundurularak incelenmeli ve temel gereksinimlerin belirlenmesine yönelik değerlendirme yapılmalıdır. Bu incelemeler sonucunda ilgili tüm AUS paydaşlarının söz sahibi olabileceği bir AUS Standart Komitesi’nin merkezi yönetim liderliğinde kurulması ve bu komitenin önderliğinde açık kaynaklı “Yaşayan AUS Standartlar Havuzu” oluşturulması önerilmektedir. AUS Standart Komitesi tarafından mevcut ulusal AUS mimarisi ve kuralların dikkate alınması, standartların belirlenmesinde kolaylık sağlayıcı bir unsur olabilecektir.

3.4 KENT İÇİ ULAŞIM ÇÖZÜMLERİNDE AUS

Ulaşım altyapısı ile ilgili yapılan birçok çalışma, kentleri hem coğrafi hem de sosyal açıdan şekillendirme potansiyeline sahiptir. İyi tasarlanmış bir ulaşım altyapısı sayesinde insanların ve mekanların birbirine yakınlaşması mümkün olabilmektedir. Ayrıca doğru yapılan bir altyapı tasarımı ve uygulaması sayesinde, toplu taşıma araçlarının tercih edilebilirliği ve yayalaştırma projelerinin artması mümkün olabilmektedir. İnsanların, yüklerin ve hizmetlerin kentsel alanlarda hareket edebilme kolaylığını ve hızını ele alan kentsel ulaşım kavramı; altyapı, teknoloji, politika, çevre, kültür ve sosyal durum gibi birçok faktörü içeren, çağımızın karmaşık, zorlu ve önemli konularından biridir. Bu durum kent içi hareketliliği, sürdürülebilirliğin önemli unsurlarından biri haline getirebilmektedir.

Ulaşım, insanlık tarihi boyunca her zaman hayatın bir parçası olmuş ve kentlerin kapladıkları alan ve nüfusları bakımından nispeten daha küçük ölçekli olduğu başlangıç dönemlerinde yaya ulaşımının kullanıldığı bilinmektedir. Sonrasında kentlerdeki artan nüfus, coğrafi anlamda büyüme, toplumsal ihtiyaçların farklılaşması ve teknolojinin gelişmesi gibi durumların etkisiyle çalışma alanları ile yaşam alanları arasında erişilebilirlik ve ulaşılabilirlik sorunları ortaya çıkmaya başlamıştır (Bilgiç, 2022).

Dünyada ve Türkiye’de her geçen gün kentleşmenin hızla artması ile trafik sıkışıklığı kentler için çözüm aranan ve sürekli değişerek ivme kazanan bir sorun haline gelmiştir. Bu sorunun çözümü için sosyal, ekonomik ve teknolojik gelişmenin bir ürünü olarak ortaya çıkan, ulaşımın etkinliği, dayanıklılığı ve emniyetine yönelik birçok haberleşme ve bilgi teknolojisi

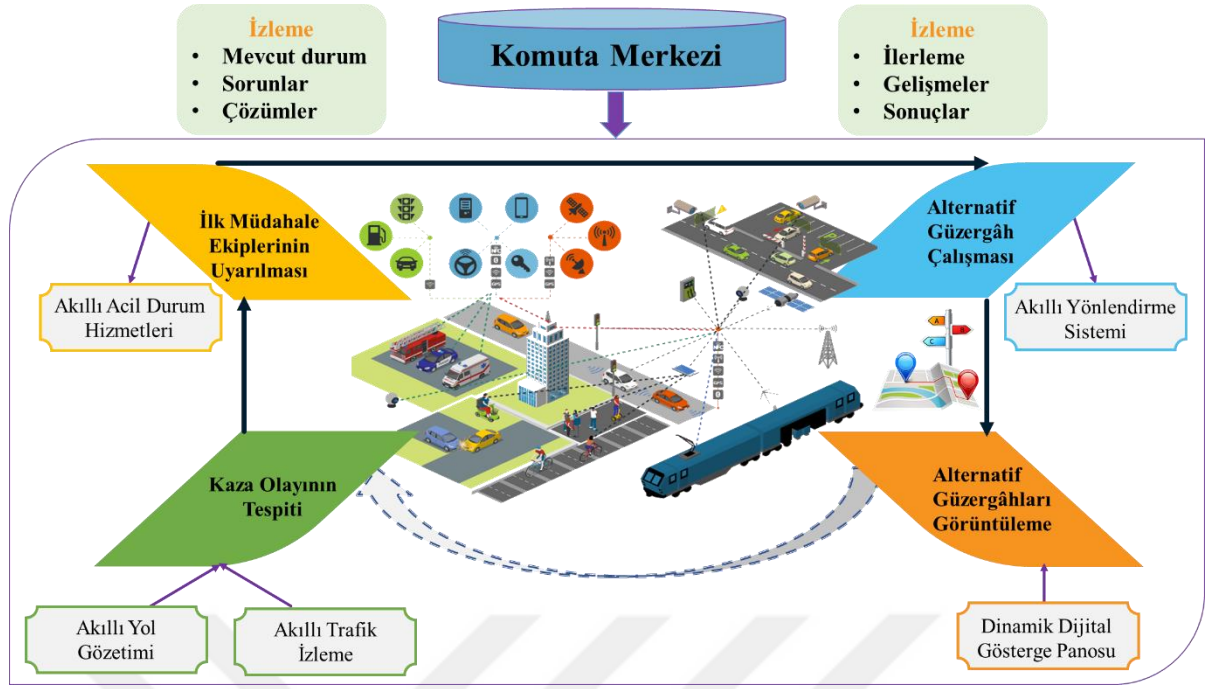
uygulamasına sahip AUS giderek önem kazanmıştır. Buna ilave olarak can kayıplarıyla sonuçlanan kazalar ve sera gazı artışı sonucu ortaya çıkan hava kirliliği gibi pek çok sorunun çözümüne yönelik araştırmalarda, AUS'un bağlantılı sistem uygulamalarını içeren K-AUS kavramına odaklanılmaktadır. Dünyadaki birçok iyi uygulama örneğinden de görüldüğü üzere AUS'un hayata geçmesi ile birlikte kent içi ve kentler arası yol ağında trafik yönetimi ve denetimi kolaylaşırken verimlilik artmaktadır (Talih & Tektaş, 2023). Sıkışık trafik nedeniyle kent sakinlerinin trafikte araç içinde bekleme süreleri artarken, bu durum verimlilik düşüşüne neden olabilmektedir. Aynı zamanda araçlardaki dur kalk hareketi nedeniyle ortaya çıkan zararlı salınımlar da çevre koşulları ve bireylerin sağlığı için tehdit oluşturabilmektedir. Kent içi trafik sıkışıklığı, özellikle bisikletli, motosikletli, yaya gibi yol kullanıcılarına yönelik yaralanmalı kazaların oranlarını artırabilmektedir.

Dünyadaki birçok mega şehir, önemli ölçüde kentsel trafik sıkışıklığı sorunuyla karşı karşıyadır. Bu sorunu ele almak için trafik ağı performansını artıran ve yol kullanıcılarına gerçek zamanlı kontrol ile rota rehberliği sağlayan AUS hizmetleri, uygulamaları ve faaliyetlerinden yararlanılmaktadır. Güncellenebilen ve uyarlanabilir kontrol sistemleri, kavşaklardaki gecikmeleri azaltma özelliklerinden dolayı giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ayrıca haberleşme teknolojileri ve bilgisayar destekli işleme yöntemlerindeki hızlı gelişmeler, kentsel yol ağlarında trafiği kontrol etmek için yeni bir potansiyel oluşturmaktadır. AUS destekli kentsel trafik yönetimi sistem ve uygulamaları ile optimizasyonu sayesinde hem ulaşım hizmetlerinin verimliliği hem de kullanıcı gereksinimlerini karşılayabilme kapasitesi artırılabilir. Bu sistem ve uygulamalara örnek olarak; otomatik ücret toplama, filo yönetimi için araç konumlandırma, veri paylaşımı, bilgilendirme, emniyet ve güvenlik gibi faaliyetlere ilişkin sistemler ile toplu taşıma tarife ve varış zamanlarını tahmin edilmesi, ücret tarifelerinin belirlenmesi, güzergâh rehberliği yapılması gibi ihtiyaçlara yönelik kullanılan uygulamalar verilebilmektedir (Stanciu vd., 2012).

AUS özellikle büyük şehirler için kentsel yol ağında, temelde trafiği yönetmeye yönelik yaklaşımlar sunmaktadır. Ayrıca AUS, kentlerin farklı niteliklerinden kaynaklanan özel ihtiyaçları doğrultusunda ortaya çıkan koşullara göre yenilikçi çözümler sunabilmektedir. Kent içi AUS bileşenlerinin yardımı ile trafik koşullarının önceden test edilmiş bir tanımı ile sıkışıklıkların otomatik olarak tespit edilebilmesi mümkün olabilmektedir. Böylece gerekli önlemler hızlı bir şekilde alınabilmektedir. Bunun yanında AUS'un toplu taşıma sistemlerinin etkinliğini ve genel trafiğin verimliliğini artırma konusunda yüksek potansiyeli bulunmaktadır. Bu durum, ulaşım kalitesini iyileştirme ve kullanıcı kabulünü artırma gibi sürdürülebilirliğe olumlu etkileri olan katkılar sağlamaktadır (Richter & Ruhl, 2010).

Kent içi ulaşım ile ilgili yük, yolcu ve motorsuz ulaşım çözümlerinde verimlilik ile fiziksel akışların sağlanması (Olusanya vd., 2020) kapsamında edinilen bilgilerin doğruluğu ve karar verme hızı önemlidir. Bu doğrultuda trafik, hava, yol gibi kent içi konularda AUS tarafından güncel durum bilgisi ve tahminler sağlanabildiği bilinmektedir. Aynı zamanda kent içi trafik ve park yönetimi ile toplu taşıma hizmetleri için AUS çözümlerinden faydalanılmaktadır. Şehir lojistiğinde, nakliye akışlarının optimizasyonunda AUS, temel bir bileşen ve etkili faktör olarak kabul edilmektedir (Mangiaracina vd., 2017). AUS işe gidip gelme süresindeki artış, toplu taşıma araçlarının yetersizliği, yük taşımacılığının etkin olmaması, yol durumuyla ilgili bilgilerin yanlış yayılması gibi sorunlara çözüm getirecek kent içi yaklaşımlar sunmaktadır. Muhtemel AUS kent içi uygulamalarından bazıları aşağıdaki gibi sıralanarak Şekil 3-11’de gösterilmektedir (Olusanya vd., 2020):

- Akıllı park uygulaması ile sürücülere yakınlarındaki park yerlerine ilişkin konum, ücret ve doluluk gibi bilgilerin sunulması,
- Gerçek zamanlı trafik koşullarını görüntüleyebilmek amacıyla yol üstü trafik kameraları gibi unsurların akıllı yol izleme için kullanılması,
- Akıllı trafik izleme, kontrol ve yönetimi çerçevesinde, gerçek zamanlı verileri de dikkate alan karar destek yöntemleri ile bileşenlerinin geliştirilmesi ve uygulanması,
- Kaza veya bakım, onarım ve yapım işi gibi acil durumlarda akıllı yeniden rotalama ve sıkışıklık yönetimi yapılması,
- Akıllı acil durum hizmetlerinin sağlanması,
- Ücret ödeme noktalarının yerine çevrim içi platformlar oluşturularak akıllı ücretlendirme sistemleri geliştirilmesi,
- Dinamik dijital pano göstergeleri ile yol bilgilerinin sağlanması,
- Komuta, izleme ve kontrol amaçlı hizmetlerin verilebilmesi için trafik yönetim merkezleri oluşturulması.



Şekil 3-11: Tipik bir AUS çalışması örneği

Araç paylaşımı (car sharing), yolculuk paylaşımı (ride sharing), araç havuzu (car pooling), park et devam et (park and ride), indir devam et (kiss and ride), alan trafik kontrolü (area traffic control), sıkışıklık ücretlendirme (congestion charging), gelişmiş taksi ve MaaS gibi AUS uygulamaları temelde kent içi ulaşımaya yönelik alternatif çözümlerdendir. MaaS, tüm bu sayılan alternatif ulaşım çözümlerinin tek bir platform üzerinden birlikte sunulabildiği, kent içi trafik sıkışıklığını ve bireysel araç kullanımını azaltarak toplu ulaşımın teşvikinde önemli bir potansiyel olarak AUS alanında yenilikçi trendler arasında değerlendirilebilmektedir (Talih & Tektaş, 2022).

AUS'ta kullanılan büyük veri çözümleri, açık veri çerçeveleri ve AI destekli uygulamalar gibi yenilikçi teknolojileri kullanan paylaşımlı hareketlilik çözümleri, kentsel alanlarda ortaya çıkması muhtemel trafik sıkışıklığı, sınırlı park alanları ve yeterli olmayan toplu taşıma sistemleri gibi zorluklar için faydalar sağlayabilmektedir. Yakın bir gelecekte otonom, bağlantılı ve akıllı araçların kentsel ulaşımada yerini alacağı gerçekliği ise yolculuk paylaşım platformları ve toplu taşıma planlarını talep modellerine göre optimize eden tahmine dayalı analitikleri, daha da önemli hale getirmektedir.

Son teknolojilerin ve veri merkezli metodolojilerin bir araya gelmesiyle karakterize edilen AUS, kent içi ve kentler arası ulaşım paradigma değişimini harekete geçirmek için uygun çözümler sunmaktadır. AUS'un sahip olduğu potansiyel oldukça fazla olmakla birlikte, başarılı bir şekilde uygulanması bütüncül ve çok disiplinli bir yaklaşım gerektirmektedir. Altyapının entegre ulaşım sistemlerini sorunsuz ve verimli bir şekilde karşılamasını garanti altına almak için politika

süreçleri, kentsel tasarım, araştırma ve teknoloji ile ilgilenenlerin tam bir iş birliği içinde olması gerekmektedir. Bu koordineli çabalar, sadece ulaşım altyapısının yeniden yapılandırılmasında değil daha sürdürülebilir, yaşanabilir ve zorlu koşullara dayanabilecek kentsel ortamların geliştirilmesinde de önemli olmaktadır (Sami & Sarai, 2023). AUS trafik kontrolü stratejilerinde, dinamik trafik sinyal kontrolleri, daha iyi yolcu bilgilendirme, yol kenarı elektronik izleme sistemleri, entegre koridor yönetimi ve araç-altyapı entegrasyonuna olanak tanıyan gerçek zamanlı trafik bilgilerinin kullanımı söz konusudur (Falcocchio & Levinson, 2015).

Akıllı ulaşımın bir bileşen olarak yerini aldığı akıllı şehirlerin yaygın hale gelmesiyle mevcut bilgi teknolojileri ve haberleşme altyapılarının tasarlanacak akıllı trafik yönetim sistemlerine uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu sistemler trafiğin merkezden kontrolüne izin vererek toplu taşıma yetkilileri tarafından trafik ışıkları, kameralar, acil durum yönlendirmeleri ve toplu taşıma rotaları gibi bileşenlerin akıllıca yönetilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca aktif ve mikro hareketlilik araçları, kent içi elektrikli ulaşım, otonom ve bağlantılı hareketlilik ile diğer sürdürülebilir ulaşım biçimlerinin benimsenmesi ve yaygın kullanımı durumunda, şehirlerde yeni altyapı ihtiyaçlarının ortaya çıkarması muhtemeldir.

3.5 YOLCU VE YÜK TAŞIMACILIĞINDA AUS

Teknik ve ekonomik açıdan uyumlu ve etkin bir ulaştırma sisteminin geliştirilmesi ülke kaynaklarının verimli kullanılması açısından önemlidir. Tüm ulaşım modları arasında uyum sağlanarak yük ve yolcu hareketliliğinde karayolu, denizyolu, demiryolu ve havayolu entegrasyonunun sağlanmasında AUS çözümlerinden yararlanılmaktadır.

AUS hem yolcu hem de yük taşımacılığı için verimlilik, emniyetli, güvenlik ve sürdürülebilirliğin çeşitli yönlerini ele alan bir dizi çözüm sunmaktadır. Akıllı ulaşım ile yolcu taşımacılığına yönelik gerçek zamanlı seyahat bilgileri, trafik ve toplu taşıma yönetimi, akıllı park sistemi gibi durumlar için çözümler sunularak ulaşım emniyeti ve güvenliği kapsamında geleneksel yaklaşımları iyileştirebilen yenilikçi alternatif yöntemler sağlanabilmektedir. Yük taşımacılığı çerçevesinde ise gerçek zamanlı trafik bilgisi, araç takibi ve izleme, intermodal koordinasyon, gelişmiş trafik yönetimi ile emniyet ve güvenlik önlemlerini içeren bir dizi yöntemi kapsamaktadır (Giannopoulos, 2002).

Yolcu taşımacılığı: Gelişmiş Trafik Yönetim Sistemleri (Advanced Traffic Management Systems-ATMS), Gelişmiş Yolcu Bilgilendirme Sistemleri (ATIS-Advanced Traveller Information Systems), Gelişmiş Toplu Taşıma Sistemleri (APTS-Advanced Public Transport

Systems), Ticari Araç Operasyonları (COV-Commercial Vehicle Operations) (Singh & Gupta, 2015), Akıllı Yük Taşıma Sistemleri (IFTS-Intelligent Freight Transport Systems) gibi sistemler, AUS'un gelişmiş çözümler içeren yaklaşımları olarak değerlendirilmekte ve kullanılmaktadır (WJ, 2023). Dolayısıyla bu yaklaşımların, mevcutta dünyanın birçok yerinde benimsenen AUS mimarilerinin, fonksiyonel alanlarında ya da hizmet paketlerinde yerlerini aldığı görülmektedir (Singh & Gupta, 2015).

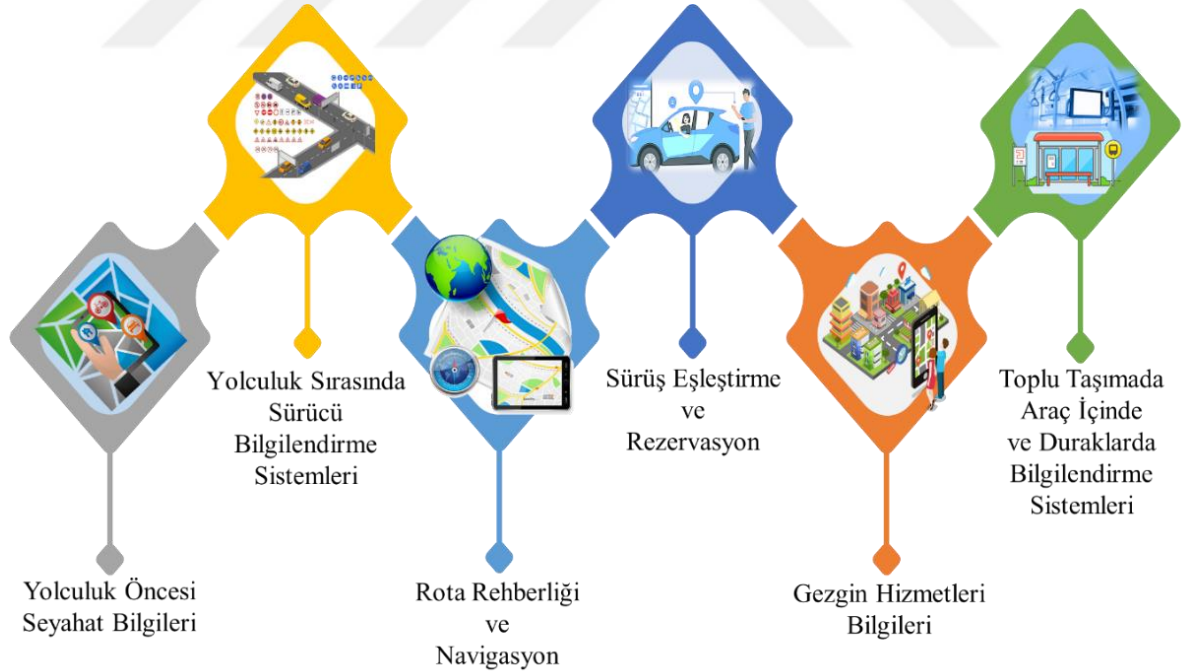
Herhangi bir trafik yönetim sisteminin işlevleri sürücüler açısından değerlendirildiğinde ise en önemli konulardan biri bilgi paylaşımıdır. Yolculara bilgi aktarımı ise hem yolculuk öncesi planlama bilgilerini hem de gerçek zamanlı güzergâh bilgilerini içerebilmektedir. Bilgi paylaşımı karayolu ulaşımı için giderek daha önemli hale gelmektedir (U. S. Federal Highway Administration, 2005).

ATIS; internet, telefon, cep telefonu, televizyon, radyo, web siteleri, uygulamalar ve araç içi sistemler de dahil olmak üzere bir dizi kanal aracılığıyla yol kullanıcıları için yolculuk süreleri, alternatif güzergâhlar ve toplu taşıma araçlarının mevcudiyeti gibi konularda sabit ya da dinamik (gerçek zamanlı) bilgiler sağlamaktadır. Ayrıca yol kullanıcılarının optimum güzergâh, mevcut yolculuk modları ve yolculukları doğrultusunda bilinçli kararlar verebilmelerine olanak tanımaktadır. ATIS'in yolculuk esnasında ve öncesinde sağladığı bilgilerin yolcu, sürücü ve yolculuk planlaması açısından çeşitli avantajları bulunmaktadır. Yolculuk öncesi bilgi edinme, sürücülerin otoyolları kullanma konusunda özgüvenlerini artırmakta ve yol kullanıcılarına daha farkındalık ve verimlilik sunan toplu taşıma tercihi yapma imkânı vermektedir (Campbell vd., 1992; WJ, 2023). ATIS ve CVO hizmetleri AUS gelişiminin temel alanlarından ikisi olarak görülmektedir. Bunlar özel ve ticari araç sürücülerinin, AUS ile etkileşime gireceği temel araçları sunmaktadır. Dolayısıyla bu sistemlerin kabulünü ve kullanılabilirliğini artıracak sistem özelliklerinin belirlenmesi, AUS girişiminin başarısı için önem taşımaktadır (Campbell vd., 1992). ATIS'in sağlayabileceği başlıca olumlu etkilerden bazıları, seyahat süresinde, araçlardan kaynaklanan emisyonlarda ve yakıt tüketiminde azalmadır.

Yolcu bilgilendirme sistemleri, bilginin ne zaman kullanıma sunulduğuna ve sürücüye nasıl iletildiğine göre yolculuk öncesi, araç içi ve yol kenarı olmak üzere üç türe ayrılabilir. Yolculuk öncesi bilgiler çeşitli kaynaklardan elde edilmekte ve yolculuk başlamadan önce kullanıcılara çeşitli yollarla iletebilmektedir. Araç içi; bilgi, rota rehberliği veya olay ve seyahat süresi koşullarının seyir halindeyken araca iletilmesini içerebilmektedir. Rota rehberliği, sürücüler için en verimli rotaları hesaplamak üzere küresel konumlandırma sistemi tabanlı gerçek zamanlı veri toplamayı içermektedir. Bu teknoloji, bireysel sürücülere optimum rota rehberliği ve ulaşım

ağı operatörüne ise yol ağı akışını stabilize etmek amacıyla doğrudan, güvenilir ve emniyetli kontrol kararları alma yöntemi sunmaktadır. Yol kenarı mesajları, yolcular seyir halindeyken yol koşulları hakkında bilgi görüntüleyen veya ileten dinamik mesaj işaretlerinden ve yol bilgi radyosundan oluşmaktadır (Transportation Research Board, 2010).

Yolculuk öncesi seyahat bilgilerinin amacı, yolculara seyahatlerine başlamadan önce ulaşım ağının durumu hakkında bilgi sağlamaktır. Günümüzde internete bağlı akıllı telefonların ve mobil cihazların yaygınlaşmasıyla birlikte, yolcular seyahat bilgilerine her zaman, her yerden erişebilmektedir. Bu sistemlerin MaaS uygulaması gibi gelişmiş ve kapsamlı sürümleri, kullanıcılara tahmini seyahat koşulları sağlamanın yanı sıra seyahat planlaması konusunda da yardımcı olabilmektedir (Talih & Tektaş, 2022). Sürücülere seyahate başladıktan sonra, yolculuk sırasında seyahatin durumuyla ilgili bilgiler de sağlanabilmektedir. GPS navigasyon cihazlarının yaygın kullanımı, sürücülere hedeflerine nasıl ulaşacakları konusunda rota rehberliği sunmaktadır. Yol kullanıcılarının tercihleri ve taleplerinin, yolculuk sağlayıcılarla gerçek zamanlı olarak eşleştirilmesi sayesinde, paylaşımlı hareketliliğin teşvik edilmesi mümkün olabilmektedir. Bunun yanında gezgin hizmetleri bilgileri, toplu taşıma araç içi ve durak bilgilendirme sistemleri, Şekil 3-12’de görüleceği gibi yaygın olarak kullanılan yolcu bilgilendirme uygulamaları arasındadır.

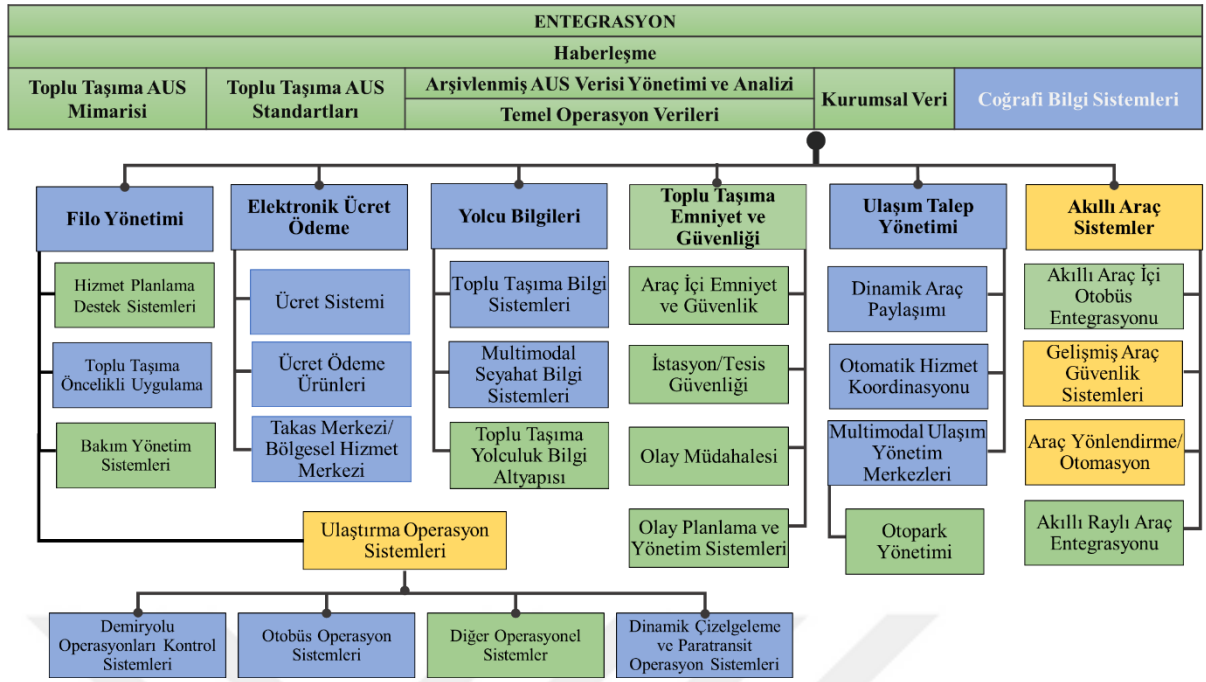


Şekil 3-12: Yolcu bilgilendirme sistemlerinde öne çıkan uygulamalar

AUS kapsamındaki toplu taşıma hizmetleri, genel olarak toplu taşıma sistemlerinin yönetilmesi ve iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu hizmetler, toplu taşıma

operasyonlarını izlemek, kontrol etmek ve optimize etmek için ileri teknolojiden yararlanarak kaynakların daha verimli kullanılması ile yolcu deneyiminin geliştirilmesini sağlamaktadır. Toplu taşıma sağlayıcılarının performans verilerini değerlendirmek, darboğazları tespit etmek ve gerekli iyileştirmeleri uygulamaya koyabilmek amacıyla AUS'tan faydalanılmaktadır (Eastgate SOFTWARE, 2023). Toplu taşıma ağı yönetimine adanmış bir AUS olarak değerlendirilen APTS (Balbo vd., 2023), tüm toplu taşıma modlarının operasyonel verimliliğini artırmayı ve ulaşım sistemini daha güvenilir ve emniyetli hale getirerek yolcu sayısında artış sağlamayı amaçlamaktadır. APTS sayesinde toplu taşıma sistemlerinin işleyiş biçimi gelişip dönüşerek sunulabilecek ulaşım hizmetlerinin niteliği farklılaşmaktadır (Singh & Gupta, 2015). Otobüs ve trenlerin konumu ve varış zamanları hakkında güncel bilgi sağlamak için gerçek zamanlı bilgi kullanımı da APTS kapsamındadır. APTS, ayrıca yolcuların yolculukları için akıllı kartlar, cep telefonları veya diğer cihazları kullanarak ödeme yapmalarına olanak tanıyan akıllı ücret sistemlerini de içermektedir. Bu sayede nakit ihtiyacı ortadan kalkmakta ve toplu taşıma daha rahat ve erişilebilir hale gelmektedir (WJ, 2023).

AUS'un toplu taşıma bileşeni olan APTS tarafından; entegrasyon, gelişmiş filo yönetimi, elektronik ücret toplama, yolcu bilgilendirme, ulaştırma talep yönetimi, akıllı araç yönetimi, toplu taşıma güvenliği ve emniyeti gibi toplu taşıma hizmet ve operasyonlarının verimliliği ile kullanıcı dostu olma özelliği geliştirilmektedir (Kumar & Suman, 2009). Bunun yanında bu hizmet ve operasyonların etkinliğini ve verimliliğini artırmak amacıyla geleneksel ve yenilikçi uygulamalar ile teknolojiler birlikte kullanılabilir. Toplu taşımada AUS'un başarılı bir şekilde uygulanması için gereken haberleşme, mimari, standartlar, altyapı, veriler, yeni teknolojiler, iş süreçleri ve yazılımları içeren konular, entegrasyon başlığı altında kategorize edilebilmektedir. Bu durum yolcu hizmetlerinin daha verimli işletilmesi için toplu taşıma sağlayıcıları, ulaşım otoriteleri ve diğer ilgili paydaşların AUS uygulamaları ile veri alışverişi yapabilmelerini sağlayan bir sisteme entegrasyon sağlamayı mümkün kılabilir. Bu entegrasyon, toplu taşımanın kendi içinde ve diğer ulaşım hizmet sağlayıcılarıyla ilişkilendirmeye hizmet edebilir. Entegrasyon, ulusal AUS mimarisi ve standartlarının yanı sıra başarılı bir toplu taşıma AUS altyapısının temel unsurlarını da kapsamaktadır. Bu noktada bilgi teknolojileri doğru ve gerçek zamanlı verilerin önemini ortaya çıkarmaktadır. Bu teknolojiler ve fonksiyonların toplu taşıma odaklı AUS örnek tipoloji sınıflandırması, Şekil 3-13'te yer almaktadır (Hwang vd., 2006).



Şekil 3-13: Toplu taşıma AUS örnek teknoloji sınıflandırması (Hwang vd., 2006)

Yük taşımacılığı: IFTS, yük taşımacılığının verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmayı amaçlamaktadır. Yük akışını optimize etmek, sıkışıklığı azaltmak ve gecikmeleri en aza indirmek için gerçek zamanlı bilgilerin kullanılması da buna dahildir (WJ, 2023). İş birliğine dayalı lojistik planlama ise IFTS'nin temelini oluşturmakta olup gerçek anlamda akıllı yük taşımacılığı sadece nakliyecilerin ihtiyaç ve olanaklarına değil, diğer tüm olasılıklara odaklanmaktadır (Ruijgrok, 2008).

IFTS faaliyet alanlarının kapsamına göre incelenmesi, geleneksel bir yaklaşım olup CVO ve gelişmiş filo yönetim sistemleri (AFMS-Advanced Fleet Management Systems) şeklinde iki geniş sınıfa ayrılabilir. CVO; bölgesel, ulusal, kıtasal ve sistemin genelindeki uygulamalar için uygun olurken AFMS; belirli bir grup ya da kuruluş operasyonlarına yönelik olmaktadır. Kapsamları farklı olsa da her iki sistem kategorisi de bazıları halihazırda sağlam bir şekilde kurulmuş, bazıları ise hala gelişmekte olan bir dizi kolaylaştırıcı teknolojiye ihtiyaç duymaktadır. Bu teknolojilerin çoğu, aynı zamanda kuruluşların elektronik iş faaliyetlerini de mümkün hale getirmektedir (Crainic vd., 2009).

CVO; nakliye ve filo operasyonlarının verimliliği, güvenliği ve işletimi ile yük hareketliliğinin otomasyonel yönetimi konularını kapsayan, AUS alanının önemli bir uygulamasıdır (U.S. Department of Transportation, 2023a). Kurumsal düzeydeki nakliye ve filo yönetimi operasyonlarını kolaylaştırarak otomatik hale getirmeyi amaçlayan gelişmiş bir AUS kategorisi olarak değerlendirilen CVO'nun temel amacı; yol altyapısını güçlendirmek ve gümrük

sistemlerinin performansını artırmak, yük ve filo yönetimine ilişkin resmi işlem süreçlerini kolaylaştırmak ve otomatik hale getirmek suretiyle elektronik araç ve kargo tanımlama, konum ve takip, ön gümrükleme ve seyir halindeyken doğrulamalara dayalı kesintisiz işlemler yoluyla ticari araç faaliyetlerinin verimliliğini artırmaktır. Bu sistemler büyük ölçüde; araç veya kargo konumlandırma sistemleri, elektronik veri değişimi ve çift yönlü haberleşmeye dayanmaktadır. AFMS ise nakliyeciler veya işletmeden işletmeye seviyede yük ve filo yönetimi operasyonlarını kolaylaştırmak ve otomatikleştirmek amaçlı genellikle veriye dayalı çözümler içeren gelişmiş sistemlere odaklanmaktadır (Crainic vd., 2009).

IFTS ile ilgili bileşenler, hizmet alanları ya da kullanıcı hizmetleri olarak ulusal AUS mimarilerinde yerini almaktadır. Yükün emniyetli ve güvenli bir şekilde gideceği yere ulaşmasının temini çerçevesinde temelde ticari araç, filo ve yük yönetimi, yük ve tehlikeli yük hareketliliği işlemleri, yol kenarı emniyetinin sağlanması, ticari araç idari süreçleri ve gümrükleme gibi uygulama ve hizmetleri içermektedir (Dilek, Talih, & Ceylan, 2023). Yük taşımacılığı süreçlerinin yönetiminde, AUS uygulamaları temelde; araçlar, altyapı, politika ve genel yönetim desteği alanlarına odaklanmaktadır (Kadhubek, 2021).

Yük taşımacılığı için yaygın olarak kullanılan akıllı ulaşım uygulama ve sistemlerinden bazıları; trafik kontrol ve izleme, hareket halinde ağırlık belirleme, teslimat alanı rezervasyonu, araç konum ve durum izleme, rota planlama, sürüş davranışı izleme ve kontrol, çarpışma önleme, yük konumu izleme, yük durumu izleme olarak sıralanabilmektedir. Bu tür yük taşımacılığı AUS uygulamaları tarafından en sık kullanılan veya desteklenen bilgi türleri arasında ise trafik ve altyapı, araç ve yük konumu, yük durumu, yük konumlandırma, depo işlemleri ve envanter, kargo ve araç kimlik bilgileri yer almaktadır (Mirzabeiki, 2013).

İyi yönetim, verimlilik ve emniyet kavramları ile bunların daha da ötesinde güvenlik, çevresel hususlar ve tedarik zinciri esnekliği akıllı ulaşımın temel faydalarıdır (Mazur, 2020). Akıllı yük taşımacılığı ve akıllı altyapı sayesinde trafik sıkışıklığı azalırken trafik ve yaya güvenliği ile emniyeti iyileştirilmekte olup ulaşım altyapısı boyunca bağlanabilirlik konusunda iyileşme sağlanabilmektedir (Talih & Dilek, 2024).

3.6 AUS YASAL ALTYAPISININ GÜÇLENDİRİLMESİ

AUS, 19. yüzyılda ABD’de ilk elektrikli motorun icadı ve akabinde aynı yüzyılda Londra’da ilk trafik işaretlerinin ortaya çıkışına uzanan bir geçmişe sahiptir. ABD’de, 20. yüzyılın başlarında, trafik sinyalizasyon sistemlerinin ortaya çıkmasıyla AUS’un ilk adımlarının atıldığı

söylenmektedir. Türkiye’de ise trafik sinyalizasyon sistemlerinin 1929 yılında İstanbul’da, uygulanmasıyla akıllı ulaşım bir giriş yapılmıştır (Talih & Çelikok, 2023).

Ulaşımın tüm modlarında ortaya çıkan ya da çıkması muhtemel birçok sorunun çözümü için AUS ve uygulamaları dünyada ve ülkemizde odaklanılan en yenilikçi yaklaşımlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Akıllı ulaşım ile ilgili yapılan çalışmaların odağında ise hareketlilik, çevre, emniyet ve güvenlik (Khan vd., 2017) konuları temel uygulama alanları olarak dikkatleri çekilmektedir. Günümüzde yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi devam eden AUS teknolojilerinin kullanıldığı çözümler sayesinde ulaşımın tüm modlarında, insan kaynaklı hatalar minimize edilebilmektedir. Aynı zamanda trafik kaynaklı can kaybı ve yaralanma ile sonuçlanan kazalar, zaman ve maddi kayıplar, hava kirliliği gibi birçok olumsuz durumun önüne geçilmesi mümkün olabilmektedir. AUS’taki bu kontrollü değişim ve sürekli gelişim sayesinde ulaşım hizmetleri ve uygulamalarında, genel kabul görmüş optimum özellikleri sağlamak söz konusu olabilmektedir (Talih & Çelikok, 2023). Politika, strateji ve mevzuat gibi yasal altyapının güçlendirilmesi ile söz konusu özelliklerden maksimum fayda sağlanması muhtemeldir.

Yaşamın farklı alanlarında aktif olarak kullanılmaya başlayan yenilikçi teknoloji ve yaklaşımlar içeren çözümlerin, ulaştırma sektöründe uygulanması ile birçok olumlu fırsat ve sonuç ortaya çıkmaktadır. Bu durum ulaşımın tüm modlarında, hizmet ve faaliyetlerin güçlü sunumunu desteklemektedir. Ancak bu çözümler ulaştırma politika yapıcılarının açısından, toplum tarafından desteklenme ve yaygın kullanımın sağlanması gibi kabule ilişkin konularda birtakım zorluklar içermektedir. Bu durumda herhangi bir yenilikçi yaklaşımın sisteme dahil edilebilmesi noktasında, yasal düzenlemelerin, yeri ve rolü önemli olabilmektedir. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de popüler hale gelen ve özellikle de salgın hastalık döneminin vazgeçilmez ulaşım aracı elektrikli skuter kullanımı çerçevesinde hazırlanarak yayımlanan Elektrikli Skuter Yönetmeliği (Resmî Gazete, 2021), bunun tipik bir örneğidir.

Ulaştırma politikaları belirleme süreçleri, temelde rasyonel olarak seçim yapmayı ve karar almayı gerektirmektedir. Bu doğrultuda Tablo 3-6’da toplumsal ihtiyaçlar ve temel faydalar için politika hedefleri çerçevesinde örnek bir sınıflandırma yapılmıştır (Çelikok & Talih, 2023; Saatcioğlu, 2016).

Tablo 3-6: Ulaştırma politikaları hedefleri için örnek sınıflandırma

Ulaştırma Hizmetlerinin Toplumsal Temel Amaçları ve Faydaları				
Özgürlük	Emniyet ve Güvenlik	Sosyal Eşitlik ve Adalet	Refah ve Ulaşım Verimliliği	Çevreyi Koruma ve Enerji Verimliliği
- Hareketliğin sağlanması ya da artırılması - Bireysel motorlu araçların kullanılması ile özgürlük ve esneklik sağlanması - Toplu taşıma araçları ile uygun fiyatlı seyahat imkanları - Paylaşımlı hareketlilik fırsatları - MaaS gibi seyahat uygulamalarının sağlayacağı zaman ve maliyet etkin çözümler	- Ulaşım emniyet ve güvenliğinin artırılması - Hız limitleri, sıkışıklık kontrolü gibi trafik yönetimi uygulamaları ile yol emniyetinin iyileştirilerek can ve mal kayıplı kazaların azaltılması - Trafik, emniyet, güvenlik gibi konularda bilinçlendirme faaliyetleri ile toplumsal farkındalığın artması - Ulaşım araçlarının özellikle AUS'un siber güvenliğinin sağlanması	- Ulaşım erişilebilirliğinin toplumun tüm bireylerini içerecek şekilde, adil ve şeffaf olarak planlanması ve sağlanması - Toplu taşıma, bisiklet ve yaya altyapısı ve diğer ulaşım modlarına erişimin iyileştirilmesi - Ulaşım hizmetlerine, engelli ve hareket kısıtlılığı olan bireyler, savunmasız yol kullanıcıları ile düşük gelirli dahil dezavantajlı grupların erişiminin emniyetli, güvenli ve uygun fiyatlı olarak sağlanması	- Uygun rekabet koşullarının oluşturulması ile verimlilik, büyüme ve üretkenliğin sağlanması - Ulaşım sağlayıcılarının yeni ürünler, hizmetler ve iş modelleri geliştirmeye teşvik edilmesi - Akademi başta olmak üzere yenilikçi ulaşım çözümlerinin uygulanmasının desteklenmesi	- Emisyonların azaltılması - Sürdürülebilir ulaşım yöntemlerinin teşvik edilmesi ve çevre dostu uygulamaların benimsenmesi - Enerji tasarrufu için akıllı enerji sistemlerine geçiş gibi yenilikçi yöntemlerin benimsenmesi - Yeşil enerji kaynaklarının ulaşım için daha çok kullanılabileceği çözümler geliştirilmesi

3.6.1 ABD, AUS Yasal Altyapı Gelişimi

ABD Ulaştırma Bakanlığı'nın (U.S. DOT) Araştırma ve Teknoloji Müsteşarlığı Ofisi (OST-R) altında bulunan ITS JPO tarafından, bilgi ve iletişim teknolojilerinin karayolu taşımacılığı güvenliği ve hareketliliğini iyileştirerek ülkenin ekonomik büyümesine katkıda bulunması çerçevesinde faaliyetler yürütülmektedir. ITS JPO, insanların ve yüklerin güvenliği ile hareketliliğini artırmak için iş birliğine dayalı ve yenilikçi AUS'un uygulanmasına, bu alanla ilgili Ar-Ge faaliyetlerinin yürütülmesine öncülük etmektedir (Talih & Çelikok, 2023).

ABD'de 1970'te yürürlüğe giren Otoyol Güvenliği Yasası ile Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi (NHTSA) kurulmuş ve ülkede ulaşımда yenilikçi teknolojilerin kullanımına

yönelik kavramlar, bu dönemde ortaya çıkmıştır. Karayolu Kullanıcıları Federasyonu (HUF) öncülüğünde IVHS Amerika yani bugünkü AUS Amerika (ITS America), 1990'lı yıllarda kurulmuştur. Akabinde ISTE A yürürlüğe girmiş ve IVHS Amerika tarafından Akıllı Araç-Otoyol Sistemleri Stratejik Planı hazırlanmıştır. ABD Ulaştırma Bakanlığı tarafından AUS teknolojilerinin ülkenin kara ulaşım sistemlerinde yaygın olarak kullanılmasını sağlamak için AUS Standartları Programı oluşturulmuştur. Araç haberleşmesi için özel olarak Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC-Dedicated Short Range Communications) teknolojisi geliştirilerek kullanımına yönelik spektrum tahsisi yapılmış olup standart lisanslama ile hizmet kurallarını belirleyen bir talimat, 2000'li yıllarda rapor olarak yayınlanmıştır. Ulaştırma alanında bilimsel çalışmaların yapılması, teknolojilerin geliştirilmesi ve analizlerin ortaya koyulması amacıyla ABD Ulaştırma Bakanlığı'na bağlı olarak Araştırma ve Yenilikçi Teknoloji İdaresi (RITA-Research and Innovative Technology Administration) 2005 yılında kurulmuştur. Trafik sıkışıklığını azaltmayı hedefleyen uzaktan çalışma, toplu taşıma, ücretli geçiş, akıllı ulaşım gibi çözümler uzun yıllar ABD'de kullanılmıştır. Bu çözümler için geliştirilen stratejilerin etkinliğini artırmak amacıyla ABD Ulaştırma Bakanlığı 2006 yılında, Amerika'nın Ulaşım Ağındaki Sıkışıklığı Azaltmaya Yönelik Ulusal Stratejisi'ni (National Strategy to Reduce Congestion on America's Transport Network) bir trafik sıkışıklığı girişimi olarak açıklamıştır. Washington Eyaleti Ulaştırma Bakanlığı (WSDOT), trafik sıkışıklığı ve sıkışık şeritlerle ilişkili kazaları azaltmak için Aktif Trafik ve Talep Yönetimi (ATDM-Active Transportation Demand Management) kapsamındaki çalışmalarını 2010 yılında başlatmıştır. AUS programına desteğin sürdürülmesi ve araştırma bütçesinin artırılması çerçevesinde, MAP-21 (Moving Ahead for Progress in the 21st Century) yasası 6 Temmuz 2012'de kabul edilmiştir. NHTSA, 2013 yılında otonom hareketliliğin dört temel seviyesini belirlemiştir. ABD Ulaştırma Bakanlığı, 2015 yılından bu yana otonom araçlar, araçların bağlanabilirliği, erişilebilirlik ve kapsayıcı tasarım, talep üzerine hareketlilik ve artan veri erişimi ile alışverişi gibi ileri teknolojilerden oluşan geleceğin ulaşım sistemleriyle ilgili hazırlıklarını sürdürmektedir. Bağlantılı araç uygulamaları ve otonom hareketliliğin geliştirilmesinden oluşan iki temel stratejik önceliği vurgulayan 2015-2019 AUS Stratejik Planı, ITS JPO tarafından 2015 yılında yayınlanmıştır. Amerika'nın Kara Taşımacılığını Düzeltme (FAST-Fixing America's Surface Transportation) Yasası doğrultusunda, yenilikçi ulaşım teknolojilerini desteklemek amacıyla 2016 yılında, Gelişmiş Ulaşım ve Sıkışıklık Yönetimi Teknolojileri Geliştirilmesi (ATCMTD-Advanced Transportation and Congestion Management Technology Deployment) hibeleri oluşturulmuştur. Otonom sürüş sistemleri kapsamında, Emniyet 2.0 için Otonom Araçlar 2.0 kılavuzu 2017 yılında, takip eden yılda ise bunun 3.0 versiyonu

yayınlanmıştır. Otonom 4.0 ilkelerini temel alan ve ABD Ulaştırma Bakanlığı'nın Otonom Sürüş Sistemleri (ADS-Autonomous Driving System) vizyonuna ulaşmayı hedefleyen Kapsamlı Otom Araçlar (AVC-Autonomous Vehicles Comprehensive) Planı, 2021 yılının başlarında kamuoyuna sunulmuştur. AUS'a ilişkin değerlendirme, profesyonel kapasite geliştirme, mimari ve standartları, haberleşmeden oluşan dört teknoloji transfer programına odaklanan Stratejik Plan 2020-2025 ise ITS JPO tarafından 2020 yılında yürürlüğe alınmıştır (Talih & Çelikok, 2023; U.S. Department of Transportation, 2023b).

ITS JPO; Ulaştırma Bakanlığı'nın çok modlu AUS teknoloji araştırma programını koordine etmek ve planlamak için bağlı idareler (kara/deniz yolu işletmeci 6 kuruluş) arasında iş birliği yaparak yenilikçi teknolojilerin ülkenin ulaşım sistemine entegrasyonu yoluyla ulaşım güvenliği, emniyeti, hareketliliği, verimliliği ve üretkenliğini artırmaya yönelik çalışmalarını yürütmektedir. ITS JPO, AUS Eylem Planı'nı hazırlamakta, Ar-Ge ve pilot çalışmaları, yenilikçi AUS uygulamalarını koordine etmekte, AUS alanında eğitim, webinar ve kapasite geliştirme programları düzenlemektedir. Ayrıca Ulusal AUS Mimarisi çalışmasını da yürütmektedir (U.S. Department of Transportation, 2023b).

ABD'de, AUS ile ilgili mevzuat, politika ve strateji belirleme ile ilgili çalışmaların tarihçesindeki önemli birkaç temel olaya bakıldığında, çağın gelişmeleri doğrultusunda ortaya çıkan yeniliklerin yasal bir dayanak ile desteklenmeye çalışıldığı dikkatleri çekmektedir. Ülkedeki AUS faaliyetleri, ABD Ulaştırma Bakanlığı bünyesinde ITS JPO tarafından koordine edilirken tüm ilgili, bağlı ve ilişkili kuruluşların da çalışmalara destek olduğu görülmektedir.

3.6.2 Avrupa Birliği AUS Yasal Altyapı Gelişimi

Avrupa Parlamentosu ve AB Konseyi'nin, AUS'un karayolu ulaşımı alanında kullanılması ve diğer ulaşım modları ile arayüzlere ilişkin çerçeve hakkında 7 Temmuz 2010 tarihli 2010/40/EU sayılı direktifinde; yol, trafik ve seyahat verilerinin optimum kullanımı, trafik ve yük yönetimi ile AUS hizmetlerinin sürekliliği, yol emniyeti ve güvenliği uygulamaları, taşıtların ulaşım altyapısıyla haberleştirilmesi, öncelikli alanlar olarak belirlenerek bu doğrultuda çeşitli eylemler tanımlanmıştır (European Commission, 2010).

Avrupa Birliği (AB) ortak ulaştırma politikasının gereği olarak ulaştırma alanında, AB içinde ve çevre ülkelerde ortaya çıkan sıkışıklık, çevresel olumsuz etkiler ile kaza oranları gibi sorunlara çözümler bulmanın yanında; emniyetli, güvenli, modern ve sürdürülebilir bir ulaşım sisteminin oluşturulmasını sağlamayı hedeflemektedir. Üye ve komşu ülkelerle ilişkilerin

gelişmesinde ve birçok alanda rekabetçi üstünlük elde edilmesinde, AB Ulaştırma Ağı ve koridorları önemli bir araç olmaktadır (Çaylan Özer & Kişi, 2011).

AB ülkelerinde AUS ile ilgili çalışmalar, Avrupa Komisyonu Direktifleri doğrultusunda ve bunlara bağlı kalmak koşuluyla her ülkenin kendine has geliştirdiği çözümler çerçevesinde ilerlemektedir. AB ülkeleri ve çevresindeki diğer ülkeler için AUS faaliyetleri sosyal, idari ve teknik açıdan birçok farklılık içerebilmektedir. Genel itibarıyla ulaştırma bakanlıkları koordinasyonunda olsa da çok paydaşlı yapısı nedeniyle farklı uygulamaların olması doğal karşılanmaktadır. Almanya’da ulaşımda dijitalleşme, 5G, otonom araçlar, AI’nın ulaşımda kullanımı gibi yenilikçi ulaştırma teknolojileri ve altyapının dijitalleştirilmesi konularındaki çalışmalar, Federal Ulaştırma ve Dijital Altyapı Bakanlığı Dijital Toplum Genel Müdürlüğü tarafından ele alınmaktadır. Avusturya ise AUS alanındaki faaliyetlerini, %100 Ulaştırma ve İskân Bakanlığı iştiraki olan AustriaTech şirketi ile iş birliği halinde yürütmektedir (Talih & Çelikok, 2023).

