

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ ÜZERİNE BİR SİSTEMATİK
LİTERATÜR TARAMASI**

ALİ CAN GÜVEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

2019

**AKILLI ULAŖIM SİSTEMLERİ ÜZERİNE BİR SİSTEMATİK
LİTERATÜR TARAMASI**

**A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW ON INTELLIGENT
TRANSPORTATION SYSTEMS**

ALİ CAN GÜVEN

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ENDÜSTRİ Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2019

“Akıllı Ulaşım Sistemleri Üzerine Bir Sistematik Literatür Taraması” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 13/09/2019 tarihinde, **ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet GÜLŞEN

Üye (Danışman) : Dr. Öğr. Üyesi Barış KEÇECİ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ayyüce AYDEMİR KARADAĞ

ONAY

/09/2019

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 25 / 09 / 2019

Öğrencinin Adı, Soyadı : ALİ CAN GÜVEN

Öğrencinin Numarası : 21610317

Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ A.B.D.

Programı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ Y.L. PROGRAMI

Danışmanın Adı, Soyadı : DR. ÖĞR. ÜYESİ BARIŞ KEÇECİ

Tez Başlığı : AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ ÜZERİNE BİR SİSTEMATİK LİTERATÜR TARAMASI

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 86 sayfalık kısmına ilişkin, 22/09/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %5'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esasları”nı inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası

Onay

/09/2019

Dr. Öğr. Üyesi Barış KEÇECİ

TEŐEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleőmesinde katkılarından dolayı, tez danışmanım sayın hocam Dr. Barış Keçeci'ye çalışmamın sonuca ulaőtırılmasında daima yol gösterici ve yardımcı olduğu için içtenlikle teőekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini eksik etmeyen, bu süreç boyunca daima teşvik ve motive ederek yanımda olan baőtta babam Ali Güven ve eőtım Arife Gl Güven olmak üzere tüm aileme teőekkürü bir borç bilirim.



ÖZ

AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ ÜZERİNE SİSTEMATİK BİR LİTERATÜR TARAMASI

Ali Can GÜVEN

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Akıllı şehirler, sakinlerini dijital topluluklara dönüştüren ve onların hayatını her yönden kolaylaştıran bir anlayışla hızla gelişmektedir. Akıllı şehirlerin en önemli parçası olan akıllı ulaşım sistemleri (AUS), herkesin vazgeçilmez bir parçası haline gelmektedir. AUS uygulamaları bugün birçok ülkede yaygın olarak kabul görmekte ve kullanılmaktadır. Kullanım yalnızca trafik sıkışıklığı kontrolü ve bilgileri ile sınırlı değildir, aynı zamanda yol güvenliği ve verimli altyapı kullanımı da ana amaçlar arasındadır. Sunmuş olduğu sınırsız fırsatlar nedeniyle, AUS günümüzde çok disiplinli bir konjektürel çalışma alanı haline gelmiş ve bilim dünyasından da yoğun bir ilgi görmüştür. Bu açıdan endüstri mühendisleri için de AUS uygulamalarının geliştirilmesinde özellikle optimizasyon ve simülasyon açısından önemli fırsatlar bulunmaktadır. Ayrıca AUS sistemlerinin bir sistem yaklaşımı içinde geliştirilmesi de yine tasarım açısından endüstri mühendisliği ilgi alanına girmektedir. Bu çalışmanın amacı AUS ile ilgili yapılmış olan çalışmaları sistematik bir şekilde inceleyip konuya ilgi duyan araştırmacılara konu ile ilgili genel resmi göstermektir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: akıllı ulaşım sistemleri, endüstri mühendisliği, simülasyon, optimizasyon.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Barış KEÇECİ, Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.

ABSTRACT

Smart cities are developing rapidly with an understanding that they transform their inhabitants into digital communities and make their lives easier in several aspects. Intelligent transportation systems (ITS) which is the most important part of smart cities, are becoming an indispensable part of everyone's life. ITS applications are widely accepted and used in many countries today. Usage is not limited to traffic congestion control and information. In addition, road safety and efficient infrastructure use are among the main objectives of implementing ITS. Due to unlimited opportunities it offers, ITS has become a multidisciplinary field of study and has received a lot of attention from the scientific community. In this respect, there are important opportunities for industrial engineers in the area of ITS applications, especially in terms of optimization and simulation. Additionally, industrial engineers focus on system design perspective of ITS design. The aim of this study is systemic examination of the studies related to ITS and to show the general picture to the interested researchers.

KEYWORDS: intelligent transportation systems, industrial engineering, simulation, optimization.

Advisor: Assistant Professor Barış KEÇECİ, Başkent University, Industrial Engineering Department.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Kapsamı	2
2. MOTİVASYON VE KONUNUN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ.....	5
3. KULLANILAN METODOLOJİ VE ÇALIŞMANIN AMACI	8
4. ÇALIŞMANIN LİTERATÜRE KATKISI	11
5. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN TANIMI.....	13
5.1. AUS Hizmet Paketleri ve Kullanıcı Servisleri.....	18
5.2. Türkiye’de Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi	21
6. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ.....	23
6.1. 1980 Öncesi Akıllı Ulaşım Sistemleri.....	25
6.1.1. Sosyo-ekonomik Çevre.....	25
6.1.2. Araştırmalar ve Teknolojik Gelişmeler	25
6.2. 1980 Sonrası Akıllı Ulaşım Sistemleri	28
6.2.1. Sosyo-ekonomik Çevre.....	28
6.2.2. Araştırmalar ve Teknolojik Gelişmeler	28
6.3. 1990 Sonrası Akıllı Ulaşım Sistemleri	30
6.3.1. Sosyo-ekonomik Çevre.....	30
6.3.2. Araştırmalar ve Teknolojik Gelişmeler	30
6.4. 2000 Sonrası Akıllı Ulaşım Sistemleri	32
6.4.1. Sosyo-ekonomik Çevre.....	32
6.4.2. Araştırmalar ve Teknolojik Gelişmeler	33

6.5. Günümüzde Akıllı Ulaşım Sistemleri	36
6.5.1. Sosyo-ekonomik Çevre.....	36
6.5.2. Araştırmalar ve Teknolojik Gelişmeler	39
7. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ TASARIMINDA MODELLEME VE SİMÜLASYON TEKNİKLERİ.....	43
7.1. Trafik Akışı Modellemesi	44
7.1.1. Mikroskobik Modeller	47
7.1.2. Makroskobik Modeller.....	47
7.1.3. Mesoskopik (Kinetik) Modeller	48
7.2. Mikroskobik Trafik Modelleme Yazılım Araçları.....	48
7.2.1. CORSIM Simülasyon Yazılımı	50
7.2.2. VISSIM Simülasyon Yazılımı	50
7.2.3. AIMSUN Simülasyon Yazılımı	50
7.2.4. PARAMICS Simülasyon Yazılımı.....	50
7.2.5. Simülasyon Yazılımların Karşılaştırılması.....	51
7.2.6. Mikroskobik Simülasyon Modelleri Kullanmanın Avantajları	51
7.3. Akıllı Ulaşım Sistemi Projelerinde Mikroskobik Simülasyon Kullanımı	51
7.4. Simülasyon Modellerinin Genel Değerlendirmesi	55
8. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ TASARIMINDA OPTİMİZASYON	56
9. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ	60
9.1. Problemin Tanımı	61
9.2. Akıllı Ulaşım Sistemlerinde ARP Kullanımı	62
9.3. ARP Problemlerinin Sınıflandırılması	62
9.3.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP).....	62
9.3.1. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (MKARP)	63
9.3.2. Çok Depolu Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi (ÇDÖDSTARP)	64

9.3.3. Eş Zamanlı ve Karışık Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi (KTDARP)	64
9.3.4. Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi (ÖDSTARP).....	64
9.3.5. Ayrık Yüklemeli ve Zaman Pencereleli ARP (ZARP)	64
9.3.6. Geri Toplamalı ARP (GTARP)	64
9.3.7. Periyodik ARP (PARP)	65
9.4. ARP Problemlerinin Çözüm Yöntemleri.....	65
9.4.1. Kesin Çözüm Yöntemleri	66
9.5. Klasik Sezgisel Çözüm Yöntemleri.....	67
9.6. Meta Sezgisel Çözüm Yöntemleri	68
9.7. ARP Uygulama Alanları.....	68
10. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNDE GELECEĞE BAKIŞ	69
10.1. Gelecekte Potansiyel Çalışma Alanları	70
10.1.1. Simülasyon ve Modelleme.....	70
10.1.2. Tam Otomatik Sistemler	72
11. SONUÇ	73
KAYNAKLAR LİSTESİ	76

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. AUS Kullanıcı Servisleri.....	19
--	----



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Araştırmanın Kapsamı ve Ana Çatısı.....	3
Şekil 2. Sistemik Derleme Metodolojisi Aşamaları.....	9
Şekil 3. AUS Sistemlerinin Geliştirilme Aşamaları.....	15
Şekil 4. Akıllı Ulaştırma Sistem Planlamalarının Sınıflandırması.....	17
Şekil 5. AUS Ana Hedefleri.....	20
Şekil 6. Türkiye’de AUS Tarihsel Gelişimi	22
Şekil 7. AUS Uygulamalarının Tarihsel Gelişimi.....	24
Şekil 8. Otonom Sürüş Seviyeleri	38
Şekil 9. Sürüş Güvenliğinde Beş Dönem.....	42
Şekil 10. VISSIM Grafikselle Kullanıcı Arayüzü.....	49
Şekil 11. Simülasyon Çalışmasının Yapıldığı Alan	52
Şekil 12. Simülasyon Modelinin Aşamaları.....	53
Şekil 13. Rotalama Probleminin Görsel Olarak Gösterimi	60
Şekil 14. ARP Problemlerinin Sınıflandırılması.....	63
Şekil 15. Araç Rotalama Problemlerinin Sınıflandırması	66

1. GİRİŞ

Taşımacılık sektöründe enerji tüketimi son on yılda istikrarlı bir şekilde artmış ve bu artışın devam etmesi beklenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre (2012), 1973 ile 2010 arasında, ulaştırma sektörünün dünya petrol tüketimindeki payı %45'ten %61'e yükselmiştir. Uluslararası Temiz Taşımacılık Konseyi (2012), 2000 ve 2030 yılları arasında ulaştırma sektöründen kaynaklanan küresel karbondioksit emisyonlarında %112'lik bir artış öngörmektedir. Bu artışın büyük kısmı, gelişmekte olan ekonomilere sahip ülkelerde gelirlerin artmasıyla birlikte, mobilite ve araç sahipliğinin artmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, Dünya Enerji Konseyi (2011) senaryo projeksiyonlarına göre, gelişmekte olan ülkelerdeki otomobil sayısının 2010 ve 2050 arasında %430'a kadar artabileceğini göstermektedir. Artan gelirler, hareket kabiliyetinin artması ve yaşam kalitesinin artması istenen sonuçlardır. Ancak, bu rakamlar alternatif yakıtlara, alternatif ulaşım modlarına ve artan sistem verimliliğine olan ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır.

2000'li yıllardan itibaren, insanların ve eşyaların verimli bir şekilde taşınması konusunun daha önce tahmin edilenden çok daha karmaşık olduğu açıkça ortaya çıkmaya başlamıştır. Sorun sadece yüzey taşımacılığı ile sınırlı olmamakla birlikte tren, hava yolu taşımacılığı (yolcu ve kargo) ve deniz yolu taşımacılığı (gemi ve feribot) gibi diğer taşıma yöntemlerini de kapsamaktadır. Böylelikle Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) kavramı ortaya çıkmıştır. Ulusal ve uluslararası düzeyde gerçek ve pratik çözümler elde etmek için değişik ulaşım modları arasındaki karmaşık ve asenkron olmayan kısıtları da göz önüne alan ve temel bir hedef fonksiyonunun optimizasyonunu hedefleyen (örneğin ulaşım süresinin en küçüklenmesi) bütüncül bir yaklaşımın geliştirilmesi benimsenmiştir. Çok uzak olmayan bir gelecekte, aya, diğer yapay uydulara ve gezegenlere uzay yolculuğu rutin hale gelecektir. AUS temelleri planlanırken gelecekte meydana gelebilecek olan bu tür gelişmeler de göz önüne alınarak entegrasyonun sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır.

Bu karmaşık problemin çözümü iki temel bilimsel ilerlemeye bağlıdır. Bunlardan ilki, güçlü masaüstü iş istasyonları ve mobil dizüstü bilgisayarlar, avuç içi

bilgisayarlar ve el tipi kişisel dijital asistanlar (akıllı telefonlar, tabletler) gibi araçlar vasıtası ile bilgi işlem gücündeki artıştır. İkincisi, iletişim ve kontrol için hem kablolu hem de kablosuz ağ bağlantısı olanaklarının artmasıdır. Ancak, yalnızca bilgi işlem gücü ve ağ bağlantısı olanaklarının yaygınlaşması bir çözümü otomatik olarak garanti etmemektedir. Örneğin, General Elektrik firması araştırmacılarından Carley [21], yetersiz bilgi, koordinasyon ve kontrol kaynaklı demiryolu koridorlarındaki darboğazlar ve beklemler nedeni ile lokomotiflerin %60 kapasite ile kullanıldıklarını tespit etmiştir. Bu düşük verimlilikle ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirliği mümkün değildir. Dolayısı ile karmaşık ulaşım problemlerini başarılı bir şekilde çözmek ancak ve ancak kontrol ve koordinasyon algoritmalarının bütün ulaşım modlarını kapsayacak şekilde kapsamlı olarak tasarlanması ile mümkün olacaktır.