Ayrıca, AB Sürdürülebilir ve Akıllı Hareketlilik Stratejisi ve Eylem Planı, 2020 yılında komisyon kararıyla kabul edilerek yürürlüğe girmiştir. Bu doğrultuda kesintisiz, emniyetli, güvenli ve verimli bağlantı içeren seyahatler için hareketlilik politikaları aşağıdaki gibi belirlenmiştir (European Commission, 2020) :

- AB’nin akıllı dijital çözümler ve AUS’un tüm avantajlarından tam olarak yararlanması,
- CCAM ve çok modlu hareketliliğin gerçeğe dönüşmesi faaliyetleri,
- Emniyetli, akıllı ve sürdürülebilir karayolu taşımacılığı operasyonlarının daha fazla desteklenmesi,
- Seyahatlerin çok modlu ve ayarlanabilir olması sayesinde erişilebilirliğin artırılması,
- Birlikte çalışabilirlik için teknik şartnamenin (TSI-Technical Specifications for Interoperability) güncellenmesi,
- Daha akıllı hareketlilik için inovasyonun (yeniliğin), verinin ve AI kullanımının artırılması.

3.6.3 Asya Pasifik Ülkeleri AUS Yasal Altyapı Gelişimi

Asya-Pasifik bölgesindeki ülkeler, AUS alanında ilerleme noktasında değişiklikler göstermektedir. Ülkelerin bazıları yenilikçi ulaşım teknolojilerini test etme ve uygulama ile ilgili dünya lideri konumunda iken bir kısmı AUS’u benimsemenin ilk aşamalarında, geri kalanı ise henüz hiç başlangıç bile yapmamış durumdadır. AUS’un gelişiminde başlangıç, ilerleme, hızlanma ve olgunlaşma aşamalarından oluşan dört kilometre taşı bulunmaktadır. Asya-Pasifik’te

AUS'un tarihsel gelişim çizelgesi, başlangıç aşamasından olgunlaşma aşamasına ilerleyen ve henüz bu duruma gelemeyen iki farklı ülke grubunu göstermektedir (ESCAP 75, 2019).

Avrupa'nın birçok şehri ile Amerika'da olduğu üzere Asya ve Pasifik ülkelerinde de ulaşımı iyileştirme çabaları çerçevesinde AUS'tan faydalanılmaktadır. Japonya'da AUS alanındaki çalışmalara Arazi, Altyapı, Ulaştırma ve Turizm Bakanlığı (MLIT) öncülük etmektedir. AUS ile ilgili faaliyetler dört ayrı bakanlık ile birlikte AUS Japonya ve AUS Standardizasyon Komitesi koordinasyonunda yürütülmektedir. Güney Kore'de ise Arazi, Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı (MOLIT) altında, bakan yardımcısına bağlı Yol Bürosu departmanı yer almakta olup AUS Kore Derneği, AUS çalışmalarının koordine edilmesinde çok etkin rol oynamaktadır. AUS Kore, Bakanlık tarafından (karayolu, deniz ve hava ulaşımında) AUS'un koordine edilmesi ve yönetiminden sorumlu tutulan, kanun ile belirlenmiş ulusal yetkili kuruluştur. Avustralya'da ise AUS, 1970'li yıllara dayanan bir geçmişe sahiptir. Avustralya, AUS alanında yenilikçi birçok uygulamaya öncülük etmekte olup ülkede birçok kuruluş ve üniversite, AUS araştırma çalışmalarında aktif rol oynamaktadır. Avustralya'da federal devlet nezdinde ülke politikaları belirlenmekte, bunlar eyalet ulaştırma bakanlıkları altında faaliyet gösteren yol otoriteleri tarafından uygulanmaktadır. Ulaştırma ve Altyapı Konseyi, bakan yardımcısı, eyalet ulaştırma bakanları, bölge ve yerel otoriteler, dernek temsilcilerinden oluşmaktadır ve yetkili bu kurum ve kuruluşlar tarafından ulaştırma eylem planları hazırlanmaktadır.

Japonya 2013 yılında Dünyanın En Gelişmiş Bilişim Ülkesi Olma Deklarasyonu ile dünyanın en gelişmiş AUS'unu kurma ve sürdürme hedefine ulaşmak için sürüş güvenliği destek sistemleri ve trafik verilerinin uygulanmasına odaklanan Kamu-Özel AUS Girişimleri/Yol Haritası üzerine odaklanmıştır. Seviye 3 ve üzeri otonom sürüş sistemlerinin ticarileştirilmesi ile hizmetlerin sunumuna izin verilmesi için Otonom Sürüş Sistemleri için Yasal Sistem ve Ortamın İyileştirilmesi Yasası'nı Nisan 2018'de oluşturmuştur. MLIT tarafından otonom araçların karşılaması gereken güvenlik gerekliliklerini açıkça ortaya koyan Otonom Araçlar için Güvenlik Teknolojisine İlişkin Kılavuz 2018 yılında hazırlamıştır. Karayolu Taşıma Aracı, 2019 yılının mayıs ayında otonom araçlar için revize edilerek otonom olarak çalıştırılan cihazların kullanımına ilişkin koşulların belirlenmesi yetkisi MLIT'e verilmiştir. Karayolu Trafik Kanunu da Mayıs 2019'da otonom araç ve sürüş kapsamında güncellenmiştir (Talih & Çelikok, 2023).

Güney Kore MOLIT tarafından AUS'a ilişkin ilk plan "*Akıllı Ulaşım Sistemi 21*" başlığıyla 2000 yılında ve ikinci plan "*Akıllı Ulaşım Sistemi 2020*" başlığıyla 2011 yılında hazırlanmıştır. Üçüncü plan ise Ulusal Entegre Ulaşım Sistemi Verimlilik Yasası doğrultusunda ulaşımın tüm modlarını kapsayacak şekilde "*Akıllı Ulaşım Sistemi Ana Planı 2030*" başlığıyla hazırlanmış ve

19.10.2021’de “*evre dostu, güvenli ve kesintisiz insan merkezli ulaşım hizmetleri sunmak*” vizyonu ile yayınlanmıştır. AI ve büyük veri gibi 4. endüstri devrimi döneminin en ileri teknolojilerini kullanarak otonom araçlar gibi yeni ulaşım araçlarını yaygınlaştırmanın ötesinde, haberleşen akıllı bir ulaşım sistemi altyapısı inşa etmeyi hedefleyen planda, orta ve uzun vadeli AUS faaliyetleri yer almaktadır (Smart City Korea, 2021).

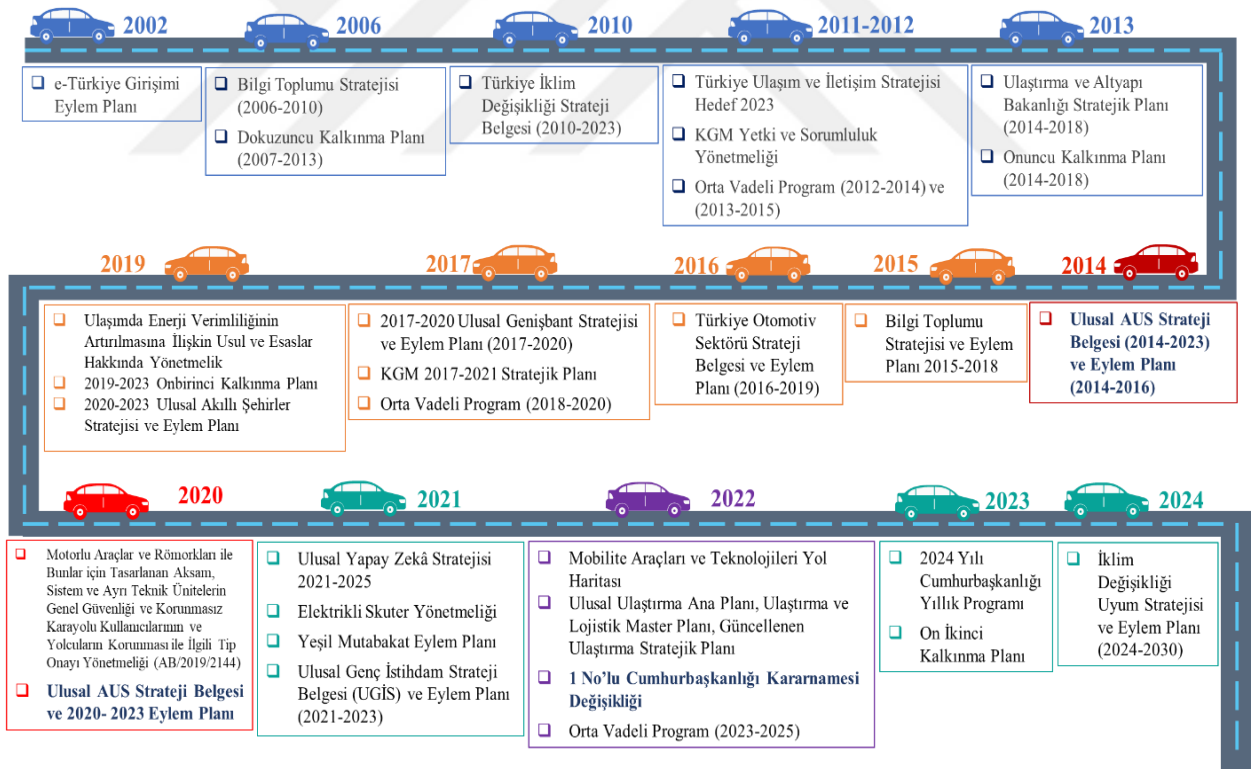
3.6.4 Türkiye’de AUS Yasal Altyapı Gelişimi

Türkiye’de akıllı ulaşım kavramının ve etkilerinin bilinirliği her geçen gün artarken, birçok iyi AUS uygulaması aracılığıyla kent içi ve kentler arası ulaşım hizmet ve faaliyetlerinde değişim ve dönüşüm ortaya çıkmaktadır. Meydana gelen bu gelişmelerin önündeki engellerin aşılması ve kurallı bir yapı oluşturulabilmesi için yasal düzenlemeler ile st politika belgelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Türkiye’de hali hazırda AUS’a ilişkin belirli sorumluluklar, 1 no’lu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi’nde yer alan “*Akıllı ulaşım sistemlerine yönelik ulusal stratejileri, hedefleri, mimarileri, ulusal ölçekte uyulması gereken teknik kriterleri belirlemek, eylem planlarını hazırlamak ve izlemek, yenilikçi akıllı ulaşım sistemleri projeleri geliştirmek, kamu kurum ve kuruluşları, belediyeler, il özel idareleri, gerçek ve tüzel kişilerce akıllı ulaşım sistemleri kapsamında üretilen verilerin kullanılmasını ve değerlendirilmesini sağlamak amacıyla veri yönetim merkezi kurmak, kurdurmak, işletmek, işlettirmek, bu görevlerle ilgili uygulama usul ve esaslarını belirlemek*” (T.C. Cumhurbaşkanlığı, 2018), hükmü ile Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB)’na verilmiştir (Talih & elikok, 2023).

Akıllı ve sürdürülebilir hareketlilik ile trafik yönetimi gibi konularda, toplumun ihtiyaçları çerçevesinde, politika belirleme ve mevzuat hazırlama ile ilgili yasal altyapının güçlendirilmesine yönelik çalışmalar başta UAB olmak üzere T.C. İçişleri, T.C. evre, şhircilik ve İklim Değişikliği, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar, T.C. Sanayi ve Teknoloji, T.C. Ticaret Bakanlıkları gibi kurumlar tarafından yerine getirilmektedir. Ayrıca birçok kurum kuruluş tarafından hazırlanan strateji belgelerinde akıllı ulaşım alanına doğrudan ya da dolaylı olarak değinilmektedir. Ulusal AUS Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eki Eylem Planı (2014-2016) (T. C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2014) ve Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020), AUS’u doğrudan ilgilendiren politika belgeleridir. Bu strateji belgeleri kamu kurum kuruluşları, yerel yönetimler, yükseköğretim kurumları, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının, akıllı ulaşım alanındaki faaliyet, proje ve çalışmalarını hayata geirebilmelerinde

yol haritası olmuştur (Talih & Çelikok, 2023; T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020). Akıllı ulaşım çerçevesinde; yenilikçiliği, gelişimi, değişimi, dönüşümü, yaygınlaştırma ve kabul gibi hususları doğrudan ya da dolaylı olarak destekleyen yasal mevzuatın yanından kısa, orta ve uzun vadeli hedefler içeren politika ve strateji belgelerinin bazıları Şekil 3-14’te yer almaktadır (Talih & Çelikok, 2023), (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2011, 2016; T. C. Başbakanlık, 2002; T. C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, 2006; T. C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2021; T. C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019, 2022, 2023; T. C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2010, 2019, 2024; T. C. Kalkınma Bakanlığı, 2017; T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022; T. C. Ticaret Bakanlığı, 2021; T. C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2011, 2013, 2014, 2017, 2019, 2022; T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2016; T.C. Cumhurbaşkanlığı, 2018; T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji Bütçe Başkanlığı, 2023; T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2021; T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2006, 2011, 2012, 2013; T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2015; T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020; T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020, 2022; T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı vd., 2021).



Şekil 3-14: Türkiye AUS yasal altyapı gelişme süreci

Ulaşım sistemleri, alt sistemler, politika hedefleri, AUS'un işlevsel yapısı ve gösterge niteliğindeki AUS uygulamaları arasında kurulan örnek bağlantı, Tablo 3-7'de yer almaktadır (Heijden & Marchau, 2002).

Tablo 3-7: Ulaşım alt sistemleri, politika hedefleri ve AUS uygulamalarının çeşitliliği arasında ilişki

Alt Sistem	Politika Hedefleri	AUS İşlevselliği	Olası AUS Uygulaması
Ulaşım ihtiyacı pazarı	Gereksiz fiziksel ulaşımın azaltılması	Sanal hareketliliği kolaylaştırmaya yönelik sistemler	Elektronik ticaret, uzaktan çalışma ve eğitim fırsatları
Trafik akışı pazarı	Mevcut altyapı kapasitesinin en üst düzeyde kullanılması, sorunsuz, emniyetli ve güvenli bir trafik akışının sağlanması	Dinamik trafik yönetim sistemleri	Dinamik güzergâh bilgi ekranları, radyoda trafik bilgisi, farklılaştırılmış elektronik ödeme, dinamik (yönlü) şerit atama, katılım kontrolü, hız kontrolü (radar algılama, kameralar), değişken mesaj işareti, olay algılama, yardım koordinasyon sistemleri
Nakliye hizmetleri pazarı	Daha güvenli, ucuz ve çevre dostu ulaşım lehine yük ve yolcu taşımacılığının planlanmasının (modal bölünme, rota seçimi, zaman) iyileştirilmesi	- Yolculuk öncesi planlama destek sistemleri - Yük ve yolcu taşımacılığı optimizasyon sistemleri	- Çok modlu yolculuk rezervasyon rota planlama sistemleri (MaaS gibi) - Filo yönetimi ve operasyonel kontrol (izleme, takip) için kullanılan haberleşme, yolculuk eşleştirme sistemleri (araç paylaşımı vb.)
Yük ve yolcu	Ulaşım sistemine erişim ve kullanımın iyileştirilmesi	- Ulaşım hizmetleri hakkında bilgi sağlanması - Hizmet rezervasyonları	- Paylaşımlı hareketlilik (MaaS, park et devam et, indir devam et, araç ve yolculuk paylaşımı, araç havuzu, gelişmiş taksi uygulamaları vb.) verileri, toplu taşıma bilgilendirme hizmetleri, iletişim kanalları (radyo, televizyon vb.) üzerinden alınan trafik bilgileri, alan trafik kontrolü ve sıkışıklık ücretlendirme uygulamalarından toplanan bilgiler - Çevrim içi rezervasyon hizmetleri
Araçlar	Sürücünün konforunu, davranışlarını ve araç hakimiyetinin iyileştirilmesi	- Akıllı motor kontrol teknolojisi - Sürücü destek sistemleri	- Kendi kendine hata teşhisi yapabilen motor kontrol sistemleri - Çarpışma kaydediciler, geri park yardımı, eğitim sistemleri, navigasyon sistemleri, adaptif seyir/hız kontrolü, yanal/boylamsal kontrol, kooperatif sürüş
Fiziksel ulaşım altyapısı	Sınırlı fiziksel genişleme ile kapasitenin en üst düzeye çıkarılması ve kalitenin korunması	- Şerit optimizasyon teknolojisi - Altyapı durum kontrol sistemleri	- Dinamik şerit yapılandırma uyarlaması - Karayolu ölçümü ve bozulma tespiti

Toplumun organizasyonu	İnsan, yük ve bilginin hareketliliğinin optimize edilmesi	Ulaşımın tüm modlarında bilgi ve haberleşme teknolojilerinin kullanılması ile geleneksel ve yenilikçi hareketlilik çözümleri	Sistemler - Trafik kontrol ve yönetimi sistem ve uygulamaları - Yolcu bilgilendirme sistemleri - Araç kontrol sistemleri - Toplu taşıma sistemleri - Ticari araç operasyon ve yönetimi sistemleri - Acil durum yönetim sistemleri - Elektronik ödeme sistemleri - Güvenlik ve emniyet sistemleri
			Uygulamalar - MaaS - Araç paylaşımı - Yolculuk paylaşımı - Park et devam et - İndir devam et - Araç havuzu - Alan trafik kontrolü - Sıkışıklık ücretlendirme - Hava durumu bilgileri - Gelişmiş taksi - Otopark yönetimi

4. TRAFİK YÖNETİMİ VE AUS UYGULAMA ÖNERİLERİ

AUS kavramı; haberleşme, veri ve entegrasyondan oluşan üç ana alana odaklanmaktadır. AUS çözümleri, iyi bilgilendirilmiş ve doğru kararlar alabilen bireysel yolcular, sürücüler, nakliyeciler ve yetkili resmi otoriteler oluşturabilmektedir (Stanciu vd., 2012).

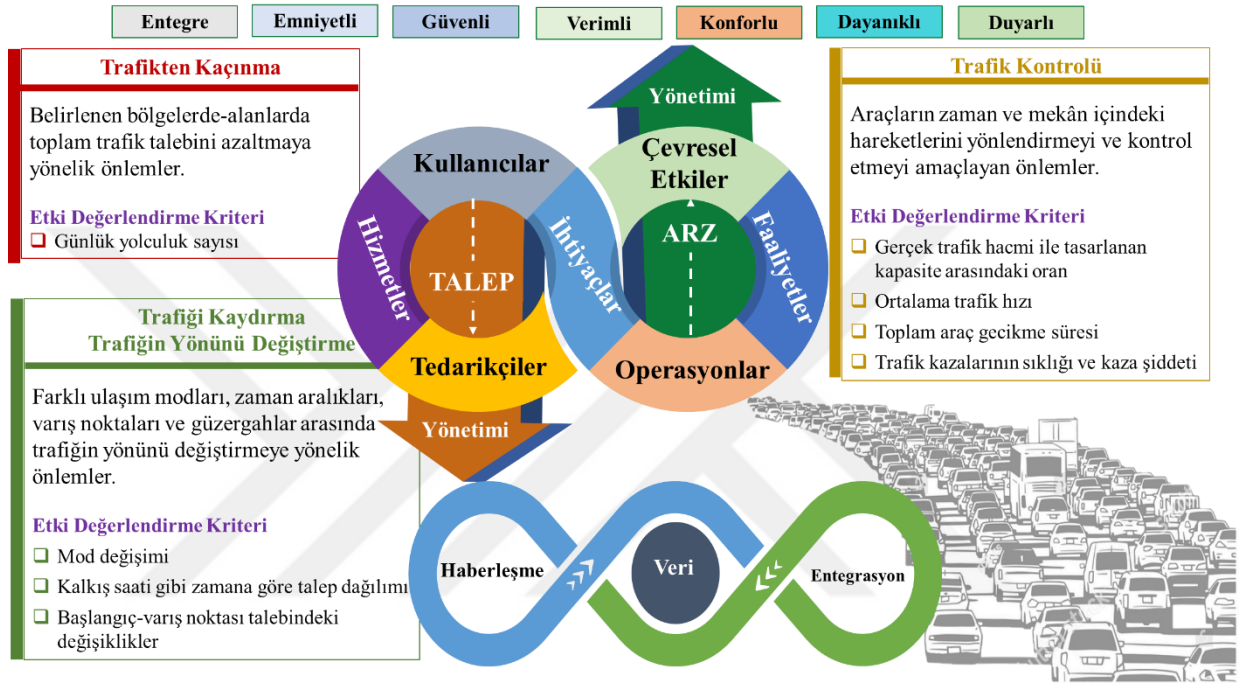
Trafik yönetimi alanındaki AUS tedbirlerinin türü ve kapsamı, uygulanacak sisteme bağlı olarak değişmesi muhtemel temel bir altyapı gerektirmektedir. Burada haberleşme altyapısının yanında veri kaynakları ve veri yönetimi altyapısı ile dijital harita ve coğrafi bilgi sistemi (CBS) gibi çeşitli esnek altyapı öğeleri de gerekli olabilmektedir. AUS altyapısı, ayrıca acil durum yönetimi ve sistem felaket kurtarma konularını da ele almayı öngörmektedir.

AUS uygulamalarının, genel olarak optimum şekilde çalışabilmek için önemli konfigürasyon ihtiyacı bulunmaktadır. Değişen trafik ortamı karşısında sistemin optimum şekilde çalışmaya devam etmesini sağlamak için genellikle konfigürasyon verilerinin düzenli olarak gözden geçirilmesi gerekmektedir. Kontrol sistemleri sınırlarına ulaştığında ve yeni karayolu altyapısı inşası mümkün olmadığında, ulaşım ve trafik yönetiminde daha fazla iyileştirme için talep yönetimi ve elektronik yol ücretlendirmesi gibi bireysel araç kullanımına getirilen kısıtlamalardan faydalanılması muhtemeldir. Ayrıca, AUS'un işletilmesi, desteklenmesi, yaygınlaştırılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması, belirli seviyenin üzerinde beceri ve bilgiye sahip insan kaynağı gerektirmektedir (Austroads, 2020f).

Trafik yönetiminde sürdürülebilirliği sağlamaya yönelik potansiyel yaklaşımlar aşağıda yer almakta olup her bir yaklaşım kapsamında yerel koşullar göz önünde bulundurularak özel tedbirlerin geliştirilmesi gerekmektedir (Boltze & Anh Tuan, 2016):

- a. Ulaşım talebinin kontrolü
- b. Mod seçiminin kontrol edilmesi
- c. Talebi kontrol etmek için hareketlilik ücretlendirme araçlarının kullanılması
- ç. Ulaşım altyapısının dinamik ve duruma duyarlı olarak işletilmesi
- d. AUS'un uygulanmasının teşvik edilmesi
- e. Hareketlilik uygulamalarının teşvik edilmesi
- f. Trafik güvenliği, emniyeti ve çevresel etkilere gereken özenin gösterilmesi
- g. Trafik kalitesinin şeffaf hale getirilmesi ve sürekli iyileştirilmesi
- ğ. Ulaştırma faaliyetleri için yeterli ve sürdürülebilir finansmanının sağlanması
- h. İntermodal taşımacılık için doğru kurumsal çerçevenin oluşturulması

Hareketlilik ihtiyacı, trafik emniyeti ve güvenliği, çevresel olumsuz etkileri azaltma ve ekonomik verimlilik gibi hedeflere ulaşmak amacıyla trafiğin yönetimine yönelik olarak üç temel strateji önerilmektedir: (i) kaçınma, (ii) kaydırma ve (iii) kontrol altına alma. Önerilen bu stratejiler Şekil 4-1’de görülmektedir (Boltze & Anh Tuan, 2016). Bu üç temel strateji ile ortaya çıkan konseptin ise haberleşme, veri ve entegrasyon kavramları ilave edildiğinde daha güçlü bir yapı ortaya çıkabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 4-1: Trafik ve ulaşım sistemleri için bir model konsepti

Trafiğin yönetimine ilişkin önerilen stratejilerin hedeflerine ulaşmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında ulaşımın sürdürülebilirliğinde etkili çözümler içeren AUS önemli bir yer tutmaktadır. Trafik yönetiminde kullanılan geleneksel yöntemlerin yenilikçi yaklaşımlarla desteklenerek geliştirilmesi ve iyileştirilmesi ulaşım ve trafik için muhtemel zorluk ve risklerin üstesinden gelinmesini kolaylaştıracaktır. Uyarlanabilir trafik kontrolü, trafik tahmin ve planlaması, akıllı trafik izleme, toplu taşımanın optimizasyonu, çevresel etkilerin izlenmesi ve yönetilmesi, otopark yönetimi, acil durumlar için trafik akış optimizasyonu gibi faaliyetlerde AUS ile birlikte yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin yaygın kullanımı sayesinde trafik yönetimi ile ilgili zorlukların üstesinden gelinmesi mümkündür. Trafik yönetiminin geleceğine ilişkin bazı temel AUS çözüm önerileri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- AUS'un geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması

- AUS mimarisinde trafik yönetimi hizmet alanının ve ilgili hizmet paketlerinin yerel yönetimleri içine alacak şekilde yaygınlaştırılmasının sağlanması
- Bir AUS mimarisi tanımlanmamışsa uygun trafik yönetimi hizmetlerinin çerçevesinin belirlenerek standartlaştırılması
- Yol tasarımının iyileştirilmesi
- Trafik işaretlerinin ve trafik ışıklarının optimizasyonu
- Toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi
- Yaya ve bisiklet yollarının iyileştirilmesi
- Sürüş eğitiminin iyileştirilmesi
- Trafik bilincinin artırılması
- Bulut tabanlı trafik yönetimi platformları sayesinde özelleştirilmiş ihtiyaçlara göre trafiğin yönetilmesi
- IoT çözümleri ve AI yöntemleri kullanarak veriye dayalı yöntemler geliştirilmesi
- Trafik yönetimi planlamasında otonom ve bağlantılı hareketlilik çözümlerinin de dikkate alınması
- K-AUS yaklaşımlarının kent içi alanlarda da yaygınlaştırılması

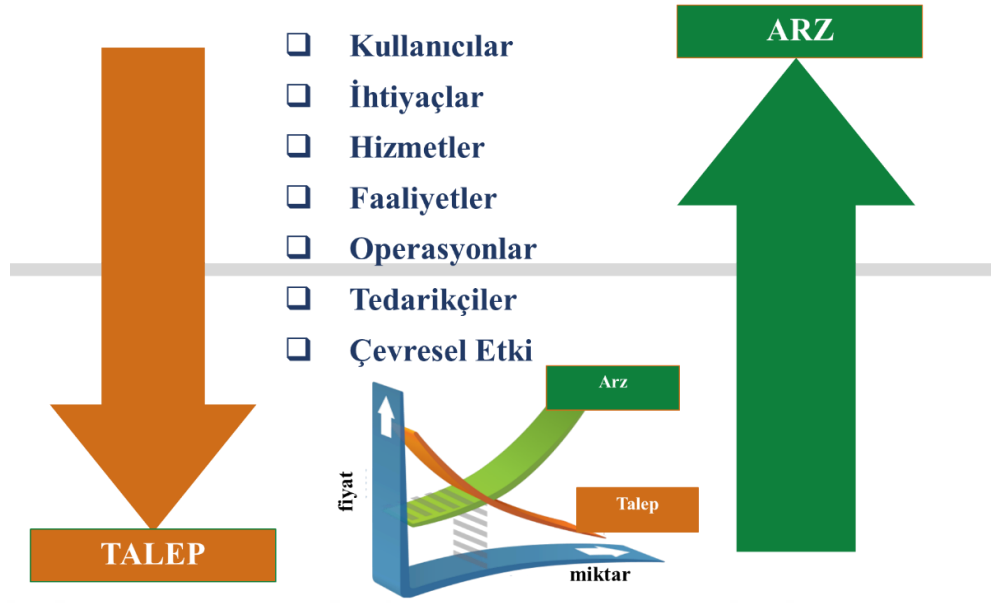
4.1 TRAFİK TALEP YÖNETİMİ UYGULAMALARI

Ulaşım ve trafik koşullarının iyileştirilmesi, kentsel yaşam alanlarının ve kentler arası ulaşım unsurlarının gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu doğrultuda tüm kentsel ve kentler arası alanlarda iyi planlanmış ve tasarlanmış bir yol ağına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu ihtiyaç kapsamında ilave yol kapasitesi inşa edilmesi veya birtakım eksikliklerin giderilmesi gibi çözümler trafik sıkışıklığı gibi muhtemel sorunların bazı etkilerini azaltan faydalar sağlayabilmektedir. Ancak, bu çözümler uygun maliyetli olsalar dahi, sonrasında yeni bir trafik akışı, yoğunluğu ve muhtemel trafik sıkışıklığı gibi durumları da beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla bu çözümlerin beraberinde yeni sorunlar ortaya çıkarması ihtimali ile faydaları değerlendirildiğinde bir dengenin oluşabileceği görülmektedir. Bu doğrultuda ortaya çıkan faydanın dengede kalması ya da maksimize edilmesi için toplu taşımayı teşvik eden ya da araç kullanımının maliyetlerini azaltan talep yönetimi politikalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Talep yönetimi anlayışının merkezinde ise araç kullanıcılarının yapacakları yolculuklar için ödemeleri gereken otopark gibi doğrudan ücretler ile araç sahipliği ve kullanımı üzerinden alınan vergiler gibi dolaylı ücretlerden oluşan gerçekçi bir bedel yatmaktadır. Yolculuk maliyetleri ideal olarak

şehir merkezleri gibi konuma ve pik dönemler gibi zamana göre trafik koşullarını yansıtmalı ve tesislerin araçlar tarafından her zaman en verimli şekilde kullanılmasını sağlayacak şekilde talebi yönetmeye çalışmalıdır. Talep yönetimi politikaları ve önlemleri, çeşitli şekillerde kategorize edilebilmekle birlikte temel olarak park yeri kontrol ve yönetimi, araç kullanımına ilişkin yasal denetim, araç kullanımında fiziki kontrol, araç kullanımı ve sahipliğine ilişkin ücretler, yakıt fiyatları, mülkiyet vergileri, yönetilen şeritler, trafik sıkışıklığı ücretleri gibi unsurlardan oluşmaktadır (Cracknell, 2000). Kentsel ulaşım sisteminde talep yönetimi dahil trafik sirkülasyonun kontrolü, toplu taşıma operasyonlarının organizasyonu, yol emniyeti ve güvenliğinin sağlanması, otopark hizmetlerinin iyileştirilmesi, ticari araçlar ile yayalar ve mikro hareketlilik araçlarının yönetimi gibi trafik yönetimiyle faaliyetler bulunmaktadır. Dolayısıyla TDM'nin, trafik yönetimiyle ilgili bir kavram olduğu görülmektedir.

Günümüzde trafik arz ve talebi arasındaki dengesiz koşullar metropollerde günlük yaşamı olumsuz etkileyen trafik sıkışıklığı sorununu ortaya çıkarmaktadır (Baradaran vd., 2023). Özellikle büyük şehirlerde yol ağında motorlu taşıt kullanımı ve buna bağlı trafik sıkışıklığı, hava kirliliği, yetersiz park yerleri, trafik kazaları gibi trafikte meydana gelen sorunlar, ekonomik maliyetlerin artmasına neden olabilmektedir. Buna ek olarak ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılması, küresel düzeyde sürdürülebilir kalkınma için kilit bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Yol yapımı ve bakımı ya da ulaşım ve otomobil teknolojilerindeki gelişmeler gibi stratejilerden yararlanan çözümler, bu sorunların üstesinden gelinmesinde yetersiz kalabilmektedir. Bu stratejiler bir sorun için çözüm olurken bir diğerinde beklenmeyen etkiler oluşturabilmektedir. Bu doğrultuda birçok ülke ve şehir tarafından, birden fazla planlama hedefine ulaşılmasında etkili ve sürdürülebilir çözümler sunabilen TDM'ye odaklanılmaktadır (Amelsfort, 2015). TDM çözümleri ise ulaşım arzının artırılmasına kıyasla daha makul maliyetlere ve daha az kısıtlamaya sahip olduğundan, talep ve arzı dengelemek için kullanılmaktadır (Baradaran vd., 2023).

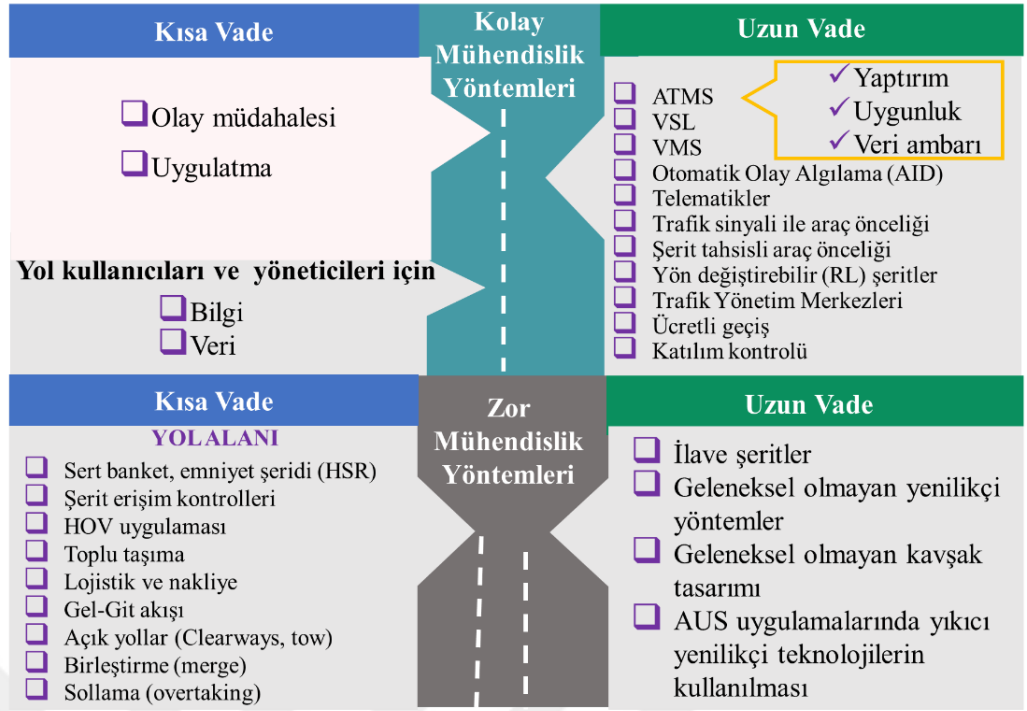
Trafik yönetiminde yer alan karar vericilerin bakış açısı ve trafik operasyonları esasen Şekil 4-1 ve Şekil 4-2'den görüleceği üzere arz odaklıdır. Buradaki yaklaşım, trafik yönetiminin büyük ölçüde yol kapasitesinin kullanılabilirliğini en üst düzeye çıkarmayı amaçlamasıyla tutarlıdır. Öte yandan yol kullanıcıları ve onların ihtiyaçları açıkça talep odaklıdır. Arz ve talep unsurları arasında arayüz ise hizmetlerin konumlandırıldığı yerdir (Austroads, 2020f).



Şekil 4-2: Trafik arz ve talep ilişkisi

Kentsel trafik yapısının doğrusal olmayan, rastlantısal, dinamik ve karmaşık bir sistem olduğu söylenebilir. Bu sistem; yollar ve araçlar gibi fiziksel, trafik yönlendirme ve kontrol ekipmanları gibi mantıksal ve yol ağının kullanıcıları olan insanlar gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Bu sistem ve bileşenleri çerçevesinde ortaya çıkan arz ve talebin dengelenmesi ise karmaşık bir sorun olarak dikkat çekmektedir. Bu doğrultuda altyapı, uyumluluk ve birlikte çalışabilirlik gibi TDM'yi doğrudan etkileyen kavramlarla denge konusunun açıklanmasını gerekmektedir.

Ulaşım ağı performansını iyileştirmeye ve arz-talep dengesini sağlamaya yönelik yol ağı tahsisi için uygulanan zor ve kolay mühendislik yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazılarının kısa ve uzun vadeye göre sınıflandırılması Şekil 4-3'te yer almaktadır (Austroads, 2007b). Zor mühendislik yöntemleri arasında kısa vade için yönetilen şerit uygulamaları dikkat çekerken yenilikçi kavşak tasarımı ile AUS'ta yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerin kullanımı uzun vadeli çözümler arasında değerlendirilmektedir. Kolay mühendislik yöntemleri arasında da uzun vadeli çözüm olarak şerit tahsisi ve yön değiştirebilen şerit uygulamaları ile trafik yönetim merkezi gibi veri temelli yöntemler dikkat çekmektedir.



Şekil 4-3: Yol alanı tahsis mühendislik yöntemleri

TDM uygulamaları temelde trafik sıkışıklığını azaltarak etkin bir trafik yönetimi sağlamayı hedeflemektedir. Trafik sıkışıklığı kavramı, literatürde yer alan ilişkili hususlar ışığında aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır.

Trafik Sıkışıklığı:

Trafik akışının sağlandığı belirli konum ya da alanlarda mevcut yol kapasitesinin, seyahat talebini karşılayamaması olarak ortaya çıkan durum yaygın olarak trafik sıkışıklığı şeklinde adlandırılmaktadır (Aftabuzzaman, 2007). Bu durum, arzın ötesinde talebe neden olarak trafik talebi ve arzı arasında dengesizliğe de yol açabilmektedir (Chen vd., 2009; Muslih vd., 2023; Xiaojie, 2005). Yol ağında araç sayısının fazla olması nedeniyle olağan trafik akışının sıkışıklık kaynaklı kesintiye uğraması, seyahat sürelerinin uzaması ve gecikmelerle sonuçlanırken (Cambridge Systematics, 2005), yol kullanıcıları için de yolculuk maliyetlerini etkileyen muhtemel bir durum olabilmektedir (Litman, 2014).

Seyahat süresi ve talebi arasındaki ilişki doğrusal değildir. Yani seyahat sürelerinde önemli iyileşmeler elde etmek için seyahat talebinde ve trafik hacimlerinde azalmalar olması beklenmektedir. Yoğun trafik sıkışıklığında, yolun kapasitesi tasarım kapasitesinin altına düşebilir. Böyle bir durumda talep yönetilemediğinde, daha düşük bir altyapı performansı seviyesi kabul edilmiş olabilmektedir (Amelsfort & Brundell-Freij, 2018).

Ulaşım sistemi mevcut ihtiyaçları karşılayamadığında trafik sıkışıklığı ortaya çıkabilir ve bunun fark edilmesi nispeten kolaydır. Sıkışıklık teriminin tanımlarında “*tıkanma*”, “*yığılma*”, “*engelleme*” ve “*aşırı doluluk*” gibi kelimeler geçmektedir. Ulaşım alanında sıkışıklık genellikle belirli bir zamanda yol ağının bir bölümünde aşırı sayıda aracın bulunması ve bunun sonucunda hızın normal hızdan veya “*serbest akış*” hızından daha yavaş olması ile ilgilidir. Sıkışıklık olması genellikle duran veya dur-kalk halindeki akmayan ya da yavaş ilerleyen trafik anlamına gelmektedir. Trafik sıkışıklığına birbiriyle ilişkili aşağıdaki yedi temel durum sebep olabilmektedir (Cambridge Systematics, 2005) :

1. **Fiziksel Darboğazlar (Kapasite):** Belirli bir yol bölümünün taşıyabileceği maksimum trafik miktarı olan kapasite; şeritlerin ve yol kenarlarındaki banketlerin sayısı ile genişliği, kavşaklardaki bağlantı alanları, eğimler ve virajlar gibi yol tasarımı benzeri bir dizi faktör tarafından belirlenmektedir.
2. **Trafik Olayları:** Trafik kazaları, araç arızaları ve seyahat şeritlerinde oluşan enkazlar gibi yol üzerindeki fiziki faktörler trafiğin normal akışını bozan ve engelleyen olaylardır.
3. **Çalışma Alanları:** Bakım, onarım, yapım gibi yol ağı üzerinde fiziksel değişikliklere neden olan faaliyetler trafiğin olağan akışını değiştirebilmektedir.
4. **Hava Koşulları:** Hava ve mevsimlerle ilgili durumlar, sürücü davranışlarında trafik akışını etkileyen değişikliklere yol açabilmektedir.
5. **Trafik Kontrol Cihazları:** Hemzemin geçitler ve zamanlaması iyi planlanmamış sinyaller gibi kontrol cihazlarının trafik akışını aralıklı olarak kesintiye uğratması sıkışıklığa ve seyahat süresi değişkenliğine neden olabilmektedir.
6. **Önemli Etkinlikler:** Talep dalgalanmalarının özel bir durumudur. Önemli olaylar trafik talebinde sistemi zorlayan artışlara neden olabilmektedir. Etkinlik civarındaki trafik akışının durumu olağan kalıplardan tamamen farklıdır.
7. **Olağan Trafikteki Dalgalanmalar:** Talepteki günlük değişkenlik, bazı günlerin diğer günlerden daha yüksek trafik hacmine sahip olmasına neden olabilmektedir. Sabit kapasiteli bir sistemin üzerine yük olarak gelen değişken talep miktarındaki yoğunluk da farklı ve güvenilmez seyahat sürelerine sebep olmaktadır.

Bu sayılan faktörler dahil olmak üzere birçok farklı temel durumdan dolayı, yol ağında ortaya çıkan trafik sıkışıklığı; tekrar eden ve tekrar etmeyen olarak iki şekilde sınıflandırılabilir (Falcocchio & Levinson, 2015).

Trafik sıkışıklığı için uluslararası alanda tek tip bir tanım standardı bulunmamaktadır. Trafik sıkışıklığı, trafik akışının düzenlenmesinde ortaya çıkan somut bir olgudur. Ancak trafik

sıkışıklığının önem düzeyine ilişkin değerlendirmeler öznel olabilmektedir (Chen vd., 2009). Ayrıca nüfus yoğunluğunun artışı, motorlu taşıt sayısı ve kullanım oranlarının artması, altyapının giderek büyümesi ve teknolojiyle birlikte gelişmesi, paylaşımlı hareketlilik ile kargo ve nakliye hizmetlerinin yaygın kullanımı gibi durumlar, bu kavramı küresel bir konu haline getirmiştir (Reed, 2019).

Darboğaz kavramı ise yol alanı talebinin yolun mevcut kapasitesinden daha yüksek olduğu trafikte sıkışıklığa yol açan nedenlerden biridir. Bir darboğazda, belirli bir noktadan geçmeye çalışan araç sayısı yolun alabileceğinden daha fazladır ve sonuç olarak araçlar bir kuyruk oluşumunda rölantide bırakılmaktadır. Talep kapasitenin üzerinde kaldığı sürece kuyrukların uzunluğu artmakta ve darboğazın meydana gelmesine neden olmayan bitişik yollardaki trafiği, Şekil 4-4'te görüldüğü gibi etkileyebilmektedir. Böylece bu sıkışıklık durumu, kuyruk uzunluğundan ziyade seyahat süresinde artışa sebep olabilmektedir. Sıkışıklık oluştuğunda yol kapasitesinde meydana gelen kayıplar, diğer bir kritik konu olmakla birlikte, bu durum; kuyruklanma olduğunda darboğazdan çıkışlardaki azalmaları da ifade etmektedir. Burada trafik sıkışık bir duruma girdiğinde, yani kuyruğa girmeye başladığında, darboğazdan çıkış yapan araçların sayısındaki azalma durumu yol kapasitesinin düşmesi olarak ifade edilmektedir.



Şekil 4-4: Trafikte kuyruklanma ve darboğaz

Bir yol üzerinde kapasitesinin üzerinde yol kullanıcısı mevcutsa, yolu kimin kullanıp kimin kullanmayacağına karar verebilmek amacıyla bazı yöntemlerin uygulanması gerekmektedir. Herhangi bir yöntem bulunmadığında kuyruk oluşması, durum için olağan bir çözüm yöntemi

olabilmektedir. Kuyruk, kaynağı eşit dağıtmanın bir yöntemi gibi görünse de yol kullanıcılarının zaman kaybına uğraması gibi net bir dezavantajı içermektedir. Talep ve arz dengesinin bozulduğunda yaşanan durumlardan biri olan trafik sıkışıklığı ile ilgili dikkate alınması gereken birkaç önemli husus, aşağıdaki gibi sıralanabilir (Amelsfort, 2015).

- 1. Çok yüksek talep seviyelerinde bir yolun verimi düşmektedir.** Bir yola olan talep arttıkça ve yol kapasitesine yaklaştığında, bu yolun verimi en yüksek seviyeye çıkar. Eğer yoğun trafik oluşur ve trafik akışı durursa, yolun kapasitesi önemli ölçüde düşer. Bu, aynı yol üzerinde trafik akışı durmadığı zaman daha yüksek verime ulaşılabilceği anlamına gelmektedir.
- 2. Trafik akışı ile seyahat süresi arasındaki ilişki doğrusal değildir.** Bir yoldaki her ilave araç, seyahat süresinde, bir önceki araca göre daha yüksek bir artışa yol açar. Bu, aynı zamanda sıkışıklığı yarı yarıya azaltmak için araç sayısını yarı yarıya azaltmanın gerekli olmadığı anlamı taşımaktadır.
- 3. Sıkışıklık zamansal ve mekânsal olarak birbirine bağlıdır.** Sıkışıklık yol ağının belirli noktalarında ve belirli zamanlarda meydana gelebilmektedir. Bu doğrultuda sıkışıklıkla mücadele politikalarının verimli olabilmesi zamana ve mekâna uyarlanabilir olmasını gerektirebilmektedir.

Ulaşımda toplu taşımanın teşviki, bu amaçla kullanılan hizmetlerin ve araçların verimliliğinin artırılması ile araç paylaşımı konuları, son yıllarda daha önemli hale gelmiştir. Bu doğrultuda yapılan çalışmaların başarıya ulaşabilmesi ve belirlenen hedeflerin sağlanması amacıyla farklı ulaşım çözümlerine ve yöntemlerine başvurulabilmektedir. Özel olarak işaretlenmiş trafik şeritlerinin otobüsler ve birden fazla yolcu taşıyan otomobiller için ayrılabilmesi, şehir merkezindeki yolların sadece otobüsler için tahsisi, belirli araç türleri için otoyollara erişim önceliği verilebilmesi, otobüsleri algılayan ve yönlendiren trafik sinyal sistemlerinin kullanılabilmesi, bu yöntemlerden bazılarıdır. Ayrıca hava kirliliği ve trafik sıkışıklığının azaltılması amacıyla otoyolların genel kullanımı, yol ücretlendirmesi ile kontrol altına alınabilmektedir (Kassahun, 2007).

Sıkışıklık seviyesini ölçmek için farklı performans kriterleri göz önünde bulundurularak çok sayıda sıkışıklık ölçütü geliştirilmiştir. Bu kriterlere bağlı olarak, sıkışıklık önlemlerine yönelik çözümler beş kategoride incelenebilmektedir: (i) hız, (ii) seyahat süresi, (iii) gecikme, (iv) hizmet seviyesi (LoS) ve (v) sıkışıklık endeksleri (Afrin & Yodo, 2023). Bu temel sınıflandırmanın yanında her ülke, bölge, şehir, kurum gibi paydaşlar tarafından sağlanacak çözümlerin nitelikleri doğrultusunda, farklı değerlendirme faktörleri ve anahtar ölçüm kriterleri bulunabilmektedir.

Kentsel yol ağında araçların sebep olduğu trafik sıkışıklığının nasıl yönetileceğine dair yöntemleri ortaya koyan pek çok literatür çalışması bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, arz ve talepleri düzenlemeyi öneren ve Tablo 4-1’de yer alan tedbirleri içermektedir (Itani vd., 2021).

Tablo 4-1: Trafik sıkışıklığı yönetilmesi yöntemlerine ilişkin literatür çalışmaları

Çalışmalar	Tedbirler
(Ayland & Emmott, 1994; Han vd., 2010; Liu vd., 2014; Nie & Yin, 2013; Thomson, 1967)	Araçları gruplara ayırarak ve farklı grupların şehir merkezlerine belirlenen dönüşümlü günlerde girmesine izin verildiği ve böylece kapasiteyi artıran kavşak düzenleme planları.
(Daganzo, 2007; Hajbabaie & Benekohal, 2011; Lovell & Daganzo, 2000; Rathi, 1991)	Şehir merkezlerine giren araç sayılarını belirlemek için trafik sinyallerinin kullanılmasına yönelik planlar.
(Bhat, 1997; Guo & Peeta, 2020; E. J. Shin, 2020; M. Zhang, 2006)	Yolcuları, bireysel araç kullanımından toplu ulaşım geçiş yapmaya teşvik ederek kat edilen araç milini (VMT-Vehicle Miles Traveled) azaltmaya yönelik planlar.
(De Palma & Lindsey, 2011; Eliasson vd., 2009; Meng vd., 2012; X. Zhang & Yang, 2004)	Araçlardan kordon altına alınmış bir bölgeye girerken ücret tahsis edilmesi, sıkışıklık ücretlendirme uygulaması planları.
(Daganzo & Lehe, 2015; Liu vd., 2014; Meng vd., 2012)	Sıkışıklık ücretlendirme için belirlenen bir alanda her bir aracın kat ettiği mesafeye göre ücretlendirilmesiyle ilgili yöntemler.
(Fields vd., 2009; Henisz, 2002; Peeta vd., 2010; Sanchez-Robles, 1998)	Bir sokak ağına daha fazla kapasite sağlamak için bazen fiziksel altyapıya eklemeler yaparak sıkışıklığın azaltılması yöntemi.
(Cassidy & Rudjanakanoknad, 2005; Fajardo vd., 2011; Yang & Bell, 1997)	Altyapının iyi tasarlanıp doğru yönetilmesiyle ilgili yaklaşımlar.
(V. V. Gayah & Daganzo, 2012; Glass & Ni, 1992; B. Shin, 1997; Tang & Friedrich, 2016) (DePrator vd., 2017; V. V. Gayah, 2012; Levitin vd., 2009)	Arz yönlü tedbir olarak kavşaklarda kesintiye yol açan dönüş manevralarının yasaklanması yöntemi. Bu yöntemin uygulanması nispeten kolay olsa da bir yol ağının VMT’sini artırabilmekte ve trafik sıkışıklığını küçük ölçüde azaltabilmektedir.

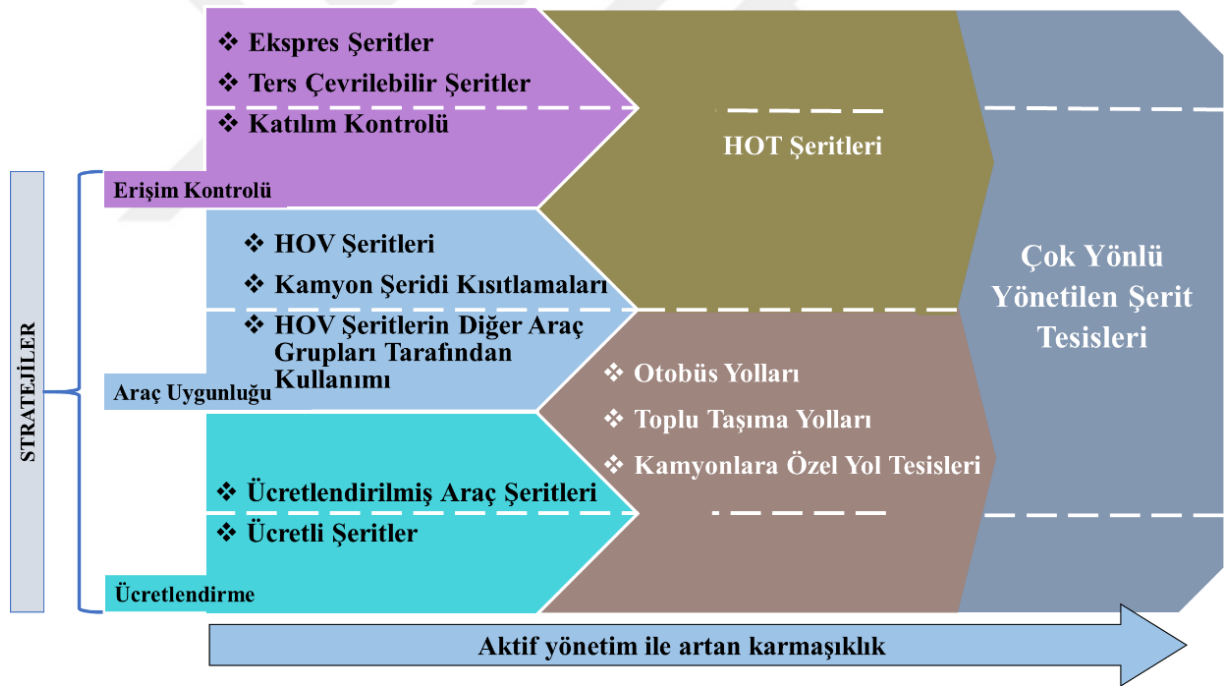
Trafik sıkışıklığını azaltmaya yönelik öne çıkan TDM uygulamalarından bazıları aşağıdaki bölümlerde özetlenmektedir.