1.1. Çalışmanın Kapsamı

AUS konusu disiplinler arası bir konu olması nedeni ile çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu çalışmada ki amaç konunun endüstri mühendisliği yönü ile ele alınmasıdır. Dolayısı ile ilk olarak AUS ile ilgili tanımlamalar ve tarihsel gelişim ortaya konulduktan sonra konu ile ilgili endüstri mühendisliği uygulamaları alanlarına ilişkin araştırmalar incelenmiştir. Endüstri Mühendisliği uygulama alanlarında ilk olarak AUS ile ilgili olarak yapılan simülasyon çalışmaları özetlenmiş ve bu kapsamda geliştirilen uygulamalar sunulmuştur. AUS ile ilgili olarak kullanılan simülasyon yaklaşımları ve metotları açıklanmış ve simülasyon modelleri ile ilgili kullanılan yaklaşımlara göre bir sınıflandırma yapılmıştır. Daha sonra geliştirilen uygulamaların sahip olduğu temel özellikler, üstünlükler ve yetersiz kaldığı hususlar açıklanmış ve uygulamalar arasında kıyaslama yapılmıştır. İkinci olarak ise AUS sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılan optimizasyon yaklaşımları ele alınmış ve bu kapsamda yapılan önemli çalışmalar özetlenmiş ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemler ve çözüm teknikleri açıklanmıştır. İlave olarak AUS uygulamalarında yaygın olarak kullanılan araç rotalama problemi ile ilgili bir sınıflandırma yapılmış ve bu problemleri çözmek için kullanılan çözüm yöntemleri açıklanmıştır. Son olarak ise AUS ile ilgili gelecekte yaşanması muhtemel gelişmeler ve potansiyel çalışma alanları anlatılmıştır. Çalışmanın ana omurgası Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Araştırmanın Kapsamı ve Ana Çatısı

Bu çalışmada ilk olarak akıllı ulaşım sistemleri konusunun seçilmesindeki motivasyon ve konunun Endüstri Mühendisliği açısından önemi açıklanacaktır. Üçüncü bölümde araştırma için kullanılan metodoloji, araştırmanın amaçları ve araştırma soruları verilmiştir. Dördüncü bölümde ise yapılan çalışmanın literatüre olan katkısı anlatılmıştır. Beşinci bölümde akıllı ulaşım sistemleri ile ilgili tanımlar, hizmet paketleri ve kullanıcı servisleri ile ilgili bilgi verilmiş ve altıncı bölümde AUS sistemlerinin tarihsel gelişimi dönemler halinde açıklanmıştır. Yedinci bölümde akıllı ulaşım sistemleri tasarımında modelleme ve simülasyon tekniklerinin kullanımı ile ilgili araştırma sonuçları verilmiş ve sekizinci bölümde ise akıllı ulaşım

sistemleri tasarımında optimizasyon yaklaşımı ile ilgili yapılan çalışmalar ile ilgili bilgi verilmiştir. Dokuzuncu bölümde akıllı ulaşım sistemlerinin tasarımında önemli bir yeri olan araç rotalama problemi ile ilgili literatür taraması sonuçları verilmiş ve problemin tanımı, sınıflandırması, çözüm yöntemleri ve kullanım alanları ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Onuncu bölümde ise akıllı ulaşım sistemlerinin gelecekteki durumu incelenmiş ve endüstri mühendisliği açısından potansiyel çalışma alanları özetlenmiştir. Son olarak sonuç bölümünde yapılan çalışma özetlenmiştir.



2. MOTİVASYON VE KONUNUN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Akıllı şehirler vatandaşlarını dijital topluluklara dönüştüren ve onların hayatını her yönden kolaylaştıran bir anlayışla hızla gelişmektedir. Akıllı şehirlerin en önemli parçası olan akıllı ulaşım sistemleri, herkesin vazgeçilmez bir parçası haline gelmektedir. Herhangi bir şehirde hareketlilik kilit bir husustur. Vatandaşların hayatlarını akıllı ulaşım sistemleri ile güçlendirmek onlara zaman kazandırabilir ve şehri daha da akıllı hale getirebilir. AUS trafik sorunlarını en aza indirerek trafik verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Kullanıcıları trafik, gerçek zamanlı çalışma bilgileri, koltukların kullanılabilirliği vb. konular hakkında önceden bilgilendirerek karar vermelerine yardımcı olur ve bu da taşıtların seyahat süresini azaltır, güvenlik ve rahatlıklarını artırır.

AUS uygulamaları bugün birçok ülkede yaygın olarak kabul görmekte ve kullanılmaktadır. Kullanım yalnızca trafik sıkışıklığı kontrolü ve bilgileri ile sınırlı değildir, aynı zamanda yol güvenliği ve verimli altyapı kullanımı da ana amaçlar arasındadır. Sınırsız olanakları nedeniyle, AUS günümüzde çok disiplinli bir konjonktürel çalışma alanı haline gelmiştir ve bu nedenle dünyadaki birçok kuruluş, AUS uygulamaları geliştirmek için yoğun bir şekilde çalışmaktadır. Bu açıdan endüstri mühendisleri için de AUS uygulamalarının geliştirilmesinde özellikle optimizasyon ve simülasyon açısından önemli fırsatlar bulunmaktadır. Ayrıca AUS sistemlerinin bir sistem yaklaşımı içinde geliştirilmesi de yine tasarım açısından endüstri mühendisliği ilgi alanına girmektedir.

Yük taşımacılığı ve lojistik doğal olarak Endüstri Mühendisliğinin ilgi alanına giren iki ana başlıktır, çünkü bir tedarik zinciri performansı bu iki temel bileşenin etkinliğine bağlıdır. Endüstri mühendisleri hammaddelerin üretim birimlerine ulaşmasını ve nihai ürünlerin müşteriye zamanında ve en uygun maliyetle ulaşmasını sağlamak için çalışırlar. Yük taşımacılığı sistemlerini ve lojistiğini geliştirmek için birçok araştırma yapılmış olmasına rağmen, özellikle de birden çok taşımacılık alt sistemi (yük taşımacılığı, toplu taşıma ve bireysel araçlar) tek bir

taşımacılık sistemi olarak kabul edildiğinde, yapılacak önemli ölçüde araştırma konusu bulunmaktadır.

Karşılaşılabilecek sorunlar hem çoktur hem de bu problemlerin çözümü oldukça zordur. Ekonomik açıdan bakarsak, şirketler ham maddelerinin, ürünlerinin ve çalışanlarının zamanında istenilen yerde olmasını isterler. Toplum açısından bakarsak, taşıma sistemleri bireylerin istedikleri her yere gitmelerini ve mümkün olan en az yorgunluk ile görevlerine hızlı bir şekilde ulaşmalarını sağlamalıdır. Ulaşım sistemleri ayrıca hükümetlerin az gelişmiş bölgelere erişim sağlamalarının bir aracıdır. Son olarak, iyi ulaşım sistemleri, bireysel taşıtlar yerine çok modlu taşıma alternatifleri (yürüme, bisiklete binme, tramvay ya da otobüs alma) önererek hem sera gazı emisyonlarının azaltılmasını sağlarlar hem de trafik yoğunluğunun azalmasına katkıda bulunurlar.

Ulaşım sistemleri ile ilgili yapılacak bir çalışmada demiryolları, karayolları, yaya ve bisiklet yolları, nehir / deniz yolları ve hava yollarına bir bütün olarak bakılmalıdır. Her ağ diğerlerine transfer terminalleri (otobüs / tren istasyonları, limanlar, havaalanları) aracılığıyla bağlanır. Bugün, bu ağlar üzerinden hem yük hem de yolcu için iki tür hizmet vardır. Bu hizmetlerden ilki talebe bağlı hizmettir, örneğin taksi hizmeti. Kişisel araçların kullanımı da bu kategoride kabul edilmektedir. Talebe bağlı hizmet daha yüksek maliyetler ve çevresel etkiler pahasına daha fazla esneklik sunar. İkinci tip hizmet ise konsolide hizmetlerdir. Servisler düzenli sıklıkta planlanır, yük veya yolcu akışları ana merkezler aracılığıyla konsolide edilir. Her ne kadar bu hizmet türü talep üzerine planlanandan daha az esnek olsa da taşıt ve konteyner gibi ulaşım kaynaklarını daha iyi doldurma avantajına sahiptir. Böylece daha az kaynak israfı olur ve taşıma maliyetleri önemli ölçüde düşer.

Özet olarak AUS uygulamalarının geliştirilmesi disiplinler arası bir çalışma alanı olmakla birlikte sistemlerin tasarlanmasında, işletilmesinde, kontrolünde ve geliştirilmesinde Endüstri Mühendisleri için önemli fırsatlar bulunmaktadır. Özellikle verilen servislerin optimizasyonunda ve kurulacak sistemlerin tasarım

aşamasından başlanarak simüle edilmesi ve doğruluklarının kontrol edilmesinde önemli katkılar sunulabilir.



3. KULLANILAN METODOLOJİ VE ÇALIŞMANIN AMACI

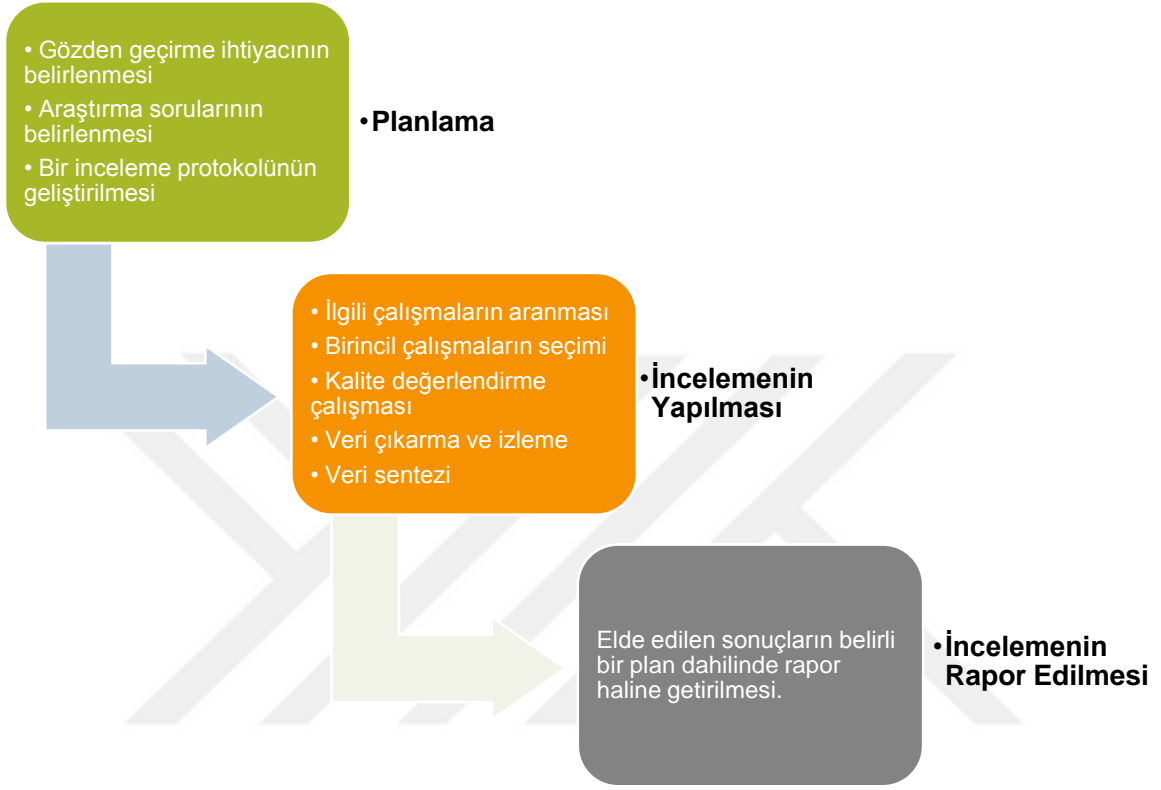
Her yıl çeşitli konularla ilgili olarak büyük miktarda araştırma yapılmakta ve bu araştırma sonuçlarında çeşitli farklılıklar bulunmaktadır. Çalışmalar arasındaki bu farklılıklar yöntemden, hatalardan, ölçümden kaynaklanıyor olabilir. Bu gibi durumlarda, genel resmin ne olduğu, hangi sonuçların en güvenilir olduğu veya hangi sonuçların karar vericiler tarafından kullanılacağı tam olarak belli değildir [108].

Sistematik Derleme Metodolojisi, bir veya daha fazla araştırma sorusunu ele alan tüm ilgili, yüksek kaliteli bireysel çalışmaların bulgularını tanımlayarak, eleştirel bir şekilde değerlendirerek ve birleştirerek bu sorunları çözmeyi amaçlamaktadır [13].

Sistematik Derleme Metodolojisi, kendi başına bir araştırma çeşididir ve doğası gereği, spesifik çalışmaların yapabileceğinden çok daha geniş soruları ele alabilir ve farklı bulgular arasındaki bağlantıları açığa çıkarabilir [12]. Bu yönüyle sistematik derleme, diğer tüm araştırma tasarımlarının üstünde yer almaktadır ve en önemli pratik sonuçları sağlama potansiyeline sahiptir.