4.1.1 Yönetilen Şeritler

Trafik ve seyahat talep yönetiminin verimli bir şekilde sağlanmasında şerit yönetim stratejileri temel yaklaşımlardandır. Trafik akışının optimizasyonu ve mevcut ancak kullanılmayan kapasitenin değerlendirilmesi gibi ücretlendirme, erişim kontrolü ve araç geçiş önceliği gibi şerit yönetim stratejileri, yol ağında meydana gelmesi muhtemel sıkışıklık, yoğunluk, karmaşa, trafik

kazaları gibi zorlukların aşılması için birer araç olarak görülebilmektedir (Collier & Goodin, 2004).

Yönetilen Şeritler, değişen koşullara yanıt olarak operasyonel stratejilerin proaktif olarak uygulandığı ve yönetildiği otoyol tesisleri, bir şerit veya bir dizi şerit olarak tanımlanmaktadır. Bunlar, (i) yüksek doluluklu geçiş ücreti (HOT-High-Occupancy Toll) şeritleri, (ii) yüksek doluluklu araç (HOV-High-Occupancy Vehicle) şeritleri (U.S. Department of Transportation, 2024) ve (iii) izin ya da uygunluk şeritleri olmak üzere üç ana türden oluşmaktadır. Kavramsal olarak yönetilen şeritler, esnek işletme stratejilerine ve ulaşım sisteminin aktif yönetimine dayanmakta olup gelişmiş performansa yol açan entegre operasyonlar için gereken perspektifi sağlamaktadır (U.S. Department of Transportation, 2023c). Yönetilen şeritler kapsamına giren potansiyel şerit yönetimi uygulamaları ile stratejilerine Şekil 4-5'te yer verilmektedir (Austroads, 2007b; Collier & Goodin, 2004; Texas Department of Transportation, 2024).



Şekil 4-5: Yönetilen şerit stratejilerine bakış

Yönetilen şerit konseptinde zamansal esneklik temel bir özelliktir. Bu stratejilerin, talebe sürekli yanıt veren bir temelde, günün saatine ve/veya haftanın gününe göre sabit zamanlı olarak, önceden planlanmış olaylara yanıt olacak şekilde seyrek zamanlı ve beklenmedik acil durumları

dikkate alan bir biçimde uygulanması söz konusu olabilmektedir. Yönetilen şeritler fonksiyonel tasarıma göre aşağıdaki trafik talep stratejilerini içerebilmektedir (Guebert, 2010):

- Yoğun dönemlerde yol üstü park kısıtlamaları,
- HOV düzenlemeleri ve politikaları,
- Değer fiyatlı, HOT düzenlemeleri ve fiyatlandırma modelleri,
- Belirli kullanıcı grupları için özel tesisler (acil durum araçları, toplu taşıma gibi),
- Özel veya genel kullanım için emniyet şeritlerinin seyahat şeritlerine dönüştürülmesi,
- Yerel ve uzun mesafeli yolculukları ayırmak için çift tesisler,
- Yön değiştirebilir şerit sistemleri (RLS-Reversible Line System).

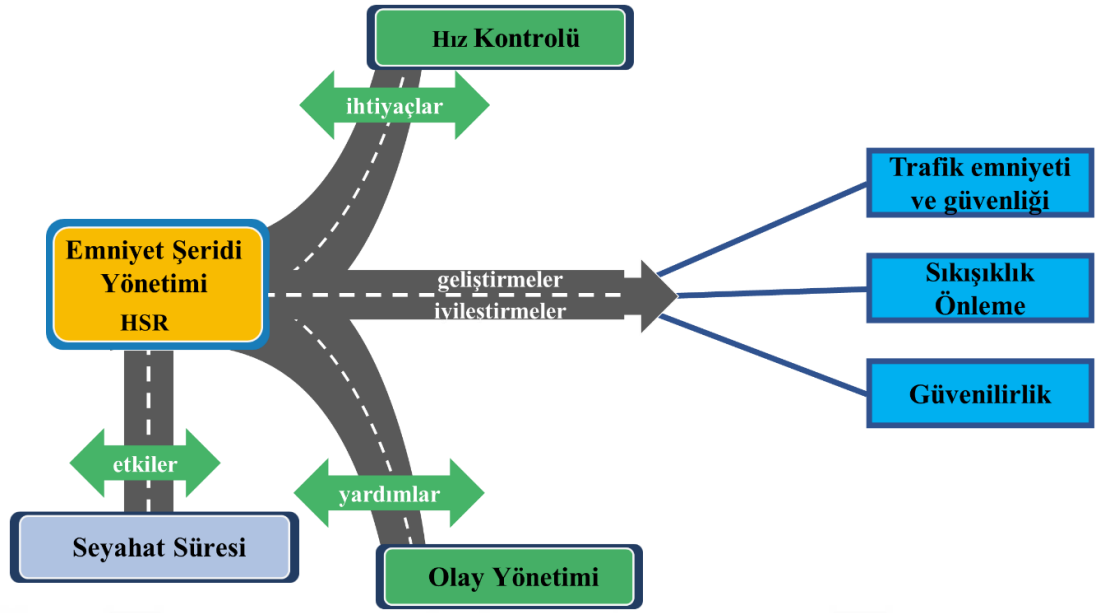
Ayrıca yol ücretlendirmesi yöntemi yönetilen şerit stratejilerinden biri olarak 1960'lardan bu yana TDM için kullanılmaktadır. Bu kapsamda başarılı örnek uygulamalar ise ancak 1990'larda Singapur, Londra ve Stockholm'de ortaya çıkmıştır (Walker vd., 2012). Yol ücretlendirmesi aşağıda belirtilen uygulamalar için şemsiye bir ifade olarak kullanılmaktadır (Austroads, 2007a):

- Ağır vasıta ücretlendirmesi (kaldırım hasarı vb.)
- Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi
- Taşımacılığın marjinal sosyal maliyete göre ücretlendirilmesi
- Yol vergi ve harçlar
- Altyapı maliyetlerini finanse etmek için ücretlendirme

Yol yöneticileri, talepleri dinamik olarak dengelemek için AUS'tan faydalanmakta olup böylece yol alanı tahsis yöntemlerinin verimliliğini daha da iyileştirebilmektedirler. AUS ile yol alanı tahsis yöntemlerinin çalışma süreleri, trafik sıkışıklığının süresine göre ayarlanabilmektedir. Aynı zamanda trafik kazası veya herhangi bir olağanüstü durumda yol alanı tahsisinin uygulamaya girmesi kolaylaşabilmektedir. Ayrıca şerit kullanımı ve sollama yasakları da dinamik olarak uygulanabilmektedir. AUS teknolojileri, değişken mesaj işaretleri ve kamera uygulaması yoluyla hızı azaltma ile birlikte, yol alanı tahsisi yöntemlerinin emniyet, güvenlik ve uyumluluk etkilerini artırmaya da yardımcı olabilmektedir (Austroads, 2007b).

4.1.1.1 Emniyet Şeridinin Trafik Akışı İçin Kullanımının Modellenmesi

Emniyet şeridi yönetimi (HSR), trafik talebinin yüksek olduğu zamanlarda yol kapasitesini artırmak amacıyla emniyet şeridinin ekstra bir sürüş şeridi olarak trafik akışına dahil edilmesiyle dinamik kullanılabilmesini sağlamak olarak ifade edilebilmektedir. Şekil 4-6'da HSR'nin trafik yönetiminde kullanımı görselleştirilmiştir (CEDR, 2012).



Şekil 4-6: Emniyet şeridinin trafik akışında kullanılması

Emniyet şeridi, temel olarak yolun şerit çizgisinin dışında kalan banket olarak da adlandırılan bölümüdür. Bir aracın arızalanması veya ani manevra yapması gibi acil durumlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Ambulans, itfaiye araçları gibi acil servis araçları tarafından trafikten kaçınmak, araç arızaları olması durumunda gerekli önlemleri almak ve normal trafik seyrinde tersten gelen bir araç gibi beklenmedik durumlarda önlem almak amacıyla emniyet şeridi kullanılabilir. Ayrıca, bir kaza meydana gelmeden önce aracın kontrolü kazanabilmesi, trafiğin yoğun olması gibi mevzuat ve yasal çerçeve ile belirlenen koşullarda, acil durum şeridinin kullanılmasına izin verilebileceği farklı durumlar da olabilmektedir (Sethi, 2019).

Bir otoyol üzerindeki acil durum şeridi, yolun en sağındaki araç şeridine bitişik olan ve bir banketi kapsayan kısımdır. Acil bir durumda sürüş ve park etme gereksinimlerini karşılamak üzere bir emniyet şeridinin genişliğinin ve etkin uzunluğunun sırasıyla 3 metreden fazla ve 30 metreden fazla olması beklenmektedir (Dai vd., 2020).

HSR uygulaması, normalde operasyonel nedenler, güvenlik ve emniyet için ana yolların yanında bulunmaktadır. Banketin trafiğe açık ilave bir şerit olarak kullanılması, yol kapasitesini ve hizmet düzeyini iyileştirmenin yanı sıra (Cohen, 2004); arızalar, trafik kazaları ve yoğun trafik sıkışıklığı zamanlarının etkili yönetilmesinde bir yöntem olabilmektedir (Gaskell vd., 2004).

Operasyonel yol koşulları; katılım kontrolü, HOV şeritleri, gerçek zamanlı değişken hız limitleri (VSL-Variable Speed Limit), otomatik otoyol sistemleri (AHS-Otomatik Otoyol Sistemleri) ve HSR gibi trafik akış yönetimi ve kontrol sistemlerinin kullanılmasıyla iyileştirilebilir. Burada HSR, talebin en yoğun olduğu saatlerde emniyet şeritlerinin, genel amaçlı

şeritlerle birlikte geçici olarak normal trafiğe açılmasını sağlayan bir yöntemdir (Guerrieri & Mauro, 2016). Yol kapasitesini artırmanın etkili ve maliyet etkin bir çözümü olarak emniyet şeritlerinin trafik akışı şeridi olarak kullanılabilmesi, aynı zamanda iyi bir trafik yönetimi sisteminin olmasını gerektirmektedir (Austroads, 2007b). Böylece emniyet şeritlerinin hangi durumlarda ve zamanlarda kullanılabileceğine ilişkin etkili ve verimli planlar ortaya koyulabilecektir. Emniyet şeridinin bir yol ağı içerisinde akış şeridi olarak kullanılabilmesi için engellerin, trafik olaylarının ve durumlarının tespit edilmesini sağlayan kapsamlı bir izleme sistemi ihtiyacı bulunmaktadır (Gaskell vd., 2004).

Bu uygulamadan beklenen temel faydalar; kapasite artışı, sıkışıklık ve gecikmelerde azalma, daha kısa seyahat süreleri, trafik güvenliği ve emniyeti açısından avantajlar ile tali yol ağına olumlu etkiler olarak sıralanabilmekte (CEDR, 2022) olup Tablo 4-2’de uygulamadaki temel bazı riskler (CEDR, 2012) yer almaktadır.

Tablo 4-2: HSR’nin temel riskleri

Risk Türleri	Açıklama
Fonksiyonel	- Zorunlu hız sınırlarına uyumun zayıf olması ve önlemlere uyum sağlama isteğinin düşük olması. - Çevreyolu sistemindeki yerleşim alanları ile bağlantılı olan yol kesimlerinde ortaya çıkması muhtemel sorunların olması. - Artan kapasitenin, HSR uygulamasının yapıldığı kesimin ilerisinde potansiyel olarak yeni sıkışıklıklara neden olabilmesi ve bunun sonucunda kavşaklarda kapasite eksikliği ve trafik oluşturmak suretiyle trafik talebinin artmasına yol açabilmesi.
Teknik	- Kameralar ve Değişken Mesaj İşaretleri (VMS-Variable Message Signs) gibi unsurlardan kaynaklanan sistem arızaları sebebiyle HSR hattının gecikmeli olarak açılması. - Bozulan araçlar nedeniyle emniyet ve güvenlik sorunlarının ortaya çıkması. - Yetersiz yapılan bakımın donanım arızaları oluşturması.
Finansal	- Bakım gibi maliyetlerin düşük tahmin edilmesi.
Kurumsal	- Deneyimli trafik operatörleri ve yol denetleyicileri gibi nitelikli insan kaynağı eksikliği.
Politik	- Trafik talebi arttığında, acil durum hizmetleri için yetersiz erişilebilirlikler ve yeni sıkışıklıklar meydana gelme ihtimali. - Arızalanan araçlar ile arkadan çarpma dışında büyük bir risk beklenmemektedir.

HSR’nin geçici bir şerit olarak kullanımındaki verimine aşağıdaki unsurlar destek olabilmektedir (CEDR, 2012) :

- Trafik operatörlerine HSR şeridini doğru zamanda açmaları veya kapatmaları için bilgi veya öneriler sağlayan karar destek sistemleri,

- İndüksiyon döngüleri, radar, yol hava durumu bilgi istasyonları, kameralar, araç içi sistemler gibi trafik verilerinin gerçek zamanlı olarak elde edilmesine yardımcı olan veri toplama araçları,
- Değişken mesaj işaretleri,
- HSR'nin emniyetli ve güvenli bir şekilde açılıp kapanmasını sağlamak için kullanılan CCTV ve olay algılama cihazları,
- Hız sınırlarının zorunlu olması durumunda, emniyet veya çevresel nedenlerden dolayı denetim faydalı olabileceğinden opsiyonel olarak otomatik hız denetimi uygulaması.

Genel olarak çeşitli şerit erişim kontrolü ve tahsis stratejileri (açık yollar, banket, park etme, araç önceliği, yön değiştirebilir şeritler, birleşme ve sollama) ile geleneksel olmayan kavşak tasarımı gibi araç ve uygulamaları içine alan çözümler, esasen yol alanı tahsisini en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedir. Zaman içinde trafik sıkışıklığı arttıkça, yol alanı tahsis yönteminin özellikleri; açık yolların ve yön değiştirebilir şeritlerin faaliyet sürelerinin uzatılması, HOV şeritlerinin HOT şeritlerine dönüştürülmesi ve kavşaklar arasında emniyet şeridi yani banket kullanımı gibi uygulamalarla değiştirilebilmektedir (Austroads, 2007b).

Texas StHtu Karayolları ve Toplu Taşıma Departmanı, daha dar şerit genişlikleri oluşturmak için ana hat kaplamasını yeniden çizerek ve seyahat için ek şeritler oluşturmak amacıyla banketi ihlal ederek kent içi otoyollarda karayolu kapasitesini artırma konseptinin test edilmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma için Houston'daki US-59 Güneybatı Otoyolu'nun iki bölümü seçilmiş olup ana şeritlerdeki bu yeniden yapılandırma çalışmasının etkisi, zirve dönemi akışlarının operasyonel özellikleri, sürücülerin emniyet şeridini kullanmayı kabul etmesi, kaza riski, fayda-maliyet analizi ve tasarım sonu bakım gereksinimleri çerçevesinde incelenmiştir. Burada kapasite artışının bir sonucu olarak zirve dönemlerdeki operasyonlarda beklenen iyileşmeler sağlanmıştır. Bir kesimde, sürücülerin emniyet şeridini az kullanması nedeniyle beklenen iyileşme seviyesine ulaşılamamış ve yapılan bir analizle bu kesimin uzunluğunda değişiklik yapılması gerektiği belirlenmiştir. Değişiklikler sonucunda kaza sayısı önemli ölçüde azalmış ve fayda-maliyet analizi bu tür düşük maliyetli iyileştirmeler için son derece elverişli olmuştur. Çalışmanın aşağıdaki sonuçları ulaşım ağının sıkışık kesimlerinde seyahat için emniyet şeridi ve dar yol şeritlerinin kullanılmasını desteklemektedir (McCasland, 1978):

- Bir otoyolun sıkışık bir bölümüne trafik şeridi eklenmesi, seyahat süresi, güvenlik, işletme kalitesi ve barındırılabilir trafik hacminde faydalar sağlamaktadır.
- Bu tür çözümler genellikle halk tarafından kabul görmektedir.

- Dönüştürülmüş bir karayolu kesimindeki ilave kapasite, kaza oranlarını azaltmakta, böylece dar şeritler ve daha az acil park alanından kaynaklanan kaza potansiyelindeki artışı dengelenmektedir.
- Ek kapasite, mevcut karayolu ve otopark kaplamalarının yeniden yapılandırılmasıyla düşük maliyetle elde edilebilmektedir. Bu projeler için fayda-maliyet oranları çok uygundur.
- Yeniden yapılandırılan karayolları, yeterli şerit sınırlaması, banket şeridinin yapısal bütünlüğü ve acil durum park alanları sağlamak için ek bakım gerektirmektedir.

HSR uygulaması için örnek ülke faaliyetleri:

Her ne kadar normal senaryolarda yasaklanmış olsa da acil durum ya da emniyet şeritleri geleneksel ulaşım yol ağı ile aynı standartlara sahiptir ve normal şeritler gibi hareket edebilme özelliği bulunmaktadır. Çin'deki G42 otoyolunda bulunan emniyet ve acil durum şeritlerinin geçici olarak normal trafik akışı için kullanılmasına izin veren test çalışması 2019 yılında, 1 Mayıs tatili sırasında, trafik hacimlerinin aşırı derecede fazla olduğu durumlarda, ulaşım verimliliğini korumak amacıyla yapılmıştır. Bu araştırma sırasında sürücülerin yalnızca %12,4'ünün acil durum şeridinde seyahat etmeye karar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, şerit dağılımı farklı özellikler gösterirken, serbest akış hızı ve acil durum şeridinin kapasitesi nispeten düşüktür. Acil durum şeridinin kullanımından sonra yol kapasitesi sadece %5 artmıştır (Dai vd., 2020).

Aktif Trafik Yönetimi (ATM-Active Traffic Management), Birleşik Krallık Karayolları Ajansı (HA) tarafından M42 otoyolunun bir bölümünde pilot olarak yürütülmekte olan ve tek başına kullanılan birçok trafik yönetimi unsurunu bir araya getirerek her birinden elde edilen faydaları en üst seviyeye çıkarmayı ve mevcut yol alanından en iyi şekilde yararlanmayı amaçlayan bir projedir. Bu kapsamda pilot olarak uygulanacak yöntemlerden biri kaza gibi olayların yönetimi ve yoğun trafik sıkışıklığı dönemleri için emniyet şeritlerinin ilave bir yol akış şeridi olarak kontrollü bir şekilde kullanılmasıdır. Bu çalışma sürecinde güvenlik ve emniyetin sağlanması için ATM projesi; yaklaşık 500 metre aralıklarla herhangi bir nedenle yolda kalan araçlar için acil durum sığınma alanları, sürücülere kolay anlaşılır bilgiler sağlamak amacıyla yaklaşık 500 metre aralıklarla gelişmiş otoyol göstergeleri ve mesaj işaretleri, tüm şeritlerde zorunlu azami 50 mil/saat hız; trafiği izlemek için daha sık aralıklı döngü sensörleri gibi unsurları içerecek şekilde planlanmaktadır (Gaskell vd., 2004).

HSR, yol kullanıcılarına ekstra bir şerit sağlayarak yol kapasitesini artırabilmektedir. İngiltere'nin Birmingham kenti çevresindeki M42 otoyolunda gerçekleştirilen HSR

uygulamasının, seyahat süresinde %15'lik ilave bir azalma sağlayan ve sıkışık yol kesimlerinde verimi artırmak için uygun maliyetli bir yöntem olduğu görülmüştür (Van Vuren vd., 2012).

Pilot aşama sırasında, M42 üzerinde yapılan etki değerlendirmesi çalışmaları, yoğun trafikli kesimlerde HSR uygulandıktan sonra kişisel yaralanmalı kazalarda %20'ye varan bir azalma olduğunu, Hollanda'da 2000-2014 yılların arasında emniyet şeridinin boş olduğu zamanlarda yol ağına katıldığı farklı uygulama noktalarının değerlendirildiği bir analiz ise emniyet ve güvenlik kapsamında %25'in üzerinde önemli iyileşmeler sağladığını göstermiştir. HSR'nin yıllardır faaliyette olduğu ülkelerin önceki deneyimlerine dayanarak HSR; trafikteki yoğun sıkışıklığı önlemek veya azaltmak ve özellikle arkadan çarpmalar başta olmak üzere kaza olasılıklarını en aza indirmek için karayolu ağının bazı bölümlerinde kapasiteyi geçici olarak artırmak için yararlı bir önlem olarak tavsiye edilebilmektedir. İngiltere, Almanya ve Hollanda'da yapılan değerlendirme çalışmaları; HSR'nin uygun şekilde tasarlanması ve devreye alınması durumunda, yol kapasitesini geçici olarak %25'e, ulaşım ağı performansını ise %20'ye kadar artırabildiğini ortaya koymaktadır. Uygun bir yöntemle uygulamaya alındığında ise yol güvenliği ve emniyetine etkisi de olumlu olabilmektedir (CEDR, 2022). HSR'nin farklı ülkelerdeki iyi uygulama örnekleri ve elde edilen sonuçlar, aşağıda özetlenmiştir (CEDR, 2012, 2022) :

- **Hollanda:** Çeşitli değerlendirme sonuçlarına göre; doğru şekilde uygulandığında HSR'nin faydaları arasında genel trafik performansında %20'ye varan iyileşme, gecikmelerde %80'e varan azalma ve genel sıkışıklıkta %25 oranında azalma yer almaktadır. Yukarı yöndeki sıkışıklığın ortadan kaldırılmasıyla çeşitli kesimlerdeki kazalarda %25-85 oranında azalma sağlayarak trafik emniyet ve güvenliğinde önemli iyileşme sunabilmektedir. Bazı yol kullanıcılarının trafik emniyeti ve güvenliği konusunda çekinceleri olsa da uygulamanın kabulü yüksek olmuştur.

HSR uygulamasının olduğu ve olmadığı durumların kıyaslandığı farklı trafik hacimleri için 2015 yılında yapılan emniyet etki analizine göre; orta trafik hacimlerinde önemli bir etki farkı olmadığı, ancak yüksek trafik hacminde HSR için biraz daha yüksek oranların ortaya çıktığı görülmüştür. Bu durum emniyet şeritlerinin yol ağı içerisinde kullanımı sırasında, kapsamlı izleme, olay tespiti ve trafik yönetimi ihtiyacına işaret etmektedir.

- **Almanya:** Emniyet şeritlerinin yol ağı içerisinde kullanılması, üç düzenli şerit olması durumunda, kapasiteyi geçici olarak %25'e kadar artırabilmektedir. Frankfurt Kuzey-Batı kavşağı ile Friedberg arasındaki A5 otoyolunda yapılan çalışmalarda kayıp seyahat süresinin ortadan kaldırılması sonucunda ortaya çıkan faydalar sayesinde, sistem üç yıldan kısa bir sürede kendini amorti etmiştir. Yol emniyet ve güvenliğinde ciddi bir sorun tespit

edilmemiş olup A3 otoyolu üzerinde yapılan çalışmalar, HSR uygulamasından kaynaklanan daha yüksek kapasitenin, bir bölümdeki potansiyel sıkışıklıkların ve bunun sonucundan kaynaklanan olumsuz olayların sıklığının belirgin bir şekilde azaldığını göstermektedir. Bazı kesimlerde kazalarda %20'ye kadar azalma görülmüştür.

- **Belçika (Flanders):** HSR'nin kapsamlı değerlendirmesi, kaybedilen araç sürelerinde etkili ve önemli bir azalma ile seyahat sürelerinde hissedilir bir düşüş olduğunu doğrulamaktadır. Ayrıca, trafiğin tali yollardan otoyollara kayması nedeniyle tali yol ağı üzerinde olumlu etkiler gözlemlenmiştir. Bazı durumlarda, aşağı yöndeki gizli darboğazlarda bir sıkışıklık artışı olmuştur. Bu nedenle, HSR'nin tüm çerçevesi, genel başarı için önemli olmaktadır. Yol emniyeti ve güvenliğine ilişkin, HSR'nin hayata geçirilmesinden sonra önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.
- **Danimarka:** Bir HSR pilot uygulaması Aralık 2013'te gerçekleştirilmiş ve o zamandan bu yana değerlendirilmektedir. Yapılan tüm analizler göz önünde bulundurulduğunda, pilot denemenin temel sonuçları; sabah yoğun saatlerde banketin trafik şeridi olarak kullanılmasının genel olarak trafik akışını iyileştirdiği, kapasiteyi artırdığı, seyahat sürelerini ve bu sürelerdeki varyasyonu azalttığı, daha kısa bekleme kuyrukları ve daha kısa bekleme zamanları elde edilmesini sağladığı şeklinde özetlenebilmektedir. Ayrıca, M13 boyunca uzanan yerel yollardaki trafiği de azaltmıştır. Bu pilot denemenin beş yıllık işletiminden sonra 2 km'lik yol kesiminde yeni bir çalışma daha tamamlanmış olup burada olumlu ya da olumsuz etkiler gözlenmemiştir. Burada HSR'nin uygulandığı bölümde çıkış/erişim rampası bulunmamaktadır. Buna ek olarak yol kullanıcıları genel olarak emniyet şeridi uygulamasının başlatılmasından memnun kalmış ve emniyet şeridinde sürüş konusunda kendilerini rahat hissetmiştir.
- **Fransa:** Fransa'da A4-A86 üzerinde yapılan bir çalışma, emniyet şeridi kullanımının referans duruma kıyasla 900 araç/saatlik bir kapasite artışı sağladığını göstermektedir.
- **İngiltere:** Yapılan verim analizi, önce ve sonra durumları arasında, trafik miktarında %6 ila %9 arasında önemli bir artış olduğunu göstermiştir. Bu büyümeye rağmen, kuzey ve güney yönlerine göre ortalama yolculuk süreleri sırasıyla %24 ve %9 azalmıştır. Gözlenen kapasite, ortalama %7-9 oranında artmıştır. Yolculuk sürelerinin değişkenliği ise sırasıyla %22 ve %32 oranında azalmıştır. HSR ve VMS olmadan önceki duruma kıyasla M42 sert banket pilot uygulamasında meydana gelen ortalama yaralanmalı kaza sayısı, ayda 5.08'den 1.83'e düşmüştür.

- **İsviçre:** HSR'nin uygulanmasına ilişkin genel deneyim olumludur. A1 otoyolunun 3,7 km'lik pilot bölümünde 2018 yılında yapılan bir değerlendirme çalışmasında trafik kazası ve trafik olaylarında azalma gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, hâlâ potansiyel çakışma alanları (şerit değişiklikleri) bulunmaktadır. Değerlendirme sonuçları, ayrıca aktif emniyet şeridi sisteminin uygulanmasının trafik koşulları açısından; özellikle akışta artış, hızların dengelenmesi, trafik sıkışıklığında azalma ve daha kısa yolculuk süreleri ile önemli avantajlar sunduğunu göstermiştir.
- **Avusturya:** İlk pilot çalışma Temmuz 2018'de Viyana'da başlatılmış ve yol çalışmaları nedeniyle kapatılmıştır. Genel çalışmalar mevcut olmayıp doğru bir değerlendirme için daha büyük HSR uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

4.1.1.2 Yön Değiştirebilen Şerit Sistemleri

Yön değiştirebilen ya da tersine çevrilebilir (RL) yol çalışmaları, 70 yılı aşkın bir süredir trafik sıkışıklığının etkilerini azaltmak ve karayolu performansını optimize etmek için dünya çapında kullanılmaktadır (Wolshon & Lambert, 2006). Kentsel ana arter yollarda, ters yönde şeritlerin akış yönü değiştirme yöntemi, sinyal zamanlaması, bobin sensörleri ve baş üstü değiştirilebilir şerit kullanım sinyallerine dayalı olarak, RL değiştirme manevralarının güvenliğinin artırılacağı ve periyodik akış yönü değişiminin daha yumuşak olacağı beklentisiyle ortaya çıkmıştır (Li vd., 2013).

Yön değiştirebilen yollar; en yoğun ulaşım dönemleriyle ilişkili düzensiz yönlü trafiğin hareketi, acil durum tahliyeleri, karayolu inşaatı çalışma bölgeleri ile diğer büyük toplantılar ve etkinlikler de dahil olmak üzere çeşitli ihtiyaçları karşılamak için birçok farklı kontrol yöntemi kullanarak çeşitli karayolu türlerinde uygulanan stratejilerdendir. Bu yaklaşımın uzun ve zengin geçmişine rağmen, operasyonel özellikleri hakkında nispeten az şey bilinmekte olup planlanması, tasarımı ve işletilmesine rehberlik edecek sınırlı sayıda kılavuz ve standart bulunmaktadır (Guebert, 2010; Lambert & Wolshon, 2010; Wolshon & Lambert, 2006). Örneğin, bir RL'nin kapasitesi kimileri tarafından normal bir şeridin kapasitesine eşit olarak tahmin edilirken diğerleri tarafından bu değerin yarısı olduğu teorize edilmektedir. RL'nin performansına ilişkin doğru tahminler olmadan, değiştirilebilir yolların faydalarını güvenle ölçmek veya trafik simülasyonu kullanarak modellemek mümkün değildir (Lambert & Wolshon, 2010). Birçok aktif şerit yönetimi planında merkezi bir strateji, proje hareketliliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini karşılamaya devam ederken mevcut altyapının kullanımını en üst düzeye çıkarmanın daha ekonomik bir yolu olarak yön değiştirebilir şeritler veya yolların kullanıldığı görülmektedir.

RL sistemleri genellikle bir yol kapasitesini önemli ölçüde artırabilmeleri ve aynı zamanda karayolu veya trafik kontrol altyapısına çok az yatırım gerektirmeleri nedeniyle cazip bir konsept olabilmektedir. Temel amaçları, trafik akışının yönünü ters yöne çevirerek bir seyahat yönünde yeterince kullanılmayan şeritlerden veya banketlerden yararlanmak ve böylece karayolunun toplam kapasitesini artırmaktır. RL sisteminin temel uygulama konsepti basit olsa da işletilmesi karmaşık olabilmektedir. Doğru bir şekilde tasarlanmadığı ve yönetilmediği takdirde, RL akış tesisleri, sürücüler için kafa karıştırıcı olma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, bazı ulaştırma uzmanları tarafından genellikle çok riskli olarak görülmektedir. Birçok potansiyel RL yol kullanıcısı, bu tür uygulamaların henüz kanıtlanmamış yönlerinin olması sebebiyle kullanmakta isteksiz davranabilmektedir (Wolshon & Lambert, 2006) .

Kentsel trafik akışı, zaman ve mekân boyutlarında haritalandırıldığında, iki temel özelliği bulunmaktadır. Bazı yollarda zamansal asimetrisinin meydana gelmesi, bu temel özelliklerin ilkidir. Yol ağının yoğun ve yoğun olmayan dönemleri arasında trafik akışında oluşan büyük fark bu durum için örnek verilebilmektedir. İkincisi ise alt bölgelerin farklı işlevleri ve yolların birbirinden farklı hiyerarşileri nedeniyle ortaya çıkan mekânsal asimetri olup sabah veya akşam yoğun saatlerde, iki yöndeki trafik akışlarının asimetrik olduğu bazı yollar mevcuttur. Bu durum, yoğun saatlerde bir yönde yetersiz, diğer yönde ise fazla arzın oluşmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle bu şeritlerin temel amacı potansiyel talebin erişilebilir olmasını sağlamaktır. Genel ağ tasarımıyla karşılaştırıldığında, RL ağ yapısının esnek işleyiş, hızlı geri dönüş, düşük maliyet ve ilave arazi kullanımına ihtiyaç olmaması gibi avantajları bulunmaktadır. Bir yol ağındaki RL sistemlerinin sahip olduğu etkili bir strateji, sadece potansiyel kaynaklardan ve mevcut altyapılardan tam olarak faydalanmakla kalmayarak aynı zamanda sürüş kararları ve yol planlaması için verimli bilgiler de sağlamaktadır (Di & Yang, 2020).

RL uygulamalarında, trafik kazalarının meydana geldiği durumlar da gözlenmektedir. Yön değiştirilebilir işleyişle ilgili en yaygın kaza tipi, sola dönüş kaynaklı olanlardır. Bu şeritlerin zirve döneminde sola dönüşleri yasaklayacak şekilde düzenlenmesi ile daha olumlu sonuçlar alınabilmektedir. Kavşaklardaki şerit kontrol işaretleri ve trafik sinyalleri arasındaki karmaşanın, kazalara neden olmaması gerekmektedir. Bu kapsamda, RL tesislerinde; bu tür işaretleyicilerin, yatay ve dikey kavislerin, trafik sinyalleriyle aynı sürücü görüş hattında olmayacak şekilde ve trafik sinyal göstergeleriyle karıştırılmayacak şekilde, kavşaklardan yeterli uzaklığa yerleştirilmesi gerekmektedir (Upchurch, 1975).

Kent içi ulaşımında, trafiğin yoğun olduğu saatlerde, birçok cadde ve sokak, kapasitesinde veya kapasitesine yakın olarak çalışmaktadır. Bu da düşük hızlarda zorunlu akışa ve aşağı yöndeki

kısıtlamalardan kaynaklanan araç kuyruklarına neden olabilmektedir. Bu durum için çözüm olarak görülen yöntemlerden biri olan RL sisteminin özgün bir özelliği, tersine çevrilebilir trafik akış süresi boyunca sola dönüşlere izin verebilmesidir. Bu durum sola dönüş ışıklarının konumlarının değiştirilmesi ve sinyal göstergelerinin trafik akışını kesintiye uğratmadan, çalışma sırasında kaydırılması gerektiği anlamına gelmektedir (Agent & Clark, 1980).

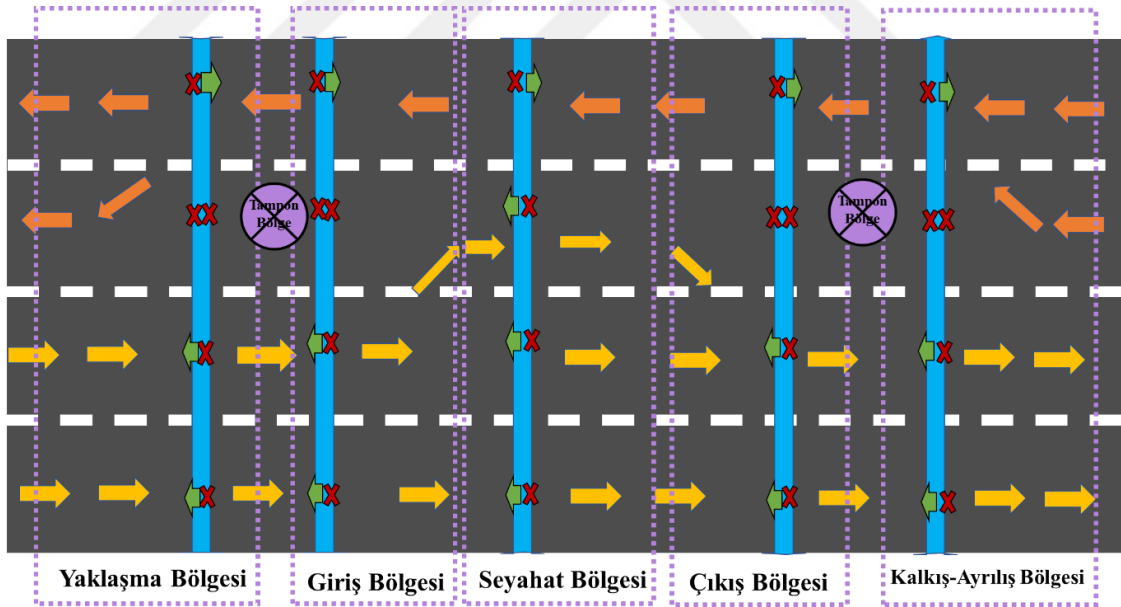
Bir RL sisteminin uygulanmasını tasarlamak ve değerlendirmek amacıyla Synchro yazılımı kullanılarak uygulama ve simülasyon yoluyla gerçek trafik koşullarından toplanan verilerin analizini yapan bir çalışmanın sonuçları, tamamlayıcı çözümlerin benimsenmesi durumunda, RL uygulamasının trafik yoğunluğunun azaltılmasına yardımcı olabileceğini göstermektedir. Bu yaklaşım, trafik akışını optimize etmek için herhangi bir bilimsel analiz ve tasarım yaklaşımında başarıyla uygulanabilmektedir (Lobonț & Pinzariu, 2019).

Geçici olarak uygulanan RL'ler, bir şeridin trafik yönünü ayrımlar kurarak veya manuel komutlar kullanarak geçici olarak değiştiren bir tür trafik organizasyonudur. Şeritler, genellikle trafik durumunun karmaşıklık düzeyine göre uygulanmakta ve sinyal veya işaretleme sistemi ya da normal bir RL'nin tipik olarak sahip olduğu diğer yardımcı tesisler olmadan kurulmaktadır. Bu tür bir trafik düzenleme yöntemi için uygulama adımları; (i) şerit boşaltma, (ii) yön değiştirme ve (iii) trafik denetimi, (iv) yol ayırım tesislerinin kaldırılması ve (v) özgün trafiğin sürdürülmesi bölümlerinden oluşmaktadır. Geçici RL'ler; çeşitli trafik çakışmaları, düşük işletme verimliliği ve düşük şerit kullanım oranı gibi sorunlara yol açabilmektedir. Bu sorunlar, normal düzenli bir RL yardımıyla giderilebilmektedir. Geçici bir RL'de meydana gelen trafik çakışmalarının miktarı, normal bir şeritte meydana gelenden daha fazla olabilmektedir. Trafik akışı, yoğunluğu ve geçici RL'deki çakışmalar arasında ölçülebilir bir ilişki bulunmaktadır (Cao vd., 2014).

RL planlama, tasarım ve yönetim uygulamaları konusunda, kapsamlı belgelere duyulan ihtiyacın farkındalığı ile ABD ulaşım araştırmaları kurumu tarafından dönüştürülebilir yollar ve şeritlerin sentezi (Transportation Research Board, 2004) ve yönetilen şeritlerin uygulama yönergeleri (Transportation Research Board, 2016) ile Federal Karayolu İdaresi (FHWA-Federal Highway Administration) ve Teksas Ulaştırma Bakanlığı tarafından yönetilen şeritler el kitabı (Kuhn vd., 2005) gibi kılavuzlar yayınlanmıştır. Ayrıca RL sistemlerine ilişkin farkındalığı artırmak ve sistemler arasında tutarlılığı sağlamak amacıyla RL sistemlerinin planlanması, tasarımı, işletilmesi ve değerlendirilmesine yönelik bir dizi kılavuz ilke ve dikkate alınması gereken hususlar, Kanada Ulaştırma Bakanlığı tarafından sunulmuştur. Bu doküman, RL sistemlerine ilişkin kapsamlı bir kılavuzun bulunmadığının bilincinde olarak Kuzey Amerika'da ve uluslararası alanda RL sistemlerine ilişkin mevcut uygulamaları araştırmak, sunmak ve bu

sistemler için bir dizi ulusal yönerge oluşturmak amacıyla başlatılan çalışmanın bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. RL sistemlerinin genellikle (i) yaklaşma, (ii) giriş, (iii) seyahat, (iv) çıkış ve (v) ayrılma şeklinde, Şekil 4-7’de gösterilen beş bölgeden oluştuğu kabul edilmekte olup RL sistemi ile yapılandırılmış bir yolun temel fiziksel unsurları, aşağıdaki hususları içermektedir (Guebert, 2010):

- Toplam uzunluğu, enine kesiti, yatay ve dikey hizalaması, ara giriş ve çıkış noktaları, geçiş şeritlerinin sayısı, yardımcı şeritlerin varlığı, bağlantı yolları ve kavşaklar, araç yolları, yaya geçitleri ve gelen ve giden geçişlerin konfigürasyonu ve uzunluğu gibi geometrik özellikler,
- Trafik kontrol sinyalleri, düzenleyici, uyarı ve bilgi işaretleri (hem statik hem de değişken mesaj özellikli olanlar), şerit kontrol sinyalleri, kaldırım işaretleri gibi RL sistemleriyle doğrudan ilgili trafik kontrol cihazları,
- Şeritlerin belirlenmesine, trafiğin yönlendirilip yönetilmesine yardımcı olan ve aynı zamanda yanlış yol manevralarını önleyen geçitler ve bariyerler,
- Yol aydınlatmaları.



Şekil 4-7: RL Sistemlerindeki farklı bölgeler (Guebert, 2010)

Geleceğin ulaşım araçları arasında yer alan otonom araçlar da şerit konfigürasyon değişiklikleri hakkında bilgilendiren araç-altyapı bağlantısı sağlandığında, otonom araçlar ile RL’ler sürdürülebilir bir ulaşım çözümü sunabilecektir. Bu bağlamda, araçlara ihtiyaç duyacakları verilerin, V2I teknolojisi tarafından sağlanması garanti edildiği sürece, otonom araç paradigması

tarafından, kentsel ortamlarda RL kullanımı desteklenmektedir (Conceição vd., 2020). Dünyanın farklı ülkelerindeki RL uygulamalarına bakıldığında otoyollar, arteriyel yollar, köprüler ve tüneller gibi kesintisiz akışlı tesislerde yaygın olarak görülmektedir. Ancak Çin’de, RL’nin en yaygın uygulaması kesintili akışlı tesisleri olan kentsel arter yollarda bulunmaktadır (Li vd., 2013).

4.1.1.3 Yüksek Doluluklu Şerit

Temel amacı kentsel yol ağında, trafik yoğunluğunun ve sıkışıklığının olumsuz etkilerini hafifletmek olan TDM önlemleri, günümüzde karmaşık ulaşım ve hareketlilik bulmacalarını çözmek için giderek daha fazla kullanılmaktadır. En temsili TDM önlemlerinden biri ise HOV şeridi uygulamalarıdır. HOV şeritler, yönetilen şeritlerin (ML-Management Line) en eski uygulamasıdır. Temel olarak HOV şeritleri, yalnızca iki veya daha fazla kişinin bulunduğu araçlara açık olan ücretsiz araç paylaşım şeritleridir.

HOV şeritlerin temel amaçları, seyahat etmenin yardımsever bir yolu olarak araç paylaşımını teşvik etmek ve ödüllendirmektir. Hava kirliliğini azaltmak ve bölgesel etkin ulaşım yönetimini mümkün kılmak diğer amaçlar arasındadır (Javid vd., 2021). Yönetilen şeritler ifadesi zaman içinde geniş bir özel şerit ve tesis seçenek listesini içerecek şekilde geliştirilmiştir. Bu listede HOT şeritler, sadece otobüslere özel şeritler ve yarı zamanlı banket kullanımı gibi uygulamalar mevcuttur.

HOV stratejisi, trafik ve otopark kullanımı çerçevesinde toplu taşıma araçları, kamyonetler ve paylaşımlı araçlar gibi yük ve yolcu taşıyan araçlara öncelik verilmesiyle ilgilidir. HOV önceliği birçok bölgesel TDM programının önemli bir bileşeni olmaktadır. Bireysel tek kişilik araçların aksine HOV şeritler, koşullara bağlı olarak iki ve üzerinde yolcu taşıyan araçlar içindir. HOV önceliği aşağıdaki durumları içermektedir (VTPI, 2019):

- HOV otoyol ve arter şeritleri.
- HOT şeritler.
- Otobüs yolları, yani transit otobüslere ayrılmış özel şeritler, genellikle yüksek kaliteli transit hizmeti sağlamak için başka özellikler de içermektedir.
- Kuyruk atlama şeritleri (diğer araçlar bir otoyola veya kavşağa girmek için sırada beklemek zorundadır, ancak HOV’lar doğrudan girebilir).
- HOV’lara öncelik veren kavşak kontrolleri.
- Geliştirilmiş otobüs durakları ve otobüs peronları gibi HOV lehine değişiklikler içeren eksiksiz sokak politikaları ve cadde düzenleme tasarımları.

- Yolculuk paylaşımı araçlarına sağlanan tercihli park yerleri veya park ücreti indirimleri gibi park yönetimi.
- HOV sürücülerine özel avantajlar.
- Toplu taşıma ve taksi kullanımı gibi daha yüksek değerli yolculukları ve daha az yer kaplayan modları desteklemek için kaldırım alanlarının ve yolcu indirme-bindirme izinlerinin kullanımına öncelik verilmesi.

HOV şeritleri veya araç paylaşım şeritleri, minimum sayıda insan taşıyan araçlarla (genellikle iki, üç veya dört) sınırlandırılmış otoyol veya karayolu şeritleri (Martin vd., 2005) olup sürücü dahil ikiden fazla kişi taşıyan araçlar için ayrılmış kontrollü şerit uygulamaları için örnektir (Javid vd., 2021). Otobüsler, minibüsler ve araç paylaşımli yolculuklar, bu şeritleri kullanmaktadır. Ayrıca bazı tesislerde; sadece sürücüsü olan motosikletler, doğası itibarıyla kendiliğinden düşük emisyonlu araçlar (ILEV-Inherently Low Emission Vehicles) ve geçiş ücreti ödeyen tek kişilik araçlar (SOV-Single Occupant Vehicles) HOV şeritlerini kullanabilmektedir. HOV şeritlerin en temel amacı, araç başına düşen ortalama kişi sayısını veya bir karayolunun insan taşıma kapasitesini artırmaktır. Bir HOV şeridi daha az araçla daha fazla insan taşıdığı için seyahat süresinden tasarruf sağlamakta, emisyonları ve sıkışıklığı azaltmaktadır. Böylece araç paylaşımı ve toplu taşıma kullanımı tercihinde artış olabilmektedir (Martin vd., 2005).

HOV şeritleri genellikle otoyolların sol şeritlerinde yer almakta olup yol boyunca işaretler ve kaldırım üzerinde boyalı elmas sembolleri ile tanımlanmaktadır. Bu şerit türü ilk olarak 1969 yılında ABD’de yalnızca otobüslerin geçebileceği bir şerit olarak kullanılmaya başlanmıştır ve şu anda dünyanın çeşitli ülkelerinde kullanılmaktadır. HOV şeritlerine erişim, bazen yolcu sayısına bakılmaksızın motosikletlere, transit otobüslere ve düşük emisyonlu araçlara da verilmektedir. HOV şeridinin kapasitesi aşıldığında; şerit, zaman içinde değişebilen bir ücret karşılığında bir kişi taşıyan araçlar tarafından kullanılabilen HOT şeride dönüştürülebilmektedir. HOV şeritlerinin nihai amacı ise ulaşım ekonomisini korumaktır. HOV şeritleri araç paylaşımını teşvik edebilmekte, bu da park için gerekli alandan ve kullanılan fosil yakıt miktarından tasarruf sağlayarak ulaşım sistemine fayda sağlayabilmektedir. Ayrıca, yolculuklarını paylaşmayı tercih eden kullanıcılar yakıt, araç bakımı ve park masraflarını bölüşebilmektedir (Javid vd., 2021).

Kısmi denge seviyesinde trafikte, bir otomobilde üç kişinin bulunması, üç tek sürücüye kıyasla otoyol sıkışıklığını net bir şekilde azaltmakta, karbon emisyonlarını düşürmekte ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. HOV şeritleri uygulaması, trafik sıkışıklığını azaltıp refahı artırırken ulaşım maliyetindeki düşüşün kentsel yayılmaya yol açması olasılığının sonuçları, konutlarda daha yüksek enerji kullanımı ve daha büyük bir karbon ayak izi ortaya çıkması şeklindedir. Genel olarak

HOV şerit politikasının toplam enerji tüketimi ve karbon emisyonları üzerinde çok az etkisi bulunduğu, bunun genel denge etkilerinin, kentsel bir politikanın kısmi denge etkilerini tersine çevirdiği klasik bir vaka olduğu söylenebilir. Buna karşılık, benzin vergisi politikası daha az kentsel yayılmaya yol açmakta, ancak enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını azaltmada daha az etkili olmaktadır (Zhao, 2018).

Yüksek doluluk oranına sahip araçların ayrı bir geçiş hakkına sahip olması ve böylece trafik sıkışıklığı nedeniyle gecikmeye maruz kalmaması geçiş üstünlüğü anlamına gelmektedir. Geçiş üstünlüğü işlemi ayrı bir geçiş hakkının verilmesi, sinyalize kavşaklarda transit araçlara öncelik tanınması, kademeli olarak ayrılmış kavşakların oluşturulması ve hatların yeraltına (metrolar) ya da karayollarının üzerine (yükseltilmiş hatlar ve SkyTrain) yerleştirilmesi yoluyla gerçekleştirilebilir. Bu yöntemlerin hepsi etkili olabilirler ancak kullanıcılar tarafından yeraltı güzergâhları en az tercih edilen yöntem olmaktadır. Bunun en temel nedeni kullanıcıların istasyonlara yeraltından inmek zorunda olmaları ve seyahat ederken bir manzaraya sahip olmamasıdır. Tamamıyla kademeli olarak ayrılmış yeraltı ve yükseltilmiş sistemler genellikle daha hızlıdır. Ancak yüzey seviyesindeki sistemler istasyonlara inme/çıkma ihtiyacını ortadan kaldırarak yolculuk başına iki veya üç dakika kazandırabilir ve özellikle kısa yolculuklar için nispeten cazip olabilmektedir. Birçok toplu taşıma sistemi, seyahat hızını artırmak için bu özelliklerin bir kombinasyonunu kullanmaktadır. HOV tesisleri kendilerine özel tasarlanmış yeni yol kapasitesinin eklenmesiyle hayata geçirilebilir. Bazen mevcut şeritler “*şerit kullanma*” adı verilen HOV amaçlı kullanıma dönüştürülmektedir. HOV şeritleri işaretler, tabelalar, boyalı tampon veya fiziksel bariyerler kullanılarak normal trafikten ayrılabilir. HOV şeritleri günün 24 saati kullanılabileceği gibi sadece yoğun saatlerde tahsis edilebilir ve bazılarında tersine çevrilebilir şerit kullanılır. HOV programlarının en başarılı olduğu alan, toplu taşıma ve araç paylaşımı kullanımına yönelik diğer iyileştirme ve özendirmeleri de içeren entegre bir bölgesel ulaşım stratejisinin parçası olmasıdır (VTPI, 2019).

HOV şeritlerinin birçok avantajı bulunmaktadır. Daha az araçla daha fazla insan taşınmasını sağlayarak yeni otoyollara olan talebi azaltabilmektedir. HOV şeritleri, sıkışıklık ve kaza oranlarında azalma ortaya çıkarmasıyla zamandan tasarruf sağlarken yolculukların daha hızlı hale gelmesinde etkili olmaktadır. Başka bir ifadeyle, seyahat süreleri istikrarlı ve güvenilir hale gelmektedir. Ayrıca, trafikte ilerlemek yerine toplu yapılan yolculuklar sayesinde sürüş stresi de azaltılabilmektedir. Şeritler, kişisel araç kullanımının azalmasına yol açarak aşınma, yıpranma ve yakıt tüketimini azaltmaktadır. HOV şerit çözümlerinin teknikleri, tasarımları ve işletimleri yerel

ihtiyaçları ve koşulları karşılayacak şekilde uyarlanabilmekte olup esnek bir yapıya sahiptir (Martin vd., 2005).