Sistematik derlemeler objektif, sistematik, şeffaf ve tekrarlanabilir olmakla karakterize edilir. Belirli bir araştırma sorusunu ele alan çalışmaları bulmak için sistematik bir arama sürecinin yanı sıra, bu araştırmanın sonuçlarının özelliklerinin ve bulgularının sistematik bir sunumunu ve sentezini içerir. Gözden geçirme ve dahil etme kriterleri objektif, açıkça belirtilmiş ve tutarlı bir şekilde uygulanmıştır; belirli çalışmaları dahil etme veya hariç tutma kararının okuyuculara açık olması ve aynı kriterleri kullanan başka bir araştırmacının da aynı kararı vermesi muhtemeldir. Sistematik bir gözden geçirmenin amaçlarına en iyi şekilde ulaşmak için bir avuktan ziyade bir hakimin ve jürinin zihniyetinin benimsenmesi tavsiye edilir [11]. Bir yargıç ve jüri en adil kararı vermek için kanıtları şüpheyle değerlendirir. Buna karşılık, bir avukatın delillere yaklaşımı, savunduğu tarafın lehine subjektiftir.

Bu çalışmada kullanılan sistematik derleme metodolojisi aşamaları Şekil 2'de özetlenmiştir.



Şekil 2. Sistematik Derleme Metodolojisi Aşamaları

Planlama aşamasında ilk olarak akıllı ulaşım sistemleri konusu ile ilgili olarak yapılan çalışmaların incelenerek endüstri mühendisliği açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda aşağıdaki araştırma soruları belirlenmiştir:

- AUS sistemleri nasıl tanımlanmaktadır? AUS kapsamında sunulan hizmet paketleri ve kullanıcı servisleri nelerdir?
- AUS sistemlerinin geliştirilmesi ile ilgili olarak nasıl bir tarihsel süreç izlenmiştir?
- AUS sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılan endüstri mühendisliği araçları nelerdir? Bu araçlar ne sıklıkla ve hangi amaçlarla kullanılmıştır?

- AUS tasarımıında modelleme ve simülasyon araçları hangi amaçlarla kullanılmıştır? Bu amaçla geliştirilen uygulamalar nelerdir? Bu uygulamaların kullanım kapsamaları nedir?
- AUS tasarımıında optimizasyon uygulamaları nelerdir? Bu uygulamaların kullanım alanları nelerdir? Optimizasyon uygulamaları gelecekte hangi amaçlarla kullanılabilir?
- Araç rotalama problemleri ile AUS sistemleri arasında ki ilişki nedir? Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar nasıl sınıflandırılmıştır? Kullanılan çözüm yöntemleri nelerdir?

Araştırma soruları belirlendikten sonra bir inceleme prosedürü geliştirilmiştir. Bu prosedüre göre öncelikli olarak her bir araştırma sorusu ile ilgili olarak hızlı bir literatür taraması yapılacak ve bulunan çalışmalar hızlı bir şekilde gözden geçirilerek gerekli ve önemli olan çalışmalar seçilecek diğer çalışmalar ise elenecektir. Daha sonra seçilen çalışmalar daha detaylı olarak incelenecek ve araştırma sorularına cevap verecek şekilde çalışmalar sınıflandırılacak ve mantıksal bir sıra dahilinde raporlama işlemine geçilecektir.

4. ÇALIŞMANIN LİTERATÜRE KATKISI

Kentsel trafik ağlarında tıkanıklık, ekonomiye olduğu kadar doğal çevreye de büyük bir tehdittir ve insan yaşamının kalitesi üzerinde olumsuz etkileri vardır. Trafik sıklığı, seyahat zamanlarını, kuyruk uzunluğunu, zararlı gaz emisyonlarını ve trafik ışıklarında boşa kalma sürelerini azaltmak için sert stratejiler gerekmektedir. Konvansiyonel trafik yönetimi çözümleri, esas olarak araçlar ile altyapı arasında kendi aralarında yeterli iletişim bulunmamasından dolayı birçok kısıtlamayla karşı karşıyadır. Özellikle son yıllarda trafik akışını ve güvenliğini artırmak için çeşitli araç otomasyon ve haberleşme sistemleri ve otonom araçlar ile ilgili büyük gelişmeler olmuştur [32; 20].

Yukarıdaki gelişmeler bilgi ve iletişim teknolojilerini trafik yönetim sistemlerinin etkinliği için veya daha genel olarak AUS açısından önemli bir başarı faktörü haline getirmektedir. Etkili iletişim kullanımı sayesinde, tıkanıklık ve gaz emisyonları en aza indirgenebilir ve güvenlik önemli ölçüde iyileştirilebilir [75].

Bu çalışma, AUS sistemleri ile ilgili şu ana kadar yapılmış olan araştırmaların sistematik derleme metodu ile incelenerek sınıflandırılmasını ve özellikle endüstri mühendisliği açısından bir değerlendirmesini sunmaktadır. Geçmişte yapılan çalışmalara baktığımızda, trafik yönetimi ve kontrolü ile ilgili AUS uygulamalarına yönelik birçok uygulama bulunmaktadır [123; 25; 41]. Bu çalışmada ilk olarak AUS sistemlerinin tanımı yapılmış ve daha sonra AUS sistemlerinin gelişimi dönemselsel olarak incelenmiştir. Dolayısıyla bu konu ile yeni ilgilenmeye başlayan bir araştırmacı AUS sistemlerinin tarihsel gelişimi ile ilgili hızlı bir şekilde bilgi sahibi olacaktır.

AUS sistemlerini geliştirilmesinde endüstri mühendisleri de önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle sistemlerin modellenmesi ve simüle edilmesinde ve karar değişkenlerinin optimizasyonunda endüstri mühendislerine olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Bu çalışmada hem modelleme ve simülasyon hem de optimizasyon ile ilgili olarak yapılan AUS çalışmaları gözden geçirilmiştir. Dolayısıyla araştırmacılar modelleme, simülasyon ve optimizasyonun AUS

uygulamalarında kullanımı ile ilgili bilgi sahibi olacak ve yapılacak çalışmayı nerede konumlandıracaklarına karar verebileceklerdir.



5. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN TANIMI

2000'li yıllardan itibaren bilgi ve iletişim teknolojilerinde meydana gelen hızlı gelişmelerin bir sonucu olarak AUS uygulamaları da karşımıza çıkmaya başlamıştır. Bu uygulamaların temel hedefi teknolojiye meydana gelen gelişmeleri trafik ve ulaştırma sistemlerinin daha etkin ve güvenli hale getirilmesi, yönetimi ve analizidir. En genel tanımıyla, AUS güvenlik, mobilite ve verimliliği artırmak için algılama, analiz, kontrol ve iletişim teknolojilerinin ulaşım uygulanması olarak tanımlanabilir. AUS, trafik akışını kolaylaştırmak, trafik yönetimini iyileştirmek, çevresel etkileri en aza indirmek ve genel olarak ticari kullanıcılara ve kamuya yönelik olarak yapılan taşımacılığın faydalarını artırmak için bilgileri işleyen ve paylaşan geniş bir uygulama yelpazesi olarak tanımlanabilir [122]. Bir sistemin AUS olarak kabul edilebilmesi için kullanıcılarına bilginin analizi sonucunda faydalı ve karar vermesine yardımcı bilgi ve hizmetler sunması gerekmektedir. Dolayısı ile AUS kullanıcılarına sunmuş olduğu karar destek sistemleri vasıtası ile karar verme sürecini kolaylaştırmaktadır.

AUS gelişmekte olan bir bilim ve mühendislik disiplini olup temel amacı yolcuların ve eşyaların ulaşım zamanının en küçüklenmesidir. Bu amaca ulaşmaya çalışırken de yolcu ve mal güvenliğinin sağlanabilmesi için mevcut olan kaynakların adil bir şekilde dağıtılması ve bu karar esnasında artan ulaşım hızlarının, artan yolcu sayılarının ve mal miktarlarının ve yolcuların tam ve zamanında bilgilendirilme taleplerinin de göz önünde bulundurulması önem arz etmektedir. Bu hedefe ulaşmak için AUS, asenkron dağıtılmış kontrol ve koordinasyon algoritmaları yoluyla kara trafiği, trenler, kargo hava taşımacılığı, yolcu hava taşımacılığı, deniz taşımacılığı gibi farklı ulaştırma modlarının kesintisiz ve doğal bir entegrasyonunu sağlamalıdır. Bu entegrasyon sonucunda yolcu [50]:

- (1) Sistemdeki herhangi bir noktadan herhangi bir ulaşım modunun doğru durum bilgisine erişebilecek,
- (2) Mevcut bilgiyi ve karar vericinin tercihlerini dikkate alarak değişik ulaşım modu kombinasyonlarını içeren mevcut rotalar içinden en efektif olanı belirleyecek,

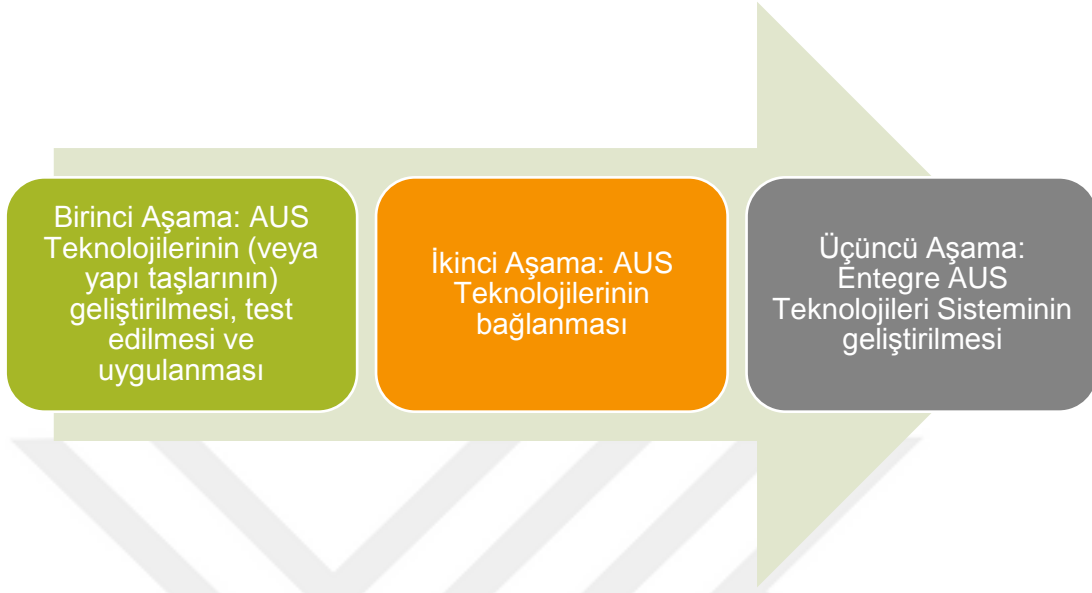
(3) Herhangi bir ulaşım modunda seyahat ederken bile diğer ulaşım modlarına dinamik olarak rezervasyon yapması mümkün olacaktır .

AUS teknolojileri, yüzey taşımacılığı güvenliğini, verimliliğini ve rahatlığını arttırmayı hedefleyen en gelişmiş kablosuz, elektronik ve otomasyon teknolojileri içermektedir. AUS teknolojileri araçları (toplu taşıma, kişisel araçlar, vb.), sistem kullanıcılarını ve altyapıyı (yollar ve toplu taşıma olanakları) entegre etme potansiyeline sahiptir. Otomasyon ve araç içi teknolojiler arasında hassas yerleştirme, otomatik yönlendirme, çarpışma önleme ve gerçek zamanlı bilgi sağlama sistemleri bulunmaktadır. AUS sistemlerinin kullanımı seyahat, rota ve ulaşım modlarının optimizasyonunu, kat edilen toplam mesafenin ve trafikte harcanan zamanın en küçüklenmesini, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak hava kirliliğinin önlenmesine katkıda bulunur. Bunlara ek olarak AUS, sistem yönetimine ve araç tasarımına uygulanması durumunda yakıt tüketimini aşağıdaki yollarla azaltabilir [107]:

- Optimum rota planlamasını ve zamanlamayı kolaylaştırması;
- Işık sinyallerinin optimizasyonu ile hızlanma / yavaşlama ve dur-kalk sürüşlerinin ayarlanması (“yeşil dalga” olarak da bilinir);
- Otomatik geçiş ücreti tahsiline izin verilmesi;
- Fiyatlandırma ve talep yönetimi stratejilerinin sağlanması;
- Toplu taşıma araçlarının çekiciliğinin artırılması;
- Değişken yol koşulları ve arazi koşullarına göre araç şanzımanının ayarlanması;
- Mevcut koşulları hesaba katarak gerçek zamanlı karar vermenin iyileştirilmesi; ve
- Otoyol araç girişlerinin optimize edilmesi.

1991 yılında, taşımacılık uzmanları elektronik teknolojilerinin yüzey taşımacılığını optimize etmede önemli bir rol oynamaya başlayabileceğini kabul ettiklerinde AUS kavramı ortaya çıkmış ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Kongresi ulusal AUS programını yasalaştırmıştır. O zamandan beri, bilgisayar, iletişim ve sensor teknolojileri önemli ölçüde gelişti ve dünya çapında karayolu ve toplu taşıma görev

alanlarında AUS teknolojileri ortaya çıkmıştır. AUS sistemlerinin gelişimi üç aşamada sınıflandırılabilir ve Şekil 3'de gösterilmiştir [107].



Şekil 3. AUS Sistemlerinin Geliştirilme Aşamaları

Kamu sektörü, birinci aşamada AUS teknolojilerinin geliştirilmesinin ana itici faktörü olmuştur. Bu aşamada, geleneksel uygulamaları iyileştirmek için öncül AUS teknolojileri uygulanmış ve aşağıdaki gelişmeler ortaya çıkmıştır:

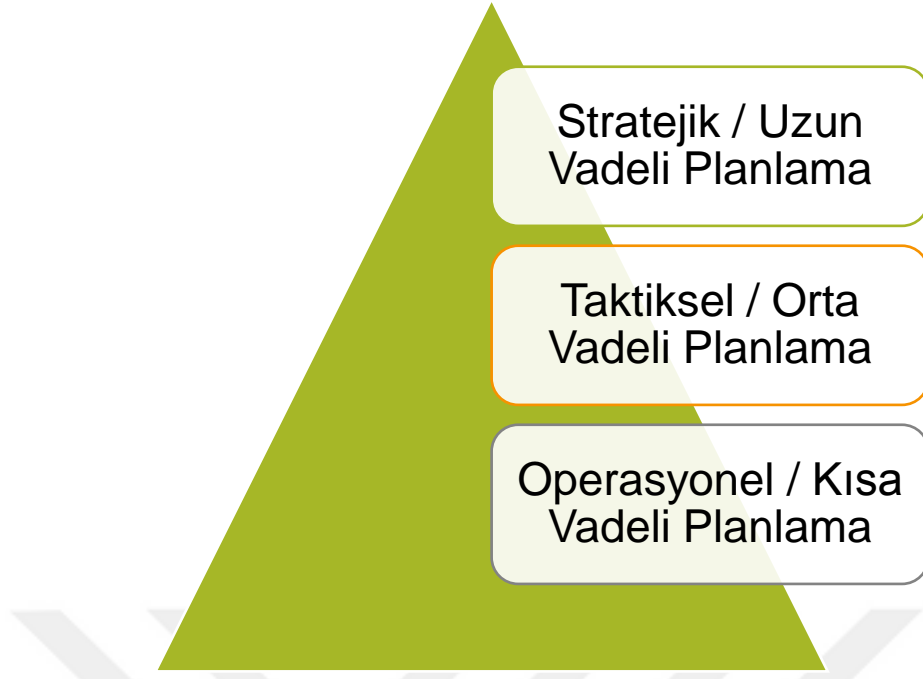
- Çevre yolu trafiğini ve erken olay bildirimini izlemek için kentsel alanlarda trafik yönetim merkezleri;
- Trafik akışını ve güvenliğini arttırmak için trafik işareti kontrolü ve otoyol giriş ölçümü;
- Geliştirilmiş yolcu bilgileri;
- Ticari araç tarama ve elektronik ücret toplama;
- Toplu taşıma operasyonlarında uydu tabanlı dağıtım sistemleri;
- Özel araçlarda araç içi navigasyon sistemleri;
- Akıllı park yönetimi;
- Ekonomik sürüş ve rotalama;
- İnternet üzerinden araç/sürüş paylaşımı hizmetleri; ve
- Otomobil paylaşımı ve halka açık bisiklet paylaşımı hizmetleri.

İkinci Aşama – öncül AUS teknolojilerini birbirine bağlayarak ve bu teknolojileri çeşitli projelerle (örneğin trafik yönetim merkezlerine gerçek zamanlı olarak gelişmiş trafik sinyalleri ve araç içi cihazlar ile koordinasyon yeteneğinin kazandırılması) destekleyerek gelişimini sürdürür. Bu aşamada, endüstri halihazırda sürüş modellerinin ve taşımacılık modellerinde sürücü / operatör davranışının temel doğasını anlamak için çalışmalara başlamıştır. Ayrıca, süreç, kamu sektörü yatırımlarına olan bağımlılıktan müşteri odaklı teknoloji ve hizmet servisleri sunan yatırımcılara doğru kaymıştır. Bu aşamaya dair örnekler aşağıda sunulmuştur:

- Toplu taşıma sisteminin iyileştirilmesi
- Çeşitli taşıma modları (örneğin, kamyonlar ve demiryolu) arasında eşgüdüm;
- Gerçek zamanlı veri ve performans araçlarıyla gelişmiş sistem yönetimi; ve
- Araç içi çarpışma önleme sistemleri.

Üçüncü aşamanın gerçekleştirilebilmesi için AUS sistemlerinin daha fazla entegrasyonuna ihtiyaç vardır. Entegre bir AUS için ise birlikte çalışan bir teknoloji ağının kurulmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Buradaki temel zorluk farklı sistemlerin birbirine entegre edilmesi ve bu sistem üzerinden bilginin yönetilmesi ve etkin olarak dağıtılmasıdır.

Günümüzde ulaştırma sistemleri problemin karmaşıklığı, planlama ufku ve yatırım seviyesine bağlı olarak üç seviyede incelenmektedir. Bu seviyeler Şekil 4'de gösterilmiştir [29].



Şekil 4. Akıllı Ulaştırma Sistem Planlamalarının Sınıflandırması

Stratejik / Uzun Vadeli Planlama siyasi kararları ve büyük yatırımları içeren planlamalardır. Örnek olarak aşağıdaki kararlar bu seviyede değerlendirilebilir:

- Trafik yoğunluğunu azaltmak için şebekeye hangi yol / otobüs veya tramvay hatlarının eklenmesi gerekmektedir?
- Karayolu şebekesinde trafik sıkışıklığı durumunda araç akışı dinamik olarak nasıl yeniden yönlendirilmelidir?
- Bir kentsel lojistik sisteminde nihai müşterilere malları teslim etmeden önce yük akışlarını toplamak için lojistik merkezler nereye konumlandırılmalıdır?

Taktiksel / Orta Vadeli Planlamada genellikle taşıyıcı kararlarını içeren servis ağı tasarımı problemleri ele alınmaktadır. Örnek olarak aşağıdaki kararlar bu seviyede değerlendirilebilir:

- Kullanıcı / müşteri taleplerini karşılamak için hangi hizmetler önerilmelidir?
- Hangi düzeyde hizmet verilmelidir (talep üzerine veya toplu taşıma)?

Operasyonel / Kısa Vadeli Planlamada daha çok günlük veya kısa vadeli problemler ele alınmaktadır. Örnek olarak aşağıdaki kararlar bu seviyede değerlendirilebilir:

- Kullanılacak filo tipleri ve atanan rotalar
- Şoför / Makinist / Pilot çalışma programları
- Kullanılacak rotalar

Bu problemleri çözmek için, ağdan ve alt ağlarından ilgili veri ve bilgileri almak ve bu verileri analiz etmek için etkin bir bilgi sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla ağ üzerinde bulunan sabit noktalara ya da araçlara yerleştirilen sensörler vasıtası ile gerekli bilgiler toplanarak ilgili bilgi işlem merkezlerine online olarak gönderilmektedir.

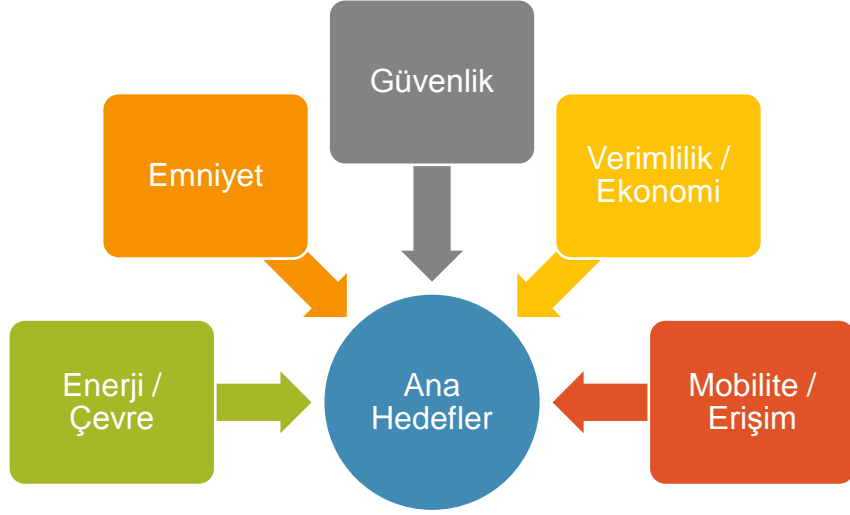
5.1. AUS Hizmet Paketleri ve Kullanıcı Servisleri

ABD Ulaştırma Bakanlığı, AUS teknolojilerinin gelişmesine ve yayılmasına rehberlik etmek amacıyla 1990'ların ortalarında Ulusal AUS Mimarisini yayınlamıştır. Değişen teknolojileri geliştirmek ve adapte etmek için devam eden bir süreci yansıtan Ulusal AUS Mimarisinin 8.3 versiyonu yayınlanmıştır [62]. Bu mimari sistemlerin işlevsel ve coğrafi olarak bütünleşebilmesi ve bir yerden diğerine birlikte çalışabilmesi için AUS'yi planlamak ve uygulamak için ortak bir çerçeve ve dil sağlamaktadır. ABD Ulaştırma Bakanlığı, AUS Mimarisini, kentsel, şehirlerarası ve kırsal ortamlarda AUS uygulamasını desteklemek amacıyla herhangi bir sistem tasarımından veya bölgeden bağımsız olarak korur. Bugüne kadar, Ulusal AUS Mimarisi sekiz kategoriye ayrılmış, 33 AUS kullanıcı hizmetinden oluşmaktadır: (1) seyahat ve trafik yönetimi, (2) toplu taşıma yönetimi, (3) elektronik ödeme, (4) ticari araç işlemleri, (5) acil durum yönetimi, (6) gelişmiş araç güvenlik sistemleri, (7) bilgi yönetimi ve (8) bakım ve inşaat yönetimi. AUS kullanıcı servisleri ise Tablo 1'de sunulmuştur [62]:

Tablo 1. AUS Kullanıcı Servisleri

Kullanıcı Hizmet Paketleri	Kullanıcı Servisleri
Seyahat ve Trafik Yönetimi	• Ön Ulaşım Bilgileri
	• Rota Esnasında Sürücü Bilgilendirme
	• Rota Rehberliği
	• Yol/Sürüş Eşleştirme ve Rezervasyon
	• Seyahat Hizmetleri Bilgileri
	• Trafik kontrolü
	• Olay Yönetimi
	• Ulaştırma Talebi Yönetimi
	• Emisyon Testi ve Azaltma
• Karayolu-Demiryolu Kavşakları	
Toplu Taşıma Yönetimi	• Toplu Taşıma Yönetimi
	• Rota Esnasında Transit Bilgisi
	• Kişiselleştirilmiş Toplu Taşıma
	• Toplu Seyahat Güvenliği
Elektronik Ödeme	• Elektronik Ödeme Hizmetleri
Ticari Araç Operasyonları	• Ticari Araç Elektronik Gümrükleme
	• Otomatik Yol Kenarı Güvenlik Denetimi
	• Yerleşik Güvenlik ve Güvenlik İzleme
	• Ticari Araç İdaresi Süreçleri
	• Tehlikeli Madde Güvenliği ve Olay Müdahale
	• Yük Taşınması
Acil Durum Yönetimi	• Acil Durum Bildirimi ve Kişisel Güvenlik
	• Acil Araç Yönetimi
	• Afete Müdahale ve Tahliye
Gelişmiş Araç Güvenlik Sistemleri	• Boyuna Çarpışma Önleme
	• Yanal Çarpışma Önleme
	• Kavşak Çarpışma Önleme
	• Çarpışma Önleme için Görüş Geliştirme
	• Güvenlik Hazırlığı
	• Çarpma Öncesi Kısıtlama Uygulaması
	• Otomatik Araç Kullanımı
Bilgi Yönetimi	• Arşivlenmiş Veri İşlevi
Bakım ve Yapım Yönetimi	• Bakım ve İnşaat İşlemleri

Ulusal AUS Mimarisi, hedeflere, amaçlara, kullanıcı hizmet gereksinimlerine ve beklenen faydalara yönelik 10 yıllık bir plana bağlıdır. Bu 10 Yıllık Planda belirtilen beş ana hedef şunlardır [62]:



Şekil 5. AUS Ana Hedefleri

Ayrıca, 10 Yıllık Plan, gelecekteki ulaştırma sistemleri için potansiyel fırsatları, faydaları ve zorlukları açıklayan aşağıdaki temalar oluşturulmuştur [62].

1. Entegre bir ulaştırma bilgi ağı,
2. Gelişmiş çarpışma önleme teknolojileri (araç içi sistemler dahil),
3. Otomatik olay tespiti, bildirimi ve tepkisi,
4. İleri ulaştırma yönetimi (trafik ve toplu taşıma dahil).