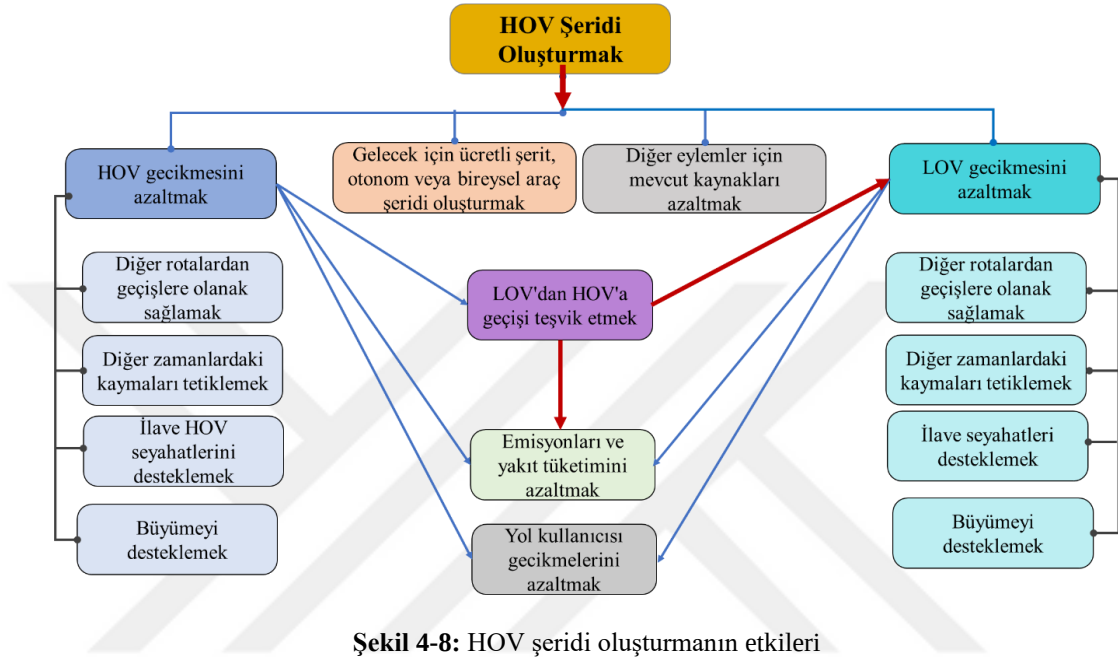
HOV şeridi, insanların bir veya iki kişilik otomobillerden paylaşımlı araçlara veya otobüslere geçmeleri için bir motivasyon sağlayarak bireysel araç yolculuklarını azaltabilmektedir. Böylece trafik sıkışıklığı ve hava kirliliği azalmaktadır. HOV şeridinin genel amaçlı şeride kıyasla HOV'lara geçişi motive etmesi ve darboğazda HOV'lara öncelik vermesi gibi benzersiz faydaları, genel amaçlı şeritte gecikmeler devam ettiği sürece ortaya çıkmayacaktır. Ancak genel amaçlı şeritlerde gecikme devam etse bile, aşağıdaki iki faktör mod değişiminin boyutunu sınırlamaktadır (Dahlgren, 1998):

- Araç içindeki yolculuk süresinin seyahat modu seçimi üzerinde zayıf bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Mod değişirme motivasyonu, HOV şeridi ile diğer otoyol şeritlerinde seyahat süreleri arasındaki farka bağlıdır. İnsanlar HOV'lara geçtikçe bu fark azalmaktadır. Bu nedenle, toplam trafik ne kadar artarsa artsın, seyahat süresi farkı ve HOV şeridine geçmeye motive olacak insanların oranı üzerinde bir üst sınır bulunmaktadır. Ayrıca, başlangıçtaki HOV oranı, HOV şeridi eklendikten sonra HOV'lara ayrılacak kapasite oranından büyükse, HOV şeridi genel amaçlı şeritler kadar yoğun ve sıkışık olacak ve seyahat süresi avantajı sunamayacaktır.

Bir HOV şeridi inşa etmenin birincil etkisi, kapasiteyi artırarak gecikmeyi azaltmaktır. Başlangıçtaki HOV oranı, otoyol kapasitesinin HOV şeridi oranına ne kadar yakın olursa bu etki o kadar hâkim olabilmektedir. HOV şeridi inşa edildikten sonra genel amaçlı şeritte önemli bir gecikme olmadığı sürece, yolcuların tek kişilik araçtan HOV'a geçmeleri için çok az neden bulunmaktadır. Önemli bir otoyol seyahat süresi avantajı olsa bile HOV'larla ilişkili rahatsızlıklar ve daha uzun otoyol dışı seyahat süresi nedeniyle geçiş yapmak için motive olacak kişi sayısı sınırlı olacaktır. HOV şeritleri genel amaçlı şeritlerine göre, ancak HOV şeridi ile genel amaçlı şeritler arasında önemli bir seyahat süresi farkı varsa ve HOV şeridi iyi kullanılıyorsa üstündür, bu da hem yüksek oranda HOV hem de yüksek trafik hacmi gerektirir (Zhao, 2018).

Bir HOV şeridi inşa etmenin birbiriyle ilişkili şekil 4-8'de yer alan çeşitli etkileri bulunmaktadır. En önemli etki ise mevcut HOV'ların yeni HOV şeridine aktarılmasıdır. Bu sayede genel amaçlı şeritlerdeki gecikmeler azaltılmakta, hatta tamamen ortadan kaldırılabilir. Genel amaçlı şeritlerde gecikmeler devam ettiği takdirde, bazı yol kullanıcıları HOV'lara geçerek genel amaçlı şeritlerdeki gecikmeleri daha da azaltmaktadır. Hem HOV'lar hem de HOV olmayan düşük doluluklu araç (LOV-Lower Occupancy Vehicle) için gecikmenin azalması, pik saatlerin

dışında seyahat eden bazı yol kullanıcılarının yolculuklarını pik saatlere kaydırmaları için motive edebilmektedir. Aynı zamanda kullanıcıları artık daha yavaş olmaları gereken diğer güzergahlara geçmeleri için de teşvik edebilmektedir. Daha önce gecikmeler nedeniyle seyahat etmek istemeyen kişilerin trafiğe çıkmasına neden olabilmektedir. Uzun vadede, gecikmelerin azaltılması, normalde olması gerekenden daha fazla gelişme ve yolculukla sonuçlanabilir (Dahlgren, 1998):



HOV şeritleri 1970'lerden bu yana trafik sıkışıklığını azaltmak için ortak bir politika aracı olmuştur. Ancak bunların etkinliği araştırmacılar, politika yapıcılar ve halk arasında tartışmalı bir konu olmayı sürdürmektedir. Spesifik olarak İsrail'de uygulamaya koyulan üç HOV şeridinden yararlanan bir çalışmaya göre, HOV şeritleri platforma yeni kullanıcılar getirdiğinden araç paylaşımı pazarının ölçeklendirilmesine ve dolayısıyla soğuk başlangıç sorununun hafifletilmesine katkıda bulunmakta olup aynı zamanda araç paylaşımı niyeti üzerinde olumlu bir etkisi bulunduğu gözlemlenmiştir (Giuliano vd., 1990):

HOV şeritlerinin en büyük dezavantajlarından biri “boş şerit sendromu” ya da HOV şeritlerinin yeterince kullanılmadığı algısıdır. HOV şeritleri araç başına daha fazla kişi taşıdığı için daha az sıkışık ve bu nedenle az kullanılıyor gibi görünmektedir. Öncelikle şerit kullanıcılarına fayda sağlar ve kullanıcıların genel trafik sıkışıklığını yönetmeleri gerekmez. Maksimum verimlilik için sürekli uygulama ve izlemeye ihtiyaç duyar. Ayrıca, trafik hızındaki farklılıklar, HOV giriş ve çıkış noktalarındaki sıkışıklık ve araçların HOV şeritlerine sık sık girip çıkması güvenlik tehlikeleri oluşturmaktadır (Martin vd., 2005).

Trafik akışı, şerit ayrımı ve işletme koşullarına göre kategorize edilebilen farklı HOV şerit türleri geliştirilmiştir. Tablo 4-3'te, farklı sınıflandırma temellerine dayanan HOV şerit türleri özetlenmektedir (Javid vd., 2021).

Tablo 4-3: HOV şerit türleri

Sınıflandırma temeli	Tipi	Tanımı
Trafik Akışı	Eş zamanlı akış şeridi	Diğer otoyol şeritlerinden ayrılmış veya ayrılmamış olabilen ve tipik olarak iç şeritte veya bankette bulunan genel operasyon şeritleriyle aynı yöndedir.
	Karşı akış şeridi	Yoğun yönde seyahat eden HOV kullanıcıları tarafından özel kullanım için belirlenmiştir ve hareketli bariyerlerle yoğun olmayan (veya ters) akıştan ayrılmıştır.
Ayırma	Ayrılmış şerit	Şerit, genel operasyon şeritlerinden fiziksel bariyerlerle ayrılmıştır ve tek yönde tersine çevrilebilir veya iki yönlü bir uygulama olabilir.
	Tampon-ayrılmış şerit	Herhangi bir fiziksel bariyerle genel amaçlı şeritlerden ayrılmaz, ancak kaldırım üzerinde işaretleme kullanılarak diğer şeritlerle bir tampon bölge oluşturulur.
	Ayrılmamış şerit	Şeritler aynı yönde ve genel amaçlı şeritlerin hemen bitişiğinde (solda veya sağda) çalışır. Normalde daha ucuzdur, kolay erişim ve daha fazla çakışma sağlar.
İşletme koşulları	Otobüs şeridi	Otobüs yolu şeridi genellikle yolcuların otobüse güvenli bir şekilde binip inebilmeleri için sağ yan şeritte yer alır. Metrobüs (BRT-Bus Rapid Transit) şeridi, çok yüksek bir hıza ulaşmak için belirli BRT istasyonu ile sol yan şeritte yer alır.
	HOT şeridi	HOV'lar için ücretsizdir, ancak tek sürücüler, trafik talebine göre değişen bir ücret karşılığında bu şeritleri kullanabilirler.
	2+ veya 3+ Şerit	2+ HOV şeridi en az iki yolcusu (sürücü dahil) olan araçlar tarafından kullanılabilir. 3+ HOV şeridi ise üç veya daha fazla yolcusu olan araçlar tarafından kullanılabilir.

HOT şeritler ise mevcut HOV şeritlerinin ücretli şeritlere dönüştürülmesini veya yeni HOT şeritlerinin inşa edilmesini içeren bir yöntemdir. Bu yöntem, bir HOV şeridi için belirlenmiş doluluk gereksinimlerini karşılamayan araçların geçiş ücreti ödeyerek şeride “*dahil olmalarını*” sağlamaktadır. Elektronik ücret toplama, otoyol hızlarında ücret toplanmasını sağlar ve geçiş ücretleri şeridin hız avantajını sürdürmek için uygun seviyelerde belirlenmektedir. HOT şeritleri, sıkışık şeritleri kullanmak istemeyen yol kullanıcıları için güvenilir, sıkışık olmayan ve zamandan tasarruf sağlayan bir alternatif sunmaktadır. Ayrıca bu şeritler, daha önce yeterince kullanılmayan HOV şeritlerinin kapasitesinin kullanımını da iyileştirebilmektedir. Bir HOT şeridi aynı zamanda yoğun şeritlerden yeterli miktarda trafik çekerek normal şeritlerdeki sıkışıklığı azaltabilmektedir (U.S. Department of Transportation, 2022).

HOT şeritlerin seyahatlere etkisi, kullanılan fiyatlandırma yapısına bağlıdır. Fiyatın çok düşük olması durumunda, tesiste trafik sıkışıklığı yaşanacak hem tek kişilik araç kullanıcıları hem de HOV kullanıcıları için performans düşecektir. Bunun sonucunda toplu taşıma kullanımı ve araç paylaşımı azalacaktır. Bu nedenle, genel ulaşım sistemi verimliliği açısından HOT tesislerin HOV performansını destekleyecek şekilde yönetilmesi önemlidir (VTPI, 2019).

4.1.1.3.1 Ülke uygulamaları

Dünyada geliştirilen ilk yönetilen şerit konseptleri arasında olan HOV'lar ilk olarak ABD'de ve daha sonra diğer ülkelerde uygulanmıştır (Gitelman & Doveh, 2023). ABD'de, Kuzey Virginia'dan Washington D.C.'ye uzanan Shirley Otoyolu (I-395) üzerinde sadece otobüslerin geçebileceği 1969 yılındaki şerit uygulaması, 1970 yılında New York-New Jersey Lincoln Tüneli'ne yaklaşımda yer alan ters akışlı otobüs şeridi ve 1973 yılında Los Angeles'taki El Monte Busway, ilk otoyol HOV uygulamalarını temsil etmektedir (Turnbull, 2005).

HOV şeritler, ABD'de 1960'ların sonlarından itibaren birkaç seçkin eyalet tarafından faaliyet gösteren ilk özel tesis türlerindendir. Zamanla, elektronik ücretlendirme sistemi teknolojisi geliştikçe bunlara HOT ve Ekspres Ücretli Geçiş Şeridi (ETL-Express Toll Lane) tesisleri katılmıştır. Ayrıca banketten giden otobüs (BOS-bus-on shoulder) şeritleri, sadece kamyon şeritleri (TLs-Truckonly Lanes), sadece otobüs şeritleri (BLs-Bus-only Lanes), dinamik yarı zamanlı banket kullanımı (D-PTSU-Dynamic Part-Time Shoulder Use) şeritleri ve statik yarı zamanlı banket kullanımı (S-PTSU) şeritleri dahil olmak üzere başka özel tesis türleri geliştirilmiştir. Ülke genelinde ücretli yollardan sonra en yaygın kullanımı olan ikinci özel şerit türü, 97 adet ve 2.872 mil ile HOV tesisleridir. Bunun 37 adedi Kaliforniya'da bulunmakta olup Arizona, Tennessee, Connecticut ve Nevada eyaletleri HOV şeritleri dışında başka herhangi bir özel tesis türüne sahip değildir. HOT tesisi bir HOV "plus" tesisi olarak tanımlanabilir. Özünde bir HOV tesisidir, ancak aynı zamanda daha az yolcu taşıyan araçların da geçiş ücreti ödeyerek yol tesisini kullanmasına izin vermektedir. İlk HOT şeritleri 1995 ve 1996 yıllarında Kaliforniya'da, sırasıyla Orange County'de SR-91 ve San Diego'da I-15 üzerinde geliştirilmiştir. Ülke genelinde 31 adet ve yaklaşık 1.142 mil HOT tesisi bulunmaktadır (Wood vd., 2021). Kaliforniya ile ilgili olarak hazırlanan HOV kullanım kılavuzu, HOV Tesisleri Bozulması Raporu ve Eylem Planları ile tüm HOV belgeleri, bağlantılar ve referanslara ilişkin uygulama örnekleri ayrıntılı ve şeffaf bir şekilde (Caltrans, 2024) kaynağından paylaşılmaktadır.

HOV şerit uygulama örnekleri, aynı zamanda Büyük Britanya, Hollanda, İspanya, Norveç ve Avustralya'da da bulunmaktadır (Gitelman & Doveh, 2023). Yani HOV şeritleri, trafik

sorunlarını çözmek ve daha büyük trafik kapasitesi ve daha yüksek verimlilik sağlamak için şu anda dünyanın dört bir yanındaki birçok ülkede uygulanmaktadır. HOV şeridi, Avrupa’da ilk olarak Hollanda-Amsterdam’da 1993’te uygulamaya koyulmuş, İspanya; Madrid’te halen kullanımda olan yön değiştirebilir bir HOV şeridini 1995 yılında uygulamış, Avusturya; 1998 yılında, bazı otobüs yollarını en az üç yolcusu olan araçlara açmış, Birleşik Krallık; ilk HOV tesisini 1998 yılında Leeds’de kullanıma sunmuştur (Schijns & Eng, 2006). Norveç’teki ilk HOV şeridi tesisi, 2001 yılında Trondheim şehrinde hizmete girmiştir (Simonsen & Sandelien, 2001). Güney Kore’de HOV şeritleri 1994 yılında uygulanmaya başlanmış (Kwon vd., 2005), Avustralya; transit şerit olarak da bilinen ilk HOV şeridini Şubat 1992’de Melbourne’da uygulamaya almış, İsrail; ilk HOV şeridini 2019 yılının ekim ayında etkinleştirmiş (Gitelman & Doveh, 2023) olup Çin ulaşımı için HOV henüz yeni bir kavramdır (Javid vd., 2021).

Türkiye’nin en kalabalık, tarihi ve turistik iş merkezi konumundaki metropollerinden biri olan İstanbul, yılın her döneminde, özellikle günün belirli saatlerinde trafik yoğunluğu problemi yaşamaktadır. Bu doğrultuda İstanbul’un iki sıkışıklık bölgesini inceleyen (Al-Shaybawee, 2017) çalışmasında, trafik performans değerlendirmesi yapılmıştır. Zirve saatlerde önemli sıkışıklık problemi olan Beşiktaş-Ortaköy yolu ile en sıkışık arterlerden biri olarak değerlendirilen Asya ve Avrupa’yı birbirine bağlayan 15 Temmuz Şehitler Köprüsü için 2011 İstanbul Ulaşım Ana Planı ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nden elde edilen bilgiler kullanılarak simülasyon ve modelleme tekniği ile oluşturulan metodoloji çerçevesinde, çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Çalışmada, HOV şerit uygulamasının genel kullanım şeritlerine göre seyahat hızı ve süresi gibi trafikle ilgili durumlarda iyileşme sağladığı, karbon emisyonu azalması gibi çevresel faydalar ve yakıt tüketiminin düşmesi gibi ekonomik avantajlar sunacağı şeklinde bulgulara ulaşılmıştır (Al-Shaybawee, 2017).

4.1.1.3.2 Çalışma Prensipleri ve Teknolojisi

HOV şeridi planlama sürecini; HOV şeritleri, HOV direkt bağlantısı, HOV rampaları ve yerel engeller gibi yardımcı tesislerin tasarımı oluşturmaktadır. Genel olarak tasarım hususlarının yatay duruş görüş mesafesi, durma kararı için görüş mesafesi ve dikey aralığı içeren otoyol yol tasarım kılavuzlarında yer alan temel ilkeleri karşılaması gerekmektedir. Diğer gereksinimler; drenaj, yapısal kesit ve şerit genişliğini içermektedir. Güvenlik, emniyet, verimlilik ve konforu sağlamak için duruma göre değerlendirilmesi gereken başka seçenekler de bulunmaktadır (Javid vd., 2021).

HOV tesislerinin düzgün işletilmesi için tabela sembollerinin, kaldırım işaretlemelerinin ve tasarım kriterlerinin standartlaştırılması gerekmektedir. Çok kültürlülük ve okuma yazma bilmeme gibi faktörler nedeniyle mümkün olduğunca harf tabanlı tabelalar yerine grafik tabelalara ihtiyaç duyulmaktadır. HOV için uluslararası kabul görmüş bir sembol olan ince bir elmas kullanılmaktadır. HOV şeridinin karma akış şeridinden yeterince ayırt edilememesi, şeridin uygun olmayan bir araç tarafından kötüye kullanılmasına yol açabilmektedir. Bunun yapılmaması, HOV şeritlerinin ilkelerine ve bunlarla ilişkili potansiyel faydalara saygının ve anlayışın kaybedilmesine, devam eden ihlallere ve yaptırım sorunlarına neden olacaktır. HOV şeridi işaretleri; sürücülere giriş yeri, doluluk gereksinimi, çalışma saatleri ve maliyet (HOT şeridi için) hakkında bilgi vermelidir. Buna ek olarak sürücüye kontrollü şerit tesisini kullanıp kullanmayacağına karar vermesi ve tesise güvenli bir şekilde erişebilmesi için yeterli zamanı sağlamalıdır (Javid vd., 2021). Teknoloji ilerledikçe ve geliştikçe, otomatik HOV şerit uygulama sistemlerine geçilebilir. Araçlardaki yolcu sayısını belirlemek için video analitiği kullanan araç yolcu algılama sistemleri, HOV tesis kurallarının uygulanmasında polis memurlarının rolünü üstlenebilmektedir.

HOV şeritleriyle ilgili teknolojiler, bu şeritlerin inşası dışında, esas olarak uygulanmasıyla ilgilidir. Genel olarak HOV'ların hem genel amaçlı hem de HOV şeritlerini kullanmalarına ve bunlar arasında nispeten serbest geçiş yapmalarına izin vermek gerekmektedir. Genel amaçlı şeritler sıkışık ve HOV nispeten serbest akışlı ise LOV sürücülerini için HOV şeridi düzenlemelerini ihlal etmek cazip olabilmektedir. Bu nedenle HOV şeridi operasyonunun başarısı, kritik bir şekilde uygun uygulamaya bağlıdır. HOV şeridi uygulaması, araç yolcularının sayısını gözlemleyerek bir HOV tesisini kullanma uygunluğunu belirlemeyi ve bunu ihlal edenleri cezalandırmayı içermektedir. Bu kapsamda yolcu gözlemlene teknolojileri ve HOV şeridi uygulaması yöntemi olarak AUS teknolojileri değerlendirilebilmektedir. Olası seçenekler arasında dijital kameralar, çoklu kamera video kayıt cihazları, kızılötesi radar, bilgisayarlı görü ve otomatik araç tanımlama gibi dış gözlem teknolojileri bulunmaktadır.

HOV şeridi, HOV kullanımını yaygınlaştırmayı amaçlayan nispeten basit bir pazarlama aracıdır. HOV şerit uygulamalarının verimli olabilmesi için uygun şekilde planlanması, tasarlanması ve işletilmesi gerekmektedir. Kuzey Amerika HOV şeritleri, aşağıda sıralanan akla gelebilecek her türlü konfigürasyonda uygulanmıştır (Schijns & Eng, 2006):

- Eşzamanlı akış, yön değiştirebilir veya karşı akış
- Yeni inşaat, genişletme, güçlendirme veya başka bir kullanımdan dönüştürme
- Bariyerle ayrılmış, boyalı tampon ayırma veya ayrılmamış

- üz veya kesikli şerit ayırma hattı
- Refüj kenarı veya dışı
- Sadece pik dönem veya günde 24 saat çalışma
- 2+, 3+, 4+, 6+ veya sadece otobüs kullanımı
- Direkt HOV rampaları ve otoyoldan otoyola bağlantılar
- Sınırlı veya sınırsız şerit girişi/çıkışı
- Kısa kuyruk atlamaları ve uzun koridorlar
- Ücretsiz erişim veya ücretli geçiş
- Araçlı veya araçsız otoparklar, park et devam et otoparkları, çevrim içi toplu taşıma durakları / istasyonları ve destekleyici programlar

4.1.2 Sıkışıklık Ücretlendirme

Sıkışıklık ücreti, özellikle uygulandığı kentsel bölgelerde sıkışıklığı ve kirliliği azaltmayı amaçlayan yol fiyatlandırma sisteminin bir örneğidir (Santos, 2005). Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesinin etkilerinin adil dağıtımıyla ilgili temel ilkeler, “*kullanan öder*” ve “*kirleten öder*” şeklinde ifade edilmektedir (Amelsfort & Brundell-Freij, 2018).

Trafik sıkışıklığı ücreti, genellikle çalışma saatleri ile sınırlı olmak üzere, kentsel bir alanda araç kullanımından alınan bir ücrettir. Geçiş ücretleri, mesafe veya zaman bazlı ücretler ve çevreyi kirleten araçlar için alınan ücretleri de içeren yol fiyatlandırma önlemleri kategorisine girmektedir. Yol fiyatlandırması, genellikle borçlanarak finanse edilen bir yolun maliyetini karşılamak için uygulanmaktadır. Ancak trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi trafik talebini etkilemeyi ve sıkışık zamanlarda sıkışık yolların kullanımını önlemeyi amaçlamaktadır. Birçok şehir tarafından bu uygulama incelenerek Avusturya-Graz, Viyana, Finlandiya-Helsinki örneklerinde olduğu gibi bazı çalışmalar, olumlu sonuçlar ortaya çıkarabileceğini göstermiş olmasına rağmen sadece aşağıdaki birkaç Avrupa şehri bu yöntemi, fiilen uygulamaya koymuştur (EPOMM, 2015):

- Durham, Birleşik Krallık: Küçük ölçekli trafik sıkışıklığı ücreti (2002)
- Londra, Birleşik Krallık: Trafik Sıkışıklığı Ücreti (2003) (Santos vd., 2008)
- Stockholm, İsveç: Trafik Sıkışıklığı Vergisi (2006)
- Valetta, Malta (2007)
- Milano, İtalya: C Bölgesi (2012), Kirlilik vergisi planı Ecopass’tan (2008) geliştirildi.
- Göteborg, İsveç (2013; devamı Eylül 2014’te reddedildi)

- Norveç’te gerçek bir trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi uygulaması bulunmamaktadır, ancak şehirlerdeki bazı yol ücretlendirme programları trafik sıkışıklığı ücretlendirmesiyle benzerlikler göstermektedir.

Sıkışıklık ücretlendirmesi trafik sıkışıklığıyla ilişkili kayıpları azaltmak için piyasanın gücünü kullanmanın bir yolu olarak değer fiyatlandırması olarak da adlandırılmaktadır. Ekonomistler arasında, trafik sıkışıklığı ücretlendirmesinin, trafik sıkışıklığını azaltmaya yönelik en uygulanabilir ve sürdürülebilir yaklaşım olduğu konusunda bir fikir birliği bulunmaktadır (U.S. Department of Transportation, 2022). Sıkışıklık ücretlendirmesi terimi Singapur, Londra veya Stockholm’de uygulandığı şekliyle yol kullanıcılarının, sıkışık şehir merkezleri için mesafe, alan veya şerit bazlı olarak ödeyecekleri kullanım ücretlerine ilişkin politikayı ifade etmektedir. Bu politika, ABD’de popüler olan ve yaygın kullanılan ücretle yönetilen şeritleri kapsamamaktadır.

Her yol kullanıcısı kendi çıkarına en uygun seyahat kararlarını verirken, bu kararların başkaları için de sonuçları bulunmaktadır. İnsanlar araç kullandıklarında, yolların zarar görmesine katkıda bulunmakta, zararlı kirleticiler, gürültü ve titreşim yaymakta ve başkaları için gecikmelere neden olabilmektedir. Bu hususlar göz önünde bulundurulduğunda, bir bireyin seyahat kararı diğerlerine maliyet yükleyebilmektedir. Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi, bu tür maliyetleri, her sürücünün kendisine yüklemenin bir yöntemi olarak değerlendirilmektedir (Amelsfort, 2015).

Seyahat tercihleri yapılırken bireyler tarafından, genellikle topluma yüklenen maliyetler göz ardı edilebilmektedir. Özel araç kullanımının maliyeti, ekonomik açıdan gerçek fiyatının altında hesaplanmaktadır. Emisyonlar, emniyet, güvenlik, gürültü, aşınma ve yıpranma gibi diğer maliyetler, genel olarak hesaba katılmamaktadır (Amelsfort & Brundell-Freij, 2018).

Genel olarak toplum tarafından sıkışıklık ücretlendirmenin kabul edilebilir olması; gelir, cinsiyet ve eğitim gibi sosyo-demografik özelliklerden çok az etkilenmektedir. Hizmetin ücretinin yüksek olması kabulü olumsuz etkileyebilmekteyken, zaman kaybının azalacak olması faktörü, kabul edilebilirliği nispeten artırabilmektedir. Bireylerin hizmet sunumu kabulünü etkileyen temel faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Hamilton, 2011):

- Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi uygulaması hakkındaki deneyimler, kabullenmeyle ilgili bir görüş oluşturabilmektedir.
- Resmi müdahaleden hoşlanılmaması, sıkışıklık ücretlendirmesine karşı çıkmada etkili olabilmektedir.
- Çevresel konularda daha yoğun hassasiyetleri olanlar uygulamayı destekleyebilmektedir.

- Algılanan zamansal değer ne kadar yüksekse, trafik sıkışıklığı ücretlendirmesinin kabulü de o kadar fazla olabilmektedir. Zamanın değer ölçüsü ne kadar yüksek olursa, yolcular ödenen ücret karşılığında o kadar fazla fayda elde edebilmektedir.
- Yolcular ne kadar çok bireysel araç kullanırsa, kabul düzeyi de o kadar düşük olabilmektedir.

Dünyadaki sınırlı deneyimlerin gösterdiği kadarıyla trafik sıkışıklığı ücretlendirme uygulamaları, araç talebini azaltmakta etkili ve uygulanabilirliği kolay olmaktadır. Gelişmekte olan şehirlerde; trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi için aşağıdaki hususlar önemli görünmektedir (Cracknell, 2000):

- Trafik sıkışıklığı artmaktadır ve trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi, şehrin sıkışık zamanlarını ve sıkışık bölgelerini hedefleyebilir.
- Yolcuların büyük çoğunluğu karayoluna dayalı toplu taşıma araçlarını kullanmaktadır. Bu araçlar sıkışıklık ücretlendirmesinden büyük ölçüde faydalanarak doğal destekçi olmalıdır.
- Sıkışıklık ücretlendirmesinden elde edilen gelirler, paralel toplu taşımada gerekli iyileştirmenin yapılmasını sağlamalıdır.

4.1.2.1 Endişeler

Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi tartışmalı bir konudur ve tüm uygulama süreçlerinde dirençle karşılaşması muhtemel olmuştur. Bu dirençler, sıkışıklık ücretlendirmesinin işe yaramayacağını ve ölçüm analizlerinin yetersizliğini sorgulayan iki argüman kategorisine ayrılabilir. Her iki argüman türü de yoğunlukla politika tasarım aşamasında ele alınması gereken, genellikle kısmen geçerliliği olan konular içermektedir. Sıkışıklık ücretlendirmesinin belirli bir yerel bağlamda işe yaramayacağına dair endişeler; adil olmadığı, vatandaşın mahremiyetine saygı duymadığı, ekonomiye zarar vereceği, sıkışıklık ve çevresel olumsuz etkilere yönelik iyileştirme hedeflerine ulaşamayacağı yönündedir. Bunun yanında öngörülen planlama tasarımının yeterli düzeyde olması ikincil argümanı çerçevesinde; ulaşım talebi üzerindeki etkilerini analiz etmek için kullanılan modelin hatalı ya da eksik olabileceği, bölge seçiminin doğru olmadığı ya da iyi tanımlanmadığı, sıkışıklık ücretlerin çok yüksek olduğu ve belirlenen teknolojinin maliyet, gizlilik ve kullanım kolaylığı gibi unsurları taşımadığı noktasında endişeler bulunabilmektedir (Amelsfort, 2015). Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi ile ilgili olarak adil olma kavramı, ücretlendirmeden kaynaklanan maliyet ve faydaların, nüfus üzerinde nasıl dağıtıldığını ifade etmekte olup bu faydaların nüfusa eşit dağıtılması mümkün olmayabilmektedir. Bir

ücretlendirme politikasının ani ve beklenmedik bir şekilde uygulanması ile kaynakların eşit dağıtılmaması gibi olasılıklar, halk tarafından adaletsiz olarak algılanabilmektedir (Amelsfort & Brundell-Freij, 2018). Toplu taşıma ve araç paylaşımı sistemi destekçileri, sıkışıklık ücretlendirmesinin toplu taşıma ve araç paylaşımını daha cazip hale getirmek için hem finansman hem de özendirici unsurlar oluşturma yeteneğini olumlu karşılamaktadır (U.S. Department of Transportation, 2022).

Sıkışık ücretlendirmesinin uygulanması neticesinde; idari ve sosyal maliyetler, eşitlik ya da adalet konuları, muhalefet ya da itirazlar ile trafiğin farklı alanlara yönlendirebilmesindeki çabalar gibi durumların olumsuz etkileri, ortaya çıkması muhtemel temel endişeler arasında yer almaktadır. Sıkışıklık ücretlendirmesi, sürücülere ilave maliyetler getirebilmekte, bu durum düşük gelirli için ekonomik bir yük anlamına gelmektedir. Alternatif ulaşım türlerine erişimi olmayan düşük gelirli ve farklı özellikleri olan toplumsal grupları orantısız bir şekilde etkileyebilmektedir. Uygulamanın idari ve resmi süreçleri karmaşıklık içerebileceği gibi ilave maliyetler de ortaya çıkarabilmektedir. Ayrıca toplumsal kabul görmemesi gibi bir olasılığın itirazlara sebep olması da muhtemeldir. Bunun yanında trafik sıkışıklığını başka bir yerleşim alanına taşıyabilme potansiyeli, yeni sorunların ortaya çıkması anlamına gelebilmektedir.

4.1.2.2 Faydalar

Trafik akışını yönetmek için küçük bir ücret planı uygulanması halinde, trafik sıkışıklığını ortadan kaldırabilmenin yanında, toplanan ücretlerin yeni otobüsler almak gibi farklı hizmetlerin yerine getirilmesinde kullanabilmesi de mümkündür (Amelsfort, 2015). Trafik sıkışıklığı ücretlendirme uygulamasının, trafik sıkışıklığını azaltma yönündeki ve diğer toplumsal faydalı etkileri, genellikle fiyat değişikliklerine verilen bireysel davranışsal tepkilere bağlı olabilmektedir (Amelsfort & Brundell-Freij, 2018). Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi, seyahat kararlarında toplumsal maliyetleri ortaya çıkarmak ve ulaşım sistemini daha verimli hale getirmek için etkili bir araçtır. Özetle trafik sıkışıklığını azaltma, hava kalitesini iyileştirme, gelir oluşturma ve alternatif ulaşım türlerinin kullanımını teşvik etme gibi temel faydalar içeren sıkışıklık ücretlendirmesinin etki kategorisi ve açıklamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Amelsfort, 2015):

- İlk olarak **trafik üzerindeki etkileri** için genel geçer bir kural bulunmadığının farkına varmak önemlidir. Londra, Stockholm ve Roma için veriler mevcut olduğunda, bazı yetkililer trafik sıkışıklığı ücretlendirmesinin trafik hacmini %20 oranında azaltabileceğini öne sürmektedir. Aslında, trafik hacimleri sistemin tasarımına bağlı olarak %10-30 aralığında azalabilmektedir. Ancak daha önemli göstergeler, seyahat sürelerindeki, seyahat

süresi değişkenliğindeki ve kat edilen araç kilometresinde azalma olmasıdır. Yol kapasitelerinin bisiklet veya toplu taşıma sistemlerine dönüştürülmesi gibi faydaları, seyahat süresindeki kazanım etkilerindendir.

- Trafik sıkışıklığı ücretlerinin desteklenmesinin temel gerekçelerinden biri emisyonların azaltılması ve daha sürdürülebilir bir ulaşım sisteminin oluşturulması gibi **çevresel etkilerdir**. Küresel ölçekte bir sorun olan iklim değişikliği ve küresel ısınmanın yanı sıra, toksik gazların salınımının erken yaşta can kayıpları gibi olumsuz sonuçları bulunmaktadır.
- Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesinin **trafik emniyeti ve güvenliği üzerindeki etkileri** ilk baştan itibaren net değildir. Hız veya hacim değişikliklerinin yol ağının hangi noktasında olduğuna bağlı olarak olumlu ya da olumsuz etkileri meydana gelebilmektedir. Roma’da bazı bireysel araç kullanıcıları, tercihlerini motosiklet kullanmak yönünde değiştirdiğinde, bu durum yol ağında daha yüksek kaza oranlarını ortaya çıkarmıştır. Bu yöntemi kullanan Londra ve Milano’da ise trafik emniyetinde iyileşmeler olduğu raporlanmıştır.
- Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesinin rasyonel temelinde **makro-ekonomik etkiler** yer almaktadır. Trafiğin etkinliğini ve verimliliğini artırarak ekonominin farklı alanlarında faydalar sağlamaktadır. Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesinin en görünür ve doğrudan etkileri, genellikle seyahat süresindeki azalmalar ve seyahat süresi güvenilirliğindeki iyileşmeler olmaktadır. Bunlar, işletmeler için maliyetlerin azalması ve yolcular için esnekliğin artması ile sonuçlanabilmektedir. Dolaylı ekonomik fayda ise hava kalitesindeki iyileşmeler daha düşük sağlık harcamalarına yol açabilmektedir.

Sıkışıklık ücretlendirme yönteminin, seyahat alternatiflerine olan talebi artırması ile toplu taşıma ve bisiklet gibi mikro hareketlilik altyapı türlerine yatırım yapılması ihtiyaç haline gelebilmektedir. Trafik akışının iyileşmesi açısından temel faydaları aşağıda sıralanmıştır (Amelsfort & Brundell-Freij, 2018):

- Talebi azaltarak darboğaz gecikmelerini kısıltacaktır.
- Darboğazlara yönelik talep (giriş) azaldığında, kuyruklar kısalmakta, bu da diğer yollarda ve diğer yönlerde ikincil sıkışıklığa neden olma riskini azaltmaktadır.
- Talep kapasite düşüşüne neden olmayacak şekilde planlanırsa, kuyruklar ve gecikmelerde azalma sağlanabilecektir.

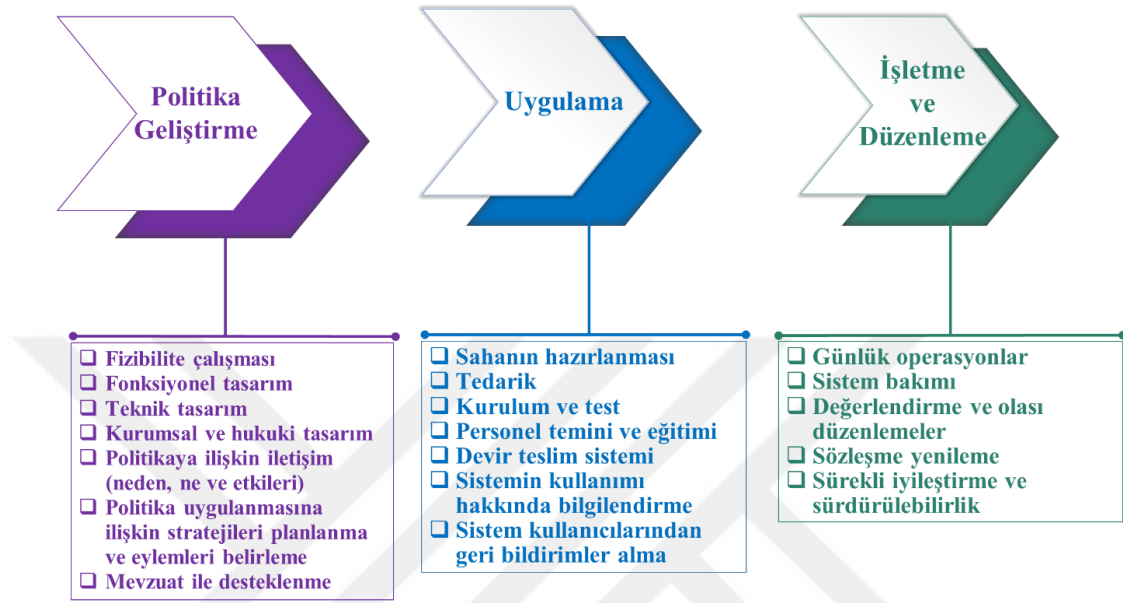
Seyahat sürelerindeki günlük değişim, kent sakinleri ve iş sektörü için trafik sıkışıklığının meydana getirdiği sorunların önemli bir parçasıdır. Bu noktada sıkışıklık ücretlendirme uygulamasının sürücüler, yolcular, işletmeler, kentler, lojistik süreçleri, toplu taşıma gibi unsurlar için temel faydaları ise aşağıdaki gibi özetlenebilir (U.S. Department of Transportation, 2022):

- Sıkışıklık ücretlendirme ödemesi yapan araç ve sürücüler için güvenilir bir yolculuk hızı ve seyahat süresi garantisi bulunmaktadır.
- Artan trafik sıkışıklığı, lojistik verimliliğini ve nihayetinde satıcıların ürünleri pazara sunma kabiliyetini tehdit etmektedir. Bu durum teslimatlarına zamanında yerine ulaşma konusundaki güveni azaltmaktadır. İşletmeler bunun neden olması ihtimali olan olumsuzlukları önlemek için “*tampon stok*” envanteri bulundurmak zorundadır. Bu da işletmeler için pahalıya mal olarak maliyetlerini artırabilmektedir. Serbest trafik akışının garanti altına alınması çerçevesinde sıkışıklık ücretlendirilme yönteminin kullanılması, ulaşım sistemine güvenilirliği sağlarken iş süreçleri ve ulaşım maliyetlerini azaltabilmektedir.
- Yolculuk sürelerinin öngörülebilirliğinin artması ve işletmeler için saat başına daha fazla teslimat yapılması, sürücü ve işletmeler için çeşitli faydalar sunmaktadır.
- Toplu taşıma yolcu sayısı ile hız ve hizmet güvenilirliğini artırabilme potansiyeli, toplu taşıma sağlayıcılar için maliyetleri düşürebilmektedir.
- Kentlerde ya da yerel yönetimlerde vergi artışları veya büyük sermaye harcamaları olmadan ulaşım hizmetlerinin kalitesi iyileştirilebilmektedir.
- Ulaşım finansmanı için ek gelirler sağlanacağı gibi acil durumlarda müdahale sürelerinin kısılması ile can kayıplarının azalması söz konusu olabilmektedir.
- Trafik akışının bozulmasından kaynaklanan araç verim kaybını önleyerek kamunun otoyol tesislerine yaptığı yatırımın geri dönüşünü en üst düzeye çıkarabilmektedir.
- Sürücülerin otoyol kullanımı için nerede ve ne kadar ödeme yapmaya istekli olduklarını ortaya çıkarabilme özelliği sayesinde, yeni ulaşım yatırımları için lokasyon seçimini kolaylaştırmaktadır.
- Yakıt tüketimini ve araç emisyonlarını azaltabilmekte, daha verimli arazi kullanım kararları alınmasını sağlamakta ve sivil katılım fırsatlarını genişleterek topluma bir bütün olarak fayda sunabilmektedir.

4.1.2.3 Politika geliştirme

Sıkışıklık ücretlendirme politika tasarım süreci; politika geliştirme, uygulama, işletme ve düzenleme şeklinde üç aşamadan oluşmaktadır. Uygulamayı hayata geçirmek için belirtilen her bir aşamada yapılacak çalışmalara ilişkin ayrıntılar ise seçilecek bölgelerin özelliklerine göre farklılıklar içerebilmekte olup temel olarak Şekil 4-9'daki gibi planlanabilmektedir (Amelsfort, 2015). Burada politika geliştirme, yapılacak çalışmanın sosyal, kültürel ve ekonomik olarak fırsat

ve risklerini ortaya koyacak fizibilite başlayıp stratejilerin belirlenerek mevzuat ile desteklenmeye kadar olan faaliyetleri içerebilmektedir. Sahanın hazırlanması ve kurulumlardan insan kaynağı yönetimine kadar olan süreçler uygulama aşamasında planlanmaktadır. Son aşama ise uygulamanın rutin faaliyetleri kapsamında ve geliştirilmesiyle ilgili olmaktadır.



Şekil 4-9: Trafik sıkışıklığının ücretlendirilmesine yönelik politika tasarım süreci

Ayrıca trafik sıkışıklığı ücretlendirme stratejileri geçiş ücreti içeren ve içermeyen olmak üzere Tablo 4-4'te yer alan iki farklı şekilde gruplandırılabilir (U.S. Department of Transportation, 2022).

Tablo 4-4: Sıkışıklık ücretlendirme geçiş ücreti durumuna göre ayrımı

Geçiş Ücretlerini İçeren Stratejiler	Geçiş Ücretlerini İçermeyen Stratejiler
1. HOT Şeritleri (Kısmi Tesis Fiyatlandırması)	1. Otopark Fiyatlandırması
2. Ekspres Ücretli Şeritler (Kısmi Tesis Fiyatlandırması)	2. Fiyatlı Araç Paylaşımı ve Dinamik Araç Paylaşımı
3. Karayolu Tesislerinin Tamamında Fiyatlandırma	3. Kullandığın Kadar Öde-Araç Kullanım Maliyetlerinin Değişken Hale Getirilmesi
4. Kordon ve Alan Fiyatlandırması dahil Bölge Bazlı Fiyatlandırma	
5. Bölge Çapında Fiyatlandırma	

4.1.2.4 Teknolojik unsurlar

Trafik sıkışıklığı ücretlendirme teknolojisi farklı bileşenlerden oluşmaktadır. Öncelikle aracın tespit edilmesi ve tanımlanması, ardından uygun ücretin hesaplanması ve araca yansıtılması,

araç sahibinin bilgilendirilmesi ve son olarak da ödemelerin yapılması şeklindedir. Tüm bu süreçler; kimlik tespiti yapmaması, ücret hesaplamalarında tahrifat yapılması ve ödeme yapılmaması gibi olumsuzlukları azaltmak için mevcut durumda olması gereken belgeleme ve denetim sistemlerini gerektirmektedir. Bu sistemler araç algılama ve tanımlama, otomatik plaka tanıma (ANPR-Automatic Number-Plate Recognition), DSRC veya radyo frekansı tanımlaması (RFID-Radio Frequency Identification), küresel navigasyon uydu sistemleri/hücreli ağlar (GNSS/CN) sistemleri tarafından desteklenmektedir (Amelsfort, 2015).

4.1.2.5 Ödeme kanalları

Trafik sıkışıklığı ücret düzenlemeleri ve fiyatlandırılması; mekân, zaman veya ulaşım modlarıyla ilgili temellere göre değişiklik gösterebilir (Santos, 2005). Araçlar tespit edildikten, tanımlandıktan ve ücretlendirildikten sonra, ücret ödemesinin yapılması gerekmektedir. En uygun ödeme kanalları, banka hesabı ya da kredi kartları aracılığıyla yapılan otomatik ödemelerdir. Genellikle sistemler çok sayıda ödeme seçeneğiyle başlamaktadır. Zaman içinde mümkün olduğunca çok sayıda kişinin otomatik ödeme planına geçmesine odaklanan daha basit sistemlere dönüştürülmektedir. Tespit, tanımlama, ücretlendirme ve ödeme süreçlerinin tamamının uygulanması gerekmektedir. Farklı uygulama adımlarının nasıl yürütüleceği, seçilen teknolojinin yanı sıra yerel yasal kısıtlamalara da bağlıdır. Ödeme yaptırımı için genellikle yasal bir çerçeveye ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca ücretlendirme kararlarına itiraz edilebilmesi için prosedürler olması ve bu itirazların mevcut kayıtlar çerçevesinde incelenebilmesi de gerekmektedir. Trafik sıkışıklığı ücretlendirme teknolojisinin bileşenleri, merkezi sistem tarafından bir arada muhafaza edilmektedir. Merkezi bir sistem için önemli konular, veri doğruluğu, güvenlik ve gizlilik (Amelsfort, 2015).

4.1.2.6 Ülke uygulamaları

Uygulanan tüm trafik sıkışıklığı ücretlendirme programları, trafik sıkışıklığı ve/veya emisyonlar üzerinde olumlu etkiler oluşturma amacını taşımaktadır. Çoğu trafik sıkışıklığı ücretlendirme uygulaması, pozitif bir gelir akışı sağlamakta ve bu gelir genellikle ilave ulaşım seçeneklerini finanse etmek için kullanılmaktadır. Kavramsal olarak cazip olsa bile uygulama sırasındaki sistem karmaşıklığı ve maliyetler nedeniyle uygulanan hiçbir program, zaman ve yer bakımından farklılaştırılmış mesafe bazlı ücretlendirmeyi tercih etmemektedir (Amelsfort & Brundell-Freij, 2018). Örnek ülke uygulamaları, aşağıda yer almaktadır (Amelsfort & Brundell-Freij, 2018):

- Dünyanın ilk trafik sıkışıklığı ücretlendirme uygulaması 1975 yılında, Singapur iş merkezi alanının trafik sıkışıklığını gidermek amacıyla Alan Ruhsatlandırması Uygulaması şeklinde yapılmıştır. Ücretlendirmenin ruhsat süresi boyunca sabit olarak belirlendiği uygulamada, kâğıt (belge) temelli bir politika benimsenmiştir. İlk uygulandığında, ücretlendirmenin etkileri kapsamlı bir şekilde raporlanarak trafik hacimlerinde %44'lük bir azalma olduğu görülmüştür. Singapur, 1998 yılında RFID kullanan elektronik bir uygulamaya geçerek ücretlendirmenin gün içinde belirli aralıklarla değiştirilebilmesi sağlanabilmiştir. Şehir merkezindeki park ücretlerinin iki katına çıkarılması, park et devam et uygulamasının hayata geçirilmesi ve banliyö otobüs hizmetlerinin iyileştirilmesi gibi tamamlayıcı uygulamalardan destek alınmıştır. Ancak park et devam et tercih edilmediği için uygulaması durdurulmuştur. Elektronik program uygulamaya koyulduğunda, trafik hacmi %10 ila %15 oranında azalmış olup bu durum; Alan Ruhsatı Programının sabit maliyetine kıyasla her girişin bir maliyeti olduğu için daha az tekrarlanan yolculukla açıklanabilmektedir.
- Londra'da trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi uygulaması, uzun yıllar süren tartışmaların ardından 2003'te yürürlüğe girmiştir. Uygulanan program, Singapur'daki orijinal programda olduğu gibi günlük bir ruhsata dayanmakta olup Otomatik Plaka Tanıma (ALPR-Automated License Plate Recognition) kameraları kullanılarak başlangıçtan itibaren sistemin elektronik olarak işletilmesi sağlanmıştır. Uygulandığı yaklaşık 22 km²'lik bölgenin trafik sıkışıklığını azaltmayı hedefleyen projeden toplanan tüm gelirler, Londra ulaşımının iyileştirilmesine yönelik yatırımlarda kullanılmaktadır. Londra'nın merkezindeki hava kalitesini iyileştirmek amacıyla 2008'den itibaren düşük emisyon bölgesi ücreti ve T-Charge (Zehirleme Ücreti) adı verilen bir önlem, tamamlayıcı ulaşım politikası olarak uygulanmaya başlanmıştır. Trafik hacimleri, bölgeye giren tüm araçlar için %16, ücretli tüm araçlar için ise %30 oranında azalmıştır. Ayrıca, otobüsler, taksiler ve bisikletler için yolculuk hız ve güvenilirliğinde iyileşme sağlanmıştır.
- Stockholm'de trafik sıkışıklığı vergisi, 1990'lardan itibaren politika olarak tartışılmış olup 2007 yılında kalıcı olarak uygulamaya koyulmuştur. Uygulama; iyileştirilmiş otobüs hizmetleri, ilave demiryolu kapasitesi ve park et devam et uygulamalarını içermektedir. Ücretlendirme alanı, Stockholm'ün şehir merkezinde yaklaşık 36 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Kullanılan teknoloji, vergiyi izlemek ve ücretlendirmek için ALPR kameralarını içermektedir. ALPR şarj noktalarında ayrıca transponderlerin gelecekte

kullanımı için DSRC kurulmuştur. Trafik akışında başlangıçta görülen %20 oranındaki genel düşüş, programın uygulanmaya başlamasından bu yana devam etmiştir.