Yukarıda listelenen temalardan iki ve dördüncü tema, gelecekte enerji tüketimi ile ilgili olarak önemli katkı sağlama potansiyeline sahiptir. Gelişmiş çarpışma önleme teknolojileri öncelikle araç kazalarının azaltılmasına odaklanmaktadır. Kazadan kaçınmaya entegre olan uyarlanabilir araç içi sistemlerin aşağıdaki özetlenen katkılardan dolayı yakıt tüketimini azaltacağı tahmin edilmektedir: (1) hızlanmaları ve yavaşlamaları (özellikle ticari araçlar ve toplu taşıma araçları için) yumuşatmak; (2) dur-kalk sürüşünü otomatik olarak yanıtlamak; (3) değişen yol koşulları ve arazide gaz ve şanzıman uyumunu ayarlamak ve (4) kamyonların, toplu taşıma araçlarının ve diğer araçların emniyetli bir şekilde hareket etmesini sağlamak. Ek olarak, rotaların optimizasyonuna katkıda bulunarak alınan mesafeler azaltılarak yakıt tasarrufu sağlayabilir ve trafik tıkanıklığını hafifletmeye yardımcı olabilir.

Dördüncü tema olan ileri ulaştırma yönetiminin de gelecekte enerji kullanımı üzerinde önemli bir etkisi olacağı tahmin edilmektedir. Bu alanda yer alan araçlar, fiziksel altyapı içindeki araç akışlarını akıllıca ve uyarlamalı bir şekilde yönetmeyi amaçlar. İleri ulaştırma yönetim sistemleri, alan genelinde gözetim ve tespit, trafik akışı verilerinin hızlı bir şekilde alınması ve değerlendirilmesine ve öngörücü özelliklere dayanmaktadır.

5.2. Türkiye’de Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

Ülkemizde AUS ile ilgili olarak yapılan ilk uygulama 1984 yılında İstanbul’da ana arterlerde bulunan sinyal sistemlerinin senkronizasyonu ve sürelerinin ayarlanması ile ilgili yapılan çalışma olarak gösterilebilir [4]. Daha sonra 1990’lı yıllardan itibaren elektronik ücret toplama sistemleri geliştirilmeye başlanmış ve Otoyol Ücret Toplama Sistemi ile kat edilen mesafeye bağlı olarak ücret toplanmaya başlanmıştır [124]. 1995 yılından itibaren Şehir içi trafiğin etkinleştirilmesine yönelik yine İstanbul’da geliştirilen AKBİL uygulaması ile toplu taşıma sistemlerinde geçiş turnikelerinin daha efektif hale getirilmesi amaçlanmıştır. Bu uygulama daha da geliştirilerek kartlı sisteme geçilmiş ve uygulama başta büyük Şehirler olmak üzere birçok yerde kullanılmaya başlanmıştır. Yine 1995 yılında İstanbul’da kurulan Trafik Kontrol Merkezi ile 160 adet kritik kavşak noktası birbirine bağlanarak sinyal kontrolü yapılmış ve trafik akışı ile ilgili veriler kullanıcılara sağlanmaya başlanmıştır. 1999 yılında Bolu Dağı’ndaki geçişi etkinleştirmek amacı ile Yol ve Trafik Bilgilendirme Sistemi kurulmuş ve radyo frekansı ile tanımlama teknolojisi kullanarak yolculara yol ve hava durumu ile ilgili veri sağlanmaya başlanmıştır. 2000’li yıllardan itibaren yol ve köprü geçişlerini otomatikleştirmek amacı ile Otomatik Geçiş Sistemi (OGS), Kartlı Geçiş Sistemi (KGS) ve Hızlı Geçiş Sistemi (HGS) gibi uygulamalar geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur [121].

2001 yılından itibaren yolcuları gerçek zamanlı olarak bilgilendirmek amacıyla Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yollarda Değişken Mesaj İşaretleri sistemi geliştirilerek tüm yurttaki kullanılmaya başlanmıştır. 2001 yılında Ankara ilinde akıllı manyetik kartlar geliştirilerek elektronik ödeme sistemine geçilmiştir. 2006 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve Emniyet Genel Müdürlüğü ortaklığı ile Elektronik Denetleme Sistemleri (EDS) geliştirilmiştir. 2005-2010 yılları arasında Karayolları

Genel Müdürlüğü tarafından 144 adet otomatik araç sayım istasyonu kurulmuştur. 2010 yılından itibaren birçok şehirde akıllı duraklar geliştirilerek yolcu bilgilendirme sistemleri kurulmuştur. Bu sistemler yolculara otobüs seferleri, saatleri, güzergâhları, alternatif ulaşım modları ve benzeri birçok konuda bilgi sağlamaktadır. Son yıllarda özellikle mobil cihazların kullanımının yaygınlaşması ile birlikte belediyeler tarafından çok sayıda mobil uygulama geliştirilmiş (MOBİETT, EGO Cepte vb.), bu uygulamalar vasıtası ile kullanıcıların ihtiyaç duyduğu birçok bilgi gerçek zamanlı olarak ve yüksek doğrulukla verilmeye başlanmıştır [65]. Ülkemizde AUS'un tarihsel gelişimi özet olarak Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Türkiye'de AUS Tarihsel Gelişimi

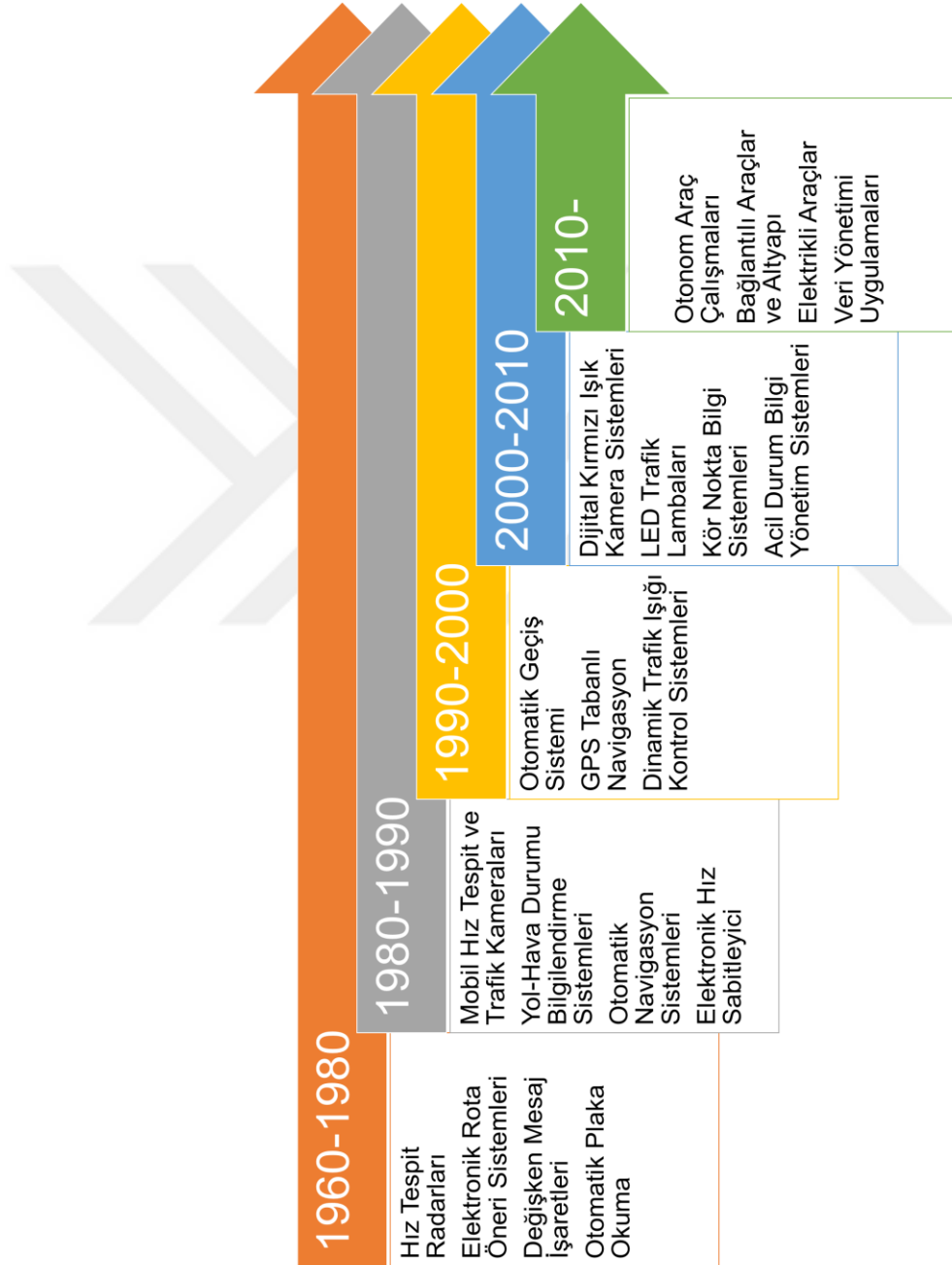
6. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Günümüzde bilgi sistemlerindeki gelişim ile birlikte ulaşım sistemlerinde devrimci değişiklikler bulunmaktadır. Bağlantılı ve otomatikleştirilmiş araçlar günlük hayatın bir parçası olmaya her zamankinden daha yakın ve bu ve diğer ileri teknolojilerle ilgili alınan kararlar taşımacılığın geleceğini derinden etkilemektedir. Daha zeki ve bağlantılı bir ulaşım sistemine doğru ilerlerken, AUS'un tarihsel gelişiminin öğrenilmesi, öğrenilen derslerin fark edilmesi, eğilimlerin ve tarihsel etkilerinin tanımlanması ve şu anki duruma getiren başarıların ve başarısızlıkların ortaya konulması önemlidir.

AUS, bir araya getirildiğinde ve yönetildiğinde, genel sistemin işletim yeteneklerini geliştiren çeşitli teknolojilerden meydana gelen operasyonel bir sistemdir. Iowa Üniversitesi tarafından yapılan bir araştırmaya göre, toplumun AUS hakkındaki bilgilerinde boşluklar bulunmaktadır [60]. İnsanlar günlük hayatında sürekli olarak AUS'dan faydalanmaktadır. AUS teknolojisi, bir sonraki otobüsü yakalamak için yürümeden önce ne kadar beklenileceğini belirlemek için kullanılan telefon uygulamasıdır. Aracın kontrolünü kaybetmeden hızlı ve güvenli bir şekilde durabilmek için tekerlek hızını izleyen ve fren basıncını ayarlayan aracın gelişmiş fren sistemidir. AUS, otoyol hızlarında geçiş ücreti toplama kioskları ile sürüş yapmayı sağlar ve yalnızca birkaç tıklamayla çevrimiçi satın alma işleminin tamamını ve teslim tarihini belirlemeye yardımcı olur. Ayrıca, ITS teknolojileri (haritalama ve konumlandırma için GPS kullanımı gibi) ve operasyonel teknolojiler (koordineli trafik yönetim merkezleri gibi), meydana gelen olaylara hızlı ve verimli bir şekilde yanıt vermek amacıyla gerçek zamanlı trafik, rota, hava durumu bilgisi sağlamaktadır [7].

Kuşkusuz, AUS teknolojisi taşımacılığı daha güvenli ve daha verimli hale getirmiştir. Birçoğumuz için ulaşım sistemini iyileştirmek sadece yaşlanmakta olan altyapının onarımı veya yeni yollar inşa etmek anlamına gelse de, taşımacılığın geleceği sadece bu çabalarda değil, aynı zamanda AUS teknolojilerinin uygulanmasında da yatmaktadır. AUS'un faydaları geniş çaplı olup kentsel ve kırsal nüfusa, taşıtlar ve ticari araç sürücülerine ve yayalar, bisikletçiler ve toplu

taşıma sistemi kullanıcılarına uygulanabilir. Onlarca yıl süren AUS araştırma ve uygulamalarına dayanarak, çok yakın gelecek muhtemelen çarpışmalardan kaçınmak, tıkanıklığı geliştirmek ve çevresel faydaları tanımak için birbirleriyle konuşabilen araçları ve yol kenarındaki altyapıyı içerecektir. AUS sistemlerindeki temel ilerlemeler Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. AUS Uygulamalarının Tarihsel Gelişimi

Bu bölümde, erken AUS tarihinden başlayarak (1980'den önce) on yıllık periyotlar halinde tarihi gelişim kronolojik olarak anlatılacaktır. Her bir bölümde sosyo-ekonomik çevre, politika ve programları ve döneme özgü araştırma ve teknoloji gelişmeleri açıklanacaktır.

6.1. 1980 Öncesi Akıllı Ulaşım Sistemleri

6.1.1. Sosyo-ekonomik Çevre

AUS, kamu, özel ve akademik kurumlar arasında destek odaklı bir vizyon olmuştur. Ulaştırma uzmanları, yüzey taşıma kapasitesindeki sınırları kabul etmiştir. Bu süre zarfında AUS araştırması, araç içi özel navigasyon ve rota rehberlik sistemlerine odaklanmıştır. Teknoloji fırsat odaklı olarak geliştirilmiştir ve orijinal ekipman üretici sayısı ve ilgisi oldukça azdır [7].

6.1.2. Araştırmalar ve Teknolojik Gelişmeler

6.1.2.1. Navigasyon ve Haritalama Teknolojileri

Yakınlık gösteren sinyal navigasyonu ile ilgili ilk çalışmalar 1960'ların ortalarında General Motor'un Sürücü Destekli Bilgi ve Yönlendirme Sistemi (DAIR) projesi ile başlamıştır [44]. DAIR sistemi ile donatılmış bir otomobil yol koşullarıyla ilgili bilgileri içeren bir servis merkezine acil durum mesajı gönderebilir. Sistem, yol boyunca düzenli aralıklarla (genellikle 3 ila 5 mil arasında) gömülü mıknatıslarla çalışıyordu ve konum bilgilerini iletmek için ikili kod kullanılmıştır.

Yeni iletişim yaklaşımları ve harita eşleme algoritmalarının geliştirilmesi yakınlık-işaret yaklaşımına alternatifler doğurmuştur. Harita eşleme algoritmaları ilk olarak 1970'lerde geliştirilmiş ve erken navigasyon sistemlerinde mevcut teknolojiyi desteklemiştir. Yol ağları, belirli bir yolun matematiksel olarak programlanabileceği dijital bir harita veri tabanında modellenmiştir. Yerleşik bir bilgisayar aracın yolunu programlanmış rotalarla eşleştirmek için kullanılmıştır. Robert L. French, 1971'de otomatik rota kontrol sistemi (ARCS) olarak adlandırılan ilk harita eşleştirme sistemini geliştirmiştir. İlk olarak bir gazete dağıtım rotası için geliştirilen, gerçek zamanlı rota rehberliği ile eşleştirilmiş harita eşleştirme teknolojisini kullanmıştır [45].

6.1.2.2. Döngü Detektörleri

Döngü detektörleri, olay algılama sistemlerinde en yaygın kullanılan sensörler haline gelmiştir. Döngü detektörleri, taşıt hızını tahmin etmenin yanı sıra akış ve doluluk oranını da ölçebilmektedir. Endüktif döngü detektörleri, kaldırıma gömülmüş ve bir kontrol kutusuna bağlı bir veya daha fazla tel halkasından oluşmaktadır. Bir araç geçerken veya döngünün üzerinde durduğunda, döngünün akım akışındaki (veya endüktans) değişiklik bir aracın varlığını göstermektedir. Araç algılama döngüleri, genellikle ışıklarda bekleyen trafiğin varlığını tespit etmek için trafik ışıklarında ve bir trafik kontrol cihazını etkinleştirmek için kullanılmaktadır ve böylece boş yollar için yeşil ışık bekleme süresini azaltmaktadır [7].

6.1.2.3. Dinamik Mesaj İşaretleri

Dinamik mesaj işareti, yolculara bilgi ve uyarı sağlayan elektronik bir trafik işaretidir. Bu işaretler, trafik sıkışıklığı, yaklaşan kazalar, yol çalışma bölgeleri veya değişen hız sınırlarını bildirmek gibi çeşitli mesajlaşma amaçları için kullanılabilir. İlk olarak 1960'larda konuşlandırılan sistem, bugün karayolları hakkında faydalı bilgiler vermeye devam etmektedir.

6.1.2.4. Rampa Sayaçları

1963 yılında, ilk rampa metre Chicago'daki Eisenhower Expressway boyunca konuşlandırılmış ve bir trafik kontrol görevlisi bu metreleri manuel olarak kontrol etmiştir. Daha sonraki yıllarda rampa sayaçları Detroit ve Los Angeles'ta başarıyla konuşlandırılmıştır. 1967'de Los Angeles bilinen ilk rampa kapanışını gerçekleştirmiştir. Bu dönemden itibaren, rampa yönetimi stratejileri gelişmiş ve büyümüştür. Bugün, rampa ölçüm stratejileri birçok ülkede etkin olarak kullanılmakta ve güvenlik, mobilite ve çevresel faydalara sahip oldukları gösterilmiştir [115].

6.1.2.5. Trafik Yönetimi Merkezleri

İlk trafik yönetimi merkezleri (TYM) 1960'ların sonunda konuşlandırılmıştır. TYM, çoğu otoyol yönetim sisteminin merkezidir. TYM, otoyol sistemi hakkında hava durumu, hız, tıkanıklık, olaylar ve özel olaylar gibi verileri toplamakta ve işlemektedir. Bu veriler diğer operasyonel ve kontrol verileriyle birleştirilerek

medya, kurumlar ve trafikte bulunanlara dağıtılmaktadır. TYM personeli, otoyolların en etkin şekilde işletilmesi için bu verileri kullanmaktadır. TYM'ler, ajansların trafik durumlarına ve olaylara verdikleri yanıtları koordine edebileceği operasyonel bir merkezdir. Bir TYM'nin rolü genellikle otoyol ağının ötesine geçerek çeşitli paydaşları ve hizmet sağlayıcılarını bir araya getirmek için kilit teknik ve kurumsal merkez olarak işlev görmektedir. Birlikte, bu kuruluşlar tüm yüzey taşıma sisteminin performansını optimize etmek için ortak hedeflerine odaklanabilmektedir [7].

6.1.2.6. *Global Konumlandırma Sistemleri*

Küresel konumlandırma sistemi (GPS), sinyalleri GPS alıcılarına ileten bir uydu şebekesinden oluşmaktadır. Sinyaller, kullanıcıların tam hızlarını, konumlarını ve zamanlarını belirlemelerini sağlayan bir zaman kodu ve coğrafi veriler taşımaktadır. GPS ilk olarak 1960'larda Soğuk Savaş'ın zirvesinde askeri ve istihbarat amaçlı tasarlanmıştır. 1980'lerden itibaren ise sivil uygulamalar yaygınlaşmaya başlamıştır.

1990'lı yıllarda, GPS'in sivil kullanımı daha uygun ve düşük maliyetli hale gelmiştir. Bugün, milyonlarca kullanıcı karada, havada veya denizde büyük bir doğrulukla gezinmek için GPS'e güvenmektedir. Sürücüler, en verimli rotayı bulmak, trafik akışlarını bulmak ve hatta güvenlik kamerası konumlarıyla ilgili trafik uyarılarını almak için araç içi taşınabilir navigasyon cihazlarını kullanmaktadır.

GPS tabanlı sistemler genellikle 1990'ların sonunda birçok transit acentesi tarafından benimsenmiştir. GPS, coğrafi bilgileri depolayan, analiz eden ve görüntüleyen coğrafi bilgi sistemlerini (GIS) etkinleştirmektedir. GIS, transit araçları programa uygun tutan ve yolculara kesin varış zamanlarını bildiren aracın yerini izlemek için kullanılmaktadır. Toplu taşıma sistemleri bu özelliği performanslarını iyileştirmek için demiryolu, otobüs ve diğer hizmetleri izlemek için kullanılmaktadır. Bu teknoloji aynı zamanda acil durumlarda da etkin şekilde kullanılmaktadır [7].

6.2. 1980 Sonrası Akıllı Ulaşım Sistemleri

6.2.1. Sosyo-ekonomik Çevre

1980'lerde ufukta büyük değişiklikler olduğu ortaya çıkmıştır. Uzun süredir yürürlükte olan eski ulaşım programları geleceğe daha az uygun görünmeye ve ulaştırma teknolojileri yeniden gözden geçirilmeye başlanmıştır. Güvenlik ve çevresel kaygılar, ulaştırma politikasının artan odağı olmuştur. Ayrıca, hava kirliliği ve çevre ile ilgili yaygın endişe, otomobil emisyonları ile ilgili düzenlemelerin başlamasına neden olmuştur.

1980'lerde, bu kaygıların ortasında, teknoloji daha ucuz ve daha akıllı hale gelmiş ve gelişmiş trafik yönetimini destekleyen teknolojiler ortaya çıkmıştır. Devlet kurumları, ulaştırma ile ilgili çevresel ve güvenlik sorunlarını çözmek için bilgi, algılama, iletişim ve kontrol teknolojileri için yeni olanaklar görmüştür. Taşımacılık sektörü, yeni otoyol altyapısı tabanlı teknolojileri, ürünlerine değer katacak rekabetçi bir iş fırsatı olarak kabul etmiştir. Yeni teknolojik gelişmeler (mikroişlemciler, bilgisayarlar, sensörler, yeni iletişim teknolojileri ve GPS) ulaşım sistemlerine uygulanmaya başlanmıştır.

6.2.2. Araştırmalar ve Teknolojik Gelişmeler

6.2.2.1. Otomatik Trafik İzleme ve Kontrol Sistemi

1984 yılında kurulan Los Angeles Otomatik Trafik İzleme ve Kontrol Sistemi, araç detektörlerini, kapalı devre televizyon sistemini ve koordineli sinyal zamanlaması uygulamasını birleştiren ilk uygulama olarak ortaya çıkmıştır.

6.2.2.2. Yeşil Işık Uygulaması

Yeşil Işık Uygulaması, bölgedeki araç tıkanıklığını azaltmak için Illinois Ulaştırma Bakanlığı ve diğer bölgesel taşımacılık acenteleri arasında ortak bir proje olarak ortaya çıkmıştır. Yeşil Işık Uygulaması 1989'da başlamıştır. Bölgenin ana karayolu ağına olan talebi azaltmak ve kapasiteyi arttırmak için iki ana amacı bulunmaktaydı. Proje, değişik ulaşım modları (kamyon taşımacılığı, demiryolu, denizcilik terminaller, havayolları ve nakliye birlikleri) dahil olmak üzere özel sektörden gelen girdilere dayanmaktaydı [115].

6.2.2.3. Yakıt Verimli Trafik Sinyal Yönetimi

California'nın Yakıt Verimli Trafik Sinyal Yönetimi (FETSIM) programı 1983'de başlamıştır. O zamanlar, trafik sinyallerinin yeniden gözden geçirilmesi, trafik işlemlerini iyileştirmek ve yakıt tüketimini ve emisyonlarını azaltmak için önerilen bir yöntem olmakta, ancak çok az sayıda yerel kuruluş bu tür bir işlemi finanse edebilmektedir [31].

Bu programın aktif olduğu 11 yıl boyunca, 160'tan fazla şehir ve ilde, 12.245 adet sinyal uygulaması yapılmıştır. Bu sinyallerin kullanımı, araç gecikmelerini yüzde 14, duraklamaları yüzde 13, toplam seyahat süresini yüzde 7 ve yakıt tüketimini yüzde 8 azaltmıştır. FETSIM programı ayrıca trafik işareti yönetimi için analiz araçlarını geliştiren bir dizi araştırma ve geliştirme faaliyetini desteklemiştir. Bu araçlar dünya genelinde kullanılmış ve FETSIM programı dünya genelinde sinyal yönetimi programları için bir model teşkil etmiştir [110].

6.2.2.4. DARPA Otonom Kara Aracı

1960'larda DARPA sponsorluğundaki yapay zekâ gösterileri, 1980'lerin başında DARPA Otonom Kara Aracı (ALV) ile yeniden ortaya çıkmıştır. ALV, video kameralardan lazer tarayıcılara kadar değişen sensörlere sahip arazi tipi bir araç üzerine inşa edilmiştir. ALV, insan yardımına ihtiyaç duymadan yol boyunca güvenli bir şekilde yönlendirmek için algoritmalarla programlanmış ve çatı kamerasından görüntüler kullanan altı bilgisayar rafı içermektedir. ALV gösterileri 1985 yılında 1 kilometrelik düz bir yol boyunca saatte 3 kilometre hızla başlamıştır. Gelecek 2 yıl boyunca, ALV değişen eğriler ve kaldırım tipleri ve engeller içeren parkurlarda test edilmiştir [46].

6.2.2.5. Ağır Vasıta Elektronik Plaka Programı

Arizona ve Oregon Ulaştırma Departmanları, 1984 yılında ticari araç ağırlığı ve otomatik araç tanımlama (AVI) teknolojileri hakkında araştırma yapmak için Ağır Araç Elektronik Plaka Programını (HELP) kurmuştur. Program, ABD ve Kanada federal, eyalet ve yerel kurumlar ve motor taşıyıcı kuruluşların bir konsorsiyumu haline gelmiştir. HELP Programı, kâr amacı gütmeyen, kamu / özel bir ortaklık olan HELP A.Ş.'nin kurulmasına ve "Ön Geçiş" hizmetinin başlatılmasına yol açmıştır.

Bugün Ön Geçiş programı, Kuzey Amerika'nın en büyük kamyon güvenliği ön gümrük hizmeti olup ülkenin en büyük araç-altyapı programını temsil etmektedir [99].

6.3.1990 Sonrası Akıllı Ulaşım Sistemleri

6.3.1. Sosyo-ekonomik Çevre

1991 yılında Soğuk Savaş'ın sona ermesi ve Berlin Duvarı'nın yıkılması gibi önemli gelişmeler meydana gelmiş ve sanayi, ulaştırma ve sağlık sektörlerinde önemli gelişmeler meydana gelmeye başlamıştır. World Wide Web, 10 yılın başlangıcından hemen önce icat edilmiş, dikkat çekici bir biçimde hem taşımacılığın hem de diğer yeni teknik gelişmelerin potansiyeline odaklanmıştır. Hızla gelişen teknoloji, algılama ve hesaplama teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde daha güvenli ve daha verimli bir ulaşım sistemi için yeni olanaklar ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu 10 yılın kilit zorluğu, teknolojideki yeni ilerlemelerin büyük ve çok yönlü bir taşıma sistemine nasıl uygulayacağı ile ilgili belirsizlikler olmuştur [7].

6.3.2. Araştırmalar ve Teknolojik Gelişmeler

6.3.2.1. FAST-TRAC

FAST-TRAC, küçük çaplı bir trafik kontrol sistemi için bir test ortamı olarak kurulmuştur. FAST-TRAC, gelişmiş trafik yönetim sistemi ile gelişmiş gezgin bilgi sistemlerini entegre etmiştir. Proje 1992'de Michigan'ın Oakland İlçesi'nde, Detroit'ten yaklaşık 15 mil uzaklıkta kurulmuştur. 1992 yılında, FAST-TRAC programı büyük bir ITS operasyonel testi olarak başlatılmıştır. Yıllar geçtikçe, proje genişlemiş ve gelişmiştir.