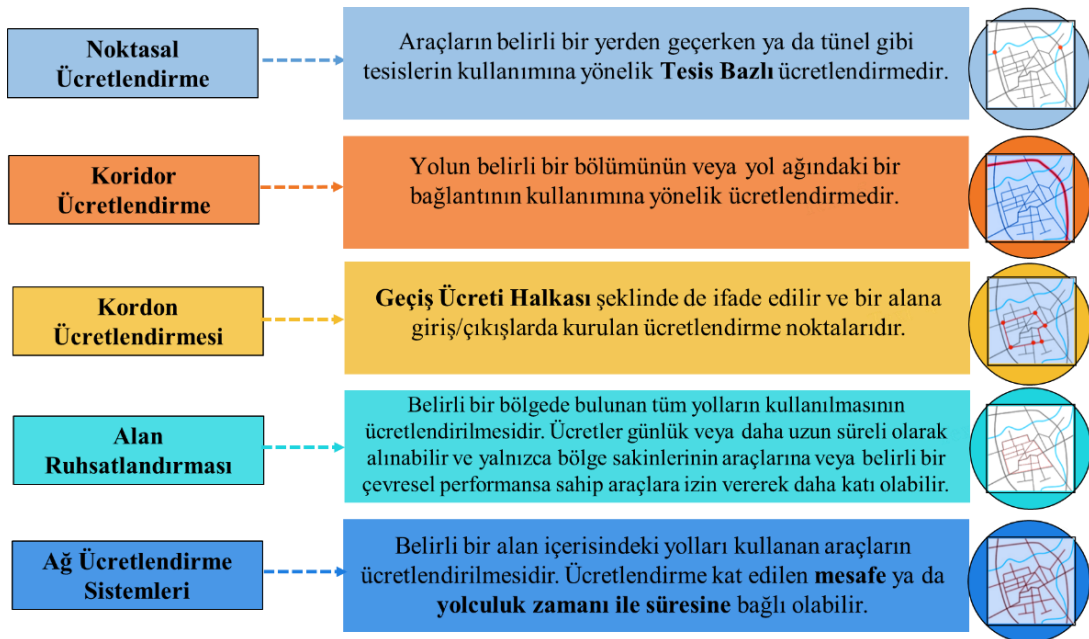
- Milano için C Bölgesi programı, sıklıkla mücadele kapsamında, 2012 yılında uygulanmaya başlanmıştır. Şehir merkezindeki otobüs hizmetlerinin iyileştirilmesi, programın bir parçası olmuştur. Trafik akışında genel olarak tüm araçlar için %34'lük ve çevreyi en çok kirletenler için %49'luk bir azalma gözlenmiştir.
- Göteborg'daki uygulama, birkaç otobüs hattının iyileştirilmesiyle birlikte başlatılmıştır. Şehrin coğrafi yapısı Stockholm'den önemli ölçüde farklı olduğundan, ücretlendirme planı tasarımının başka bir bölgeye transferi mümkün olamamıştır. Trafik hacminin genel olarak kordon boyunca %10, Göteborg bölgesinde ise %2,5 araç-km azaldığı gözlenmiştir.
- New York Eyaleti, ABD'de türünün ilk örneği bir trafik sıklığı ücretlendirme programı Manhattan için 2007'de teklif edilmiştir. Bu programın geliştirme ve yürütme izni, kanun yapıcılar tarafından 2019 yılında verilmiş ancak henüz uygulamaya koyulmamıştır (Wikipedia, 2024).

Avrupa'da trafik sıklığı şehir merkezlerinde yoğunlaşma eğilimindeyken ABD'de otoyollarda ve yerel noktalarda yaygınlaşmış durumdadır. Bu durum, Avrupa'daki uygulamaların çoğunun kordon (Stockholm ve birkaç Norveç şehrinde) veya bölgesel (Londra'da) olmasına karşın, ABD, Kanada, Avustralya ve diğer çeşitli ülkelerdeki mevcut uygulamaların tamamının tesis bazlı olmasıyla sonuçlanmıştır. New York şehri dışında hiçbir ABD metropolünde, Londra'daki kadar ciddi bir trafik sıklığı yaşanmamaktadır. New York'ta merkeze yapılan yolculukların yaklaşık %40'ı bireysel araçlarla yapılırken Londra'da bu oran sadece %10'dur. Kentsel yayılma ve banliyöden banliyöye yolculuk ile yolculuk zinciri oluşturma yönünde devam eden eğilim, ABD'de toplu taşımanın araç kullanımına uygulanabilir bir alternatif olmasını zayıflatmaktadır. Bir diğer fark ise ABD'de ücretli güzergahların mevcudiyeti temel bir insan hakkı olarak görülmekte ve bunun da tüm alanlardan ziyade münferit tesislerin ücretlendirilmesi lehine bir durum oluşturmaları söz konusu olmaktadır. Belki de şaşırtıcı bir şekilde, eşitlik, ABD'de daha büyük bir endişe kaynağı durumundadır. Muhtemelen ABD'deki sürücülerin büyük bir kısmı Avrupa'dakilere göre daha düşük gelirli gruplardan oluşmaktadır. ABD'de, Londra ve Stockholm genellikle başarılı modeller olarak zikredilmesine rağmen, her iki şehirdeki uygulamalarda birtakım kusurlar bulunmaktadır. Stockholm'deki trafik sıklığı ücreti uygulaması, 2007 yılında kalıcı hale getirilmesinden bu yana etkisini büyük ölçüde kaybetmiştir. Londra'daki trafik sıklığı ücretlendirmesinin işletme maliyetleri yüksektir ve trafik sıklığı gecikmelerini azaltmadaki etkinliği, kapsamlı geçiş ücreti indirimleri ve muafiyetler ile yol alanının

otomobillerden uzaklaştırılması nedeniyle aşınmalara yol açmıştır. Bu gelişmeler, program tasarımının sürekli olarak değerlendirilmesi ve Singapur'un elektronik yol ücretlendirme sisteminde üç ayda bir uyguladığı gibi geçiş ücreti oranlarının periyodik olarak ayarlanması gerektiğine işaret etmektedir (Lindsey, 2008).

4.1.2.7 Ücretlendirme tasarımı yaklaşımları

Sıkışıklık ücretlendirmenin fonksiyonel türleri Şekil 4-10'da görülmektedir (Amelsfort & Brundell-Freij, 2018), (Harvey, 2000), (Al-Mawajdeh vd., 2023), (DAVeMoS, 2023). Burada sıkışıklık ücretlendirmenin beş türü görülmektedir. Araçların belirli bir yerden geçerken ya da tüneller gibi tesis bazlı kullanımları noktasal ücretlendirmedir. Yolun belirli bir bölümünün veya yol ağındaki bir bağlantının kullanımı ise koridor ücretlendirmesi olarak değerlendirilmektedir. Kordon ücretlendirmesi, geçiş ücreti halkası şeklinde de ifade edilmekte olup bir alan ya da bölgenin girişine veya çıkışına yerleştirilen ücretlendirme noktalarını ifade etmektedir. Belirli bir bölgede bulunan tüm yolların kullanılmasının ücretlendirilmesi alan ruhsatlandırma olarak adlandırılmaktadır. Bu uygulamada kullanım ücretleri günlük veya daha uzun süreli olarak alınabilmekte olup uygulama sadece bölge sakinlerinin araçlarına veya belirli bir çevresel performansa sahip araçlara kullanım izni vererek daha katı olabilmektedir. Belirli bir alandaki yolları kullanan araçların ücretlendirilmesi ağ ücretlendirme sistemi olarak ele alınmaktadır. Bu yöntemde ücretlendirme kat edilen mesafe ya da yolculuk zamanı ile süresine bağlı olabilir.



Şekil 4-10: Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi için temel tasarım yaklaşımları

Büyük Toronto Bölgesi boyunca uzanan yaklaşık 108 kilometrelik ücretli otoyol olan Kanada 407 ETR ve 2009 yılında trafiğe açılan Toronto Şehri'nin kuzeyindeki yeni I-15 Ekspres Şeritleri tesis bazlı sıklıkla ücretlendirme için örnek verilebilir. Coğrafyası ve trafik düzenine bağlı olarak Singapur, Londra, Stockholm, Bergen ve Trondheim şehirlerinde ücretlerin yoğunlukla günün saatini yansıtacak şekilde ayarlandığı, yoğun seyahat zamanlarında trafiği azaltmayı hedefleyen *alan bazlı sıklıkla ücretlendirme* uygulamasından faydalanılmaktadır. Kordon temelli geçiş ücreti ise bir kordon boyunca gelen yönde, giden yönde veya muhtemelen her iki yönde uygulanan özel bir alan, yani bölge bazlı ücretlendirme şekli olup bazıları sadece yoğun zamanlarda devreye alınmaktadır. Norveç kordon şerit uygulaması (DAVeMoS, 2023), ücretli geçiş hatları oluşturulan ilk çalışmalardan olmasına rağmen, asıl amacı sıklıkla ücretlendirmesinden ziyade gelir elde etmek olmuştur. *Mesafeye dayalı ücretlendirme*, yol ücretlendirmesinin en kapsamlı ve esnek biçimidir. Bu yöntemde genellikle yol kullanıcılarının kat ettikleri mesafeleri takip etmek için GPS kullanılmaktadır. Mesafe bazlı ücretlendirme Almanya ve Hollanda'da uygulanmaktadır (Al-Mawajdeh vd., 2023). Kordon şerit uygulaması Milano ve Durham tarafından da uygulanmaktadır (DAVeMoS, 2023).

Coğrafi sınırlar; bölge, kordon veya alan ile mesafe bazlı ücretlendirme olmak üzere iki şekilde olabilmektedir. Almanya'daki yük taşımacılığı geçiş ücreti, Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi (GNSS-Global Navigation Satellite System) mesafe bazlı ücretlendirmenin uygulandığı örneklerden bir tanesidir. Singapur, ABD, Belçika ve Almanya bireysel araçlar için mesafe bazlı ücretlendirmeyi araştırmaktadır, ancak sadece Singapur gerçek bir şehir sıklıkla ücretlendirme sistemine sahiptir. Diğer sistemlerin hedefleri ya Belçika ve Almanya'daki gibi yabancı araçlardan elde edilen gelirleri artırmak ya da ABD gibi finansman kaynağı olarak yakıt vergileri ortadan kaldırtıkça gelirleri artırmaktır (Amelsfort, 2015).

Sıklıkla ücretlendirmesinde, geçiş ücretleri genellikle günün saatlerine göre değişmekte ve elektronik ücret toplama teknolojisi kullanılarak otoyol hızlarında tahsil edilmektedir. Trafik serbestçe akmaktadır ve gişeler yoktur. Araçlar transpondır ya da "*alıcı-verici*" adı verilen ve baş üstü antenler tarafından okunan elektronik cihazlarla donatılmıştır. Farklı zaman dilimleri için geçiş ücretleri önceden belirlenebilir veya dinamik olarak ayarlanabilir. Yani, trafik akışında bir kesinti olmadan şeritlerin tamamen kullanılmasını sağlamak için birkaç dakikada bir artırılabilir veya azaltılabilir. Transpondır cihazı basitten son derece karmaşık cihazlara kadar çeşitlilik göstermektedir. Basit olanları, radyo frekans enerjisinden alınan gücü kullanarak baş üstü okuyuculara bir kimlik numarası sağlayabilen salt okunabilir cihazlardır. Daha karmaşık olanları ise pille çalışmaktadır, işlem gücüne ve belleğe sahiptir. Transpondır cihazları, kullanıcılardan

geçiş ücretlerinin toplanmasının bir yöntemidir ve çoğu kent içi banliyö ücretli yollarda, yoğun saatlerde geçiş ücretlerinin %70-80'i bu şekilde toplanmaktadır. Almanya'da otobanlarda kamyon geçiş ücretlerini toplamak için GPS'ten yararlanılmaktadır. ABD'de bu tür sistemlerin testlerinde, bir araç içi cihaz, araçtaki GPS ünitesi tarafından belirlenen konumuna göre yapılan ücretleri kaydetmektedir. Tüm konum ve ödeme bilgileri, araçta toplanmakta ve araç sahibi periyodik olarak ücretlerin özetini ödemelerle birlikte bir işlem merkezine yüklemektedir. Bu tür sistemlerin maliyetleri şu anda yüksektir. Ayrıca, geçiş ücreti toplama için yol kenarı ekipmanlarına duyulan ihtiyaç da azalmaktadır. Kameralar, çalışan bir transpondır veya GPS ünitesi olmayan araçların kimliğinin kaydını tutmak için önemli bir tamamlayıcıdır. Kameralar, geçiş ücreti ihlalcilerini caydırmak için kullanılabilir. Video geçiş ücreti olarak adlandırılan ücreti toplamak için kamera tabanlı bir sistem kullanılması, ek maliyetler içermektedir. Kameraların yetenekleri sürekli olarak geliştirilmektedir ve bazıları çok yakında ücretli geçiş operatörlerinin tamamen görüntülü ücretlendirmeye dayanabileceğine inanmaktadır (U.S. Department of Transportation, 2022).

4.1.2.8 Öneriler

Sıkışıklık ücretlendirmesi tasarımı için Tablo 4-5'te önerilere, ihtiyaçlara ve muhtemel sonuçlara yer verilmektedir (Amelsfort, 2015). Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesini uygulamaya koymayı düşünen dünyadaki şehir ve kasabalar için çıkarılması gereken temel ders, bu tür bir uygulamanın tamamlayıcı tedbirlerle birlikte yürütülmesi ve sürücülere otomobile karşı geçerli bir alternatif sunulması gerektiğidir (Santos, 2005).

Tablo 4-5: Sıkışıklık ücretlendirmesi önerileri, ihtiyaçlar ve muhtemel sonuçlar

Öneri	İhtiyaç	Muhtemel Sonuçlar
Etkilere odaklanılmalıdır.	Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesini gerçekten sıkışıklığı azaltmak için tasarlanmalı, gelirleri artırmakla ilgili olmamalıdır.	Tüm sıkışıklık ücretlendirme tasarımları iyi sonuçlar ortaya çıkarmayabilir, ulaşım sisteminin daha kötü işlemesine neden olması da mümkündür.
Planlama ve tasarım üzerine iyi çalışılmalıdır.	Trafik sıkışıklığı ücretlendirme politikasının tasarlanması, doğru ekipler ve uygun bir bütçe ile yürütülen bir süreç olmalıdır.	Politikacılar, uzmanlar ve teknik personel arasında ulaşım sistemini anlama ve uygun bir sıkışıklık ücretlendirme politikasını neyin oluşturacağını belirleme konusunda kendilerine aşırı güvenme eğilimleri bulunmaktadır.

Etkileri tahmin etmek için modeller kullanılmalıdır.	Alternatif politika çözümlerinin etkinliğini tahmin edebilecek ve karşılaştırabilecek bir aracın olması zorunlu olup hem politik hem de trafik açısından dengelerin sağlanması, döngüsel bir tasarım sürecine dahil edilmesi gereklidir. Burada karşılaştırmalı analizler kullanılmalıdır.	Modeller kesin ve tartışılmaz trafik rakamları vermekten ziyade karar vermeye yardımcı olacak araçlar olmalıdır.
Endişelere cevap vermeye hazır olunmalıdır.	Kabulü artırmak amacıyla halkın erkenden sürece dahil edilmesi için gerekli çalışmalar yapılmalıdır.	Bu çözümün seçim zamanı gibi dönemlerde uygulanması olumsuz izlenim oluşturabilir. Kabule yönelik karşı tepkileri çoğaltabilir.
Elde edilen gelirler ve toplanan paranın nasıl harcadığı şeffaf hale getirilmelidir.	Sürecin son derece şeffaf olması ve elde edilen gelirler ve bunların kamu yararına nasıl harcadığına ilişkin bilgilerin açıkça iletilmesi önemlidir.	Burada toplanan ücretlerin nakdi sermaye veya hükümet tarafından ele geçirilen bir para olarak düşülmesi muhtemeldir.
Alternatif seyahat seçeneklerine yatırım yapılmalıdır.	Toplu taşıma araçları ile park et devam et, bisiklet altyapısı, esnek çalışma saatleri, evden çalışma, paylaşımlı araç ve diğer uygulamalar katkı sağlayabilir. Uygun seyahat seçenekleri mevcut olduğunda, davranış değişikliği daha kolay sağlanabilir.	Uygun, seyahat seçeneklerinin bulunmama ihtimali vardır.
Fonksiyonel tasarımın teknolojik çözümleri yönlendirmesine olanak tanınmalıdır.	Fonksiyonel tasarım, alternatif çözümlerin etkilerini politika hedefleri ve kısıtlamalarıyla karşı karşıya getiren bir uzlaşma oluşturma çalışmasının sonucudur. Bu süreçte teknolojik unsurlar da göz önünde bulundurulmalıdır.	Başlangıç noktasının belirli bir teknolojik çözüm olmaması önemli olabilmektedir. Ürünlerini kent için tanımlayan teknoloji sağlayıcılar ya da kentin yenilikçiliğini isteyen bir yöneticinin belirli ürünlere odaklanmaması önemli olabilmektedir.
Politik riskin azaltılması için sonradan iptal edilebilecek yedekler oluşturulmalıdır.	Teknik sistemlerde yedekler oluşturulmasıyla arızalarla ilgili süreçlerdeki riskler azaltılmalıdır. Bu durum işletme maliyetleriyle ilgili hassas olunmasıyla ilgili de bir önlemdir.	Endişelere cevap verme konusunda başarılı olunması halinde trafik sıkışıklığı ücretlendirme önerisi politik riskler de içermemektedir.
Sistemin nasıl kullanılabileceği hakkında bilgilendirilme yapılmalıdır.	İnsanların sistemin nasıl kullanılabileceğini anlamaları önemlidir.	Muhtemelen nüfusun %80'i için nispeten kolaydır, ancak diğer %20'lik kısım da önemlidir.
Sağlam bir yasal çerçeveye sahip olunmalıdır.	Olumsuz ve yasa dışı uygulamaların önüne geçmek için mevzuat gerekli olabilmektedir.	Sürücülerin önemli bir kısmı ödeme yapmaz ve bu uygulama yapılmazsa, sistem güvenilirliğini yitirebilir.

Trafik sıkışıklığı fiyatlandırması, geçiş ücretlerinden önemli gelirler sağlayabilir. Elde edilen gelirlerin bir kısmı, ücret toplama ve trafik yönetim sistemlerinin işletilmesi için gerekli olacaktır. İşletme maliyetlerinin ödenmesinden sonra elde edilen net gelirler; karayolu tesislerinin genişletilmesi, toplu taşıma gibi tek başına araç kullanma alternatiflerinin desteklenmesi, geçiş ücreti indirimleri veya kredileri sağlanarak düşük gelirli bireyler üzerindeki etkilerin ele alınması

veya sürücülerin karayolları için ödediği yakıt vergileri, araç tescil ücretleri veya satış vergileri gibi diğer vergilerin azaltılması için kullanılabilir (U.S. Department of Transportation, 2022).

4.1.3 Düşük Emisyon Bölgesi

Düşük emisyon bölgeleri (LEZ-Low Emission Zones), trafik kirliliğinin kentsel çevre üzerindeki olumsuz etkisini azaltmaya yönelik bir mekanizma olup egzoz emisyonlarının belirli çevresel kriterleri karşılamak üzere katı bir biçimde düzenlendiği yerlerdir (Holnicki vd., 2023). LEZ, çevreyi kirleten araçların denetlendiği ve elektrikli bataryalı veya hidrojen yakıt hücreli araçlar gibi sadece sıfır emisyonlu araçların girmesine izin verilen coğrafi alanlardır. Bu denetim, daha yüksek emisyonu sahip araçların bölgeye giremeyeceği anlamına gelmektedir. Bazı LEZ uygulamalarında, yüksek emisyonlu araçların ödeme yaparak bölgeye girmeleri mümkün olabilmektedir. Faaliyette olan, hazırlanmakta olan ya da planlanmakta olan LEZ'lerin sayısı giderek artmaktadır. Bazı şarj edilebilir hibrit araçların coğrafi sınırlamayla birlikte geçici bir süre için LEZ'e girişine izin verilebilmektedir. Farklı ülkelerde LEZ'ler için Şekil 4-11'deki ifadeler de kullanılmaktadır (Urban Access Regulations in Europe, 2024).

Clean Air Zones Temiz Hava Bölgeleri İngiltere 	Milieu zones Çevre Bölgeleri Hollanda 	Umweltzonen Düşük emisyon bölgeleri Almanya 	
Miljøzone Çevre Bölgesi Danimarka 	Miljözon Çevre Bölgesi İsveç 	Lavutslippssone Düşük Emisyon Bölgesi Norveç 	Zona a Traffico Limitato Ambiente Trafik Sınırlı Çevresel Bölge İtalya 
Lage-emissiezone Düşük Emisyon Bölgesi Belçika 	Alacsony Kibocsátási Övezet Düşük Emisyon Bölgesi Macaristan 	Zone à Circulation Restreinte Trafik Sınırlı Fransa 	

Şekil 4-11: Ülkelere göre LEZ ifadeleri

LEZ, çevreyi en çok kirleten belirli araç türlerinin belirlenmiş bir bölgeye girişini kısıtlamak suretiyle kentsel alanlarda hava kalitesini iyileştirmek için kullanılan politikalardan biridir (Cruz & Montenon, 2016; Morfeld vd., 2014; Pasquier & Andre, 2017; Tomorrow World Today, 2022). Genellikle şehirler ile büyük kasabalarda bulunan ve çevreyi en çok kirleten, nispeten daha eski araçların kullanımına yönelik çeşitli kısıtlamalar ve maddi yaptırımlar getiren coğrafi alanlar LEZ olarak tanımlanmaktadır. LEZ'ler hava kalitesini iyileştirmek için alınabilecek en etkili önlemlerden biri olarak kabul edilebilmektedir (DieselNet, 2015). LEZ bölgelerine yüksek emisyonlu araçların girmesine ilişkin bir yasaklama uygulanmamakta olup bunun yerine ödenmemesi durumunda yüksek mali cezalara veya bazı bölgelerde lisansların nihai olarak askıya alınmasına neden olabilecek ücret uygulamaları bulunmaktadır (Tomorrow World Today, 2022). LEZ'in farklı birçok kaynakta, temelde aynı şekilde tarif edildiği gözlemlenmektedir. Buna göre, emisyon yayan araçların kullanımının kısıtlandığı veya finansal bedellerle kullanımının tanımlandığı alanlar, LEZ bölgeleri olarak ifade edilebilmektedir. Bu bölgeler, şehirlerin hava kirliliği ve trafik sıkışıklığıyla mücadele etmeleri kapsamında kentsel hareketlilik çözümlerinin pilot uygulamasına olanak sağlayabilmektedir.

Araçlar tarafından yayılan temel çevresel kirleticiler; NO_x olarak bilinen azot oksitleri (azot monoksit/nitrik oksit ve azot dioksit), yaygın olarak SO_x (sülfür monoksit ve sülfür dioksit) olarak bilinen sülfür oksitleri, karbon monoksit ve genellikle PM olarak bilinen Partikül Maddelerden oluşmaktadır. Ayrıca benzen gibi uçucu organik bileşikler (VOC-Volatile Organic Compounds) ve benzo(a)piren gibi polisiklik aromatik hidrokarbonlar da araç emisyonlarına neden olabilmektedir (Ezeah vd., 2015). LEZ'ler genellikle kasaba ve şehirlerde ince partikül, nitrojen dioksit ve dolaylı olarak ozon emisyonları gibi kirleticilerden kaynaklanan olumsuz etkileri azaltmak için alınabilecek etkili önlemlerden birisidir (DieselNet, 2015; Ezeah vd., 2015; Tomorrow World Today, 2022). LEZ'lerden temel olarak beklenen, araçların sebep olduğu bu olumsuz etkileri azaltarak aşağıdaki konular için farkındalık oluşturmaktır (Chevron vd., 2022):

- Toplu taşıma kullanımının, özellikle de banliyö hizmetlerinin geliştirilmesi
- En fazla emisyonu neden olan unsurların yol ağından kaldırılmasıyla doğrudan emisyon kaynaklarına müdahale edilmesi
- LEZ'lerin dışındaki bölgelerde trafiğin artma riskinden kaçınılması
- Sosyal dışlanma riskinin farkında olunması ve bundan kaçınılması
- Destek aşamasından uygulamaya kadar genel bir yaklaşıma duyulan ihtiyacın göz önünde bulundurulması

- Hizmet alanı genelinde hareketliliğin yeniden tasarlanması ile şehirlerin daha emniyetli ve güvenli bir yapıya geçişinin desteklenmesi

LEZ'ler ulusal veya yerel planlar çerçevesinde uygulamaya koyulabilmektedir. Her planın avantajları ve dezavantajları bulunabilmektedir. Bir sistem yerel olarak geliştirilirse bölgenin belirli özelliklerine yoğunlaşarak daha çok dikkate alınabilmektedir. Ulusal sistemler ise karşılanması gereken kriterler hakkında netliği ve bilgiyi artıran yerel önlemlere bir bütünlük kazandırmanın bir yolunu sağlamaktadır. LEZ'ler, çevre ile ilgili olanlar ve taşımacılık ile ilgili olanlar olmak üzere iki tür politikanın birleşiminin bir sonucu olabilmekte ve bunlar ulusal ya da yerel bir otorite tarafından uygulanmalarına bağlı olarak farklı şekilde yönetilebilmektedir (Cruz & Montenon, 2016).

LEZ'in etkinliği açısından kritik öneme sahip konulardan biri LEZ'in tasarımıdır. LEZ'in etkinliği, trafik kaynaklı çevresel kirlilik seviyelerine yaptığı olumlu katkıya bağlıdır. Karayolu ulaşımının baskın bir kirlilik kaynağı olduğu şehirlerde LEZ'in potansiyel etkisi daha büyüktür. LEZ'in etkinliğini, ayrıca LEZ'in araç filosu yapısındaki değişimi etkileme kabiliyeti belirleyebilmektedir. Bunun gerçekleşmesi, aşağıdaki temel değişkenlere bağlı olabilmektedir (Transport & Environment, 2019):

- Kapsanan bölge
- Kurallardaki katılık düzeyi
- Politikaların uygulanması
- Kullanıcılara tanınan muafiyetler
- Politikaların netliği ve öngörülebilirliği

LEZ'ler iyi tasarlandığı takdirde, bireylerin desteğini alarak kabul görebilmektedir. Avrupa'da faaliyette olan LEZ'lerin emisyon, yoğunluk, sıkışıklık gibi konular üzerindeki ölçülen ya da hesaplanan etkilerinin değerlendirildiği, Düşük Emisyon Bölgesi Stratejilerinin Mekanizmalara Ayırıştırılması ve Hava Kirliliği Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi İçin Metodoloji (Pasquier & Andre, 2017) başlıklı çalışmada, aynı zamanda etki analizi yöntemleri ve zorlukları üzerine durulmaktadır. Burada LEZ'lerin hayata geçmeden önce ve sonrasındaki durumun karşılaştırılmasının, etki analizinde önemli bir unsur olduğu görülmektedir. LEZ'in uygulanmasıyla ortaya çıkan nedensellik zincirinin halkası olan mekanizmaların tümünün tanımlanması ise analiz için başka bir önemli unsur olarak görülmektedir. LEZ'lerin etki analizinin hesaplanmasında temel zorlukların ilki, LEZ'in etkisinin dış etkilere ve diğer politikaların etkisinden ayrılmasının gerekliliği olarak görülmektedir. LEZ uygulamanın hayata geçirilmesi ile

ortaya çıkan sonuçların LEZ uygulanmayan bir yerle kıyaslanması ihtiyacının karşılanması, diğer bir zorluk olabilmektedir (Pasquier & Andre, 2017).

Avrupa’da iyi tasarlanmış LEZ’lerin hava kalitesine yönelik gözlemlenen etkilerin analiz edildiği bilimsel literatür bulgularının bazılarının sonucuna göre uygulama sayesinde, havadaki kirlenmenin azaltılabildiğine ilişkin açık kanıtlar bulunmaktadır. Ancak mevcut veriler tüm kirleticiler için önemli azalmalar olmadığını da göstermektedir (Transport & Environment, 2019).

LEZ’ler ya kamera sistemleri ile ya da genellikle ön cama yapıştırılan etiketler yardımıyla manuel olarak takip edilmektedir. Bazı bölgelere girmeden önce kayıt yaptırmak ya da bir etiket satın almak gerekmektedir. Çoğu bölgede yerli araçların yanı sıra yabancı araçlar da etkilenmektedir. LEZ’lerde kullanılan donanım iyileştirme yani güçlendirme cihazlarının sertifikalandırılması gerekmektedir. Sertifikasyon genellikle ülke düzeyinde yapılmakta olup sertifikalı cihazların listesi ülkeler tarafından tutulmaktadır (DieselNet, 2015).

Avrupa şehirlerinde LEZ uygulaması, ilk kez 1996 yılında İsveç’te, emisyon kontrol kuralları içeren Çevre Bölgeleri olarak adlandırılan pilot uygulamalar ile başlamıştır. O zamandan bu yana birçok Avrupa kenti, araç emisyonlarından kaynaklanan hava kirliliğini yönetmek için bir strateji olarak LEZ’i uygulamaya koymuştur. Norveç, Danimarka, İsveç, Portekiz, Birleşik Krallık, Hollanda, Almanya ve İtalya gibi birçok ülkenin LEZ’i uyguladığı bilinmektedir (DieselNet, 2015; Ezeah vd., 2015; Tomorrow World Today, 2022).

Londra’da LEZ ilk kez 2008 yılında uygulamaya koyulmuş ve sadece ticari araçlar için uygulanmıştır (Tomorrow World Today, 2022). Londra’da, karayolu taşımacılığında kaynaklanan hava kirlenici emisyonları azaltmak ve AB hava kalitesi standartlarına uyumu sağlamak amacıyla dünyada bilinen en katı kuralları içeren emisyon bölgesi olan Ultra Düşük Emisyon Bölgesi (ULEZ-Ultra LEZ) 2019 yılında kurulmuştur (Ma vd., 2021; Tomorrow World Today, 2022). ULEZ, tüm ticari araçların Londra’nın merkezinde 7/24 hareket etmesini düzenlemektedir. Burada araçlar, ULEZ emisyon standartlarını karşılamalı ya da bölge içinde araç kullanmak için günlük olarak belirlenen ücret bedellerini ödemek durumundadır (Tomorrow World Today, 2022).

Berlin’de 2010 yılında uygulanan LEZ, coğrafi olarak diğer şehirlerdeki benzer sürüş kısıtlamalarından soyutlanmıştır ve bu da şehrin çevresindeki diğer LEZ’lerden kaynaklanan karmaşık etkileri engellemektedir. LEZ’in, Berlin şehir merkezinin büyük bir kısmını kapsayan geniş bir alana yayılması sebebiyle, bu bölge içinde yer alan ya da etrafındaki araçların sınırlamalardan kaçınmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca LEZ bölgesinin Berlin’i çevreleyen Brandenburg eyaletindeki banliyö kuşağında yer alması sayesinde, bireylere tren ve otomobillerin

yanı sıra bisiklet, otobüs, tramvay veya yürüme gibi çok daha geniş bir ulaşım türü yelpazesinden seçim yapabilmeleri için avantaj teşkil etmektedir (Aydın & Kürschner Rauck, 2023).

Paris'in merkezindeki bölgelere faaliyet halinde olduğu zamanlarda, yalnızca emisyon standartlarını karşılayan araçların girmesine izin verilmektedir. Londra'da kullanılan kameralar ve Otomatik Plaka Tanıma sisteminin aksine, Paris'teki uygulamanın takibi polis tarafından gözle kontrol yoluyla yapılmaktadır. Burada sürücüler, aracın hangi emisyon standartlarını karşıladığını gösteren bir etiket satın almak durumundadır. Polis, bölge için ilan edilen standartları ihlal edenleri durdurabilmekte ve ceza kesebilmektedir (Tomorrow World Today, 2022).

Kentsel çevrenin sürdürülebilirliğini artıran LEZ çözümleri, özellikle şu anda başta İtalya ve Almanya'da olmak üzere 300'den fazla bölgenin bulunduğu Batı Avrupa kentlerinde popülerlik kazanmaktadır. Şu ana kadar doğu ve orta Avrupa ülkelerinde LEZ nadiren görülmekle (Kowalska-Pyzalska, 2022) birlikte Polonya-Varşova, 2024 yılında bir LEZ başlatmayı planlamaktadır. Devam etmekte olan projeye göre, bölge 2024 ile 2032 yılları arasında beş aşamada kademeli olarak uygulanacak ve emisyon kriterleri buna göre sıkılaştırılacaktır (Holnicki vd., 2023).

LEZ kuralları AB genelinde uyumlaştırılmamıştır. Bunun yerine, belirli LEZ'ler farklı, yerel ve/veya ülke düzeyindeki düzenlemelerle yönetilmektedir. Şehirler ve hükümetler, AB Hava Kalitesi Standartlarını (European Commission, 2008) karşılamak için ortamdaki hava kirliliği riskini azaltmaya yönelik bir tedbir olarak LEZ programlarına başvurmaktadır. Temel LEZ kuralları ise aşağıdaki gibidir (DieselNet, 2015):

- **Yüksek emisyonlu araç yasağı:** Belirli bir AB emisyon seviyesinin altındaki araçların LEZ'e girmesine izin verilmez. Örneğin, Euro 3 ve daha eski araçlar bölgeye giremezken, sadece Euro 4 ve daha yeni araçların girmesine izin verilebilir. Bazı LEZ'ler, farklı PM ve NO2 emisyonlarını hesaba katmak için benzin ve dizel için farklı standartlara sahiptir. Almanya'da benzin için Euro 1, dizel için Euro 3 veya Euro 4'tür. Londra'da 2020 standartları benzin için Euro 4 ve dizel için Euro 6'dır.
- **Donanım iyileştirme seçenekleri:** Araçların emisyon seviyeleri, dizel partikül filtresi gibi bir emisyon kontrol cihazı kullanarak donanım iyileştirmesiyle yükseltilebilir. Bu şekilde güçlendirilmiş Euro 3 bir araç, bölgedeki Euro 4 bir araca eşdeğer kabul edilebilmektedir.
- **Ücretlendirme planları:** Yüksek emisyonlu araçlardan bölgeye giriş için ücret alınabilirken, belirli bir asgari Euro seviyesini karşılayan araçlar bölgeye ücretsiz girebilir.

Temiz hava bölgeleri olarak tanımlanan alanlar ise LEZ ile aynı emisyon kaynaklarını hedef almaktadır, ancak hava kalitesine ve enerji üretimi için kullanılan teknolojiler ile biyokütle

yanması gibi hava kirliliği kaynaklarına daha fazla önem verebilmektedir. LEZ'lere göre daha katı düzenlemeleri olan ultra ULEZ ve sadece sıfır emisyonlu araçlara (ZEV-Zero Emission Vehicle), yayalara ve bisikletlilere izin veren sıfır emisyon bölgeleri (ZEZ-Zero Emission Zone), diğer bölge çeşitleri arasındadır. Temiz hava ile düşük emisyon bölgeleri için kural ve düzenlemeler, her şehir ve ülkeye göre değişebilmektedir (Tomorrow World Today, 2022).

ZEZ uygulamaları ise bölge içinde ve bir dereceye kadar bölge dışındaki yaşam kalitesinin iyileştirilmesine, çevre ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmaya katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Ayrıca bölge içinde ve bir dereceye kadar dışında da iyi bir yaşam kalitesine katkıda bulunabilmektedirler. Önemli miktarda yenilenebilir enerjinin mevcut olduğu yerlerde, elektrikli veya yakıt hücreli araçlar klasik araçlara göre daha az enerji kullanabilmektedir. Bu durum özellikle teslimat araçları gibi yoğun olarak kullanılan kent içi araçlar için geçerli olup ZEV için gerekli olan artan enerji ihtiyacı daha hızlı bir şekilde karşılanabilmektedir. Ayrıca ZEV'ler daha sessizdir ve yerel kirleticiler içermez. Bir ZEZ'i uygulamanın iki temel yöntemi bulunmakta olup bunlar trafiği ya da trafikte kullanılan araçların içten yanmalı motorunu (benzinli, dizel, gaz motoru) ortadan kaldırmak olarak özetlenebilir. ZEZ, genellikle bu iki seçeneğin kombinasyonundan oluşmaktadır. Bölgede araç trafiğini azaltmaya çalışarak girişine izin verilen araçların ZEV olmasını gerektirir. İzin verilen araçların sıfır emisyonlu olduğu bir yaya bölgesi, ZEZ'in bir çeşidi olarak görülmektedir (Urban Access Regulations in Europe, 2024) .

Ayrıca, Avrupa'da sıfır emisyonlu hareketliliğe doğru bir yol haritası belirlemiş olan ve sayıları giderek artan bir grup kent bulunmaktadır. Uygulamaların farklı türlerine doğru yol alan şehirlerin önde gelenlerinden bazıları, Tablo 4-6'da yer almaktadır. Bu tür bölgeler Avrupa Komisyonu tarafından hava kalitesinde iyileşme sağlamak için güçlü bir araç olarak kabul edilmektedir (Transport & Environment, 2019).

Tablo 4-6: Sıfır Emisyon Bölgelerine doğru yol alan şehirlere genel bakış

Ülke	Şehir	Programın Adı	Politika Açıklaması	Politika Takvimi	Açıklamalar	Etki (Beklenen /Gözlenen)
İspanya	Madrid	Madrid Merkez	LEZ ve ZEZ unsurlarının bir kombinasyonudur. Erişim ve park hakları araçların emisyon sınıfına bağlıdır. Etiketli olmayan araçlar bölgeye girememektedir.	LEZ 30 Kasım 2018 tarihinde başlamış olup dizel araçlar 2024 yılına kadar, benzinli araçlar ise 2030 yılına kadar aşamalı olarak trafikten kaldırılacaktır.	Şehir, merkeze toplu taşıma araçlarıyla erişilebileceğine dair bir "erişim garantisi" vermekte ve özel otoparklar kullanıma sunulmaktadır.	Gözlemlenen etki arasında NO2 konsantrasyonunun 2010 yılı izleme başlangıcından bu yana düşme eğiliminde olmasıdır. Çevre kirliliği azalmıştır.

Hollanda	Amsterdam	Temiz Hava Eylem Planı, (Municipality of Amsterdam, 2019), hedefi Çevre Bölgesi	Mevcut LEZ'in binek araçlara kadar yaygınlaştırılması, LEZ'in aşamalı olarak daha da sıkı hale getirilmesi ve içten yanmalı motora sahip araçların yaklaşık 2030 yılına kadar aşamalı olarak kullanımdan kaldırılmasıyla ZEZ'lerin uygulamaya geçirilmesi (Municipality Amsterdam, 2024).	A10 çevre yolu bölgesinde Euro 3 veya daha eski dizel araçların yasaklanmasıyla 2020'den itibaren kademeli tanıtım, 2030'a kadar tüm modlar ve tüm kent için sıfır emisyonlu hareketlilik.	-	2030 yılına kadar Dünya Sağlık Örgütü'nün ilkelerine uyma hedefi doğrultusunda bölge sakinlerinin yaşam süresini 3 ay artırması beklentisi.
Belçika	Bürüksel	Düşük Emisyon Bölgeler	Mevcut LEZ'in dizel, benzinli ve LPG'li araçlar için aşamalı olarak kaldırılacak şekilde iyileştirilmesi (Brussels Parlement, 2019).	Dizel araçların 2030 yılına kadar, benzinli ve LPG'li araçların ise 2035 yılına kadar LEZ'den aşamalı olarak uzaklaştırılması.	Mevcut "Bruxell Air" planı revize edilecek. Program, bireysel araçlarını hurdaya çıkaran bölge sakinlerine mali destek sağlamaktadır.	Brüksel Bölgesi, Dünya Sağlık Örgütü hava kalitesi ilkelerine uyum sağlamayı ve bunlara saygı göstermeyi planlamaktadır.
Birleşik Krallık	Islington ve Hackney	Ultra Düşük Emisyon Bölgeleri	Benzinli ve dizel araçlar belirli gün ve saatler için yasaklanmış ve ulaşım yaya olacak şekilde sınırlandırılmıştır.	ZEZ Temmuz 2018'den beri yürürlüktedir.	Kamuoyu yoklaması, vatandaşların %56'sının ultra düşük emisyonlu sokakları önerilerini desteklediğini, %40'ının karşı çıktığını ve %4'ünün kararsız olduğunu göstermiştir.	Özellikle nakliye araçlarına odaklanılarak, trafiğin söz konusu caddelerde %90 oranında azalması beklenmektedir.
	Londra	Sıfır Emisyon Bölgesi	Londra'nın merkezini kapsayan bir ZEZ'in aşamalı olarak uygulamaya koyulması ve şehir çapında bir ZEZ'in uygulanmasının araştırılması.	Yerel ZEZ'ler	-	Square Mile'a giren motorlu araçların %90'ının 2030 yılına kadar sıfır emisyon kapasitesine sahip olması hedefi.

	Oxford	Sıfır Emisyon Bölgesi	Mevcut öneriler uyarınca, egzozdan 75 g CO ₂ /km'den daha az emisyon yayan ve en az 10 mil sıfır emisyonlu sürüş yapabilen araçların bölgeye girmesine izin verilmektedir.	Düşük emisyon ve sıfır emisyon gerekliliklerinin 2020'den itibaren farklı gerekliliklere sahip iki bölge ile uygulamaya koyulması planlanmaktadır.	-	Oxford'da 2035 yılına kadar sıfır ulaşım emisyonuna ulaşma hedefi.
Fransa	Paris Merkez	Sıfır Emisyon Bölgesi	Paris İklim, Hava ve Enerji Planının bir parçası olarak 2024 yılına kadar dizel araçların, 2030 yılına kadar da benzinli araçların aşamalı olarak LEZ'den çıkarılması.	İlk aşama 15 Ocak 2017'den beri yürürlüktedir. 'Crit' Air 4' sınıfına kadar olan araçların (2006 öncesi dizel araçlar, 1997 öncesi benzinli araçlar) 1 Temmuz 2019 tarihinden itibaren yasaklanması.	Geceleri ve hafta sonları boyunca hafif hizmet araçları için geçerli değildir.	Emisyonlarda beklenen azalma: NO _x %19, PM ₁₀ %8 ve PM _{2.5} %13. Hedef, Dünya Sağlık Örgütü kılavuz ilkelerine yarı yarıya ulaşılması.
	Paris Büyükşehir Bölgesi (79 Topluluk)	Büyükşehir Düşük Emisyon Bölgesi	Crit'air 2 sınıfına kadar (tüm dizel) olan araçların LEZ'de 2024 yılına kadar yasaklanması ve 2030 yılına kadar ise içten yanmalı motora sahip tüm araçların aşamalı olarak kaldırılması.	LEZ'in ilk adımı, Temmuz 2019'dan itibaren çok eski araçların yasaklanmasıyla atılmıştır. (2001 öncesi dizel, 1997 öncesi benzinli).	Kamuoyu yoklamaları, kent sakinlerinin %75'inin, temiz bir araç satın almak için 17.000 Avro'ya kadar mali destek sağlayan LEZ uygulamasını desteklediğini göstermektedir.	"2030 yılına kadar %100 temiz araç" hedefi.

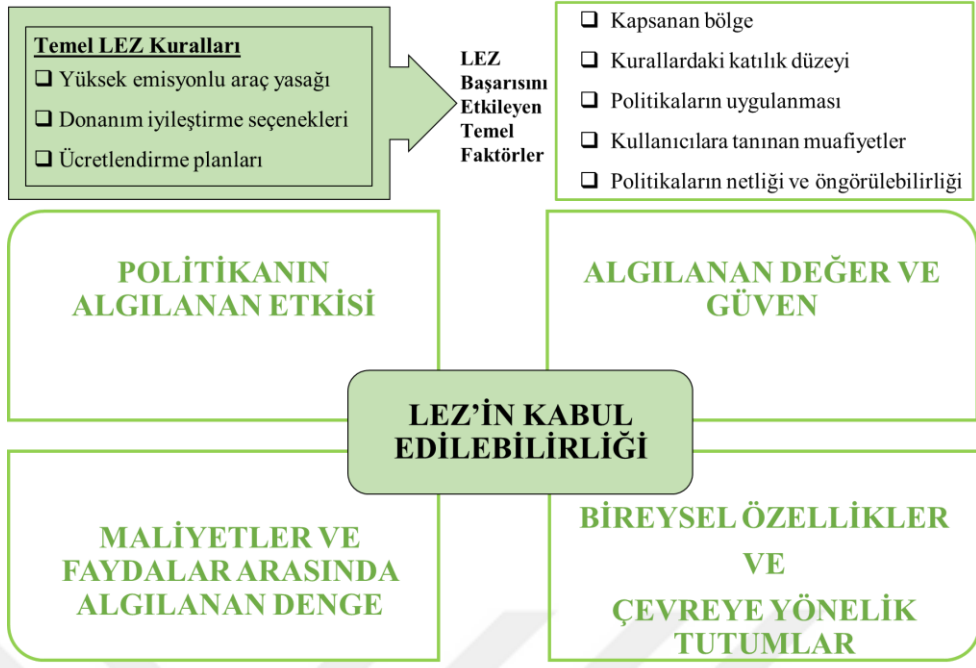
Araç emisyonları Avrupa'da Euro standartları ile sınıflandırılmakta olup bazı LEZ'lerde dizel partikül filtresi olan araçlara geçiş izni verilebilmektedir. Çoğu LEZ, yılda 365 gün, günde 24 saat çalışabilmektedir. Bunun en büyük istisnası, kalıcı olarak faaliyette olmayan bazı İtalyan LEZ'leri olup bu sayı giderek azalmaktadır (DieselNet, 2015; Urban Access Regulations in Europe, 2024).

Avrupa dışında, Çin'in Pekin kenti, 2017 yılında yüksek emisyonu sahip ağır yük araçlarını yasaklayan bir LEZ başlatmıştır. Çin'in Shenzhen kenti de 2018 yılında, brüt araç ağırlığı 4,5 tonun altında olan hafif hizmet kamyonları için geçerli olan bir sıfır emisyon bölgesi uygulamaya koymuştur. Amerika Birleşik Devletleri'nde şu anda belirlenmiş herhangi bir düşük emisyon bölgesi bulunmamaktadır. En yakın bölge Santa Monica, Kaliforniya'nın gönüllü sıfır emisyonlu

sevkiyat bölgesidir. Bu bölge, e-kargo bisikletleri ve elektrikli teslimat araçları gibi yeşil hareketlilik teknolojilerini ve bölgedeki son kilometre çözümlerinin geliştirilmesini destekleyen yenilikçi yol kenarı yönetim uygulamalarını ve iş modellerini test etmek için kullanılmaktadır (Tomorrow World Today, 2022).

AB'nin yanı sıra dünyadaki birçok ülke sağlığa yönelik tehlikeleri göz önünde bulundurarak hava kalitesi standartlarını belirlemiştir. Avrupa'daki hava kalitesini iyileştirilmesi için alınan birçok önlemin yanında AB Hava Kalitesi Standartlarının karşılanmasına yardımcı olmak amacıyla LEZ'ler uygulanmaktadır. Trafik, kasaba ve şehirlerdeki ana kirlilik kaynaklarından biri olduğundan LEZ, şehirlerin karayolu trafiğinden kaynaklanan emisyonları azaltmasının önemli yollarından biri olabilmektedir (Urban Access Regulations in Europe, 2024). Bunun yanında ABD'de LEZ uygulamaları ve etkilerini inceleyen çalışma da bulunmaktadır. (Turnet, 2020)'deki çalışmasında, LEZ politikalarının ABD federal yasaları tarafından engellenme potansiyeli, ABD anayasası ile ilgili hususlar, federal ücretlendirme yetkisi, eyalet yasaları, bireysel gizlilik ve veri güvenliğini korumaya yönelik yasalar ve davalarda gündeme gelebilecek diğer konular incelenmiştir.

Birçok ülkeden elde edilen deneyimler, yeni kural ve düzenlemelerin benimsenmesinin önündeki potansiyel engellerin tahmin edilmesi ve aşılması için LEZ'in sosyal kabulünün incelenmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır. LEZ'in etkinliği ve başarısı, toplum tarafından kabul görmesi ile doğrudan ilişkili olmaktadır. LEZ'ler, belirli alan ve/veya zaman noktalarındaki belirli araç türlerinin erişimini kısıtladığından, bir tür zorlayıcı TDM olarak algılanabilmektedir. Çeşitli TDM araçlarının kabul edilebilirliği geniş çapta araştırılmıştır. Bulguların çoğu, düşük emisyon bölgelerinin kabul edilmesi durumu için de geçerlidir. Şekil 4-12, kabul düzeyini ve katılma isteğini etkileyen önemli faktörleri göstermektedir ve politikanın algılanan etkisi ise önemli göstergelerden biridir (Kowalska-Pyzalska, 2022).



Şekil 4-12: LEZ'in kabulünü etkileyen faktörleri

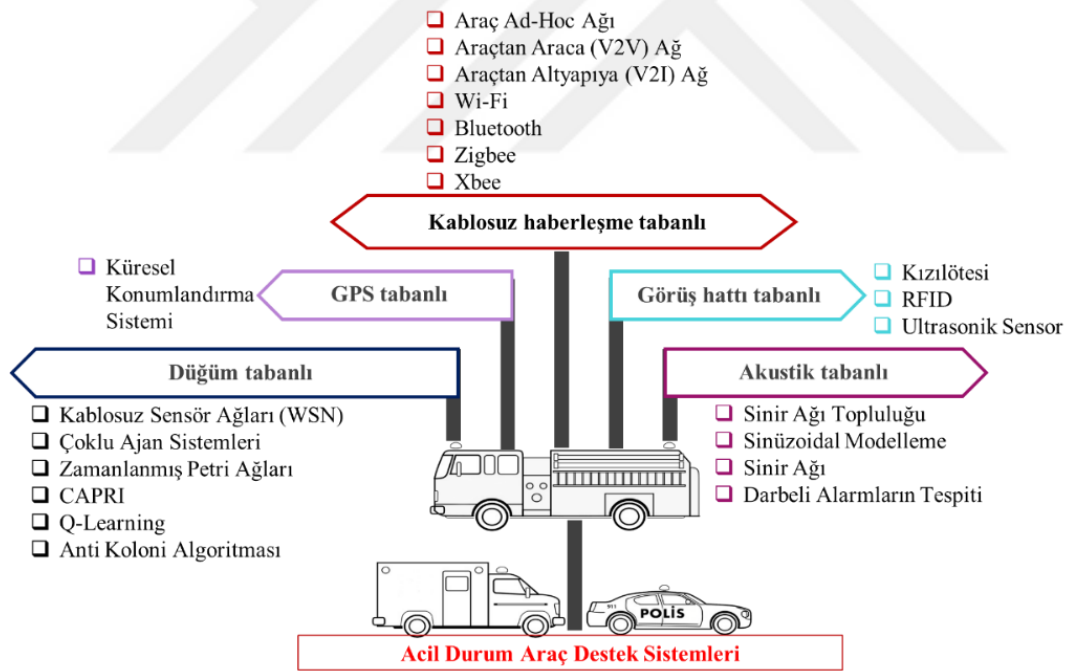
Küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %30'unu ulaşım ve hareketlilik kaynaklı faaliyetler oluşturduğundan ve bunun %72'si karayolu taşımacılığından kaynaklandığından, karayolu taşımacılığının hava ve çevre kirliliği üzerindeki etkisini azaltmaya yardımcı olmak için tüm dünyada temiz hava ve düşük emisyon bölgeleri oluşturmaya yönelik çözümler araştırılmaya devam etmektedir (Tomorrow World Today, 2022)

4.1.4 Acil Durum Araç Önceliği

Dünyanın dört bir yanındaki kentler, trafik yükünün fazlalığından, artan nüfus yoğunluğundan, yol yetersizliğinden ve aşırı yük altındaki kamu altyapısından dolayı sorun yaşamaktadır. Bu eğilimler, varış noktalarına mümkün olan en kısa sürede ulaşması gereken ambulans gibi acil durum araçları için ciddi sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bu sorunu çözmek için minyatür işlem ünitelerinden ve haberleşme ağlarından faydalanan birçok sistem tasarlanmaktadır. Bunlar, acil durum araçlarının (EV'lerin) daha hızlı seyahat etmesini sağlamak için trafik akışını etkin bir şekilde kontrol eden ve geçiş süresini azaltmayı amaçlayan acil durum araç önceliği (EVP-Emergency Vehicle Preemption) sistemleri olarak adlandırılmaktadır (Mehendale vd., 2021). EVP, acil durum araçlarının bir acil durum çağrısına yanıt verirken en kestirme rota boyunca, trafik ışığı dizilerini otomatik olarak tetikleyerek değişmesini sağlayan bir teknolojidir. Bu durum, acil durum araçlarına, emniyetli olduğu taktirde, acil müdahale çağrısı

rotası yönündeki yeşil trafik ışığı sinyalinin verilmesi anlamına gelmektedir. Acil durum araçlarının önündeki yolun açık olması sayesinde acil durumlara daha hızlı müdahale edilebilmektedir (Queensland Government, 2022).

EVP sistemleri, (i) yollarda bir acil durum koridoru oluşturulmasını sağlayarak, (ii) kavşaklardaki trafik akışını yöneterek ve (iii) acil durum araçları için en uygun rotayı hesaplayarak acil durum araçlarına yardımcı olabilmektedir. Bir EVP sisteminin genel iş akışı; bir acil durum aracının tespit edilmesi, acil durum aracı hakkında mümkün olduğunca fazla bilgi toplanması, toplanan verilerin analiz edilmesi ve son olarak öncelik stratejisinin devreye alınmasından oluşmaktadır. Araç hakkında alınan veriler; aracın mevcut konumu, hızı, yönü, varış noktası, gitmeyi planladığı rota, hizmet verdiği acil durum türü gibi konular olabilmektedir. Öncelik stratejisi, acil durum aracının ayrıntılarını diğer araçlarla, kavşaklardaki işlem birimleriyle veya bu araç için en uygun yolu hesaplayabilecek merkezi bir çevrim içi sunucuyla paylaşmaktan oluşabilmektedir. Acil durum araç öncelik sistemleri türleri ve kullanılan farklı teknolojilerin bazıları Şekil 4-13'te yer almaktadır (Mehendale vd., 2021).