6.3.2.2. TravTek

TravTek, 1992'den 1993'e kadar Orlando, Florida'da gerçekleştirilen operasyonel saha denemesi için özel olarak geliştirilen bir araç içi seyahat bilgi sistemi ve navigasyon cihazıdır. Saha denemesi, Amerikan Otomobil Birliği, Florida Otoyol Departmanı, Orlando Şehri ve General Motors da dahil olmak üzere hem kamu hem de özel sektör kuruluşlarının katıldığı ortak bir projedir. Birincil amaç, araç içi navigasyon ve bilgi sisteminin kullanımı ile ilgili saha verileri elde etmektir.

6.3.2.3. *Pathfinder*

Pathfinder Araç İçi Bilgi Sistemi projesi 1990 yılında Güney Kaliforniya'da Santa Monica Oto Yolu boyunca yürütülmüştür. Çevre yolu, ülkedeki en çok seyahat edilen yollardan biridir. Pathfinder projesi, olaylara ve trafik sıkışıklığına yanıt olarak rota rehberliği ve araç içi trafik navigasyonu için iletişim teknolojisini değerlendirmeyi amaçlamıştır. TravTek gibi, Pathfinder de sürücülere rota rehberi ve araç içi navigasyon sağlama hizmetlerini vermiştir. Ayrıca, donanımlı araçların "trafik araştırmacıları" gibi hareket edebileceğini ve seyahat süresi bilgilerini trafik bilgi merkezine geri gönderebileceğini göstermiştir.

6.3.2.4. *Advantage I-75*

Advantage I-75, Interstate 75 (I-75) otoyolu boyunca kamu ve özel sektör ortaklığıdır. Ortaklığın amacı tıkanıklığı azaltmak, verimliliği artırmak ve sürücülerin ve diğer I-75 kullanıcılarının güvenliğini artırmaktır. I-75 altı farklı eyaletten (Florida, Georgia, Tennessee, Kentucky, Ohio ve Michigan) geçmektedir. Proje ortakları arasında Federal Karayolu İdaresi, altı I-75 eyaleti, Ontario eyaleti, Kanada Ulaştırma Bakanlığı, ABD ve Kanada kamyon dernekleri ve çeşitli kamyon şirketleri yer almaktadır.

O zamandan beri, Advantage I-75 ortaklığı, anında fayda sağlamak için akıllı ulaştırma sistemi teknolojilerinin hızlı bir şekilde uygulanabileceği alanları belirlemek için çalışmıştır. Advantage I-75 programı, ülkenin otoyol sisteminin artan taleplere uyum sağlamasına yardımcı olmak için mevcut teknolojileri bir AUS operasyonel ortamına dahil etmeyi amaçlamaktadır.

6.3.2.5. *INFORM*

New York, Long Island'daki INFORM projesi, trafik akışını ve alternatif yönlendirme bilgilerini sürücülere sunarak değişken mesaj işaretlerini kullanıma sunmuştur. INFORM gelişmiş trafik bilgi sistemi, adanın en büyük doğu / batı karayollarını ve en işlek kuzey / güney bağlantı yollarını içeren Long Island'ın 35 kilometrelik merkez koridorunu kapsamıştır. New York Eyalet Ulaştırma Bakanlığı tarafından işletilen Long Island Trafik Bilgi Merkezi bu projenin merkezinde yer almıştır. Başlıca bilgi kaynağı, her bir yol şeridinde yarım mil aralıklarla

yerleştirilmiş 2.400 elektronik sensordan meydana gelmektedir. Trafik bilgi koordinatörleri, otoyollarda bulunan sensorlardan gelen veriyi kullanarak muhtemel gecikmeleri anında hesaplayabilmektedir. Koordinatörler daha sonra uygun sürücü uyarılarını koridor boyunca kilit noktalarda bulunan 74 trafik mesajı işaret levhalarından uygun olana ileterek sürücülere bilgi vermektedir. Trafik bilgi koordinatörleri ayrıca, sorunlara hızlı yanıt verilmesini ve sorunların çözülmesini kolaylaştırmak için polis ve trafik olaylarına müdahale ekiplerini anında bilgilendirmektedir [97].

6.3.2.6. *Elektronik Ücret Toplama*

Elektronik ücret toplama sistemi, kayıtlı araç sahiplerinin araçlarını durdurmaksızın ücret ödemelerini sağlayan bir sistemdir. Sistem sürücülerin zamandan tasarruf etmesini sağlar ve ücretli yolların yakınında tıkanıklığı azaltmaktadır. Manuel geçiş ücreti toplama şeritleri saatte yaklaşık 350 araç, otomatik madeni para makineleri saatte yaklaşık 500 araç geçerken, Elektronik Ücret Toplama sistemi kurulmuş bir şerit saatte 1.800 araca işlem yapılabilmektedir [66].

6.3.2.7. *E-ZPass*

1991 yılında, E-ZPass Kurumlar Arası Grup, New York, New Jersey ve Pennsylvania'daki yedi bağımsız geçiş kurumu ajansı için çalışacak bir birlikte çalışabilir ücretlendirme sistemi geliştirmek üzere kurulmuştur. E-ZPass ilk olarak 1993 Ağustos'unda New York'ta konuşlandırılmıştır. Şu anda, 16 eyalette yayılmış 27 ücretli ajans aynı teknolojiyi kullanmaktadır [38].

6.4.2000 Sonrası Akıllı Ulaşım Sistemleri

6.4.1. *Sosyo-ekonomik Çevre*

21. yüzyılın ilk on yılında iletişim teknolojilerinde önemli bir büyüme görülmüştür. Örneğin 2000 yılında Amerika Birleşik Devletleri'ndeki 1.000 kişi başına düşen hücresel abone sayısı 388 iken 2010 yılına kadar bu sayı 946'ya yükselmiştir. Wi-Fi ağlarının sayısı ve hızı da bu dönemde önemli ölçüde artmıştır. Bu on yıl boyunca meydana gelen teknolojik yenilikler, teknolojilerin otomatikleştirilmesi, birleştirilmesi ve araç sürücülerinin sosyal ağ ve akıllı telefon uygulamaları aracılığıyla ulaşım bilgilerini toplama fırsatlarının artması nedeni ile AUG

teknolojileri gelişmeye devam etmiştir. Özel sektör verilerinin sağlanması ve yönetilmesi ihtiyacı, son kullanıcı beklentileri arttıkça ve ulaştırma altyapısı operatörlerinin ve seyahat eden halkın daha doğru ve zamanında yol durumu ve performans verileri gerektirmesi nedeniyle giderek daha önemli hale gelmiştir. Tarihsel olarak, kamu sektörü öncelikle araç sensörleri ve kameraları gibi altyapıya yatırım yapmış, ajanslar ve özel veri sağlayıcıları dahil olmak üzere son kullanıcılara ücretsiz bilgi dağıtmaya başlamıştır. Özel sektör şirketleri, sadece daha doğru ve zamanında veri sağlamakla kalmayıp aynı zamanda daha fazla veri sağlama konusunda da yeni bir iş alanına kavuşmuşlardır. Örneğin, NAVTEQ, müşterilere coğrafi bilgi sistemi verileri ve temel elektronik navigasyon haritaları sağlayarak karlı bir iş modeli oluşturabilmiştir. Akıllı telefon teknolojisinin büyümesi ve gerçek zamanlı bilgi erişimine etkisi, taşımayla ilgili bilgilerin paraya çevrilmesi için daha fazla fırsat yaratmıştır. Akıllı telefon platformları şu anda birçok trafik uygulamasını desteklemektedir. Benzer şekilde, son kullanıcı, bilgi toplama ve paylaşma konusunda her zamankinden daha fazla yetkilendirilmiştir [96].

6.4.2. Araştırmalar ve Teknolojik Gelişmeler

6.4.2.1. Sürücü Yardım Sistemleri

Karayollarında meydana gelen kazalar binlerce insanın ölmesine ve milyarlarca dolarlık maddi zararların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Örneğin, ABD karayollarında her yıl 6 milyondan fazla kaza olmaktadır. Bu kazalarda 42.000'den fazla kişi ölürken, yaklaşık 3 milyon kişi yaralanmakta ve yılda 230 milyar dolardan fazla mal kaybı olmaktadır. Sürücü hatası, otoyol kazalarının önde gelen nedenidir. USDOT'un Akıllı Araç Girişimi Programı, 1998 yılında, tehlikeli durumları uyararak, eylem öneren ve hatta araçların kısmen kontrol altına alınmasını sağlayan sürücü destek ürünlerinin geliştirilmesi ve ticarileştirilmesi yoluyla bu kazaların sayısını ve ciddiyetini azaltmaya yardımcı olmak amacıyla kurulmuştur. USDOT ayrıca, özel araç endüstrileri ile ortaklıklar yoluyla hem hafif araçlar hem de ticari araçlarda entegre güvenlik sistemleri geliştirmek ve test etmek için Entegre Araç Tabanlı Güvenlik Sistemleri (IVBSS) girişimini kurmuştur [109].

IVBSS girişimi kapsamında, Kasım 2005'te, USDOT Michigan Üniversitesi Ulaştırma Araştırma Enstitüsü (UMTRI) liderliğindeki özel bir konsorsiyum ile

işbirliği anlaşması yapmıştır. Üretilen prototip araçlar, ileri çarpışma uyarısı, şerit ayrılma uyarısı, şerit değiştirme uyarısı işlevleri sağlamıştır. Bu inisiyatif doğrudan bugün çok çeşitli araçlarda ortaya çıkan çarpışma uyarıları sistemlerinin ve sürücü destek sistemlerinin geliştirilmesine önyak olmuştur. Bu özellikler şeritten ayrılma uyarısı, kör nokta izleme ve çarpışma önleme sistemlerini içermektedir. Bu sistemlerin çoğu otomobilin etrafına monte edilmiş kameraları veya sensörleri kullanmaktadır. 2007 yılından başlayarak, bu özellikler lüks otomobillerde tanıtılmış ve günümüzde çoğu otomobilde standart donanım olarak sunulmaktadır.

6.4.2.2. 511: Ulusal Seyahat Bilgileri Telefon Numarası

1999'da USDOT, Federal İletişim Komisyonu'na seyahat bilgileri için ülke çapında üç haneli bir telefon numarası belirlemesi için başvuruda bulunmuştur. 2000 yılında, ülke genelinde eyaletlere sağlanacak tek trafik bilgi telefon numarası "511" olarak belirlenmiştir [39]. 511'in başlatılmasından sonraki ilk 5 yılda, 50 milyondan fazla çağrı yapılmıştır. Akıllı telefonların ve AUS uygulamalarının gelişmesi nihayetinde 511'e olan ilgi azalmış ve uzun vadede popülerliğini yitirmiştir.

6.4.2.3. Clarus

Clarus, tüm taşımacılık yöneticilerine ve kullanıcılarına karayolu koşulları hakkında açık ve gerekli bilgiler sağlayan bir USDOT girişimidir. Clarus girişimi, olumsuz hava koşullarının yüzey taşımacılığı kullanıcıları üzerindeki etkilerini azaltmak için 2004 yılında kurulmuştur. Clarus, çeşitli kamu kurumlarının hava ve yol koşullarını ve ayrıca bakım ve işletme üzerindeki etkilerini daha doğru bir şekilde değerlendirmelerini sağlamak için tasarlanmış entegre bir yüzey taşımacılığı hava gözlem ve veri yönetim sistemidir. Bu tür bilgiler, kış yol bakımı, hava koşullarına duyarlı trafik yönetimi, güvenlik yönetimi, transit araç sevkiyatı ve taşkın kontrolü gibi faaliyetlerin etkinliğini planlama, yürütme ve değerlendirme için çok önemlidir [98].

6.4.2.4. Entegre Koridor Yönetimi

2006 yılında USDOT entegre bir koridor yönetimi (ICM) girişimi başlatmıştır. Bu girişim ilk olarak sıkışık çok modlu trafik koridorlarına sahip üç ABD kentiyle (Dallas, Teksas; San Diego, California ve Minneapolis, Minnesota) başlatılmıştır.

Otoyollar, arterler ve transit operasyonları arasında etkili bir koordinasyon sağlamak için, bu girişim ICM uygulamasının performansı iyileştirip iyileştiremeyeceğini keşfetmek için özel analiz, modelleme ve simülasyon tekniklerini kullanmıştır. ICM projesinin öncü karar destek sistemi, sistem yöneticilerini mevcut ve öngörülen koridor performansı hakkında daha ayrıntılı olarak bilgilendirmek için ağ trafiği tahmini, çevrimiçi mikro simülasyon analizi ve gerçek zamanlı yanıt stratejisi değerlendirmeleri gibi hizmetler sunmaktaydı. Sistem yöneticileri artık sorunları ortaya çıkmadan önce tahmin edebilir ve koordineli rampa ölçümü, trafik ışığı senkronizasyonu ve transit / otobüs önceliği gibi ICM stratejilerini kullanarak önleyici faaliyette bulunabilmektedir. Bu, ek altyapıya yatırım yapmaya gerek kalmadan optimize edilmiş kapasite ve verimlilik sağlamakta, gecikmeleri azaltmakta ve daha güvenilir seyahat süreleri elde etmektedir. Her üç koridordaki bulgular, ICM'nin seyahat süresini, gecikmeleri, yakıt tüketimini ve emisyonları azaltırken güvenilirliği artıracığını ortaya koymuştur [79].