Şekil 4-13: EVP sistemleri türleri ve kullanılan teknolojiler

Trafik yönetimi ve rota rehberliği sağlayıp sağlamadıklarına göre farklı acil durum araç öncelik sistemlerinin karşılaştırılması, Tablo 4-7'de yer almaktadır (Mehendale vd., 2021). Tabloya göre, tüm EVP sistemleri, temelde trafik yönetimi sağlamaktadır; buna kavşaklarda trafiğin açılması, yollarda geçici acil durum şeritleri oluşturulması gibi durumlar dahildir. Bazı

EVP sistemleri aynı zamanda rota rehberliği de sunabilmektedir. Bu da yollardaki mevcut trafik koşullarına bağlı olarak acil durum için gidilecek yerin konumuna ulaşabilmek ve en hızlı rotayı hesaplayabilmekle ilgili olmaktadır. Rota rehberliği sağlayan EVP sistemleri, yolların mevcut durumunu sürekli olarak izlemekte ve en son verilere dayanarak en optimize rotayı sunabilmektedir (Eltayeb vd., 2013; Louati vd., 2018; Mirchandani & Lucas, 2004; Patel vd., 2022; Sharma, 2013).

Tablo 4-7: EVP sistemleri türleri ve teknolojileri

Referans	Tür	Teknoloji	Rota Rehberliği	Trafik Yönetimi
(Tran & Tsai, 2020)	Akustik	Sinir Ağı Topluluğu	Yok	Var
(Ellis, 2001)	Akustik	Sinüzoidal Modelleme	Yok	Var
(Beritelli vd., 2006)	Akustik	Sinir ağı	Yok	Var
(Carbonneau vd., 2012)	Akustik	Darbeli Alarmların Tespiti	Yok	Var
(Shibuya vd., 2000)	Görüş Hattı	Kızılötesi	Var	Var
(Bharadwaj vd., 2013)	Görüş Hattı	RFID, Endüktif döngüler	Yok	Var
(Sharma, 2013)	Görüş Hattı	RFID	Yok	Var
(Masum vd., 2018)	Görüş Hattı	Ultrasonik Sensörler	Yok	Var
(Kodire vd., 2016)	GPS	GPS, XBee	Yok	Var
(Eltayeb vd., 2013)	GPS	GPS, GSM	Var	Var
(Buchenscheit vd., 2009)	Kablosuz Haberleşme	VANET	Yok	Var
(Sundar vd., 2015)	Kablosuz Haberleşme	Zigbee	Yok	Var
(Masoud & Belkasim, 2018)	Düğüm	WSN, Toplama Ağacı Protokolü	Yok	Var
(Huang vd., 2015)	Düğüm	Zamanlanmış Petri Ağları	Yok	Var
(Mirchandani & Lucas, 2004)	Düğüm	Kavşaklarda Kategorilere Ayrılmış Varışlara Dayalı Yeniden Faz Optimizasyonu (CAPRI-Categorized Arrivals-Based Phase Reoptimization at Intersections)	Var	Var
(Louati vd., 2018)	Düğüm	MAS, Maksimum Ağırlık Eşleştirme-Önce En Uzun Kuyruk (LQF-MWM)	Var	Var

(Abdoos vd., 2011)	Düğüm	Q-Learning (Kaliteli Öğrenme)	Yok	Var
Henry, 2007	GPS	GPS	Yok	Var
(Viriyasitavat & Tonguz, 2012)	Kablosuz Haberleşme	DSRC tabanlı V2V	Yok	Var
(Nellore & Hancke, 2016)	Düğüm	Acil Durum Trafik Önceliği tabanlı WSN'lerdeki Ortam Erişim Kontrolü (MAC) katmanını kullanan PE-MAC protokolü	Yok	Var
(Patel vd., 2022)	Karma: Akustik, GPS, Düğüm, Kablosuz Haberleşme	Bir sinir ağı sınıflandırıcısı, merkezi olmayan bir IoT düğüm ağı, verilerin aktarımında kablosuz ağ (Wi-Fi) kullanımı, GPS ile en uygun rota yönlendirmesi, konum takibi için mobil uygulama	Var	Var

Trafik sinyal önceliği; yayalar, hafif raylı araçlar, otobüsler ve acil durum araçları için yaygın olarak kabul gören bir uygulama olup genellikle aktif ve pasif olarak sınıflandırılmaktadır. Aktif öncelikte temel olarak araçlar; kızılötesi, GPS ve akustik sensörler gibi yöntemler kullanılarak tespit edilmektedir. Literatür çalışmalarında, EVP için donanım çözümleri sağlamanın yanı sıra modelleme ve simülasyon alanında da araştırmalar yapıldığı da görülmektedir (Rosayyan vd., 2023). Bir acil durum aracına takılı ses sinyali üretme gibi verici ve trafikteki diğer araçlara takılı sinyal algılama, görüntüleme gibi alıcı birimler, akustik tabanlı EVP'nin unsurlarını oluşturmaktadır (Brill, 2001). Bu EVP'ler, belirli bir ses sinyali göndererek öndeki araçlara yolu açmaları konusunda bildirimde bulunabilmektedir (Patel vd., 2022).

Görüş hattı tabanlı EVP'de, bir acil durum aracı, kızılötesi benzeri bir vericiye sahiptir ve bir trafik sinyalizasyon ünitesine bir kızılötesi alıcı takılmak suretiyle vericiden gönderilen sinyale, alıcının durumunu değiştirebilme özelliği kazandırılmaktadır (Patel vd., 2022; Shibuya vd., 2000). Bu tür EVP'lerin verimli çalışması verici ve alıcı arasında engel olmamasına bağlıdır (Patel vd., 2022).

GPS tabanlı EVP'ler, acil durum aracının mevcut konumunu takip ederek XBee (Kodire vd., 2016) ve GSM (Eltayeb vd., 2013) gibi teknolojileri kullanarak veri aktarabilmektedir (Patel vd., 2022). Buna örnek olarak ABD'nin, Georgia eyaletinin güneydoğu kesimindeki Savannah kenti, görüş hattı gerekliliklerinden kaçınmak için GPS teknolojisini kullanan bir trafik sinyali önceliklendirme kontrol sistemi kurmuştur. Acil durum araçlarının önceliklendirmesi için trafik sinyali öncelik kontrolü uygulaması sayesinde kavşağın sinyalinin menziline yaklaşan araçlar hassas, güvenli ve verimli bir hareket elde edebilmektedir. Buradaki GPS çözümü sayesinde ortalama acil müdahale süresi kısalarak koridordaki trafik sıkışıklığı kuyrukları en aza indirilmiştir (Henry, 2007).

Kablosuz haberleşme tabanlı EVP'ler; Wi-Fi, bluetooth, ZigBee, VANET gibi teknolojileri kullanarak EV'ler ile ilgili bilgileri paylaşabilmektedir. Düğüm tabanlı EVP'ler ise trafik koşulları hakkında gerçek zamanlı veri elde etmek ve daha sonra geçici bir acil durum şeridi oluşturmak veya bir yoldaki trafiği azaltmak gibi bazı önlemler almak amacıyla kullanılan WSN (Masoud & Belkasim, 2018) ve IoT (Rosayyan vd., 2023) gibi teknolojilerden oluşmaktadır (Patel vd., 2022).

EVP'nin uygulanabileceği en temel yöntemlerden biri merkezi bir kontrol sisteminin kullanılmasıdır. Acil durum araçlarının bir kavşağa yaklaşmasının algılanması, söz konusu kavşakta kullanılan teknolojiye bağlı olarak trafik sinyal denetleyicisi tarafından ışık, ses veya radyo dalgaları aracılığıyla olabilmektedir. Ardından, merkezi kentsel trafik kontrol yazılımı, sinyal önceliğinin gerekli olup olmadığına karar vererek gerekirse normal yeşil, sarı ve kırmızı döngüsünü keserek acil durum aracı için ışığı yeşile çevirebilmektedir. EVP'yi uygulamak için bir başka alternatif de yerel kavşakların önceliklendirme kararı vermesine izin vermektir. Dolayısıyla bu sistem, tüm kavşakları bir kontrol merkezine bağlayan ana bir ağ olmadan çalışabilmekte ve merkezi kontrol sistemine göre daha uygulanabilir bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu yaklaşımın, kavşak başına daha yüksek kurulum, işletme ve bakım maliyeti ile ardışık kavşaklar arasında koordinasyon eksikliği nedeniyle EVP'de daha düşük verimlilik gibi dezavantajı söz konusu olabilmektedir (Viriyasitavat & Tonguz, 2012).

EVP, izole edilmiş ve koordineli sinyal kavşaklarında rota boyunca yeşil bir kuşak sağlamakta, normal trafik sinyali zamanlama işlemlerini kesintiye uğratarak acil durum araçlarının kavşakta durmadan veya beklemeden geçmesine olanak tanıyabilmekte, böylece seyahat süreleri kısaltabilmekte ve sistemdeki diğer araçlarla çatışmaları azaltabilmektedir (Wang vd., 2021).

EVP sistemlerinin, acil durum araçları için tepki süresini azalttığı deneysel çalışmalarla gösterilmiş olsa da sunulan tüm yöntemler bir tür altyapıya dayanmakta ve ilave maliyetli donanım ve/veya trafik kontrol merkezi gerektirebilmektedir. Dolayısıyla, bu tür sistemlerin kapsamı ve faydaları temelde mevcut yatırımla sınırlı olabilmektedir (Viriyasitavat & Tonguz, 2012).

Acil bir durumda her saniye önemlidir ve acil durum aracının olay yerine ulaşması için gereken süreyi azaltmak için EVP gibi bir AUS çözümü kullanmak hayat kurtarmaya yardımcı olabilmektedir. EVP'nin temel faydaları, farklı faydalanıcı grupları için Tablo 4-8'de yer almaktadır (TRANSMAX, 2024).

Tablo 4-8: EVP'nin temel faydaları

Acil Durum Hizmetleri	Yol Yetkilileri	Toplum
- Kavşaklarda acil durum araçlarına öncelik vererek seyahat süresini azaltır - Acil durum araçlarının kavşaklarda ışıklardan geçme ihtiyacını azaltır - Olay çözme oranını iyileştirir - Acil durum müdahale personelinin müdahale hedeflerine ulaşmasına yardımcı olur - Artan trafik taleplerini daha verimli bir şekilde yönetmek için acil durum araçlarına yardımcı olur - Acil durumlara emniyetli, güvenli ve etkili bir şekilde cevap verilmesini ve müdahale edilmesini sağlar - Acil durum araçları çoğunlukla sadece ışık modunda çalıştığından gürültü kirliliği azalır - Ön saflardaki acil müdahale personeli için daha güvenli bir çalışma ortamı sağlar - Acil müdahaleler sırasında kaza olasılığını azaltır	- Hizmet seviyelerini korumak için ön saflardaki görevlilerin veya acil durum araçlarının sayısını artırma ihtiyacını azaltır - Kaynak verimliliğini artırır - Sistemi kullanmak için ön saflardaki çalışanın iş yapış prosedürlerinde değişiklik yapılmasını gerektirmez - Mevcut altyapıyı kullanarak kurulum ve bakım maliyetlerini en aza indirir - Diğer yol trafiği üzerindeki etkiyi en aza indirir - Acil durum araçları gibi Özel sınıftaki yol kullanıcılarına öncelik verilmesine yönelik politika temelli bir yaklaşıma izin verir	- Acil durum araçlarının olaylara daha hızlı ve verimli bir şekilde ilerlemesine yardımcı olarak hayat kurtarmaya katkıda bulunur - Sürücüler ve yayalar gibi diğer yol kullanıcılarının güvenliğini ve emniyetini artırır - EVP gelecekte otobüsler, ağır araçlar ve öncelikli bireyler gibi diğer kullanımlara da uyarlanabilir - Kurumlar arası iş birliğini teşvik eder

Acil durum araçlarının genelde hızları fazladır ve trafik kurallarına uymama hakları bulunmaktadır. Acil durum araçları, genellikle kavşaklarda zorluklar ortaya çıkmakta olup buralarda yoğun trafik nedeniyle çok fazla gecikebilmektedirler. Ayrıca, özellikle kırmızı ışıkta geçmeleri gerektiğinde kaza olasılığı yüksektir. EVP uygulamaları, bu gibi durumlarda hayat kurtarma için etkili olabilmektedir.

4.1.5 Esnek Çalışma Saatleri

Dünya genelinde büyük şehirlerin ortak problemi olan trafiğin en yoğun olduğu saatlerde yol ağında ortaya çıkan sıkışıklık sorunu, verimlilik kaybı, karayolu taşımacılığı talebinde artış ve yakıt maliyetleri gibi nedenlerin sonucu olarak kayda değer bir ekonomik etkiye sahip olmaktadır. Geleneksel çalışma saatlerini esas alan bireyler, genellikle günün aynı saatlerinde trafiğe çıkarak yoğunluğa neden olduğundan, zirve saatlerdeki trafik sıkışıklığının hafifletilmesinin odak noktası, işe gidip gelen yolcular olmaktadır. Trafik sıkışıklığı ücretleri, araç paylaşımının teşvik edilmesi ve toplu taşıma ile bisiklet gibi işe gidip gelmenin alternatif yolları, bu temel sorun için önerilen

çözümler arasında yer almaktadır. Bu önerilerin hepsi, işe gidiş gelişlerin belirli saatlerde olması gerektiği varsayımına yöneliktir. Alternatif bir yaklaşım ise işe gidiş geliş yapanların, trafiğin yoğun olduğu zaman aralıklarında, esnek çalışma stratejileri sayesinde, ulaşım ağını kullanmaktan kaçınmaları ya da daha az kullanmaları mümkün olabilmektedir (Team Vecos, 2021).

Esnek çalışma programları, çalışanların günün farklı saatlerinde işe başlamalarına ve işi bırakmalarına olanak tanıyan bir işveren politikası olarak tanımlanabilmektedir. Bu sayede araç kullanımının en yoğun olduğu düşünülen geleneksel işe giriş çıkış saatlerindeki trafik yoğunluğu azaltılabilmektedir (SEQL, 2003). Esnek çalışma kavramı yeni olmamakla birlikte henüz yaygın ve kabul görmüş bir yaklaşım değildir (Team Vecos, 2021). Buradan yola çıkarak esnek çalışma saati programlarını, işin düzenli olarak yapıldığı zamanı ve/veya yeri değiştiren bir dizi çalışma modelinden herhangi biri olarak tanımlanabilir. Çalışanların gün içinde belirli bir zaman aralığında çalışmasına olanak tanıyan genellikle trafiğin yoğun olduğu zaman aralıklarından uzak durmak suretiyle çalışanları günün belirli bir periyodunda çalışmaya yönleltmektedir.

Esnek çalışmanın çok çeşitli biçimleri bulunmakta olup en çok bilinenlerden bazıları aşağıdaki gibidir (SEQL, 2003):

- **Kademeli saatler:** İnsanların gün içinde farklı saatlerde işe başlaması ve bitirmesi üzere planlanır.
- **Sıkıştırılmış çalışma haftası:** Beş tam günden daha az bir sürede 40 saat çalışılır.
- **Esnek çalışma saatleri:** Tüm çalışanlar için temel mesai saatleri belirlenir ve işverenin veya çalışanın tercihinine bağlı olarak başlangıç ve bitiş saatlerinde esneklik sağlanır.

Asya’da esnek çalışma düzenlemeleri, standart bir iş günündeki mekânsal ve zamansal sınırlamaların dışında çalışılmasına olanak tanıyan her türlü farklı mesai düzenlemeleri olarak ifade edilmektedir. Bu düzenlemelerin; (i) iş gününün başlangıç ve bitiş saatlerinin değiştirilmesi olan esnek zaman, (ii) kişisel nedenlerle ücretli veya ücretsiz izinli ve haftada 40 saatten az olan yarı zamanlı çalışma, (iii) çalışma haftası yükümlülüklerinin beş günden daha az bir sürede yerine getirilmesi olarak bilinen sıkıştırılmış çalışma haftası, (iv) bazı işlerin ofis dışından yani uzaktan yapılması, (v) tüm çalışma saatlerinin evden yürütülmesi, (vi) bir kişinin işini, iki kişiye paylaşmak gibi türleri bulunmaktadır (Anell & Hartmann, 2007).

Kademeli çalışma saati programları, çalışan gruplarının işe geliş ve gidiş saatlerini değiştiren bir esnek çalışma saati çeşididir, ancak çalışanların vardiyalarını seçme imkânı olmayabilir. Bu programlar, giriş/çıkışlar, asansörler ve park alanlarındaki kalabalığı hafifletmek için üretim veya fabrikalar gibi işletmeler için iyi bir yöntem olabilir. Uzaktan çalışmanın aksine,

bu uygulama, çalışanların vardiyalı çalışmasına dayanan üretim ve sanayi işletmeleri tarafından daha kolay hayata geçirilebilmektedir.

Esnek çalışma stratejileri, alternatif çalışma programları ile vardiya ve mola saatlerine ilişkin düzenlemeler gibi çalışılan saatlerin programlanması, yarı zamanlı çalışma ve iş paylaşımı gibi çalışılan saatlerin miktarı, evde veya başka bir yerde çalışmak gibi iş yeri seçimi hususlarında esneklik sağlayabilmektedir (Workplace Flexibility 2010, 2006).

Seyahat talebi yönetimi perspektifinden bakıldığında, esnek çalışma düzenlemesi olarak esnek zaman/kademeli çalışma saatleri, seyahat talebini merkezden uzaklaştırmanın ve böylece trafik sıkışıklığını hafifletmenin verimli bir yaklaşımı olabilmektedir (Su & Wang, 2021).

Esnek çalışma programları; seyahat davranışı, trafik sıkışıklığı ve enerji tüketimi üzerinde potansiyel olarak önemli etkileri olan bir ulaşım sistemleri yönetim stratejisi olarak ilgi çekmektedir. Genel olarak esnek çalışmanın hem işverenler hem de çalışanlar için faydalı olduğu tespit edilmiş olsa da bireylerin faaliyet ve seyahat tepkilerine ilişkin oldukça az bilgi bulunmaktadır (Ott vd., 1980). Kentsel yaşam ve ulaşım için esnek çalışma düzenlemeleri hem çalışanlar hem de iş verenlerin faydalanabileceği, trafik sıkışıklığı ve çevre kirliliğini önlemek için uygulanabilecek bir çözümdür. Mekân ve zaman bağımsız çalışma ve çalıştırma yöntemleri sayesinde, araç kullanma süreleri, trafik hacmi ve yoğunluğu ve böylece karbon emisyonları azalabilmektedir.

Esnek çalışma saatleri uygulaması, bireysel araç kullanarak işe gidiş geliş yapanların daha az yoğun saatlerde yol ağını kullanmalarını sağlamak suretiyle, trafikte yoğunluğunun fazla olduğu zamanlar için trafik hacmini ve sıkışıklığını azaltabilmektedir. Aynı zamanda yol ve park yeri sıkışıklığını azaltarak zaman kaybı ile stres, yorgunluk ve gerginlik gibi olumsuzlukları da en aza indirebilmektedir (Mobility, 2024). Esnek çalışma saatlerinin temel faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir (SEQL, 2003):

- **Emisyonların azaltılması:** Çalışanlar trafiğin yoğun olmayan saatlerinde işe gidip gelebilecek esnekliğe sahip olduğundan ulaşım kaynaklı emisyonların yüksek konsantrasyonlarında azalma eğilimi olmaktadır. Aynı zamanda trafik sıkışıklığındaki azalma, rölanti oranında düşme ve işe gidip gelme sürelerinin kısalması gibi durumlar, genel otomobil emisyon hacmini de azaltabilmektedir.
- **Etkin ve verimli kullanılan park alanları:** Kuruluşun tüm çalışanlarının sahada olması gereken temel çalışma saatine yönelik bir gereksinimi olmadığında, esnek çalışma saatleri park yeri ihtiyacının azaltılmasına katkıda bulunabilmektedir. Kuruluşlar, bu şekilde asfalt park alanlarına olan ihtiyaçlarını azaltabilirse, kentsel ısı adası etkilerinin azalmasına ve

yüzey akışından kaynaklanan noktasal olmayan kaynak kirliliğinin azalmasına katkıda bulunabilmektedir.

- **Araç paylaşımı:** Büyük kuruluşlar, iş güçlerinin hem aktif araç paylaşımı programlarını hem de esnek çalışma programlarını destekleyecek kadar büyük olduğunu görebilir. Orta ve küçük ölçekli kuruluşlar ise esnek çalışma saatlerinin bir araç paylaşımı programının uygulanmasını ne ölçüde zorlaştırabileceği hususunu değerlendirebilmektedir.

Ulaşım ekonomisi teorisine göre esnek çalışma saatlerinin temel etkisi, çalışanların işe başlama saatlerini zamana yayması ve bunun sonucunda yoğun saatlerde seyahat koşullarının iyileşmesi şeklinde olmalıdır (Munch & Proulhac, 2023).

Giderek artan sayıda şirket ve işyeri, çalışanları için esnek çalışma saatleri veya esnek zaman imkanları sunmaktadır. Yol kullanıcılarının işe gidiş zamanının modellenmesini ve yeniden düzenlenmesini içeren bu imkanlar sayesinde trafik sıkışıklığının azaltılması beklenmektedir. Bu kapsamda esnek zaman seçeneğine sahip çalışanların işe gitmek için yola daha geç saatlerde çıkmayı tercih ettiği ve bunun sabah yoğun saatlerde işe gitmekle ilgili önleyici bir etkisi olduğu, 2017-2018 yılları arasında Teksas-Austin Hanehalkı Seyahat Anketi'nden elde edilen sonuçlarda görülebilmektedir. Bu anket sonuçlarına göre yolcuların yaptığı işin türü, yolculuk süreleri, seyahat günündeki yolculuk sayısı ve hane geliri gibi yolculuk ve bireye özgü değişkenlerin, yola çıkış saati seçimi üzerinde önemli bir etkisi olabilmektedir. Esnek zaman uygulaması, perakende ve hizmet sektörü çalışanları, yolculukları daha uzun olanlar ve daha fazla günlük etkinlik yapanlar için yola çıkış saatini değiştirme konusunda daha etkili olabilmektedir (Rahman vd., 2021). Bu tür politikaların uygulanması ile seyahat talebini yoğun saatlerden yoğun olmayan saatlere kaydırılması neticesinde trafik sıkışıklığında meydana gelebilecek azalmayla ilgili teori geçerliliğini korumaktadır (Mobility, 2024; Rahman vd., 2021).

Esnek çalışma için örnek ülke uygulamaları:

Paris ve San Francisco; trafik sıkışıklığının yoğun olduğu bölgeler olmakla birlikte, esnek çalışma saatlerinin toplum tarafından en çok benimsendiği şehirlerin bulunduğu ülkeler Fransa ve Amerika'da yer almaktadır. Bu uygulama Paris için işyerine varış zamanlarının kademeli olarak değişmesinin yanında, sabah trafiğinin en yoğun olduğu dönemlerde iş yerine ulaşabilme ihtimalinin önemli ölçüde yüksek olmasıyla ilişkilendirilmektedir. San Francisco'da trafiğin en yoğun olduğu dönem üzerinde esnek çalışma uygulamasının önemli bir etkisi bulunmadığı değerlendirilmektedir (Munch & Proulhac, 2023).

Trafiğin yoğun ve sıkışık olduğu bir bölgede yer alan ve her türlü kentsel ulaşım aracıyla erişimin mümkün olduğu ABD Ulaştırma Bakanlığı Ulaştırma Sistemleri Merkezi'nde esnek

Çalışma saatlerine ilişkin olarak bir araştırma yapılmıştır. Söz konusu iş yerinde 600'n üzerinde personel bulunmaktadır. Bu araştırmanın sonuçlarına göre (Ott vd., 1980):

- Ekonometrik modeller, esnek çalışmaya verilen iş programlama tepkilerinin; sosyoekonomik ve yaşam döngüsü özelliklerinden, seyahat sresindeki tasarruflardan ve faaliyet kalıplarından güçlü bir şekilde etkilendiğini göstermiştir.
- Esnek çalışmanın işe gidiş-geliş üzerinde de büyük bir etkisi olmuştur.
- Çalışanların yaklaşık %9'u esnek çalışmaya yanıt olarak mod değiştirmiş olup mod değiştirenler arasında araç paylaşımı ve toplu taşıma lehine kk ama net değişiklikler olmuştur.
- Çalışanların büyük çoğunluğu, esnek çalışma sayesinde seyahat süresinden tasarruf etmiştir.
- işe gitmek için kullanılan araçların yakıt tüketiminde %5,8'lik bir tasarruf sağladığı tahmin edilmektedir.
- Tüm bu bulgular, esnek çalışmanın enerji tüketimini azaltmak için önemli bir strateji olabileceğini göstermektedir.

Esnek alışma ve tamamlayıcı istatistiksel veri kaynaklarına ilişkin araştırmalar, evden çalışma ve yoğun saatlerde araç kullanımını önlemek için çalışma saatlerinin değiştirilmesi de dahil olmak üzere çeşitli esnek çalışma türlerinin, Hollanda'da 2000'den 2016'ya kadar arttığını göstermektedir (Van der Loop vd., 2019). Esnek alışma saatleri stratejisinin faydalarını maksimize edebilmek için araç paylaşım programları ve çalışan gönüllülüğü gibi alanlarda koordinasyon sağlanması gerekebilir. Esnek alışma saati planlarının faydalarını ve maliyetlerini değerlendirmek için gereken veriler; katılmaya istekli çalışan sayısını, ortalama işe gidiş geliş mesafesini ve saatlerin değiştirildiği hafta içi gün sayısı gibi değişkenleri içerebilmektedir (Mobility, 2024).

Asya'nın birçok bölgesinde trafik sıklıkklığı önemli bir sorun teşkil etmekte olup (Anell & Hartmann, 2007)'deki çalışmaya dahil edilen birçok şirket için bir esnek çalışma düzenlemeleri çözüm olarak görülmektedir. Bu çalışmada, işe gidip gelme süresinin 2 saati aştığı durumlarda, esnek çalışma saatleri sayesinde çalışanların trafiğin yoğun olduğu saatlerden uzaklaştığını göstermektedir. Aynı zamanda Asya Pasifik bölgesinde esnek çalışma düzenlemelerinin benimsemesindeki temel motivasyonlardan biri %89 oranda trafik sıklıkklığından kaçınmak ve çevreyi korumak, diğeri ise %57 ile çocukları kreşten alma ve bırakma gibi durumlardan ortaya çıkan hareketlilik ve ulaşım ihtiyaçları olarak görülmektedir.

Tahran'da trafik sıkışıklığını azaltmak ve talebi yönetmek için uygulanan politikalardan biri de Ekim 2022'de başlayana esnek çalışma saatleri uygulamasıdır. Covid-19 salgını dönemindeki sanal eğitimin ardından geleneksel eğitime geçilmesi, kullanıcı davranışlarındaki değişiklikler ve bireysel araç kullanımındaki artış nedeniyle daha fazla yol sıkışıklığı yaşanması muhtemel olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, esnek çalışma saatlerinin uygulanmasıyla Tahran'da trafik sıkışıklığının olumsuz etkilerine ilişkin sınırlı trafik bölgesi dışında kalan alanda, şehir idaresinin tahmininden çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Baradaran vd., 2023).

4.2 KENTSEL HAREKETLİLİK TRAFİK KONTROL STRATEJİLERİ

Kentsel hareketlilik sistemleri, insanların sosyal yaşama katılmalarında önemli rol oynayan ve gerekli olan temel ürünlere, hizmetlere ve faaliyetlere erişimleri sağlamayı amaçlamaktadır (UN-HABITAT, 2013). Nüfus artışı baskısı altında kalan şehirlerin sayısının her geçen gün artması nedeniyle kentsel hareketlilik konusu ve bu kapsamda geliştirilecek stratejilerin önemi daha da artmaktadır. Hareketlilik süreçleri kentleşmenin önemli bir dinamiği olmakla birlikte kentsel dokunun ana omurgasını ise bu alanla ilişkili alt ve üst yapı oluşturmaktadır.

Genel bir kural olarak optimum tasarlanmış bir kentsel ulaşım sistemi ve yol ağı; yerel, bölgesel ve uluslararası karşılıklı bağlantıları sürdürecektir şekilde hareketlilik araçları ve yolları ile kolaylık, rahatlık ve konfor oluşturarak verimli bir entegrasyon içermelidir. Yol ağının ev ve iş yeri gibi mülklere erişim ile seyahat hareketliliği sağlamada oynadığı rol, trafik yönetiminin önemli bir parçası olarak görülmektedir. Buna göre kentsel yol sınıflandırması, sağladıkları hizmetlerin niteliğine bağlıdır. Bu sınıflandırmada modeller hiyerarşik olarak (i) ana yollar, (ii) ikincil yollar ve (iii) üçüncül yollar olarak ayrılabilir (Kassahun, 2007).

Kentsel yol sistemleri genellikle her bir yol veya güzergahın yerine getirdiği işlevin türüne göre düzenlenmiş bir yol ağından oluşur. Kent içi bir yol genellikle ya bir cadde ya caddelerin açıldığı bir toplayıcı güzergâh ya da toplayıcı güzergahlar tarafından beslenen bir arter güzergâh, yol işlevi sıralaması yani yol hiyerarşisinden oluşmaktadır. Kentlerde doğru, usulüne uygun ve düzenli şekilde organize edilmiş bir yol ağının temelini, bu hiyerarşi oluşturmaktadır (Land Transport Safety Authority, 2001).

Kentsel hareketlilik ve ulaşım sistemlerine ilişkin politikaların ve politika hedeflerinin başarısı ise sosyo-ekonomik hedefleri etkilemekte olup büyüme, istihdam ve sürdürülebilir kalkınma için önemli bir kolaylaştırıcı görev üstlenmektedir (Yılma, 2014). Kentsel hareketlilik

sorunlarıyla başa çıkabilmek için şehirlerin, konumlarına ve olgunluklarına bağlı olarak aşağıdaki üç stratejiden birini uygulamaları gerekmektedir (Lerner, 2011):

- **Ağ tabanlı sistem:** Toplu taşımayı etkin bir şekilde yaygınlaştırmak, gelişmiş trafik yönetim sistemleri uygulamak, daha fazla vergi ve yol geçiş ücretleri uygulaması yoluyla bireysel ulaşımı azaltmaktır.
- **Sistemi yeniden tasarlamak:** Yüksek oranda motorlu bireysel taşımacılığa sahip gelişmiş ülkelerde bulunan şehirlerin, daha rekabetçi ve sürdürülebilirlik odaklı olabilmeleri için hareketlilik sistemlerini temelden yeniden tasarlamaları gerekmektedir.
- **Sürdürülebilir bir odak noktası oluşturmak:** Gelişmekte olan ülkelerdeki şehirler için temel amaç, daha sonra tekrar dizayn edilmesi gereken motorlu sistemler oluşturmadan, kısa vadeli talebi, makul bir maliyetle karşılayabilecek sürdürülebilir bir hareketlilik odak noktası oluşturmak olmalıdır. Yeni ve gelişmekte olan ulaşım altyapısı ve teknolojilere erişimi olan bu şehirler, yarının kentsel hareketlilik sistemleri için test ortamı ve geliştirme alanı olma fırsatına sahiptir.

Ayrıca, hedef odaklı, güçlü bir trafik ve ulaşım politikası genel yönelimleri aşağıdaki hususları içermektedir (Cracknell, 2000):

- **Yönetim;** operasyonel verimliliği ve kaliteyi artırarak mevcut yolların, trafik sistemlerinin ve toplu taşımanın en verimli şekilde kullanılması,
- **Bakım;** mevcut ulaşım sistemleri, araçlar, hizmetler, uygulamalar ve faaliyetlerden oluşan tüm bileşenlerin, eksiksiz olarak kullanıma hazır olmasının sağlanması,
- **Talep yönetimi;** yeni yollar inşa etmenin, sınırsız özel araç kullanımının gelecekte ortaya çıkaracağı seyahat talebine tek başına yeterli olmayacağını kabul ederek talebin yönetilmesi,
- **Altyapının geliştirilmesi;** yol ağının eksikliklerinin giderilmesi ve sistemlerin yaygınlaştırılması, toplu taşımaya odaklanması, sadece ihtiyaç olan yerlerde yeni yollar yapılması,
- **Objektif ve sistematik değerlendirmenin kabul edilmesi;** yatırımların öncelik sırasına koyulması, gerçekçi bütçeler dahilinde belirlenmesi ve sürdürülebilir olmasını sağlamak amacıyla ekonomik, finansal, teknik ve çevresel fizibilitenin temin edilmesi ile ulaştırma yatırımlarının tarafsız ve adil bir şekilde değerlendirilmesi,
- **Çevre yönetimi;** motorlu araçların neden olduğu emisyonları ve diğer çevresel olumsuz etkileri azaltarak yürüme ve motorlu olmayan araçlar gibi ulaşım türlerinin teşvik edilmesi,

- **Güvenlik ve emniyet;** karayolu temelli ulaşım sisteminin emniyet ve güvenliğini iyileştirerek kazalardan kaynaklanan sosyal ve ekonomik zararların azaltılması,
- **Finansman;** gerçekçi yol kullanıcı ücretleri ve makul toplu taşıma tarifelerinin uygulanması yoluyla, ulaştırma hizmetlerinin arzına ve işletilmesine özel sektörün katılımı için yenilikçi politikaların kullanılması da dahil olmak üzere ulaştırma sektöründe maliyetlerin geri kazanımının iyileştirilmesi,
- **Arazi kullanımı;** ulaşım ve arazi kullanımı ile sosyal ve ekonomik faaliyetler arasındaki entegrasyonunun geliştirilmesi.

Yol ağı sisteminin planlama sürecinde; ekonomik, mekânsal, sosyal ve çevresel olumsuz etkiler, göz önünde bulundurulmalıdır. Belirli ulaştırma altyapı olanaklarının kamu tarafından sağlanması için öne sürülen görüşlerden biri de ulaşım imkanlarının sağlanması ve kullanımına ilişkin olumlu ve olumsuz etkilerdir. Ulaşım altyapısı ve üstyapısı tarafından sağlanan hizmetlerin, ödeme güçlerine bakılmaksızın tüm bireylere asgari düzeyde sağlanması gerektiğine ilişkin hakkaniyet argümanı da bulunmaktadır. Bu nedenlerle, ulaştırma altyapısının sağlanmasında hükümetin rol alması, kaçınılmaz olarak görülmektedir (Kassahun, 2007). İyi planlanmış ve güvenli bir kentin hayata geçirilmesi için trafik yönetimi önlemleri çerçevesinde dikkat edilmesi gereken hususlardan bazıları aşağıdaki gibidir (Aldona, 2010).

- Caddenin kategorisi ve işlevselliği,
- Tahmini trafik yoğunluğu ve ulaşım akışının yapısı,
- Genel trafik yönetimi planı,
- Trafik katılımcılarının somut gruplarını etkileyen trafik yönetimi çözümlerinin sonuçları,
- Trafik yönetimi çözümlerinin engelli, hareket kabiliyeti kısıtlı, savunmasız yol kullanıcılarının ihtiyaçlarına göre ayarlanması,
- Caddelerde trafik güvenliği ve emniyetinin artırılması;
- Kentsel açıdan tarihi ve sosyal açıdan önemli objelerin yoğun ulaşım akışına karşı korunması.

Kentsel ulaşımın planlanması, uygulanması, işletilmesi, bakımı ve düzenlenmesi, çok sayıda ulaşım türünü, kullanıcıyı, kurumu ve sistemi içeren son derece karmaşık bir süreçtir. Hepsinden önemlisi, kentsel ulaşım; son derece önemli, politik ve görünür bir faaliyettir. Kabul edilebilir bir ulaşım sisteminin sunulamaması, oluşan yolcu kuyrukları, trafik sıkışıklığı, seyahat sürelerinin uzunluğu, trafik kazaları, çevresel kötü koşullar gibi durumlar nedeniyle ulaşım sistemi kullanıcıları tarafından çok çabuk fark edilebilmektedir. Düşük kalitede bir ulaşım sisteminin kullanıcıları tarafından dile getirilen endişeler, genellikle bir şehir yönetimine yönelik şikâyet

listesinin üst sıralarında yer alabilmektedir. Dolayısıyla etkili trafik yönetimi ve operasyonları, iyi tanımlanmış bir idari yapı içerisinde çalışan yetkin ve profesyonel bir kuruma ihtiyaç duymaktadır (Yılma, 2014).

Yerel düzeyde, Kentsel Trafik Yönetimi ve Kontrolü (UTMC-Urban Traffic Management and Control) faaliyetleri, çeşitli trafik yönetim araçlarının (SCOOT ve SCATS gibi) kullanımına dayanmaktadır. Hem araçları hem de yayaları tespit etmek ve trafik sinyallerini kontrol ederek trafik akışını yönetmek amacıyla bu bilgileri trafik kontrol merkezine iletmek için en son AUS teknolojileri kullanılabilmektedir (Mlinaric, 2016).

Karayolu tabanlı ulaşım sisteminin kapsamlı organizasyonu ile ilgili olan trafik kontrolü, tüm kentsel ulaşım sistemi için politika, teknik ve teknolojileri içine alan, çok daha geniş bir kavramı temsil etmektedir. Trafik ve ulaşım ile ilgili sorunlar, birçok kent için ciddi boyutlarda olsa bile bu durum için güçlü ulaşım politikaları (Cracknell, 2000) ortaya koyarak doğru çözümler bulunabilmesi muhtemeldir.

Kentsel hareketlilik çözümlerine yönelik dünya örnekleri aşağıda sunulmuş olup bunlarla sınırlı değildir (EDP, 2022) :

- Teknolojik çözümlerin benimsenmesinde öncü bir ülke olan Çin'in Hangzhou kenti, trafik ışıklarının sensörler aracılığıyla araçlardan veri topladığı ve ideal trafik akışını sağlamak amacıyla trafik ışıklarının sürelerini ayarlayan 128 kavşağı işleten dev bir teknoloji sistemi olan Ali Baba City Brain'dan destek almaktadır. Sistem, ayrıca acil durumlarda, örneğin ambulans için kırmızı ışıkların hızla yeşile dönmesini sağlamaktadır. Aynı şekilde kazaların gerçek zamanlı olarak tespit edilmesi ve polisin olay yerine beş dakikadan kısa bir sürede ulaşması da mümkün hale gelmiştir. Şehirdeki her aracın izlenmesiyle trafik sıkışıklığı %15 oranında azaltılmıştır.
- Şangay, otobüs güzergahlarını optimize etmek amacıyla City Brain uygulamasını kullanmaktadır. Ayrıca bazı üreticiler halihazırda geliştirme aşamasında olan uçan araba prototipleri üzerine çalışmaktadır.
- Kore'nin başkenti Seul, en yenilikçi kentsel hareketlilik çözümleri listesinde özel bir yere sahiptir. Yeterli altyapı ve hizmetlerin tanımını akılda tutarak kentsel desenlerin toplanması ve analizinden oluşan Baes on Data projesi, yenilikçi stratejilerden biri olarak görülmektedir. Seul'ün açık verileri; trafik akışını, dolaşım hızını ve hava kalitesini ölçen CCTV kameraları ve dedektörlerden toplanan bilgiler de dahil olmak üzere 5.000'den fazla veri tabanına erişim sağlamaktadır.

- Barselona Eixample bölgesinin 21 caddesinin her gün 350.000'den fazla araç tarafından kullanımını içeren proje ile trafiğin %40 oranında azaltılması ve bunun sonucunda fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan nitrojen oksit (NO₂) konsantrasyonunu ve asılı parçacıkların azaltılması amaçlanmaktadır. Burada uzun vadedeki hedef trafiğin düzenlenmesidir.
- Polonya'nın Lublin şehri, kent içi ulaşım altyapılarının ve şehirdeki otobüs filosunun modernizasyonunu içeren yenilikçi bir sistem tasarlamış ve uygulamaya almıştır.
- Paris, yol kullanıcıları için gerekli olan her hizmetin yürüyerek veya bisikletle 15 dakikalık mesafede olduğu "*15 dakikalık semtler*" oluşturulacağını duyurmuştur. Paris'te dizel araçların kullanımına 2024 yılında izin verilmeyerek 2030 yılına kadar fosil yakıtla çalışan araçların yasaklanması planlanmaktadır. Paris Ulaşım Şirketi %100 elektrikli "*Otonom Sürüşlü AI Servis Otobüsü*" hizmetini başlatmış olup bu hizmet genişlemekte ve ana yollar mikro hareketlilik üzerine yoğunlaşmaktadır.
- Dünya çapında bir kentsel hareketlilik modeli olarak kabul edilen Hong Kong ulaşım sistemi, son 10 yılda çevresel sürdürülebilirliği ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlikle dengeleyerek iyi bir model oluşturmuştur.
- Londra; denizaltı tüneli, uluslararası havaalanı ve yeraltı yol ağı ilkleriyle kentsel hareketliliğin öncü şehri olmakla birlikte, kentin benimsediği bir diğer girişim de toplu taşıma kullanımının teşvik edilmesi ve ardından karbon emisyonlarının azaltılması kapsamında merkezdeki araç trafiğinin kısıtlanmasıdır.
- Portekiz'de Aveiro şehri ilk elektrikli feribot teknesine ve ilgili şarj istasyonuna sahiptir ve bu da CO₂ emisyonlarında yıllık yaklaşık 300 tonluk bir azalmayı temsil etmektedir. Viseu'da, Viseu'nun Kentsel Hareketliliği (MUV-Mobilidade Urbana de Viseu) projesi ise Portekiz'deki ilk insansız elektrikli toplu taşıma aracını, talep üzerine bir ulaşım hizmetini ve akıllı park yönetimi gibi uygulamaları içermektedir.

4.3 TRAFİK YÖNETİMİ İÇİN YENİLİKÇİ YÖNTEMLER

Trafik ölçümü, kontrolü ve yönetimi ile ilgili literatürde benzer konulara odaklanan birçok çalışma olmasının yanında, yenilikçi teknikleri araştıran yaklaşımlar olduğu da gözlemlenmektedir. Küresel olarak benimsenmiş geleneksel yol kenarı bileşenlerini odak alan trafik yönetimi uygulamaları ile birlikte, araç tabanlı ve kullanıcıya özel yol ağı odaklı yöntemlerin incelendiği (Baskar, 2009) çalışmalar da bulunmaktadır. Bu tür çalışmaların, yeni nesil trafik

kontrolü ve yönetimi yaklaşımının uygulama olanaklarını araştırdığı görülmekte olup akıllı araç tabanlı trafik kontrol önlemleri, kontrol yapılandırmaları (merkezi, dağıtık, hiyerarşik) ve kontrol metodolojisi konularını incelediği görülmektedir. Ayrıca literatür çalışmaları, otoyol trafik kontrolü için uygulanan statik geri besleme kontrolünü, optimal ve model öngörülü kontrol ile AI metodolojilerini de içermektedir.

İnsan odaklı, manuel kontrol ve trafik sinyali kullanan otomatik kontrol, görüntü işleme tabanlı akıllı trafik yönetimi tekniği, kablosuz teknolojiler kullanan trafik yönetim sistemleri ve gerçek zamanlı yol verisini kullanan akıllı yol bilgi sistemi kullanımı gibi trafik yönetim tekniklerini inceleyen çalışmalar da bulunmaktadır (Pashupatimath & Madhavanavar, 2018). Akıllı yol bilgi sisteminin, mevcut trafikle ilgili sorunlar için uygun olduğu, ancak bazı dezavantajlar da içerdiği değerlendirilmektedir.

Entegre ulaşım koridoru kontrol tasarımı problemini; verimlilik, adillik ve eşitlik çözümü çerçevesinde inceleyerek trafik kontrolünü, statik ve dinamik olarak ele alan trafik tahsisi çalışmaları, yenilikçi yaklaşımlar arasındadır (Jingtoa, 2008).

Katılım kontrolü, dinamik şerit kullanımı yönetimi, değişken hız sınırları (Heijden & Marchau, 2002), dinamik rota bilgileri, kuyruk depolama, ulusal veri ambarı, olay yönetimi, kademeli azaltma (tapering), pik saat şeritleri (pik saatlerde çalışan HSR), artı şeritler (dinamik sol şerit), alan kontrolü, kuyruk takip uyarısı (TrafficQuest, 2012) gibi yenilikçi trafik yönetimi tedbirlerinin Hollanda'da yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir.

Haberleşme teknolojileri ve bilgisayarlı işleme yöntemlerinin hızlı gelişimi, trafiği kontrol etmek için yeni fırsatları beraberinde getirmiştir. Bilgi ve haberleşme teknolojilerinin ulaşım alanında uygulanması olan AUS, trafik ölçüm ve kontrolünün etkin ve verimli bir şekilde sağlanmasına yönelik önemli bir potansiyele sahiptir. Trafik aktörlerine gerçek zamanlı bir yönetim ve rota rehberliği ile trafik ağlarının performansını optimize etme konularında etkili çözümler sunabilmektedir. Ayrıca kavşaklardaki trafik optimizasyonu, trafik semafor (sinyalizasyon, ışık vb.) döngüsünün iyileştirilmesi yoluyla aşağıdaki şekillerde sağlanabilir (Stanciu vd., 2012):

- Trafik akışlarını değiştirmek için daha karmaşık stratejilerin geliştirilmesini sağlayan yeni ekipmanların kullanımı yoluyla trafik sinyallerinin iyileştirilmesi,
- Değişen trafik koşullarına gerçek zamanlı olarak dinamik bir şekilde yanıt vermek ve böylece yaşanan gecikmeleri azaltmak için trafik sinyallerinin senkronizasyonu,
- Kavşaklarda meydana gelen araç durmalarının sayısını ve sıklığını azaltmak için zaman tablolarını gerçek zamanlı olarak yönetmek ve kontrolü otomatik hale getirmek suretiyle

sabit ve uyarlanabilir trafik bileşenleri arasında birlikte çalışmayı iyileştirmek için trafik sinyallerinin koordinasyonu ve birbiriyle bağlantısının sağlanması,

- Beklemeleri ve istenmeyen duraklamaları azaltmak için kontrol edilmesine ihtiyaç duyulmayan trafik sinyallerinin kavşaktan kaldırılması,
- Trafik parametrelerinin güncellenmesi için önceden belirlenmiş zamanlarda, sinyal kontrollerinin değiştirilmesi,
- Sarı değiştirme aralığının ve/veya kırmızıda serbest bırakma aralığının düzenlenmesi,
- Semafor döngü süresinin değiştirilmesi,
- Trafik analizi ve optimizasyonu için tasarlanmış yazılım araçlarının kullanımı (Synchro, Transyt, vb.).

Trafik ölçümü, kontrolü ve yönetiminde; IoT, sarmal teknolojiler, bulut bilişim, dijital ikiz, AI, büyük ve açık veri ile veri analitiği teknolojilerinden faydalanan AUS çözümlerinin ortaya çıkması muhtemeldir. Akıllı yollar, MaaS, K-AUS projeleri, araç içi bilgi ve haberleşme sistemleri ile otonom sürüş projeleri gibi çalışmalar, trafik ölçümü ve kontrolü için yenilikçi yöntemlerin önünü açacak potansiyel içermektedir (Dilek vd., 2024).

Yollar, artık sadece fiziksel bir varlık ya da sağlam bir zemin olmanın ötesinde, bilgi ve haberleşme teknolojileri ile donatılmış olup yenilenebilir enerji sağlayan, hareket halindeki aracın yükünü tartabilen, elektrikli araçları otomatik olarak şarj edebilen, trafik ihlallerini anında algılayan, yol varlıklarıyla haberleşebilen, akıllı kavşak ve trafik sinyalizasyon sistemlerine sahip, hızlı acil kurtarma sistemleri gibi birçok yenilikçi unsur içermektedir (Dilek vd., 2024; Toh vd., 2020). Hız ve gürültü ölçüm sensörleri, CCTV kameralar, akıllı trafik ışıkları ile sokak lambaları, yol ve hava durumu izleme sistemleri, dijital tabelalar, otopark sistemleri gibi akıllı cihazlar kullanan akıllı yollar sayesinde izlenebilirlik iyileşmektedir. Aynı zamanda otonom ve bağlantılı araçlar için etkileşim ve güzergâh takibiyle sürüş deneyimi daha emniyetli hale gelmektedir. AI destekli birçok yol üstü cihazından elde edilen trafik verileri sayesinde, trafik kontrolü önlemleri geliştirilerek trafik sıkışıklığı ve kazalar azaltılabilmekte, yol verimliliği artırılarak uzun vadede şehirlerin karşı karşıya kaldıkları ulaşım sorunlarının azaltılmasına katkı sağlanabilmektedir (Dilek vd., 2024; Koptelov, 2022).

4.4 AUS İLE TRAFİK YÖNETİMİNİN GELECEĞİ

Trafik yönetimi; trafik yoğunluğunu azaltmak, trafik akışını hızlandırmak ve trafik güvenliğini artırmak için kullanılan bir dizi tekniktir. Trafik yönetimi teknikleri ise trafik

mühendisleri ve şehir plancıları gibi uzmanlar tarafından geliştirilen yol tasarımı, trafik işaretleri, trafik ışıkları, trafik polisi gibi çeşitli bileşenleri içeren, trafik yoğunluğunu azaltmak amacıyla yol kapasitesini artıracak, trafik akışını hızlandırmayı sağlayacak şekilde trafik ışıklarını optimize etmek ve trafik güvenliğini iyileştirmek için trafik polisinin etkinliğini artıran ve insanların yaşam kalitesini iyileştirmeye odaklanan faaliyetler içermektedir. Trafik yönetimi; mevcut yol ağının verimini artırmayı sağlayacak, ulaşım ihtiyaçlarına etkili çözüm olabilecek ve ulaşım modu tercihlerini etkileyebilecek çözümler için önlemler barındırmaktadır. Ayrıca yol bakımı, onarım ve yapımı kapsamında iyileştirme ve yeni yatırımlar için önlemler içermektedir.

Trafik yönetimi yaklaşımının; esnek, iş birlikçi ve proaktif olmasının yanında, ulaşım sisteminin kalitesine yapıcı bir katkı sunmayı hedefleyen, aşağıda özetlenen ve Türkiye için de önerebileceğimiz bir dizi önemli gereksinimi karşılaması gerektiği değerlendirilmektedir (TrafficQuest, 2012):

- Geleceğin trafik yönetimi, arz ve talepteki değişiklikleri ele almada daha esnek olmalıdır.
- Önlemler, tüm yol ağı boyunca koordine edilmeli ve uygulanmalıdır.
- Trafik yönetimi, proaktif olmalı ve bir dizi politika hedefine ulaşmak için kullanılabilir.
- Geleneksel ve yenilikçi teknolojilerin birlikte çalışmasına olanak tanımalıdır.
- Şeffaf, adil ve kapsayıcı planlar içermelidir.
- Karayolu yetkilileri, özel sektör temsilcileri, araştırma ve eğitim kurumlarının iş birliklerini güçlendirmelerini gerektirmektedir.

Ülkeler tarafından trafik ve ulaşım ile ilgili listelenen sorunlar genel olarak kentsel ortamda meydana gelmekte (yoğun saatlerde trafik sıkışıklığı), mevsimsel bir karaktere sahip olmakta (turizm ve hava koşulları), olaylardan kaynaklanmakta (kazalar, tünel ve yol kapatmaları) veya kalabalık bir sınır kapısında ortaya çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında incelenen ülke örneklerinden de görüleceği üzere trafik yönetiminde AUS'un kullanımı, ulaşım stratejilerinde giderek daha önemli hale gelmektedir. Ancak, tüm karar alıcılar ve ulaşım otoriteleri, AUS ve trafik yönetimi olanakları konusunda ortak bir görüşe sahip olmayabilmektedir.

Güçlü bir trafik ve ulaştırma politikasının genel yönelimleri; trafik yönetimi, yol bakımı, talep yönetimi, altyapı geliştirme, objektif ve sistematik değerlendirmenin benimsenmesi, çevre yönetimi, emniyet, finansman, arazi kullanımı-ulaştırma planlaması ve entegrasyonu gibi hususları içermektedir (Cracknell, 2000). Dünya ülkeleri tarafından uygulanan trafik yönetimi tedbirlerinin genellikle trafiği kontrol etmek, yol kullanıcılarını bilgilendirmek, trafik akışını izlemek ve yol yapımı olan yerlerde trafiği yönetmek gibi amaçlara yönelik olduğu görülmektedir.

Trafik yönetimi çerçevesinde ekonomik büyüme, sürdürülebilir kalkınma ve sosyal refah kavramlarını içeren üst düzey hedefler genellikle toplum için ortaya koyulmaktadır. Sıkışıklığı önlemeye veya azaltmaya, sıkışıklığı maksimum seviyede sınırlamaya veya öngörülebilir seyahat süreleri sağlamaya yönelik hedefler ise genellikle kent düzeyinde tanımlanmaktadır. Hedeflerin tanımlanma şekli, ulaştırma politikasını tanımlayan kuruma ve bir ülkedeki sorumlu organlara bağlıdır. Çoğu ülke bu hedefleri tanımlamıştır, ancak tüm ülkeler bunları sayısallaştırmamıştır.

Türkiye’de mevcutta AUS alanında farklı paydaşların çeşitli faaliyetler ortaya koyduğu, ancak hâlâ yapılan çalışmalarda görev ve sorumlulukların çerçevesinin net olmadığı görülmektedir. Kanun niteliğindeki Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile UAB’nin AUS ile ilgili sorumluluklarının çerçevesinin belirlendiği, ancak görev ve sorumluluk karmaşasının netlik kazanması amacıyla kararnamedeki boşlukların giderilmesi için ikincil mevzuatlara ihtiyaç olduğu görülmektedir. AUS politikaları, 2014 yılından bu yana strateji belgeleri ve eylem planları ile güçlendirilmeye çalışılmış olsa da hâlâ AUS alanında gelişimin ve yaygınlaşmanın sağlanabilmesi için öne çıkan ihtiyacın; mevzuat, yani yasal altyapı ile ilgili yapılması gereken çalışmalar olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca iyi ülke örneklerinde olduğu gibi strateji ve eylem planlarının uygulama süresi sona erdiğinde, ülkenin yeni dönem için belirlediği strateji ve hedeflerinin olması, çalışmaların sürdürülebilirliği için gereklidir. AUS alanında 2014-2016 yılları arasını kapsayan dönem için hazırlanan ilk eylem planının uygulama süresi 2016 yılında sona ermiş, ancak yeni dönem yol haritası, ancak 2020 yılında yürürlüğe girebilmiştir. Stratejik amaçlar, hedefler ve eylemlerin her yeni dönem için zamanında yürürlüğe girmesi, arada zaman boşluğu oluşmasını önleyecek ve sektör aktörlerinin yol haritasına odaklanmasını sağlayabilecektir.

İyi ülke örnekleri incelendiğinde; ABD’de Ulaştırma Bakanlığı ITS JPO, AB’de AB Komisyonu, Güney Kore’de MOLIT, Japonya’da MLIT, Almanya’da Federal Ulaştırma ve Dijital Altyapı Bakanlığı, Avusturya’da Ulaştırma ve İskân Bakanlığı, Avustralya’da Ulaştırma ve Altyapı Konseyi, AUS’a ilişkin önemli kararları alan, politikaları belirleyen ve söz sahibi olan kuruluşlar olarak görülmektedir. Dünyadaki bu iyi örneklerde olduğu üzere, bu alanda yürütülen çalışmaların etkinliğini, verimliliğini ve kamu yararını artırmak amacıyla güçlü bir kurumsal yapının oluşturulması, Türkiye’de AUS’un gelişimi için temel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmektedir. Kurumsal AUS yapılanması sayesinde; ulaştırma ağının güvenliği, emniyeti, verimliliği artırılarak değişen ve gelişen vatandaş ihtiyaçlarının karşılanmasına odaklı hizmetler sunulabilecektir. Böylece kent içi ve kentler arası mevcut ulaşım altyapısının işletilmesi, bakımı ve geliştirilmesi, uygun ve teknoloji destekli çözümlerle sağlanabilecektir. Ulaşım ve trafik alanında hedeflenen amaçlar, beklenen sonuçlar ve temel sorunların çözümü noktasında, AUS

yapılanmasının önemli bir ihtiyaç olduğu görülmüş olup dünyadaki iyi uygulama örnekleri ışığında, UAB çatısı altında organize edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Türkiye’de AUS çalışmalarının yoğunlaşmasıyla birlikte, koridor ortalama hız ihlal tespit sistemleri uygulamalarının, hız sınırlarının aşıldığı koridorlarda ortalama hızların tespiti ve hız kontrollerinin yapılabilmesi amacıyla kullanıldığı görülmektedir (Aydın & Köfteci, 2020). Trafik güvenliği ve emniyeti kapsamında sistemlerin, uygulamaların ve verinin de güvenliği konusu önemli tedbirleri belirlemeyi ihtiyaç haline getirmektedir.

ABD’de 1950 yılından bu yana iyileştirilerek ve güncellenerek günümüze kadar gelen Karayolu Kapasite El Kitabı’nın (Highway Capacity Manual)’in (Transportation Research Board, 2000, 2010), ulaşım sektörü için dünya çapında bir referans olduğu bilinmektedir. Ayrıca Avrupa’da Uyumlaştırılmış AUS Temel Hizmet Kurulumu için Referans El Kitabı (EUEIP, 2021) bulunmaktadır. Türkiye için de benzeri bir referans kitabın; trafik, yolculuk, lojistik gibi tüm hizmetleri içine alacak şekilde ve ülke koşullarını dikkate alarak hazırlanması önerilmektedir. Bu çerçevede, Avrupa ve ABD örneklerinde görüleceği üzere tüm ilgili kurum ve kuruluşların iş birliği içerisinde olması ve bir komisyon ya da çalışma grubunun kurulması önem arz etmektedir.

Ayrıca, trafik yönetimiyle ilgili konuları da içine alacak şekilde, akıllı ulaşım alanının siber güvenliğinin sağlanması kapsamında, Ulaştırma Teknolojisi Forumu tarafından hazırlanan Siber Yönlendirme Kılavuzu (Transport Technology Forum, 2021) ve ABD Ulaştırma Bakanlığı’nın Siber Güvenlik ve AUS En İyi Uygulama Kılavuzu (ITS Joint Program Office, 2022) gibi dokümanlar yol gösterici olabilecektir (Dilek, Talih, & Tektaş, 2023). Türkiye’de akıllı ulaşım ve trafik yönetimi konularının bileşenlerinin siber güvenliğine odaklanan bir kılavuz bulunmamaktadır. Bu doğrultuda, akıllı ulaşımın tüm alt alanları dikkate alınarak “*Türkiye AUS Siber Güvenlik Beyaz Kitabı*” hazırlanması, günümüzün trafik yönetimi koşulları için de önemli bir ihtiyaç olarak değerlendirilmektedir (Dilek, Talih, & Tektaş, 2023). Bu ihtiyaç çerçevesinde yapılacak çalışmalarda, sızma testleri planları, güvenlik duvarları, ağ geçitleri, veri şifreleme gibi siber güvenlik tedbirleri, göz ardı edilmemesi gereken hususlar arasında yer almaktadır (Zavadko, 2023).

Türkiye’de kent içi yol ağına ilişkin altyapı, ulaşım ve toplu taşıma hizmetleri ve bunların yönetilmesi, il ve büyükşehir belediyeleri sorumluluğunda yürütülmektedir. Büyükşehir belediyelerinin bünyesindeki Ulaşım Koordinasyon Merkezi (UKOME), ulaşım ve trafiği düzenlemek, yolcu taşıma ücretlerini belirlemek ve toplu taşıma hatlarının güzergahlarını planlamakla ilgili kararları almak amacıyla kurulmuştur (Talih vd., 2023). Mevcut bir kent içi ulaşım ağında sürdürülebilirliğin sağlanması için meydana gelmesi muhtemel günlük trafik akışının

izlenmesi gibi durumlar ile trafik kazası meydana gelmesi gibi plansız olaylara; gelişmiş, hızlı ve etkili cevap verebilme yeteneğinin olması önemli bir konudur. Kentsel alandaki trafik sıkışıklığı sorununun üstesinden gelmek ve trafiğin yönetimi için akıllı ve proaktif yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Kentsel ulaşımın geleceği için yapılan hazırlıklarda; akıllı teknolojiler, elektrifikasyon ve otomasyon gibi çözümlerle ortaya koyulacak altyapıların ve düzenleyici çerçevelerin oluşturulması önemli bir unsur olabilmektedir. Kentsel hareketlilik alanında daha temiz enerji kaynakları ile ulaşım türlerinin benimsenebilmesi; bu yeniliklerin, merkezi ve yerel yönetimler tarafından desteklenmesiyle ilişkili olup bu doğrultuda, kent içi yol ağında, AUS'un uygulanması ve yaygınlaşması ile ulusal AUS mimarisinin benimsenmesinin sağlanmasında, AUS'tan sorumlu bir birimin, belediyelerin organizasyon şemasında yerini alması, önemli bir husus olarak görülmektedir. Ayrıca, mevcut ulusal AUS mimarisi dikkate alınarak bölgesel ya da yerel AUS mimarilerinin oluşturulması, bu doğrultudaki standartlar ve yönergeler çerçevesinde geliştirmelerin ve güncellemelerin yapılması ile daha etkili, verimli ve birlikte çalışabilir kent içi ulaşım çözümleri ortaya koyulabilecektir. Ulusal AUS mimarisi aynı zamanda trafik yönetimi alanını da içereceğinden, Türkiye için önemli bir konudur.

Ulusal AUS mimarisinin belirlenmesine ilişkin çalışmalar, Türkiye'de hali hazırda devam etmekte olup henüz tanımlanmış resmi bir çerçeve bulunmamaktadır. Ulusal AUS stratejisi ve eylem planının uygulama süresinin sona erdiği dikkate alındığında, yeni dönem yol haritasının yayımlanmasına kadar geçen sürede, bir boşluk ve bekleme döneminin olması muhtemel görülmektedir. Bu durum, iyi ülke örneklerine yaklaşma eğiliminden sapma ihtimalini taşımaktadır. Eylem planları, herhangi bir alanda ilerleme ve gelişme sürecinin tetikleyici unsuru olduğundan, süre ve zaman konusunda ihtimamı hak etmektedir.

Türkiye'de AUS destekli trafik yönetiminin gelişimi için temel ihtiyaçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- AUS alanında yürütülen çalışmaların etkinliğini, verimliliğini ve kamu yararını artırmak amacıyla güçlü bir kurumsal yapının oluşturulması için mevzuatla desteklenen tedbirler alınması,
- AUS'un geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması (Ulusal AUS mimarisinin, özellikle yerel yönetimleri kapsayacak şekilde benimsenmesinin sağlanması),
- Türkiye'nin trafik yönetimi ve AUS kapsamında kullanılan ve kullanılacak standartların ortaya koyulması, bu kapsamda yürütülecek faaliyetlerde koordinasyonu sağlayacak bir AUS Standart Komitesi'nin merkezi yönetim liderliğinde kurulması ve bu komitenin önderliğinde açık kaynaklı "*Yaşayan AUS Standartlar Havuzu*" oluşturulması,

- Ulusal AUS Strateji Belgesi ve Eylem Planlarının trafik yönetimi konularını içerecek şekilde tasarlanması,
- Ulusal AUS strateji belgesi ve eylem planlarının güncellemelerinin, birbirinin devamı olacak şekilde herhangi bir zaman boşluğu olmadan yürürlüğe girmesi için önlemlerin alınması,
- Ulusal AUS mimarisinin yayınlanarak kent içi ve kentler arası yol ağında benimsenmesinin sağlanması amacıyla mevzuatın hazırlanarak yürürlüğe girmesinin sağlanması,
- Bağlantılı hareketlilik projelerin sayısının artması ve kentler bazında pilot uygulamalarının başlatılması,
- Birlikte çalışabilirlik ve veri paylaşımının kolaylaştırılması için mevzuat dahil gerekli çalışmaların yapılması,
- Türkiye için Karayolu Kapasite El Kitabının farklı ulaşım modları arasındaki entegrasyonu ve AUS'u da dikkate alarak hazırlanmaya başlanması,
- AUS temel hizmetlerinin yaygınlaşması için referans el kitabının hazırlanması,
- Türkiye AUS Siber Güvenlik Beyaz Kitabının hazırlanması,
- Talep yönetimi uygulamalarının Türkiye'de kent içi ve kentler arası yol ağında uygulanabilmesinde yol gösterici olacak kılavuzlar hazırlanması (sıkışıklık ücretlendirme, LEZ, ULEZ vb.)

Yukarıda belirtilen ihtiyaçlar çerçevesinde, aşağıdaki ölçülebilir nicel hedeflere odaklanılarak bunlar için gerekli proje, faaliyet ve uygulamaların hayata geçirilmesi önemli olacaktır:

- UAB'ye AUS çerçevesinde Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile verilen görev ve sorumluluklara yönelik uygulama yönetmeliğinin hazırlanarak öncelikli önlem olarak yayımlanması,
- Akıllı ulaşım alanında ihtiyaç duyulacak mevzuat çalışmalarının zamanında ve ülke koşulları dikkate alınarak yapılması,
- Ulusal AUS mimarisinin yayınlanması, güncelliğinin sağlanması ve sürdürülebilirliği için gerekli önlemlerin alınması, yaygınlaşması için kentleri de içine alacak şekilde mevzuatla desteklenmesi,
- Ulusal AUS standartlarının belirlenmesi, güncel tutulması ve sektörde uygulanmasının sağlanması,
- Ulusal AUS ekosistemi için bu sektöre yönelik pazar yol haritasının ortaya koyulması,

- Sinyalizasyon sistemleri, DMİ, DTİ ve AUS saha ekipmanları gibi unsurların; planlama, tasarım, uygulama ve işletme kriterlerinin belirlenmesi, ayrıca karayolu kapasite el kitabının hazırlanması için çalışmalara başlanması,
- Paylaşımlı hareketlilik, elektromobilité, yeşil dönüşüm ve lojistik gibi uygulamaların yaygınlaşması ve sürdürülebilir hareketliliği desteklemek için mevzuat çalışmaları dahil gerekli faaliyetlerin hayata geçirilmesi,
- Ulaşım emniyet ve güvenliğinin, siber güvenlik hususları da dahil olmak üzere sağlanması ve mevzuat çalışmaları dahil tüm gerekli hazırlıkların yapılması,
- Akıllı ulaşım verilerinin toplanması, saklanması, paylaşılması gibi süreçlerin yönetilmesi için teknik ve mevzuat çalışmaları dahil idari tüm gerekli hazırlıkların yapılması,
- AUS veri analitik çalışmalarının, yenilikçi teknolojileri içerecek şekilde planlanması,
- Başta trafik yönetimi olmak üzere, acil durum yönetimi, yolcu bilgilendirme, araç kontrol, toplu taşıma, ticari araç operasyonları, elektronik ödeme ile emniyet ve güvenlikle ilgili gelişmiş AUS konularında AI ve diğer yenilikçi teknolojilerin kullanımına ilişkin çözümlerin araştırılması ve uygulamaya alınması,
- AUS araştırma ve geliştirme çalışmalarının koordine edilmesi,
- Başta AUS alanında nitelikli insan kaynağı yetiştirilmesi olmak üzere farkındalık ve bilincinin geliştirilmesine yönelik faaliyetlerin sayısının artırılması.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Modern bir toplumda ulaşım, insan topluluklarının yaşam süreçleri içinde dahil olduğu belirli faaliyetlerin gerçekleştirilmesi için bir gerekliliktir. Bu hareketlilik ihtiyacı sürekli artmakta ve söz konusu faaliyetleri kolaylaştırmak için farklı ulaşım araçları kullanılarak bir noktadan diğerine hareket etme ile karakterize edilmektedir. Ulaşım kaynaklı sorunları ortadan kaldırmaya ya da önlemeye yönelik önceden belirlenmiş, planlanmış, tahminlere dayalı trafik yönetiminin, tüm dünyada ve özellikle Türkiye’de etkin bir şekilde uygulanması, günümüz koşulları ve gelecek nesiller için önemli bir ihtiyaçtır.

Dünya genelinde gelişmiş ülkelerin yanı sıra gelişmekte olan ülkelerde de nüfusun dağılımının kentleşmeye doğru evrilmesiyle uzmanların; çevre, ekonomi, ulaşım, sosyal ve kültürel yaşam gibi konulara ilişkin araştırmalara odaklandıkları görülmektedir. Ulaşım alanına yönelik çalışmalar, ülkelerin ulaşım sistemlerini iyileştirmenin; sadece yeni yollar inşa etmek veya eskiyen altyapıyı onarmak olmadığı, bunun yanı sıra trafik talep yönetimi için üretilen çözümlerin kurumlar arası koordinasyon gerektirdiğini göz önüne sermektedir. Bu yeni etkin ulaşım yönetimi yaklaşımları, günümüzde çok modlu ve çok paydaşlı, yıkıcı ve yenilikçi teknolojilerle şekillenen bir paradigma değişimi olarak AUS’un yaygınlaşmasını sağlamıştır. Günümüzde geliştirilen yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler sayesinde, veri güdümlü (data-driven) karar verebilen sistemler, her geçen gün daha fazla hayatımıza girmekte, ulaşım sistemlerini de içine alan birçok alanda köklü değişimler meydana getirmektedir.

Yol kullanıcıları için trafik sistemi kapasitesinin, kalitesinin, emniyet ve güvenliğinin iyileştirilmesi amacıyla ulaşım arzının belirlenmesi önemli olmaktadır. Aynı zamanda yolculukların bir bütün olarak toplumun tamamı için en verimli şekilde yürütülmesini sağlamak amacıyla ulaşım talebinin tespiti de aynı derecede öneme sahip bir ihtiyaçtır. Trafik yönetimi politikalarının, tedbirlerinin ve planlarının, arz ve talep tahminlerini karşılayacak şekilde yapılması gerekmektedir. Trafiğin ölçülebilir ve takip edilebilir çoklu hedeflere göre yönetilebilmesi, arz ve talep esnekliğinin sağlanması, iyi bir organizasyon yapısı, temel ulaşım alt ve üst yapı bileşenleri, yetişmiş insan kaynağı gibi unsurlara ilişkin yaklaşımlar, söz konusu planların odağında olmalıdır. Bu yaklaşımlar entegrasyon, birlikte çalışabilme, gelecekteki yeniliklere adaptasyon gibi konuları da içine almaktadır.

Trafik yönetimi; trafik yoğunluğunu azaltmak, trafik akışını hızlandırmak ve trafik güvenliğini artırmak için kullanılan bir dizi tekniktir. Trafik yönetimi teknikleri; trafik işaretleri, trafik sinyalleri ve trafik polisi gibi bileşenler ile yol tasarımı, toplu taşıma ve AUS gibi çeşitli

unsurlardan yararlanarak trafik emniyeti ve güvenliğini iyileştirmeye yönelik çevre ve insan odaklı faaliyetler içermektedir. Trafik yönetimi tekniklerinin, ayrıca hava ve gürültü kirliliğini azaltma, yakıt tasarrufu sağlama, maliyetleri düşürme, trafiğin yoğunluğunu azaltarak akışını hızlandırmak gibi faydaları bulunmaktadır. Bu doğrultuda AUS'un trafik yönetiminin geleceğinde önemli bir rol oynayarak trafik yönetimini daha verimli, güvenli ve çevre dostu hale getirmeye yardımcı olacağı değerlendirilmektedir. Ancak, trafik yönetimi tekniklerinin doğru ve etkin planlama içermediği durumlarda bazı sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Trafik sinyallerinin olağan akışını yavaşlatarak sıkışıklığa yol açması ihtimali, trafik cezalarının sürücülerde ortaya çıkaracağı tepki ve stres, toplu taşıma sistemlerinin trafik yoğunluğunu azaltmasına rağmen ihtiyaç duyulan her yere ulaşmak için uygun ve yeterli olmaması, AUS'un etkin ve verimli çözümler içermesine karşın bu sistemlerin maliyetli, kurulumunun ve bakımının zor olması, karşılaşılabilecek sorunlara örnek verilebilir.

Kapsamlı bir trafik yönetim sisteminin, trafik kaynaklarından elde edilen verilerin toplanması, entegrasyonu, analizi, paylaşılması ve yönetilmesi ile ilgili bileşenleri içermesi beklenmektedir. Trafik verilerinin açık veri olarak sunulması ve yol kullanıcıları için bir bilgi sisteminin oluşturulması gibi çözümlerin başarısı ise uzaktan gerçek zamanlı trafik ve ulaşım verilerinin yönetimine bağlıdır. Bunun yanında, dijitalleşme ve verinin yoğun olduğu bu kritik ortamda, siber güvenlik tedbirlerinin de göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Trafik yönetimi tedbirlerinin etkin bir şekilde uygulanması için yüksek kaliteli, gerçek zamanlı ve eksiksiz trafik verilerinin sağlanmasına ihtiyaç vardır. Ayrıca bu veriler, doğru kaynaklardan toplanarak iyi bir şekilde birleştirilmeli ve etkili tekniklerle analiz edilmelidir. Bu analizler sayesinde trafikte meydana gelmesi muhtemel sorunların öngörülmesi ve etkili önlemler geliştirilmesi mümkün olabilecektir.

Ayrıca trafik kaynaklı sorunların, zorlukların ve risklerin üstesinden gelebilmek için doğru tasarlanmış bir trafik yönetim planı hedeflere ulaşmakta önemli olmaktadır. Bir trafik yönetimi planı geliştirilirken aşağıdaki genel prosedürlerden yararlanılması uygun olabilir:

- Çalışılacak bölge için nihai hedeflerin ve ele alınması gereken temel sorunların netleştirilmesi.
- Trafik yoğunluğunun, seyahat sürelerinin ve trafik sorunu olan yerler de dahil olmak üzere ağ, güzergâh veya çalışma alanının incelenmesi.
- Farklı çıkar gruplarının, görüşlerinin ve hedeflerinin tanımlanması.
- Trafik yönetim planında ölçülebilir hedeflerin yer alması.

- Trafik akışındaki değişikliklerin tahmini, ilgili tüm gruplar üzerindeki etkileri ve her bir uygulamanın belirtilen hedeflere göre genel performansı gibi önerilerin ilk değerlendirmelerinin yapılması.
- Tercih edilen planın seçilerek bu planın daha detaylı analizinin ve tasarımının yapılması.
- Planın pilot uygulanmasının yapılması ve olası tüm geri bildirimlerin izlenerek tasarımın uygun şekilde güncellenmesi.
- Çalışmanın tatmin edici olması halinde planın uygulamaya alınması.
- Uygulama sonuçlarının raporlanarak değerlendirmesinin yapılması.

Trafik yönetim sistemi ne kadar iyi organize edilirse edilsin, işler nihayetinde çalışanlar tarafından yürütülmektedir. Trafik yönetiminin etkili, daha geniş kapsamlı ve daha iyi koordine edilmiş olması isteniyorsa yeterli, yetkin ve becerikli insan kaynağına sahip olunması gerekmektedir. Bu nedenle hem mevcut hem de yeni istihdam edilecek personel için sürekli bir insan kaynağı geliştirme programı oluşturulmalıdır. Genel olarak trafik yönetimi stratejilerinin faydalarının sürdürülebilir olmasını sağlamak için etkili politikalar, kurumsallık ve nitelikli insan kaynağı taahhüdüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada Türkiye’de trafik yönetimi tedbirlerini doğru planlamak ve etkin bir şekilde uygulayarak sürekliliğini sağlayabilmek amacıyla uygun yetkilere ve yeteneklere sahip trafik yönetimi birimlerinin, kentsel ve ülke yönetsel yapısında, ilgili kuruluşların organizasyon şemasında yerini alması önerilmektedir.

Kentsel alanlarda genellikle yüksek kaliteli bir yol ağına ihtiyaç duyulmakla birlikte, yeni yolların tek başına uzun vadeli bir çözüm olmadığı, bu çalışma ile incelenen iyi uygulama örneklerindeki tecrübelerden görülmüştür. Yeni yollar yapılırsa bile yol ağının etkin ve verimli kullanımı ile güvenlik ve emniyet hususundaki endişelerin giderilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bu ihtiyaçların karşılanması için geleneksel ve yenilikçi trafik yönetimi ve tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle ülkeler ve kentlerin üst düzey ulaşım otoriteleri tarafından, yenilikçi ve duyarlı trafik yönetimi politikalarını planlamak ve uygulamaktan sorumlu biriminin yetki, sorumluluk, personel ve finansman açısından güçlendirilmesi gerekmektedir.

Türkiye’de trafik yönetiminin yüksek kalitede ve yeknesak bir şekilde uygulanması için trafik yönetimi mimarisinin oluşturulması önerilerden diğeridir. Uygulanan teknoloji, organizasyon, finansman, birlikte çalışabilirlik, yasal hususlar gibi etkin bir trafik yönetimi için gereken tüm adımların tanımlanmasından oluşmaktadır. Böyle bir çerçeve mevcut olduğunda faaliyetler ve organizasyon için herkesin aynı dili konuştuğu belirli bir standardizasyon sağlanarak genel ve net bir bakış açısı ortaya çıkabilmektedir.

Etkili bir trafik yönetiminin, tüm başarılı akıllı ulaşım çözümlerinin merkezinde yer aldığı görülmektedir. Bu noktada seyahat sürelerini, trafik sıkışıklık düzeyini ve toplumun yerel ulaşım altyapısının durumuna ilişkin yaşadığı memnuniyetsizliği azaltmak için mevcut kaynaklar kullanarak iyileştirilmiş trafik akışları oluşturmaya odaklanılmalıdır. Akıllı ulaşım çözümleri; etkin bir trafik ve ulaşım yönetiminde, mevcut altyapı ve kaynakları kullanarak etkili sonuçlar sağlayabilen, günümüzün ve geleceğin öne çıkan yöntemleri arasındadır.

Daha fazla yol altyapısı ve uygulanabilir aktif bir trafik talep yönetimi ile trafik sıkışıklığının normal seviyelerde tutulması mümkün olabilmektedir. Katılım kontrolü ve değişken hız sınırı kontrolü gibi birçok geleneksel trafik kontrol yöntemi, yalnızca normal veya orta derecede yüksek trafik akışı koşullarında trafik üzerindeki yükü hafifletebilmekte, bu da araçların çalışma şeklini düzenleyerek trafik verimliliğini artırabilmektedir. Bununla birlikte, trafik hacmi aşırı yüksek olduğunda, mevcut yaygın trafik kontrol yönetimi yöntemleri gereksinimleri karşılamada zorlanabilmektedir. Başka bir ifadeyle trafik yönetimi yöntemleri trafik akış verimliliğini mümkün olduğunca artırmakta, ancak yol kapasitesini değiştirememektedir. Bu da bu yöntemlerin etkilerinin, belirli bir seviye ile sınırlı olduğu anlamına gelmektedir. Trafik sıkışıklığı baskısını hafifletmenin en doğrudan çözümü, şerit sayısını artırmak olarak görülebilmektedir. Ancak uygulamada, ekonomik maliyetler, arazi kullanım planlaması ve günlük trafik talebi nedeniyle mevcut yol ağının şeritlerini genişletmek genellikle pratik olmamaktadır. Bu noktada emniyet şeridini mümkün olduğunda trafik için kullanmak, sıkışıklık ücretlendirmesi, düşük emisyon bölgesi, acil durum araç önceliği, esnek çalışma saatleri, yön değiştirebilen şeritler gibi trafik talep yönetimi uygulamalarından faydalanılmaktadır. Şehir ve bölgelerdeki coğrafi koşullar, yasal çerçeveler ve politik kısıtlamalar gibi faktörler göz önünde bulundurularak bu yöntemlerin uygun olanının seçilmesi; sıkışıklık, çevresel olumsuz etkiler, etkili ve verimli ulaşım amaçları ile sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sunabilmektedir.

Türkiye'deki mevcut koşullar göz önünde bulundurulduğunda, paradigmatic değişim dinamiklerinin ulaşım sektörünü başarılı bir şekilde dönüştürmesi için yasal çerçevenin belirlenmesi, birlikte çalışabilirliğin ve veri paylaşımının kolaylaştırılması, V2I, V2V, V2X haberleşme teknolojilerinin desteklenmesi, veri güvenliğinin sağlanması ve risk paylaşımı ve sorumluluk endişelerinin ele alınması, yenilikçi ulaşım çözümlerinin yaygınlaştırılması ve kabul oranının artırılması için gerekliliklerin belirlenmesi, entegre hareketlilik sistemlerinin geliştirilmesi, otonom sürüşün yasal sorunlarının ele alınması, eğitim ve farkındalık faaliyetleriyle insan kaynağı kapasitesinin güçlendirilmesi, akıllı ulaşım için Ar-Ge desteklerinin artırılması gerektiği tespit edilmiştir.

Bu tespitler ışığında, yeni dönem ulusal AUS stratejisinin misyon, vizyon ve değerlerinin oluşturulması ile stratejik amaç, hedef ve eylemlerinin belirlenmesinde bu tez çalışması sürecinde elde edilen bulgu, içerik ve sonuçlardan faydalanılmıştır. Bu tez çalışmasının süreçlerinden faydalanılarak aynı zamanda, ulusal AUS strateji belgesi ve 2024-2030 yıllarını kapsamı planlanan eylem planı için kısa, orta ve uzun dönem hedeflerin belirlenmesi faaliyetleri de yürütülmüştür.

Sonuç olarak teknoloji yaşayış ve iş yapış biçimlerini değiştirerek yeni koşullara uygun yaşam alanları oluştururken, her aşamada insan ve çevre faktörünün göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Yeni teknolojilerin uygulamaya koyulmasıyla eş zamanlı olarak, toplumu oluşturan bireylerin de bu son derece etkileşimli ve akıllı ekosistemin bir parçası olabilmelerini sağlayacak tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu tedbirler dikkatle planlanmış bir program çerçevesinde ve güvenli bir şekilde alınmalıdır. Geliştiriciler, teknoloji şirketleri ve yetkililer, teknolojinin sağladığı çözümlere odaklanmak yerine, teknolojiyle temasta bulunan kişileri nasıl etkileyebileceğini göz önünde bulundurmalıdır. Bir şehrin ulaşım dahil tüm bileşenleriyle birlikte ele alınarak “akıllı” olabilmesi için teknoloji, şehir yönetimi ve şehir sakinlerinin birlikte bir bütün olarak iş birliği yapması ve böylece yaşam kalitesinin herkes için iyileştirilmesinin sağlanması önemlidir. Ulaşım ve trafik için ortaya koyulacak strateji ve politikalar; yol ağının fiziksel altyapısı, geleneksel ve yenilikçi teknolojiler, mevcut ve yeni sistemler ile yol kullanıcıları dahil tüm paydaşlar göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Abdoos, M., Mozayani, N., & Bazzan, A. L. C. (2011). Traffic Light Control in Non-Stationary Environments Based On Multi Agent Q-Learning. *2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 1580-1585.
<https://doi.org/10.1109/ITSC.2011.6083114>
- Adebisi, O. (2004). *Transport Systems Management in Nigeria in Vandu-Chikolo et al (eds) Perspectives on Urban Transportation in Nigeria*. Nigerian Institute of Transport Technology (NITT).
- Afrin, T., & Yodo, N. (2023). Data-Driven Traffic Management Towards Resilient Transportation Systems. *ProQuest Dissertations and Theses*.
<https://www.proquest.com/dissertations-theses/data-driven-traffic-management-towards-resilient/docview/2826123754/se-2?accountid=190984>
- Aftabuzzaman, M. (2007). Measuring traffic congestion- A critical review. *30th Australasian Transport Research Forum*.
- Agent, K. R., & Clark, J. D. (1980). Evaluation of Reversible Lanes (Nicholasville Road; Lexington, KY). *Kentucky Transportation Center Research Report (C. 794)*.
https://uknowledge.uky.edu/ktc_researchreports/794
- Akbaş, A. (2001). *Kent İçi Trafik Sinyal Sisteminin Optimal Kontrolü* [F.B.E. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi].
<https://katalog.marmara.edu.tr/veriler/yordambt/cokluortam/C/A/C/F/F/T0046737.pdf>
- Akçelik, R. (1997). Lane-by-lane modelling of unequal lane use and flares at roundabouts and signalised intersections: The SIDRA solution. *Traffic Engineering and Control*, 38, 388-399.
- Alemdar, K. D. (2019). *Kavşak Tasarımlarının Karar Verme Teknikleri ile Değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi:567338, Atatürk Üniversitesi].
https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/47116/yokAcikBilim_10277836.pdf?sequence=-1&isAllowed=y
- Alexandre, B. (2013). Hybrid Traffic Data Collection Roadmap: Pilot Procurement of Third-Party Traffic Data. *IDEAS Working Paper Series from RePEc*. Federal Reserve Bank of St Louis. <https://www.proquest.com/working-papers/hybrid-traffic-data-collection-roadmap-pilot/docview/1698191266/se-2?accountid=190984>

- Al-Mawajdeh, G., Jadaan, K., & Sweis, G. (2023). Assessing The Public And Experts' Perception Towards The Proposed Congestion Pricing Scheme In Jordan. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, 14(2), 104-116.
<https://doi.org/10.33736/jcest.5153.2023>
- Al-Shaybawee, A. İ. (2017). *Review On High Occupancy Vehicle Lane: İstanbul Case Study* [Yüksek Lisans Tezi - 472841]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Amelsfort, D. van. (2015). *Introduction to Congestion Charging A Guide for Practitioners in Developing Cities*. <https://changing-transport.org/publications/introduction-to-congestion-charging/>
- Amelsfort, D. van, & Brundell-Freij, K. (2018). *Congestion Charging: Policy and Global Lessons Learned*. <https://www.wsp.com/-/media/Insights/Canada/Documents/doc-Congestion-Charging-Report.pdf?la=en-GL&hash=ADE02366CDA806EB17ACB7A018E8A6AED624A5A2>
- Anell, K., & Hartmann, D. (2007). Flexible Work Arrangements in Asia. *Boston College Center for Work & Family*.
https://www.bc.edu/content/dam/files/centers/cwf/research/publications/researchreports/Executive%20Summary_Flexible%20Work%20Arrangements%20in%20Asia
- Ankeli, T. (2018). Traffic Congestion And Urban Property Rental Values in An Emerging City: A Phenomenon Always Overlooked. *International Journal of Arts & Sciences*, 11(01), 115-128. https://www.academia.edu/38197493/Traffic_Congestion_Ankeli_pdf
- Asiyanbola, R. A., Osoba, S. B., & Adewale, S. S. (2012). Road traffic administration and management in the third World mega-city: Lagos, Nigeria. *International Journal of Development and Sustainability*, 1(2), 490-509. <https://www.isdsnet.com/ijds-v1n2-33.pdf>
- Austrroads. (2006). The use and application of microsimulation traffic models. AP-R286-06. AP-R286-06. <https://austrroads.com.au/publications/traffic-management/ap-r286-06/media/AP-R286-06.pdf>
- Austrroads. (2007a). Review of Recent Developments in Road Pricing, Including Freight: Phase I – Key issues and experience. D. Green & K. Lewis (Ed.), AP-R301/07. Austrroads Ltd. www.austrroads.com.au
- Austrroads. (2007b). Tools that Impact Network Performance: Road Space Allocation Tools. D. Green & K. Lewis (Ed.), AP-R311/07. Austrroads Ltd. <https://austrroads.com.au/publications/network/ap-r311-07/media/AP-R311-07.pdf>

- Austrroads. (2010). *Defining Applicability of International Standards for Intelligent Transport Systems (ITS)*. https://austrroads.com.au/publications/traffic-management/ap-r368-10/media/AP-R368-10_Defining_Applicability_of_International_Standards_for_Intelligent_Transport_Systems.pdf
- Austrroads. (2020a). Guide to Traffic Management Part 1: Introduction to the Guide to Traffic Management. D. Green & K. Lewis (Ed.), *AGTM01-20*. Austrroads Ltd. www.austrroads.com.au
- Austrroads. (2020b). Guide to Traffic Management Part 2: Traffic Theory Concepts. *AGTM02-20*. Austrroads Ltd. <https://austrroads.com.au/publications/traffic-management/agtm02/media/AGTM02-20-Part-2-Traffic-Theory-Concepts.pdf>
- Austrroads. (2020c). Guide to Traffic Management Part 3: Transport Studies and Analysis Methods. *AGTM03-20*. Austrroads Ltd. https://austrroads.com.au/publications/traffic-management/agtm03/media/AGTM03-20_Part_3_Transport_Study_and_Analysis_Methods.pdf
- Austrroads. (2020d). Guide to Traffic Management Part 4: Network Management Strategies. *AGTM04-20*. Austrroads Ltd. https://austrroads.com.au/publications/traffic-management/agtm04/media/AGTM04-20_Part_4_Network_Management_Strategies.pdf
- Austrroads. (2020e). Guide to Traffic Management Part 6: Intersections, Interchanges and Crossings Management. *AGTM06-20*. Austrroads Ltd. https://austrroads.com.au/publications/traffic-management/agtm06/media/AGTM06-20_Part_6_Intersections_Interchanges_and_Crossings_Management.pdf
- Austrroads. (2020f). Guide to Traffic Management Part 9: Transport Control Systems –Strategies and Operations. *AGTM09-20*. Austrroads Ltd. <https://austrroads.com.au/publications/traffic-management/agtm09>
- Aydın, M. M., & Köfteci, S. (2020). Koridor Hızı İhlal Tespit Sistemlerinin (KOHİTS) Performans Ölçümlerinde Kullanılabilecek Bir Ölçüm Metodunun Önerilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(1), 373-392. <https://doi.org/10.24012/dumf.544530>
- Aydın, E., & Kürschner Rauck, K. (2023). Low-emission zones, modes of transport and house prices: evidence from Berlin's commuter belt. *Transportation*, 50(5), 1847-1895. <https://doi.org/10.1007/s11116-022-10295-8>

- Ayland, N. D., & Emmott, N. P. (1994). The integration of road transport informatics for demand management. *Third International Conference on Road Traffic Control, 1990.*, 45-48.
- Balaban, S., & Ozturk, E. (2022). Tam Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sisteminde Gecikmede Sağlanan İyileşmeler. *Kent Akademisi*, 15, 564-577. <https://doi.org/10.35674/kent.1058968>
- Balbo, F., Mandiau, R., & Zargayouna, M. (2023). Extended review of multi-agent solutions to Advanced Public Transportation Systems challenges. *Public Transport*. <https://doi.org/10.1007/s12469-023-00332-9>
- Baradaran, H., Bozorgvar, H., Nourallahzadeh, Z., & Rasaizadi, A. (2023). Effectiveness of Flexible Working Hours on Traffic Index, a Case Study for Tehran. *Advance Researches in Civil Engineering*, 5(1), 56-69.
- Baskar, L. D. (2009). *Traffic management and control in intelligent vehicle highway systems* (Sayı T2009/12). Citeseer.
- Berdyorova, I. (2022). *Intelligent Transport Systems Apps in South Korea*. 1(6). <http://innosci.org/>
- Beritelli, F., Casale, S., Russo, A., & Serrano, S. (2006). An Automatic Emergency Signal Recognition System for the Hearing Impaired. *2006 IEEE 12th Digital Signal Processing Workshop & 4th IEEE Signal Processing Education Workshop*, 179-182. <https://doi.org/10.1109/DSPWS.2006.265438>
- Bharadwaj, R., Deepak, J., Baranitharan, M., & Vaidehi, V. V. (2013). Efficient dynamic traffic control system using wireless sensor networks. *2013 International Conference on Recent Trends in Information Technology (ICRTIT)*, 668-673. <https://doi.org/10.1109/ICRTIT.2013.6844280>
- Bhat, C. R. (1997). Work travel mode choice and number of non-work commute stops. *Transportation Research Part B: Methodological*, 31(1), 41-54.
- Bilgiç, E. (2022). *Kent İçi Ulaşım Modlarından Biri Olan Bisikletin Midyat Kent Ölçeğinde İncelemesi* [Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. tez.yok.gov.tr
- Boltze, M. (2013). Transport Planning and Traffic Engineering. *Lectures at VGU*.
- Boltze, M., & Anh Tuan, V. (2016). Approaches to Achieve Sustainability in Traffic Management. *Procedia Engineering*, 142, 204-211. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.033>
- Brill, W. E. (2001). *Emergency vehicle detection system*. <https://patents.google.com/patent/US6362749B1/en>

- Britannica. (2023). *Ttraffic control*. Encyclopedia Britannica.
<https://www.britannica.com/facts/traffic-control>
- Brussels Parlement. (2019). *The text of the Brussels government's general policy statement*.
<https://www.parlement.brussels/texte-de-la-declaration-de-politique-generale-du-gouvernement-bruxellois/>
- Buchenscheit, A., Schaub, F., Kargl, F., & Weber, M. (2009). A VANET-based emergency vehicle warning system. *Vehicular Networking Conference (VNC), 2009 IEEE*.
<https://doi.org/10.1109/VNC.2009.5416384>
- Caltrans. (2024). *High-Occupancy Vehicle Systems*. State of California.
<https://dot.ca.gov/programs/traffic-operations/hov>
- Cambridge Systematics. (2005). *Traffic Congestion and Reliability: Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation*. https://ops.fhwa.dot.gov/congestion_report/
- Campbell, J. L., Carney, C., & Kantowitz, B. H. (1992). *Human Factors Design Guidelines for Advanced Traveler Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operations (CVO)*. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Research and Technology. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/98057/toc.cfm>
- Cao, Y., Zuo, Z., & Xu, H. (2014). Analysis of Traffic Conflict Characteristic at Temporary Reversible Lane. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 42(1), 73-76.
<https://doi.org/10.3311/PPtr.7068>
- Carbonneau, M.-A., Lezzoum, N., Voix, J., & Gagnon, G. (2012). Detection of alarms and warning signals on an digital in-ear device. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2012.07.001>
- Cassidy, M. J., & Rudjanakanoknad, J. (2005). Increasing the capacity of an isolated merge by metering its on-ramp. *Transportation Research Part B: Methodological*, 39(10), 896-913.
- CEDR. (2012). Traffic management to reduce congestion. *Conference of European Directors of Roads*. CEDR's Secretariat General.
https://www.cedr.eu/download/Publications/2013/T12_Traffic_management.pdf
- CEDR. (2022). *Fact Sheet on Hard Shoulder Running v2.0*. Working Group Traffic and Network Management. <https://www.cedr.eu/docs/view/629f3cd6e8920-en>
- CEN. (2024). *Transport and Packaging*. CEN/TC 278 ITS Standardization.
<https://www.cencenelec.eu/areas-of-work/cen-sectors/transport-and-packaging-cen/its-and-mobility-services/>

- Ceylan, H., Başkan, Ö., Haldenbilen, S., & Ceylan, H. (2007). Yaklaşık Hesaplama Metodu ile Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Bileşenlerinin Matematiksel Çözümü. *Journal*, 13(2), 279-288. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/20517/218462>
- Chen, X.-G., Zhou, J., Zhu, Z.-T., & Xu, H.-L. (2009). Measure of Urban Traffic Supply and Demand Coupling Balance. *2009 Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 5, 197-200. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2009.260>
- Chevron, C., Exertier, A., & Deimon, T. B. (2022). Low Emission Zones: what they are and how to introduce them. *egis*. <https://www.egis-group.com/all-insights/low-emission-zones-what-they-are-and-how-to-introduce-them>
- Cohen, S. (2004). Using the hard shoulder and narrowing lanes to reduce traffic congestion some lessons from an experience on the Paris motorway network. *12th IEE International Conference on Road Transport Information and Control, 2004. RTIC 2004.*, 149-153. <https://doi.org/10.1049/cp:20040022>
- Collier, T., & Goodin, G. (2004). *Managed Lanes: A Cross-Cutting Study*. Operations Office of Transportation Management Federal Highway Administration.
- Commitee on Highway Capacity. (1950). *Highway Capacity Manual 1950*. U.S. Department of Commerce Bureau of Public Roads. https://web.engr.oregonstate.edu/~bertinir/TFT/docs/Highway_Capacity_Manual_1950.pdf
- Conceição, L., Correia, G. H. de A., & Tavares, J. P. (2020). The Reversible Lane Network Design Problem (RL-NDP) for Smart Cities with Automated Traffic. *Sustainability*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/su12031226>
- Cracknell, J. A. (2000). *Experience in Urban Traffic Management and Demand Management in Developing Countries*.
- Crainic, T. G., Gendreau, M., & Potvin, J.-Y. (2009). Intelligent freight-transportation systems: Assessment and the contribution of operations research. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(6), 541-557. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2008.07.002>
- Cruz, C., & Montenon, A. (2016). Implementation and Impacts of Low Emission Zones on Freight Activities in Europe: Local Schemes Versus National Schemes. *Transportation Research Procedia*, 12, 544-556. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.010>
- CTCN. (2023). Traffic management. *UN Climate Technology Centre&Network*. <https://www.ctc-n.org/technologies/traffic->

- management#:~:text=Proper%20traffic%20management%20can%20ensure%20that%3A,users%2C%20including%20pedestrians%20and%20cyclists
- Çaylan Özer, D., & Kişi, H. (2011). Avrupa Birliği Ortak Ulaştırma Politikası ve Türkiye. *Journal*, 3(2), 79-100. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0789>
- Çelikok, K., & Talih, Ö. (2023). International Transportation Projects and Türkiye from the Perspective of Transportation Economics. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(2), 400-423.
- Daganzo, C. F. (2007). Urban Gridlock: Macroscopic Modeling And Mitigation Approaches. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(1), 49-62.
- Daganzo, C. F., & Lehe, L. J. (2015). Distance-Dependent Congestion Pricing For Downtown Zones. *Transportation Research Part B: Methodological*, 75, 89-99.
- Dağüstü, H. Ş. (2010). *Trafik Yönetiminde Kavşak Trafiğinin Kontrolü için Bir Sinyal Zamanlama Modeli* [Yüksek Lisans Tezi:296818]. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dahlgren, J. (1998). High Occupancy Vehicle Lanes: Not Always More Effective Than General Purpose Lanes. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(2), 99-114. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(97\)00021-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0965-8564(97)00021-9)
- Dai, Y., Ding, F., Peng, J., Tan, H., & Ran, B. (2020). Traffic Characteristics for Long-Term Use of Emergency Lane: An Exploratory Field Test on G42 Freeway in China. *CICTP 2020* (ss. 607-617). <https://doi.org/10.1061/9780784482933.052>
- DAVeMoS. (2023). *Knowledge Pool*. https://davemosproject.github.io/knowledge-pool/traffic.html#congestion_charging
- De Palma, A., & Lindsey, R. (2011). Traffic Congestion Pricing Methodologies and Technologies. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(6), 1377-1399.
- de Souza, A. M., Brennand, C. A. R. L., Yokoyama, R. S., Donato, E. A., Madeira, E. R. M., & Villas, L. A. (2017). Traffic management systems: A classification, review, challenges, and future perspectives. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 13(4), 1550147716683612. <https://doi.org/10.1177/1550147716683612>
- Dener, M., Dilek, E., & Talih, Ö. (2023). Trafik Gözlem Kameralarında Derin Öğrenme Yöntemleriyle Gerçek Zamanlı Video Akışı Analizi ve Kötücül Aktivite Tespiti. *123E065 Numaralı TÜBİTAK 1005 Projesi*.

- Department for Transport. (1999). *The “SCOOT” Urban Traffic Control System*.
<https://tsrgd.co.uk/pdf/tal/1999/tal-7-99.pdf>
- DePrator, A. J., Hitchcock, O., & Gayah, V. V. (2017). Improving urban street network efficiency by prohibiting conflicting left turns at signalized intersections. *Transportation Research Record*, 2622(1), 58-69.
- Di, Z., & Yang, L. (2020). Reversible lane network design for maximizing the coupling measure between demand structure and network structure. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 141, 102021.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102021>
- DieselNet. (2015). *EU: Low Emission Zones (LEZ)*.
- Dilek, E., & Dener, M. (2023). Computer Vision Applications in Intelligent Transportation Systems: A Survey. *Sensors*, 23(6), 2938.
- Dilek, E., Talih, Ö., & Bensghir, K. T. (2024). An Overview of Paradigm Shift Dynamics in Transportation: Use of Artificial Intelligence in Intelligent Transportation Systems in Türkiye. *Acta Infologica*. <https://doi.org/10.26650/acin.1389571>
- Dilek, E., Talih, Ö., & Ceylan, H. (2023). Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Mimarisinin Yaygınlaştırılması: Türkiye Önerisi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi (JITSA)*. <https://doi.org/10.51513/jitsa.1309583>
- Dilek, E., Talih, Ö., & Tektaş, N. (2023). *Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Siber Güvenlik: Türkiye’de Mevcut Durum ve Öneriler*.
- Duan, R. (2023). A Comparative Study on ITS (Intelligent Transport System) Standardization Policies in The U.S. And Europe. *Heliyon*, 9(11), e21310.
<https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2023.E21310>
- Eastgate SOFTWARE. (2023). *Applications Of Intelligent Transportation System – Everything You Need To Know*. <https://eastgate-software.com/applications-of-intelligent-transportation-system-everything-you-need-to-know/#ftoc-heading-7>
- EDP. (2022). *Urban mobility. 5 sustainable trends of smart cities*.
<https://www.edp.com/en/urban-mobility-5-sustainable-trends-smart-cities>
- Eliasson, J., Hultkrantz, L., Nerhagen, L., & Rosqvist, L. S. (2009). The Stockholm Congestion-Charging Trial 2006: Overview of effects. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(3), 240-250.
- Ellis, D. P. W. (2001). *Detecting Alarm Sounds*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:642215>

- Eltayeb, A. S., Almubarak, H. O., & Attia, T. A. (2013). A GPS Based Traffic Light Pre-emption Control System For Emergency Vehicles. *2013 International Conference on Computing, Electrical and Electronic Engineering (ICCEEE)*, 724-729.
<https://doi.org/10.1109/ICCEEE.2013.6634030>
- EPOMM. (2015). *Congestion charging in Europe*.
<http://epomm.eu/newsletter/v2/eupdate.php?nl=0415&lan=en>
- ESCAP 75. (2019). *Guidelines for The Regulatory Frameworks of Intelligent Transport Systems in Asia and The Pacific*. <https://www.unescap.org/resources/guidelines-regulatory-frameworks-intelligent-transport-systems-asia-and-pacific>
- ESMAP. (2004). *Toward Cleaner Urban Air in South Asia: Tackling Transport Pollution, Understanding Sources*. https://www.esmap.org/sites/default/files/esmap-files/FR_SouthAsia_UrbanAirfinal52404.pdf
- ETSI. (2023). *ITS. Technical Committee (Tc) Intelligent Transport Systems (ITS) 2*.
<https://www.etsi.org/committee/its?jjj=1705249115330>
- EUEIP. (2021). *Reference Handbook for Harmonised ITS Core Service Deployment in Europe. European ITS Platform*. <https://www.its-platform.eu/achievement/reference-handbook/>
- European Commission. (2008). *EU Air Quality Standards*. European Union.
https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality/eu-air-quality-standards_en
- European Commission. (2010). Directive 2010/40/EU. *Official Journal of the European Union*.
<https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/tr-eu-its-directive-60fe5778f2d6e.pdf>
- European Commission. (2020). *Sustainable and Smart Mobility Strategy – Putting European Transport on Track for The Future. European Union*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0789>
- European Commission. (2023). *Rolling Plan for ICT Standardisation*. European Union.
<https://joinup.ec.europa.eu/collection/rolling-plan-ict-standardisation/intelligent-transport-systems-cooperative-connected-and-automated-mobility-its-ccam-and-1>
- Ezeah, C., Finney, K., & Nnajide, C. (2015). A Critical Review of the Effectiveness of Low Emission Zones (LEZ) As A Strategy for the Management of Air Quality in Major European Cities. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 2, ISSN: 3159-0040.

- Fajardo, D., Au, T.-C., Waller, S. T., Stone, P., & Yang, D. (2011). Automated intersection control: Performance of future innovation versus current traffic signal control. *Transportation Research Record*, 2259(1), 223-232.
- Falcocchio, J., & Levinson, H. (2015). *Road Traffic Congestion: A Concise Guide* (C. 7). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-15165-6>
- Fields, G., Hartgen, D., Moore, A., & Poole Jr, R. W. (2009). Relieving Congestion by Adding Road Capacity and Tolling. *International Journal of Sustainable Transportation*, 3(5-6), 360-372.
- Filippi, F. (2022). A Paradigm Shift for a Transition to Sustainable Urban Transport. *Sustainability*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/su14052853>
- Flamarz Arkawazi, S. (2017). *Operational Analysis of Isolated Signalized Intersections Using Three Traffic Softwares*.
- FRAME Forum. (2023). *FRAME Architecture*. <https://frame-online.eu>
- García-Ortiz, A., Amin, S. M., & Wootton, J. R. (1995). Intelligent Transportation Systems-Enabling Technologies. *Mathematical and Computer Modelling*, 22(4), 11-81. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0895-7177\(95\)00127-N](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0895-7177(95)00127-N)
- Gaskell, A., Gasson, J., & Beale, S. (2004). *Hardshoulder Monitoring System for Active Traffic Management*. <https://doi.org/10.1049/cp:20040023>
- Gayah, V. V. (2012). *The Aggregate Effect of Turns On Urban Traffic Networks*. University of California, Berkeley.
- Gayah, V. V., & Daganzo, C. F. (2012). Analytical Capacity Comparison of One-Way and Two-Way Signalized Street Networks. *Transportation Research Record*, 2301(1), 76-85.
- Giannopoulos, G. A. (2002). Integrating Freight Transportation with Intelligent Transportation Systems: Some European Issues and Priorities. *Transportation Research Record*, 1790(1), 29-35. <https://doi.org/10.3141/1790-04>
- Gitelman, V., & Doveh, E. (2023). Examining the Safety Impacts of High-Occupancy Vehicle Lanes: International Experience and an Evaluation of First Operation in Israel. *Sustainability*, 15(18). <https://doi.org/10.3390/su151813976>
- Giuliano, G., Levine, D. W., & Teal, R. F. (1990). Impact of High Occupancy Vehicle Lanes on Carpooling Behavior. *Transportation*, 17(2), 159-177. <https://doi.org/10.1007/BF02125334>
- Glass, C. J., & Ni, L. M. (1992). The Turn Model for Adaptive Routing. *ACM SIGARCH Computer Architecture News*, 20(2), 278-287.

- Graham, D. J., & Hörcher, D. (2018). Data-Oriented Urban Transport Reform in Middle-Income and Developing Cities. *Martinez, José, Carbo*.
<https://www.theigc.org/sites/default/files/2019/02/Data-oriented-urban-transport-reform-FINAL-Jan2019.pdf>
- Guebert, A. A. (2010). *Guidelines for the Planning, Design, Operation and Evaluation of Reversible Lane Systems*. Transportation Association of Canada. <https://www.tac-atc.ca/sites/default/files/site/doc/Bookstore/ptm-reverse-finalpub.pdf>
- Guerrieri, M., & Mauro, R. (2016). Capacity and Safety Analysis of Hard-Shoulder Running (HSR). A motorway case study. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 92, 162-183. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.08.003>
- Guo, Y., & Peeta, S. (2020). Impacts of Personalized Accessibility Information on Residential Location Choice and Travel Behavior. *Travel Behaviour and Society*, 19, 99-111.
- Gutiérrez, A. (2020). Mobility vs. transport? Elements to (re)building definitions. *Bitácora Urbano Territorial*, 21((III)), 61-77.
- Gülsün, B., & Gonca, C. K. (2019). *Adaptif Trafik Yönetim Sistemleri*. 32-40.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ohsacademy/issue/44841/516737>
- Hajbabaie, A., & Benekohal, R. F. (2011). Does traffic metering improve network performance efficiency? *2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 1114-1119.
- Hamilton, C. J. (2011). Popular Acceptance of Congestion Charging. *Transport Policy*, 16(6), 836-847.
- Han, D., Yang, H., & Wang, X. (2010). Efficiency Of The Plate-Number-Based Traffic Rationing in General Networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(6), 1095-1110.
- Harvey, S. (2000). Congestion Charging. *Oscar Faber*.
https://www.ciht.org.uk/media/4355/congestion_charging.pdf
- Heijden, R., & Marchau, V. (2002). Innovating Road Traffic Management by ITS: A Future Perspective. *International Journal of Technology Policy and Management*, 2, 20-39.
- Henisz, W. J. (2002). The Institutional Environment for Infrastructure Investment. *Industrial and corporate change*, 11(2), 355-389.
- Henry, S. (2007). *Traffic Signal Priority Control for Emergency Vehicle Preemption*.
<https://www.gtt.com/wp-content/uploads/Traffic-signal-priority-control-for-emergency-vehicle-preemption-in-Savannah-GA.pdf>

- Hickman, M., Weissenberger, S., & Dahlgren, J. (1996). Assessing The Benefits of A National ITS Architecture. *The Third World Congress on Intelligent Transportation Systems*.
<https://escholarship.org/uc/item/36d5q0sc>
- Highway Engineer. (2022). *Traffic Modelling & Signal Controlled Junctions*. Sanderson Associates Consulting Engineers. <https://www.highwayengineer.co.uk/traffic-modelling.htm>
- Holnicki, P., Kałuszko, A., & Nahorski, Z. (2023). A Projection of Environmental Impact of a Low Emission Zone Planned in Warsaw, Poland. *Sustainability*, 15(23).
<https://doi.org/10.3390/su152316260>
- Huang, Y.-S., Weng, Y.-S., & Zhou, M. (2015). Design of Traffic Safety Control Systems for Emergency Vehicle Preemption Using Timed Petri Nets. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(4), 2113-2120. <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2395419>
- Hwang, M., Kemp, J., Lerner-Lam, E., Neuerburg, N., & Okunieff, P. E. (2006). Advanced Public Transportation Systems: The State of the Art Update 2006. *FTA-NJ-26-7062-06.1, TRI-11*. U.S. Department of Transportation.
- I. Meneguette, R., E. De Grande, R., & A. F. Loureiro, A. (2018). Intelligent Transportation Systems. R. I. Meneguette, R. E. De Grande, & A. A. F. Loureiro (Ed.), *Intelligent Transport System in Smart Cities: Aspects and Challenges of Vehicular Networks and Cloud* (ss. 1-21). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93332-0_1
- ISO. (1992). *Technical Committees ISO/TC 204*. <https://www.iso.org/committee/54706.html>
- ISO/IEC. (2004). ISO/IEC Guide 2:2004 (E/F/R) . *ISO/IEC*.
- Itani, I., Cassidy, M. J., & Daganzo, C. (2021). Synergies of combining demand- and supply-side measures to manage congested streets. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 151, 172-179. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.07.002>
- ITS Joint Program Office. (2022). Cybersecurity for ITS. *U.S. DOT*.
- Jacob, C., & Abdulhai, B. (2005). Integrated traffic corridor control using machine learning. *2005 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 4, 3460-3465 Vol. 4. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.2005.1571683>
- Javid, R., Xie, J., Wang, L., Yang, W., Javid, R., & Salari, M. (2021). High-Occupancy Vehicle (HOV) and High-Occupancy Toll (HOT) Lanes. *International Encyclopedia of Transportation* (ss. 45-51). <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102671-7.10292-1>

- JCT Consultancy. (2021). *LinSig 3.2 User Guide*.
http://www.jctconsultancy.co.uk/Support/Manuals/LinSig32_User_Guide_UK.pdf
- Jesty, P., Gaillet, J.-F., Giezen, J., Franco, G., Leighton, I., & Schultz, H.-J. (1998). *Guidelines for the Development and Assessment of Intelligent Transport System Architectures*. Wiley Online Library. <https://files.austriatech.at/f/20681d5c63c540a79007/?dl=1>
- Jingtoa, A. (2008). An Efficiency-Equity Solution to The Integrated Transportation Corridor Control Design Problem. *ProQuest Dissertations and Theses*.
<https://www.proquest.com/dissertations-theses/efficiency-equity-solution-integrated/docview/304656519/se-2?accountid=190984>
- Kadlubek, M. (2021). Expectations for the Use of Intelligent Transport Systems Applications in The Management of Freight Transport Enterprises. *Procedia Computer Science*, 192, 2318-2329. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.08.222>
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2011). Karayolları Genel Müdürlüğü Görev, Yetki ve Sorumluluk Yönetmeliği. *Resmî Gazete*.
<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/09/20110905-1.htm>
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2016). *2017-2021 Stratejik Planı*.
http://www.sp.gov.tr/upload/xSPStratejikPlan/files/AePTs+KGM_2017-2021_Planı.pdf
- Kassahun, M. (2007). *Public transportation system and its impact on urban mobility: The case of Addis Ababa* [Masters' Thesis]. Addis Ababa University.
- Khan, S. M., Rahman, M., Apon, A., & Chowdhury, M. (2017). Characteristics of Intelligent Transportation Systems and Its Relationship With Data Analytics. *Data Analytics for Intelligent Transportation Systems*, 1-29. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809715-1.00001-8>
- Kodire, V., Bhaskaran, S., & Vishwas, H. N. (2016). GPS and ZigBee based traffic signal preemption. *2016 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, 2, 1-5. <https://doi.org/10.1109/INVENTIVE.2016.7824811>
- Koptelov, A. (2022). Smart Roads: How AI in Transportation Keeps Drivers Safe. *Medium*.
<https://towardsdatascience.com/smart-roads-how-ai-in-transportation-keeps-drivers-safe-98e4dfd4a7e8>
- Kowalska-Pyzalska, A. (2022). Perspectives of Development of Low Emission Zones in Poland: A Short Review. *Frontiers in Energy Research*, 10.
<https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.898391>

- Kuhn, B., Goodin, G., Ballard, A., Brewer, M., Brydia, R., Carson, J., Chrysler, S., Collier, T., Fitzpatrick, K., & Jasek, D. (2005). *Managed Lanes Handbook*. Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System, College Station, Texas.
- Kumar, P., & Suman, S. (2009). *Public Transportation Systems with ITS Technologies*.
- Kwon, Y.-J., Oh, J., & Kim, S. (2005). A Study on the Weekday HOV-Lane Policy on Kyoungbu Expressway in Korea. *International Journal of Urban Sciences*, 9(1), 31-39.
<https://doi.org/10.1080/12265934.2005.9693566>
- Lambert, L., & Wolshon, B. (2010). Characterization and comparison of traffic flow on reversible roadways. *Journal of Advanced Transportation*, 44(2), 113-122.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/atr.114>
- Land Transport Safety Authority. (2001). *Guidelines for The Implementation of Traffic Control at Crossroads-RTS1*. New Zealand Government.
<https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/road-traffic-standards/docs/rts-01.pdf>
- Lerner, W. (2011). The feature of Urban Mobility: Towards Networked, Multimodal Cities of 2050. *Arthur D. Little future lab*.
- Levitin, L., Karpovsky, M., & Mustafa, M. (2009). Deadlock Prevention by Turn Prohibition In Interconnection Networks. *2009 IEEE international symposium on parallel & distributed processing*, 1-7.
- Li, X., Chen, J., & Wang, H. (2013). Study on Flow Direction Changing Method of Reversible Lanes on Urban Arterial Roadways in China. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96, 807-816. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.092>
- Lindsey, C. (2008). *Book review: Road Congestion Pricing in Europe. Implications for the United States*.
https://www.academia.edu/102850664/Book_review_Road_Congestion_Pricing_in_Europe_Implications_for_the_United_States
- Litman, T. (2013). Transportation and Public Health. *Annual Review of Public Health*, 34(1), 217-233. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-031912-114502>
- Litman, T. (2014). Congestion Evaluation Best Practices. *International Transportation Economic Development Conference. Sheraton Dallas Hotel, Dallas, USA*, 1-20.
- Liu, W., Yang, H., & Yin, Y. (2014). Traffic Rationing and Pricing in A Linear Monocentric City. *Journal of Advanced Transportation*, 48(6), 655-672.
- Llorca, C., Molloy, J., Ji, J., & Moeckel, R. (2018). Estimation of a Long-Distance Travel Demand Model using Trip Surveys, Location-Based Big Data, and Trip Planning Services.

- Transportation Research Record*, 2672(47), 103-113.
<https://doi.org/10.1177/0361198118777064>
- Lobonț, L., & Pînzariu, A. M. (2019). Effects of Reversible Lane Implementation, A Case Study Simulation. *MATEC Web Conf.*, 290. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929006006>
- Louati, A., Elkosantini, S., Darmoul, S., & Louati, H. (2018). Multi-Agent Preemptive Longest Queue First System To Manage The Crossing of Emergency Vehicles at Interrupted Intersections. *European Transport Research Review*, 10(2), 52.
<https://doi.org/10.1186/s12544-018-0317-5>
- Lovell, D. J., & Daganzo, C. F. (2000). Access Control on Networks With Unique Origin–Destination Paths. *Transportation Research Part B: Methodological*, 34(3), 185-202.
- Luk, J. Y. (1990). *TRANSYT: traffic network study tool*.
- Ma, L., Graham, D. J., & Stettler, M. E. J. (2021). Has the ultra low emission zone in London improved air quality? *Environmental Research Letters*, 16(12), 124001.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac30c1>
- Mahavar, V., Juremalani, J., & Juremalani, P. J. (2018). *Literature Review on Traffic Control Systems Used Worldwide*. <https://www.researchgate.net/publication/326985700>
- Mahmutoğlu, A., & Çukurçayır, A. M. (2012). *Trafik Sorununa Bir Çözüm Önerisi: Trafik İzleme Başkanlığı*. 86, 79-99. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sayistay/issue/61541/919094>
- Mangiaracina, R., Perego, A., Salvadori, G., & Tumino, A. (2017). A Comprehensive View of Intelligent Transport Systems for Urban Smart Mobility. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(1), 39-52. <https://doi.org/10.1080/13675567.2016.1241220>
- Martin, P. T., Lahon, D., & Stevanovic, A. (2005). Review of The Effectiveness of The Extended HOV Lanes. *Department of Civil and Environmental Engineering University of Utah*.
- Masoud, M., & Belkasim, S. (2018). WSN-EVP: A Novel Special Purpose Protocol for Emergency Vehicle Preemption Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(4), 3695-3700. <https://doi.org/10.1109/TVT.2017.2784568>
- Masum, A. K. M., Chy, M. K. A., Rahman, I., Uddin, M. N., & Azam, K. I. (2018). An Internet of Things (IoT) Based Smart Traffic Management System: A Context of Bangladesh. *2018 International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology (ICISSET)*, 418-422. <https://doi.org/10.1109/ICISSET.2018.8745611>
- Mathew, T. V. (2019a). *Area Traffic Control*.
https://www.civil.iitb.ac.in/~vmtom/nptel/577_ATC_A/web/web.html#x1-220005.2

- Mathew, T. V. (2019b). *Uncontrolled Intersection*.
https://www.civil.iitb.ac.in/~vmtom/nptel/564_UnCotrl/web/web.html#x1-30001.1
- Mazur, S. (2020). *An Introduction to Smart Transportation: Benefits and Examples*.
<https://www.digi.com/blog/post/introduction-to-smart-transportation-benefits>
- McCasland, W. R. (1978). The Use of Freeway Shoulders to Increase Capacity. *Texas Transportation Institute, Texas A & M University*.
<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1978/666/666-008.pdf>
- McGee, H. W., & Soika, J. (2016). Navigating Safety at Unsignalized Intersections. *U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration*.
<https://highways.dot.gov/public-roads/januaryfebruary-2016/navigating-safety-unsignalized-intersections>
- McTrans Center. (2022). TRANSYT-7F User Guide. *University of Florida Transportation Institute*. <https://mctranswordpresssa.blob.core.windows.net/uploads/2022/01/TRANSYT-7F.pdf>
- Medina-Tapia, M., & Robusté, F. (2018). Exploring Paradigm Shift Impacts in Urban Mobility: Autonomous Vehicles And Smart Cities. *Transportation Research Procedia*, 33, 203-210.
<https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2018.10.093>
- Mehendale, N., Patel, R., Mange, S., & Mulik, S. (2021). Review of Emergency Vehicle Priority Systems. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3859424>
- Meng, Q., Liu, Z., & Wang, S. (2012). Optimal Distance Tolls Under Congestion Pricing And Continuously Distributed Value of Time. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(5), 937-957.
- Mirchandani, P. B., & Lucas, D. E. (2004). Integrated Transit Priority and Rail/Emergency Preemption in Real-Time Traffic Adaptive Signal Control. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 8(2), 101-115. <https://doi.org/10.1080/15472450490437799>
- Mirzabeiki, V. (2013). An Overview of Freight Intelligent Transportation Systems. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 14, 473-489.
<https://doi.org/10.1504/IJLSM.2013.052748>
- Mlinaric, M. (2016). *Intelligent Traffic Control with Priority for Emergency Vehicles*.
<https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A367/datastream/PDF/view>
- MLIT. (2012). *System Architecture*.
<https://www.mlit.go.jp/road/ITS/topindex/SystemArchitecture.pdf>

- Mobility. (2024). *Flexible work hours strategy*. Texas A&M Transportation Institute.
<https://mobility.tamu.edu/mip/strategies.php>
- MOLIT. (2016). Intelligent Transport Systems in Korea. *MOLIT*.
http://www.molit.go.kr/upload/cyberJccr/pdf_file/ITS%20brochure.pdf
- Morfeld, P., Groneberg, D. A., & Spallek, M. F. (2014). Effectiveness of Low Emission Zones: Large Scale Analysis of Changes in Environmental NO₂, NO and NO_x Concentrations in 17 German Cities. *PLoS ONE*, 9(8), e102999. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102999>
- Munch, E., & Proulhac, L. (2023). Is work hours' flexibility really a solution to morning peak period congestion? Comparative analysis between Paris and San Francisco. *Journal of Transport Geography*, 113, 103712. <https://doi.org/10.1016/J.JTRANGE.2023.103712>
- Municipality Amsterdam. (2024). *From Environmental Zones to Emission-Free Zones*.
<https://www.amsterdam.nl/verkeer-vervoer/milieuzone-uitstootvrijzone/#h4831c120-e0b8-4112-a686-1054ac6b50ad>
- Municipality of Amsterdam. (2019). Clean Air Action Plan. *Space and Sustainability Air Quality Team*. <https://www.amsterdam.nl/bestuur-organisatie/volg-beleid/duurzaamheid/schone-lucht/>
- Murat, Y. Ş. (1996). *Denizli Şehir İçi Kavşaklarındaki Trafik Akımlarının Bilgisayarla İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi: 93680]. T.C.Pamukkale Üniversitesi .
- Muslih, M., Abduljabbar, A., & Joni, H. (2023). Review of Traffic Demand Management Strategies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1232(1), 12055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1232/1/012055>
- Nellore, K., & Hancke, G. P. (2016). Traffic Management for Emergency Vehicle Priority Based on Visual Sensing. *Sensors*, 16(11). <https://doi.org/10.3390/s16111892>
- Newman, P., & Kenworthy, J. (1999). *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*. Island press.
- Nie, Y. M., & Yin, Y. (2013). Managing Rush Hour Travel Choices with Tradable Credit Scheme. *Transportation Research Part B: Methodological*, 50, 1-19.
- Northwest Arkansas Regional Planning Commission, & Arkansas Department of Transportation. (2023). *Northwest Arkansas Regional ITS Architecture Final Report*.
<https://www.nwarpc.org/wp-content/uploads/2023/04/Northwest-Arkansas-Regional-ITS-Architecture-Final-Report-Revised-ATG-20230424.pdf>
- NSW Government. (2022). *SCATS*. <https://www.scats.nsw.gov.au/home>

- Nuli, S., & Mathew, T. V. (2022). *Adaptive Signal Control of an Isolated Intersection Using Stop-Line Detection*.
- Oladimeji, D., Gupta, K., Kose, N. A., Gundogan, K., Ge, L., & Liang, F. (2023). Smart Transportation: An Overview of Technologies and Applications. *Sensors*, 23(8). <https://doi.org/10.3390/s23083880>
- Olusanya, G., Eze, M., Ebiesuwa, O., & Okunbor, C. (2020). Smart Transportation System for Solving Urban Traffic Congestion. *Review of Computer Engineering Studies*, 7, 55-59. <https://doi.org/10.18280/rces.070302>
- Oregon State University. (2023). *Transportation Engineering Online Lab Manual*. Oregon State University. https://www.webpages.uidaho.edu/niatt_labmanual/Chapters/trafficflowtheory/theoryandconcepts/TrafficFlowParameters.htm
- Ott, M., Slavin, H., & Ward, D. (1980). *The Behavioral Impacts of Flexible Working Hours*. <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/11097>
- Önder, H., & Akdemir, F. (2020). Digital Dimension of Urban Transportation: Transportation 4.0. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(2), 202-215.
- Padmakumar, R. (2010). Modelling Urban Signalised Intersections Under Heterogeneous Traffic Conditions. *PQDT - Global*. <https://www.proquest.com/dissertations-theses/modelling-urban-signalised-intersections-under/docview/2492719382/se-2?accountid=190984>
- Pashupatimath, S. G., & Madhavanavar, S. (2018). Different Techniques Used in Traffic Control System: An Introduction. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. www.ijert.org
- Pasquier, A., & Andre, M. (2017). Decomposition of Low Emission Zone Strategies Into Mechanisms And Methodology For Assessing Their Impacts on Air Pollution. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 7(1), 241-261. <https://hal.science/hal-01467083>
- Patel, R., Mange, S., Mulik, S., & Mehendale, N. (2022). AI Based Emergency Vehicle Priority System. *CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction*, 4(3), 285-297. <https://doi.org/10.1007/s42486-022-00093-7>
- Peak, E. (2020). *What Makes Transportation Smart? Defining Intelligent Transportation*. <https://www.iotforall.com/what-makes-transportation-smart-defining-intelligent-transportation>

- Peeta, S., Salman, F. S., Gunnec, D., & Viswanath, K. (2010). Pre-Disaster Investment Decisions For Strengthening a Highway Network. *Computers & Operations Research*, 37(10), 1708-1719.
- Pelletier, M.-P., Trépanier, M., & Morency, C. (2011). Smart Card Data Use in Public Transit: A Literature Review. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(4), 557-568. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.12.003>
- Prassas, E., & Roess, R. (2020). *Unsignalized Intersections: Two-Way STOP Control (TWSC)* (ss. 51-105). https://doi.org/10.1007/978-3-030-34480-1_4
- Queensland Government. (2022). *Emergency Vehicle Priority*. Department of Transport and Main Roads. <https://www.tmr.qld.gov.au/safety/road-safety/emergency-vehicle-priority>
- Rahman, M., Murthy Gurumurthy, K., & Kockelman, K. M. (2021). Impact of Flextime on Departure Time Choice for Home-Based Commuting Trips in Austin, Texas. *Transportation Research Record*, 2676(1), 446-459. <https://doi.org/10.1177/03611981211035757>
- Rakha, H. A., & Van Aerde, M. W. (1996). Comparison of Simulation Modules of TRANSYT and INTEGRATION Models. *Transportation Research Record*, 1566(1), 1-7. <https://doi.org/10.1177/0361198196156600101>
- Rathi, A. K. (1991). Traffic Metering: An Effectiveness Study. *Transportation Quarterly*, 45(3).
- Ravish, R., & Swamy, S. R. (2021). Intelligent Traffic Management: A Review of Challenges, Solutions, and Future Perspectives. *Transport and Telecommunication Journal*, 22(2), 163-182. <https://doi.org/doi:10.2478/ttj-2021-0013>
- Reed, T. (2019). *INRIX 2018 Global Traffic Scorecard*. https://static.poder360.com.br/2019/02/INRIX_2018_Global_Traffic_Scorecard_Report_final_.pdf
- Resmî Gazete. (2021). Elektrikli Skuter Yönetmeliği. *Resmî Gazete* (31454). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/04/20210414-3.htm>
- Richter, T., & Ruhl, S. (2010). The Integration of Intelligent Transport Systems in Urban Transport Urban Transport XIX 229. *WIT Transactions on The Built Environment*, 130. <https://doi.org/10.2495/UT130>
- Robertson, D. I. (1969). *TRANSYT: A Traffic Network Study Tool*.
- Robertson, D. I., & David Bretherton, R. (1991). Optimizing Networks of Traffic Signals in Real Time-The SCOOT Method. *IEEE Transactions On Vehicular Technology* (C. 40, Sayı 1).

- Rosayyan, P., Paul, J., Subramaniam, S., & Ganesan, S. I. (2023). An Optimal Control Strategy For Emergency Vehicle Priority System in Smart Cities Using Edge Computing and IOT Sensors. *Measurement: Sensors*, 26, 100697.
<https://doi.org/10.1016/J.MEASEN.2023.100697>
- Ruijgrok, C. J. (2008). Intelligent Freight Transport Systems: Opportunities and Practice. M. Ben-Akiva, H. Meersman, & E. van de Voorde (Ed.), *Recent Developments in Transport Modelling* (ss. 231-241). Emerald Group Publishing Limited.
<https://doi.org/10.1108/9781786359537-014>
- Saatcioğlu, C. (2016). *Ulaştırma Ekonomisi Sistemler Politikalar Uygulamalar*. Sümer Kitabevi.
- Sami, M., & Sarai, K. (2023). Intelligent Transportation Systems for Sustainable Urban Environments. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(9), 166-177. <https://doi.org/https://doi.org/10.59287/ijanser.1525>
- Sanchez-Robles, B. (1998). Infrastructure Investment and Growth: Some Empirical Evidence. *Contemporary Economic Policy*, 16(1), 98-108.
- Santos, G. (2005). Urban Congestion Charging: A Comparison between London and Singapore. *Transport Reviews - TRANSP REV*, 25, 511-534.
<https://doi.org/10.1080/01441640500064439>
- Santos, G., Button, K., & Noll, R. G. (2008). London Congestion Charging. *Brookings-Wharton Papers on Urban Affairs*, 177-234. <http://www.jstor.org/stable/25609551>
- Schijns, S., & Eng, P. (2006). *High Occupancy Vehicle Lanes - Worldwide Lessons for European Practitioners*. <https://doi.org/10.2495/UT060191>
- SEQ. (2003). Flexible Work Schedules. *Catawba Regional Council of Governments*.
<https://scdhec.gov/sites/default/files/docs/HomeAndEnvironment/Docs/ModelOrdinances/FlexibleWorkSchedules.pdf>
- Sethi, K. (2019). *What is an emergency lane and when should you use it?* TimesDrive.
<https://timesnownews.com/auto/car-news/article/what-is-an-emergency-lane-and-when-should-you-use-it/507607>
- Shah, A. A., Mahalik, N. P., Namkoong, J., & Lee, J. D. (2006). Intelligent Transportation-Deployment and Development Process in Korea. *WIT Transactions On The Built Environment*, 89.
- Sharma, S. C. (2013). *Traffic Light Priority Control For Emergency Vehicle Using RFID*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:7587872>

- Shibuya, S., Yoshida, T., Yamashiro, Z., & Miyawaki, M. (2000). Fast Emergency Vehicle Preemption Systems. *Transportation Research Record*, 1739(1), 44-50.
<https://doi.org/10.3141/1739-06>
- Shin, B. (1997). Special Provisions For Left Turns at Signalized Intersections To Increase Capacity And Safety. *Journal of advanced transportation*, 31(1), 95-109.
- Shin, E. J. (2020). Commuter Benefits Programs: Impacts on Mode Choice, VMT, and Spillover Effects. *Transport Policy*, 94, 11-22.
- Shokri, F., Mokhtarian, H., Ismail, A., & Rahmat, R. (2010). Comparing The Design of Roundabout and Intersection with aaSIDRA Software. *European Journal of Scientific Research*, 40, 239-246.
- Sidra Solutions. (2023). *What is SIDRA Intersection?*
<https://www.sidrasolutions.com/software/sidra-intersection/unique-lane-based-analysis-intersections-and-networks>
- Simonsen, S., & Sandelien, B. (2001). The first Norwegian Carpool Lane Opened in Trondheim. *Nordic Road and Transport Research*.
- Sims, A. G., & Dobinson, K. W. (1980). The Sydney Coordinated Adaptive Traffic (SCAT) system philosophy and benefits. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 29(2), 130-137. <https://doi.org/10.1109/T-VT.1980.23833>
- Singh, B., & Gupta, A. (2015). Recent Trends in Intelligent Transportation Systems: A Review. *Journal of Transport Literature*, 9(2), 30-34. <https://doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v9n2a6>
- Smart City Korea. (2021). *MOLIT Establishes The Master Plan For Intelligent Transportation System 2030*.
<https://smartcity.go.kr/en/2021/10/19/%EA%B5%AD%ED%86%A0%EB%B6%80-%EC%A7%80%EB%8A%A5%ED%98%95%EA%B5%90%ED%86%B5%EC%B2%B4%EA%B3%84-%EA%B8%B0%EB%B3%B8%EA%B3%84%ED%9A%8D-20302130-%EC%88%98%EB%A6%BD/>
- Stanciu, E. A., Moise, I. M., & Nemtoi, L. M. (2012). Optimization of Urban Road Traffic in Intelligent Transport Systems. *2012 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICATE.2012.6403458>
- Su, Q., & Wang, D. Z. W. (2021). Bottleneck Congestion And Work Starting Time Distribution Considering Household Travels. *arXiv preprint arXiv:2104.00938*.

- Sundar, R., Hebbar, S., & Golla, V. (2015). Implementing Intelligent Traffic Control System for Congestion Control, Ambulance Clearance, and Stolen Vehicle Detection. *IEEE Sensors Journal*, 15(2), 1109-1113. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2014.2360288>
- SWEROAD. (2000). *Principles for Selection of Intersection Type*.
<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Eng/Traffic/PrinciplesForSelectionOfIntersectionType-February.pdf>
- T. C. Başbakanlık. (2002). *e-Türkiye Girişim Eylem Planı (Taslak)*.
http://www.bilgitoplumu.gov.tr/Documents/1/Yayinlar/020800_E-TurkiyeEylemPlani.pdf
- T. C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı. (2006). *Bilgi Toplumu Stratejisi 2006-2010*.
http://www.bilgitoplumu.gov.tr/Documents/1/BT_Strateji/Diger/060500_BilgiToplumuStratejisi.pdf
- T. C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi. (2021). *Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi 2021-2025*.
<https://cbddo.gov.tr/SharedFolderServer/Genel/File/TR-UlusalYZStratejisi2021-2025.pdf>
- T. C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2019). *On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)*. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/07/OnbirinciKalkinmaPlani.pdf>
- T. C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2022). Orta Vadeli Program (2023-2025). *Resmî Gazete* (C. 31943).
- T. C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). *On İkinci Kalkınma Planı*.
<https://onikinciplan.sbb.gov.tr/>
- T. C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2010). *Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2023*. <https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/Turkiye-Iklim-Degisikligi-Stratejisi.pdf>
- T. C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2019). *Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı*. <https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf>
- T. C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024). *İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi ve Eylem Planı 2024-2030*.
https://iklim.gov.tr/db/turkce/icerikler/files/%C4%B0klim%20De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fine%20Uyum%20Stratejisi%20ve%20Eylem%20Plan_%202024-2030.pdf
- T. C. Kalkınma Bakanlığı. (2017). *Orta Vadeli Program (2018-2020)*.
- T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2022). *Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritası*.
<https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/plan-program/MobiliteAracveTeknolojileriYolHaritasi.pdf>

- T. C. Ticaret Bakanlığı. (2021). *Yeşil Mutabakat Eylem Planı*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YE%C5%9E%C4%B0L.pdf
- T. C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2011). *Türkiye Ulaşım ve İletişim Stratejisi Hedef 2023*. <http://www.sp.gov.tr/tr/temel-belge/s/37/Turkiye+Ulasim+ve+Iletisim+Stratejisi>
- T. C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2013). *Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Stratejik Planı (2014-2018)* .
- T. C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2014). *Ulusal AUS Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eki Eylem Planı (2014-2016)*. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/aus-strateji-belgesi-eki-eylem-plani-2014-2016.pdf>
- T. C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2017). *2017-2020 Ulusal Genişbant Stratejisi ve Eylem Planı*. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/ulusal-genisbant-stratejisi/ulusal-genis-bant-stratejisi-ve-eylem-plani-2017-2020-b9d0c25d-328c-4eda-a2aa-d374ffacd91a.pdf>
- T. C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2019). Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik. *Resmî Gazete* (Sayı 30762). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190502-5.htm>
- T. C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2022). *Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Stratejik Plan 2019-2023*. <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/stratejik-yonetim/uab-stratejik-plani-guncellenmis-versiyon-16-09-2021.pdf>
- 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*, 254-279. <https://doi.org/10.21076/vizyoner.1281444>
- Talih, Ö., & Dilek, E. (2024). Lojistik Faaliyetlerinin Akıllı Ulaşım Stratejilerine Etkisi ve E-Lojistik. *AUS Türkiye Bülten* (C. 15). AUS Türkiye. https://austurkiye.org.tr/uploads/blog/file_378-15-numarali-bulten-46.pdf
- Talih, Ö., Taşçı, S. A., & Engin, T. (2023). Yerel Yönetimlere Genel Bakış: Türkiye 51 İl Belediyesi Organizasyon Yapısı İncelemesi. *Beykoz Akademi Dergisi*, 11(2), 25-51. <https://doi.org/10.14514/beykozad.1269924>
- Talih, Ö., & Tektaş, N. (2022). Bir Hizmet Olarak Hareketlilik-MaaS Perspektifi ve Türkiye Analizi. *Journal of Transportation and Logistics*, 7(2), 431-463.
- Talih, Ö., & Tektaş, N. (2023). A brief survey on cooperative intelligent transportation systems and applications. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 7(3), 259-268.

- Tang, Q., & Friedrich, B. (2016). Minimization of travel time in signalized networks by prohibiting left turns. *Transportation Research Procedia*, 14, 3446-3455.
- T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2016). *Türkiye Otomotiv Sektörü ve Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2016-2019)*.
http://www.sp.gov.tr/upload/xSPTemelBelge/files/vDiHA+Turkiye_Otomotiv_Sektoru_Strateji_Belgesi_ve_Eylem_Plani_2016-2019_.pdf
- T.C. Cumhurbaşkanlığı. (2018). 1 Numaralı Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi. *Resmî Gazete* (C. 30474, ss. 1-301).
<https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/19.5.1.pdf>
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji Bütçe Başkanlığı. (2023). 2024 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı. *Resmî Gazete*. <https://www.sbb.gov.tr/2024-yili-cumhurbaskanligi-yillik-programi-resmi-gazetede-yayimlanmistir/>
- T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2021). *Ulusal Genç İstihdam Stratejisi 2021-2023*.
<https://www.csgeb.gov.tr/media/86869/ulusal-genc-istihdam-stratejisi-ve-eylem-planı-2012-2023.pdf>
- T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2020). *Akıllı Ulaşım*.
<https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/Ulasim.pdf>
- T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021). *Akıllı Kavşak Uygulamaları Teknoloji İnceleme Raporu*. https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/KapasiteGelistirme/akilli_kavsak_uygulamaları_teknoloji_inceleme%20_raporu_web_formati.pdf
- T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2006). *Dokuzuncu Kalkınma Planı 2007-2013*.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2011). *Orta Vadeli Program (2012-2014)*.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2012). *Orta Vadeli Program (2013-2015)*.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2013). *Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018*.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2015). *2015-2018 Bilgi Toplumu Stratejisi ve Eylem Planı*.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2020). Motorlu Araçlar ve Römorkları ile Bunlar için Tasarlana Aksam, Sistem ve Ayrı Teknik Ünitelerin Genel Güvenliği ve Korunmasız Karayolu Kullanıcılarının ve Yolcuların Korunması ile İlgili Tip Onayı Yönetmeliği (AB/2019/2144. *Resmî Gazete*.
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2020). *Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı* (ss. 1-133). <https://www.uab.gov.tr/uploads/announcements/ulusal->

- akilli-ulasim-sistemleri-strateji-belgesi-v/ulusal-akilli-ulas-im-sistemleri-strateji-belgesi-ve-2020-2023-eylem-plani.pdf
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2022). *2053 Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı*.
<https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/bakanlik-yayinlari/2053-ulasirma-ve-lojistik-ana-plani-rev.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2023). *AUS Terimler Sözlüğü*.
<https://hgm.uab.gov.tr/uploads/announcements/akilli-ulasim-sistemleri-terimler-sozlugu-guncelle/aus-terimler-sozlugu.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, & T.C. İçişleri Bakanlığı. (2021). Elektrikli Skuter Yönetmeliği. *Resmî Gazete*.
- Team Vecos. (2021). *Flexible Working, the Underrated Answer to Congestion*.
<https://blog.vecos.com/en/flexible-working-the-underrated-answer-to-congestion>
- Texas Department of Transportation. (2024). *Managed Lanes*.
<https://www.txdot.gov/discover/express-toll-hov-lanes/managed-lanes.html>
- Thomson, J. M. (1967). An Evaluation of Two Proposals for Traffic Restraint in Central London. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 130(3), 327-377.
- Toh, C. K., Sanguesa, J. A., Cano, J. C., & Martinez, F. J. (2020). Advances in Smart Roads for Future Smart Cities. *Proceedings of the Royal Society A*, 476(2233), 20190439.
- Tomorrow World Today. (2022). *Everything You Should Know About Low Emission Zones*.
<https://www.tomorrowworldtoday.com/sustainability/everything-you-should-know-about-low-emission-zones/>
- TrafficQuest. (2012). *The Future Of Traffic Management State Of The Art, Current Trends And Perspectives For The Future*. https://www.traffic-quest.nl/downloads/2012-09_uitgave_future_of_traffic_management.pdf
- Tran, V.-T., & Tsai, W.-H. (2020). Acoustic-Based Emergency Vehicle Detection Using Convolutional Neural Networks. *IEEE Access*, 8, 75702-75713.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988986>
- TRANSMAX. (2024). *Emergency Vehicle Priority*. <https://transmax.com.au/what-we-do/streams/emergency-vehicle-priority/>
- Transport & Environment. (2019). *Low-Emission Zones are a Success - But They Must Now Move to Zero-emission Mobility*. https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2019_09_Briefing_LEZ-ZEZ_final.pdf

- Transport for London. (2021). *Traffic Modelling Guidelines Version 4.0*.
<https://content.tfl.gov.uk/traffic-modelling-guidelines.pdf>
- Transport Technology Forum. (2021). *ITS Cyber Sign-Posting Guidance*.
<https://ttf.uk.net/2021/06/23/its-cyber-sign-posting-guidance/>
- Transportation Research Board. (2000). Highway Capacity Manual 2000. *Washington, DC*, 2(1).
https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway_capacity_manual.pdf
- Transportation Research Board. (2004). *NCHRP Synthesis 340 Convertible Roadways and Lanes*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/23331>
- Transportation Research Board. (2010). Highway Capacity Manual 2010. *Washington, DC*.
<https://www.jpautoceste.ba/wp-content/uploads/2022/05/Highway-Capacity-Manual-2010-PDFDrive-.pdf>
- Transportation Research Board. (2016). *Guidelines for Implementing Managed Lanes* (K. Fitzpatrick, M. A. Brewer, S. Chrysler, N. Wood, B. Kuhn, G. Goodin, D. Ungemah, B. Perez, V. Dewey, N. Thompson, C. Swenson, & D. Henderson, Ed.). The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/23660>
- Transportation Research Board. (2022). *Highway Capacity Manual 7th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*. The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/26432>
- TRL Software. (2021a). *SCOOT*. <https://trlsoftware.com/products/traffic-control/scoot/>
- TRL Software. (2021b). *TRANSYT*. <https://trlsoftware.com/products/junction-signal-design/transyt/>
- Turnbull, K. F. (2005). HOV and HOT lanes in the United States. *Proceedings of ETC 2005, Strasbourg, France 18-20 September 2005*.
- Turnet, A. (2020). Legal Tools for Achieving Low Traffic Zones (LTZs): LEZ, ULEZ & Congestion Pricing in the U.S. Law Context. *Environmental Law Reporter, Forthcoming*.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3534181>
- Tyler, Z. (2023). *Integrated Corridor Management for Connected Vehicles and Park and Ride Structures* [UC Irvine Electronic Theses and Dissertations].
<https://escholarship.org/uc/item/1wg7x2mr>
- U. S. Federal Highway Administration. (2005). *Traffic Control Systems Handbook*. Federal Highway Administration. <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop06006/index.htm>
- UIIG. (2015). *Unsignalized Intersection Improvement Guide* .
<https://toolkits.ite.org/uiig/default.aspx>

- UN-HABITAT. (2013). *Planing and Design for Sustainable Urban Mobility: Global Report on Human Settlement*. <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Planning%20and%20Design%20for%20Sustainable%20Urban%20Mobility.pdf>
- Upchurch, J. E. (1975). *Reversible Flow on a Six Lane Urban Arterial*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:126736042>
- Urban Access Regulations in Europe. (2024). *Low Emission Zones*.
<https://urbanaccessregulations.eu/low-emission-zones-main>
- U.S. Department of Transportation. (2013). *Signalized Intersections Informational Guide Second Edition*. <https://safety.fhwa.dot.gov/intersection/signal/fhwasa13027.pdf>
- U.S. Department of Transportation. (2022). *Congestion Pricing*. Federal Highway Administration . https://ops.fhwa.dot.gov/congestionpricing/cp_about.htm
- U.S. Department of Transportation. (2023a). ARC-IT Service Packages. *USDOT*.
<https://www.arc-it.net/html/servicepackages/servicepackages-areaspsort.html>
- U.S. Department of Transportation. (2023b). History of Intelligent Transportation Systems. *OST-R Intelligent Transportation Systems Joint Program Office*.
<https://www.its.dot.gov/history/index.html>
- U.S. Department of Transportation. (2023c). *Managed Lanes and HOV Facilities*. Federal Highway Administration. https://ops.fhwa.dot.gov/freewaymgmt/mngd_lns_hov.htm
- U.S. Department of Transportation. (2024). *High Occupancy Vehicle Facilities*. Federal Highway Administration. <https://ops.fhwa.dot.gov/freewaymgmt/hov.htm>
- Van der Loop, H., Haaijer, R., & Willigers, J. (2019). The Impact of Various Forms of Flexible Working on Mobility and Congestion Estimated Empirically. *Autonomous Vehicles and Future Mobility*, 125-139. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817696-2.00010-X>
- Van Vuren, T., Baker, J., Ogawa, J., Cooke, D., & Unwin, P. (2012). Managed Motorways: Modeling and Monitoring Their Effectiveness. *Transportation Research Record*, 2278(1), 85-94.
- VicRoads. (2021). *SCATS*. Victorian Transport Resources.
<https://www.vicroads.vic.gov.au/traffic-and-road-use/traffic-management/traffic-signals/scats>
- Viriyasitavat, W., & Tonguz, O. K. (2012). Priority Management of Emergency Vehicles at Intersections Using Self-Organized Traffic Control. *2012 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/VTCFall.2012.6399201>

- VTPI. (2019). HOV Priority. *Online TDM Encyclopedia*. Victoria Transport Policy Institute .
<https://www.vtpi.org/tdm/tdm19.htm>
- Walker, J., Blythe, P., & Pickford, A. (2012). *Congestion Charging: Learning The Lessons and Moving Forward*. EU-00616.
- Wang, J., Guo, X., & Yang, X. (2021). *Efficient and Safe Strategies for Intersection Management: A Review*. <https://doi.org/10.3390/s21093096>
- Washburn, S., & Larson, N. (2002). Signalized Intersection Delay Estimation: Case Study comparison of TRANSYT=7F, Synchro and HCS. *Ite Journal*, 72.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=6ff9bb9903994c5bede55c83829ae7ef47dd9fa5>
- Wikipedia. (2024). *Congestion Pricing in New York City*.
https://en.wikipedia.org/wiki/Congestion_pricing_in_New_York_City
- WJ. (2023). *Types of Intelligent Transportation Systems*. wj think exceptional.
[https://www.wj.uk/advice/types-intelligent-transportation-systems/#:~:text=Intelligent%20Transportation%20Systems%20\(ITS\)%20are,smarter%2C%20more%20integrated%20transport%20network.](https://www.wj.uk/advice/types-intelligent-transportation-systems/#:~:text=Intelligent%20Transportation%20Systems%20(ITS)%20are,smarter%2C%20more%20integrated%20transport%20network.)
- Wolshon, B., & Lambert, L. (2006). Reversible Lane Systems: Synthesis of Practice. *Journal of Transportation Engineering*, 132(12), 933-944. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2006\)132:12\(933\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2006)132:12(933))
- Wood, N., Gupta, V., Cardenas, J. P., Hwang, J., & Raghunathan, D. (2021). National Inventory of Specialty Lanes and Highways: Technical Report. *U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration*.
<https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop20043/fhwahop20043.pdf>
- Workplace Flexibility 2010. (2006). *Flexible Work Arrangements: A Definition and Examples*. *Georgetown University Law Center*.
<https://scholarship.law.georgetown.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1009&context=legal>
- Xiaojie, T. (2005). Research on Knowledge-Based Methodologies and System for Decision Making of Traffic Congestion Management. *Southeast University, Nanjing*.
- Yang, H., & Bell, M. G. H. (1997). Traffic Restraint, Road Pricing and Network Equilibrium. *Transportation Research Part B: Methodological*, 31(4), 303-314.
- Yilma, H. (2014). Challenges and Prospects of Traffic Management Practices of Addis Ababa City Administration [Addis Ababa University]. *Addis Ababa University*.

- <https://www.scribd.com/document/337053801/Challenges-and-Prospect-of-Traffic-Management-Practices>
- Yokota, T., & Weiland, R. J. (2004). *ITS System Architectures for Developing Countries*. <https://www.ttsitalia.it/file/Libreria/Worldwide/ITS%20System%20Architectures.pdf>
- Young, W., Taylor, M. A. P., & Gipps, P. G. (1989). *Microcomputers in Traffic Engineering*. Wiley. <https://books.google.com.tr/books?id=AlApAQAAAMAAJ>
- Zavadko, V. (2023). Implementing an Intelligent Transportation System: A Bottom-Up Approach to Value Creation. *intellias*. <https://intellias.com/implementing-intelligent-transportation-system/>
- Zhang, M. (2006). Travel Choice with No Alternative: Can Land Use Reduce Automobile Dependence? *Journal of Planning Education and Research*, 25(3), 311-326.
- Zhang, X., & Yang, H. (2004). The Optimal Cordon-Based Network Congestion Pricing Problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(6), 517-537.
- Zhao, W. (2018). *The General Equilibrium Effects of HOV Lanes on Congestion, Sprawl, Energy Use, and Carbon Emissions*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3312829>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Özgür Talih
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	
Telefon	
E-Posta Adresi	
Web Adresi	
EĞİTİM BİLGİLERİ	
Lisans	
Üniversite	
Fakülte	
Bölümü	
Mezuniyet Yılı	
Yüksek Lisans	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Programı	
YAYINLAR	
Makaleler	
– Özgür Talih, Emrah Dönmez, (Yayın Sürecinde). Geleneksel-Akıllı Tedarik Zinciri Karşılaştırması, Akıllı Tedarik Zincirinde Güvenlik ve Türkiye Değerlendirmesi. İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi. https://dergipark.org.tr/tr/pub/igusbd – Esmâ Dilek, Özgür Talih, Türksel Bensghir (2024). An Overview of Paradigm Shift Dynamics in Transportation: Use of Artificial Intelligence in Intelligent Transportation Systems in Türkiye. <i>Acta Infologica</i>. https://doi.org/10.26650/acin.1389571 – Esmâ Dilek, Özgür Talih, Türksel Bensghir (2023). Estonya 2007 Siber Saldırıların İncelenmesi ve Ülkelerin Ulusal Siber Güvenlik Politikalarına Etkileri. <i>Bilgi Yönetimi</i>, 6(2), 332-347. https://doi.org/10.33721/by.1392577 – Özgür Talih, Sevil Ayça Taşçı, Taylan Engin (2023). Yerel Yönetimlere Genel Bakış: Türkiye 51 İl Belediyesi Organizasyon Yapısı İncelemesi. <i>Beykoz Akademi Dergisi</i>, 11(2). https://doi.org/10.14514/beykozad.1269924 – Özgür Talih, Kaan Çelikok (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), 254 – 279. doi: https://doi.org/10.21076/vizyoner.1281444 – Kaan Çelikok, Özgür Talih (2023). International Transportation Projects and Türkiye from the Perspective of Transportation Economics. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 24 (2), 400-423. doi: https://doi.org/10.17494/ogusbd.1298169 – Özgür Talih, Necla Tektaş (2023). A brief survey on cooperative intelligent transportation systems and applications. International Journal of Automotive Science and Technology, 7 (3), 259-268. doi: https://doi.org/10.30939/ijastech..1256856 – Esmâ Dilek, Özgür Talih, Halim Ceylan (2023). Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Mimarisinin Yaygınlaştırılması: Türkiye Önerisi-Dissemination of National Intelligent Transportation Systems Architecture: Proposal for Türkiye. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi. doi: 10.51513/jitsa.1309583 – Özgür Talih, Necla Tektaş (2023). Bir Hizmet Olarak Hareketlilik-MaaS Perspektifi ve Türkiye Analizi. Journal of Transport and Logistics, 7 (2), 431-463. doi:10.26650/JTL.2022.1197450
Bildiriler
– Esmâ Dilek, Özgür Talih, Türksel Bengşir (18-20 Ekim 2023). A Paradigmatic Change in Transportation with Artificial Intelligence (AI) Technology Applications: A View of Sustainable Transportation in Türkiye. 10. Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri Konferansı “Dijital Çağda Sürdürülebilirlik”, Yeditepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 25. – Esmâ Dilek, Özgür Talih, Türksel Bengşir (18-20 Ekim 2023). Estonya 2007 Siber Saldırılarından Öğrenilen Derslerden Günümüzün Ulusal Siber Güvenlik Politikalarına Bakış. 10. Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri Konferansı “Dijital Çağda Sürdürülebilirlik”, Yeditepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 26. – Esmâ Dilek, Özgür Talih, Necla Tektaş (15-17 Kasım 2023). Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Siber Güvenlik: Türkiye’de Mevcut Durum ve Öneriler. 3. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Konferansı (ITSC’23), Bandırma, Türkiye, 16-33. – Esmâ Dilek, Özgür Talih, (2022). Overview of Cyber Espionage Incidents and Analysis of Tackling Methods, 15th International Conference on Information Security and Cryptography, ISCTURKEY, 55-60
Diğer
– Esmâ Dilek, Özgür Talih, (2023), Lojistik Faaliyetlerinin Akıllı Ulaşım Stratejilerine Etkisi ve E-Lojistik. AUS Türkiye Bülten. Ocak 2024, Sayı 15. – Esmâ Dilek, Özgür Talih, (2023), Toplum 5.0 Perspektifine Kısa Bir Bakış ve Ulaştırma Sektörüne Muhtemel Etkileri. AUS Türkiye Bülten. Ocak 2023, Sayı 15. – Esmâ Dilek, Özgür Talih, (Eylül-2022), Akıllı Ulaşım Sistemleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)-AUS İlişkisi, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı AUS Çalışmaları. AUS Türkiye Bülten. Ocak 2023, Sayı 11. https://austurkiye.org.tr/uploads/blog/file_282-11-numarali-bulten-177.pdf

- **Özgür Talih**, (Temmuz-2022), Bağlantılı, Otonom, Elektrikli ve Paylaşımlı Hareketlilik. AUS Türkiye Bülten. Temmuz 2022, Sayı 9. https://austurkiye.org.tr/uploads/blog/file_32-09-numarali-bulten-589.pdf

Projeler

Prof. Dr. Murat Dener, Esmâ Dilek, **Özgür Talih**, TÜBİTAK 1005-Ulusal Yeni Fikirler ve Ürünler Araştırma Destek Programı-123E065/Trafik Gözlem Kameralarında Derin Öğrenme Yöntemleriyle Gerçek Zamanlı Video Akışı Analizi ve Kötücül Aktivite Tespiti Projesi, 2023-2024