6.4.2.5. Congestion Girişimi

2006 yılında USDOT, Congestion girişimi olarak bilinen Ulaştırma Ağı'ndaki Tıkanıklığı Azaltma Ulusal Stratejisini başlatmıştır. Congestion Girişimi federal, eyalet ve yerel yetkililere, bölgelerindeki sıkışıklıktan kaynaklanan ihtiyaçları ele almak için bir taslak olarak hizmet etmektedir. Trafik sıkışıklığı, transit ve telekomünikasyon birçok büyükşehir bölgesinde yıllarca süren tıkanıklığı hafifletmeye hizmet ederken, Congestion Girişimi, bu stratejilerin izolasyon yerine kombinasyon halinde uygulamanın etkinliğini göstermeyi amaçlamıştır. Congestion Girişimi, altı aşamalı bir planı içermektedir: (1) kentsel tıkanıklığı azaltmak; (2) özel sektör yatırım kaynaklarını çekmek; (3) operasyonel ve teknolojik gelişmeleri teşvik etmek; (4) geleceğin koridorlarını oluşturmak; (5) büyük nakliye darboğazlarını ortadan kaldırmak ve (6) büyük havacılık kapasitesi projelerini hızlandırmak ve gelecekte bir fonlama çerçevesi sağlamaktır [116].

6.5. Günümüzde Akıllı Ulaşım Sistemleri

6.5.1. Sosyo-ekonomik Çevre

Çeşitli faktörler mevcut AUS teknolojilerinin gelişimini şekillendirmiştir. 2000'li yıllarda yaşanan ekonomik gerileme ile birlikte yeni altyapı yatırımları azalmış ve daha çok mevcut karayolu sisteminin ve araç filosunun en verimli şekilde kullanılmasına odaklanılmıştır. Aynı zamanda, iletişim ve bilgi teknolojileri, sistemler ve uygulamalar hızlı bir şekilde gelişmiştir. Sonunda bu faktörler yenilikçi araştırma girişimlerine ve yeni ulaştırma uygulamalarının sayısal olarak patlamasına neden olmuş; bu da araçların kullanıcı dostu mobil ve araç içi kullanıcı ara yüzleri vasıtası ile gelişmiş coğrafi navigasyon ve haritalama sistemleri ile birleşmesini sağlamıştır. Giderek artan şekilde, AUS araçları otomatik ve/veya bağlı taşıt olarak değerlendirilmektedir [7].

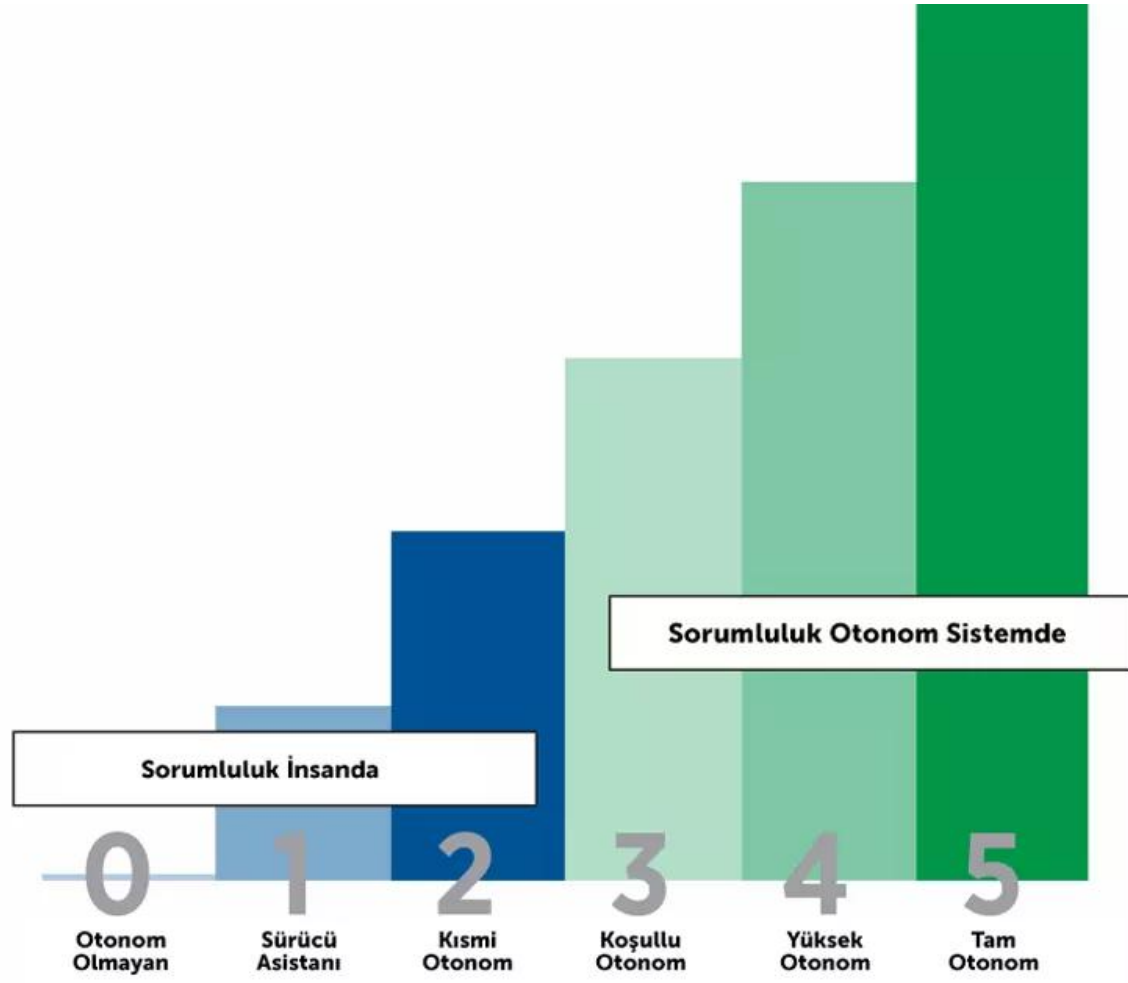
Otomatikleştirilmiş araçlar, güvenlik açısından kritik bir kontrol fonksiyonunun en azından bir kısmının (örneğin direksiyon, gaz veya fren) doğrudan sürücü girişi olmadan gerçekleştiği araçlardır. Otomatik araçlar bağımsız (yani yalnızca araç sensörleri kullanılır) veya bağlantılı olabilir. Bağlı araçlar, araç bilgilerini ve konumunu diğer araçlara, yayalara, bisikletlere veya diğer ulaşım modlarına bildirmek için kablosuz teknolojiyi kullanmaktadır.

Günümüzde otomatikleştirilmiş araçların tüm potansiyel faydalarını ve geniş ölçekli uygulamalarını gerçekleştirmek için önemli bir girdi olarak bağlantıya en önemli öncelik olarak ön plana çıkmaktadır [33]. Otomatikleştirilmiş araçlarda, araç içi sensörler, kameralar ve haritalama gibi sistemler birçok güvenlik özelliğinin kullanılmasını sürücü girdisi veya katkısı olmadan gerçekleştirmektedir. Toplam 5 adet otomasyon seviyesi belirlenmiş (sıfır otomasyon dan tam otonom sürüşe kadar) ve her seviyede otonom araç kullanılmaya başlamıştır. Bu seviyeler aşağıda özetlenmiştir [84].

- 0 (Otonom Olmayan): Tüm sorumluluk sürücüdür. Birtakım arızalar araç beyni tarafından kontrol ediliyor olsa da bu özellikler bilgilendirme olarak değerlendirilir ve otomasyon olarak kabul edilmez.

- 1 (Sürücü Asistanı): Tüm sorumluluk sürücüde olmakla birlikte araç çeşitli durumlarda hız konusunda ve direksiyon yönlendirmesinde sürücüye destek olabilir.
- 2 (Kısmi Otonom): Sorumluluk yine sürücüde olmakla birlikte araç çeşitli durumlarda direksiyonu ve hızı tamamıyla kontrol edebilir. Tesla'nın araçları bu kategoride değerlendirilebilir.
- 3 (Koşullu Otonom): Sorumluluk araçta olmakla birlikte acil durumlarda müdahale etmek için sürücü sürekli olarak hazır olmalıdır. Araç sensörleri vasıtasıyla çevreyi ve yolu sürekli olarak izler ve hızı ve direksiyonu kontrol eder. Bu seviyede hizmet veren araç miktarı az olmakla birlikte birçok ülkede buna izin verilmemektedir.
- 4 (Yüksek Otonom): Kontrol tamamen araçtadır ve her detay araç tarafından kontrol edilir. Gerekli ve acil durumlarda sürücüden yardım ister ancak cevap alamasa bile çalışmayı devam ettirir. Henüz test aşamasında olup seri üretime geçilmemiştir. Yasal mevzuat da henüz hazır değildir.
- 5 (Tam Otonom): Araç sürücünün yapabileceği her şeyi kendisi yapar ve sürücü yardımı gerektirmez. Henüz prototip aşamasındadır ve direksiyon bulunmamaktadır.

Otonom sürüş seviyelerinin sorumluluk durumu Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Otonom Sürüş Seviyeleri

Otonom araç geliştirme, öncelikle potansiyel güvenlik faydalarına odaklanmaktadır. Bağlı araçlar, yol kenarındaki cihazlar ve filo seviyesi bilgisi ile ilgili ilave fonksiyonlar sunmaktadır. Bağlantılı araçlar, yalnızca otomasyonla elde edilemeyen ek hareketlilik ve çevresel faydalar sağlamaktadır. Günümüzde birçok otomotiv ve teknoloji endüstrisi ortağı otomasyonu geliştirme hedefi ile çalışmalarını sürdürmektedir. Google, Mercedes-Benz, Tesla ve Volvo gibi global araç üreticileri kendi tasarımları olan sürücüsüz araçları test etmekte ve en iyi otomobil parçaları tedarikçileri, otonom araçların ihtiyaç duyacağı özel sistemlere olan büyük talebi karşılamak için farklı teknolojiler araştırmakta ve geliştirmektedir [7].

Bu teknolojilere ek olarak, coğrafi konum ve cep telefonlarına dayalı ticari uygulamalar (Waze ve Uber gibi) AUS pazarını etkilemekte ve daha geniş bir

paylaşılan mobilite eğiliminin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Paylaşılan mobilite bir otomobilin, bisikletin veya diğer düşük hızlı ulaşım modlarının ortak kullanımı anlamına gelmekte ve paylaşım ekonomisinin bir özelliği olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısı ile kullanıcılar, araç sahibi olmak yerine ihtiyaç duyduklarında değişik ulaşım modlarına kısa süreli erişim elde etmektedir [7].

6.5.2. Araştırmalar ve Teknolojik Gelişmeler

6.5.2.1. Bağlı Araç Güvenlik Pilotu Modeli

Bağlantılı Araç Güvenliği Pilot Modeli Uygulaması 2012'den 2013'e Ann Arbor, Michigan'da gerçekleşmiştir. Bu uygulama, bugüne kadar bağlanmış araç teknolojisinin gerçek dünyadaki en büyük denemesiydi ve günlük sürücülerin normal rotalarında seyahat ederken çarpışmalardan kaçınmasına yardımcı olmak için kablosuz güvenlik teknolojisini kullanan 2.700'den fazla katılımcı araçla gerçekleştirilmiştir. Güvenlik uygulamaları, öndeki araçları frenlemek, kör noktalarındaki araçlar veya yaklaşan kırmızı ışık ihlalleri gibi uyarıları olan sürücülerini uyarmıştır [34].

Pilot programdan elde edilen veriler analiz edildiğinde sistemin uygulanması durumunda kazaların ve can kayıplarının önemli ölçüde azalacağı tespit edilmiştir. Bu sonuç uygulamaya olan güveni artırmış ve konu ile ilgili daha fazla araştırma yapılmasını teşvik etmiştir.

6.5.2.2. Bağlı Araç Pilot Uygulama Bölgeleri

2015 yılında USDOT 3 farklı bölgede bağlı araç pilot uygulamasının yapılacağını duyurdu. Bu bölgeler:

- Güney Wyoming: I-80 boyunca güvenli ve verimli kamyon hareketini geliştirmek
- New York: Yüksek öncelikli koridorlarda araç akışını ve yaya güvenliğini artırmak
- Florida: Çoklu güvenlik ve mobilite uygulamalarını yaygınlaştırmak

Bağlı Araç Pilot Uygulama programının hedefleri, uygulamayı hızlandırmak, etkisini ölçmek ve uygulamanın teknik ve teknik olmayan engellerini ortaya çıkarmaktır. Bağlı Araç Güvenlik Pilotu öncelikle bir araçlar arası iletişim uygulamasıdır. Buna ek olarak araç ile altyapı arasında da iletişimin sağlanması ile birlikte güvenliğe ek olarak iyileştirilmiş mobilite, transit bağlantı olanakları, yaya güvenliği, yakıt tasarrufu, hız uyumu gibi birçok avantaja sahip olacaktır [55].

6.5.2.3. Otomasyona Yatırım Yapan Özel Şirketler

Otomasyon teknolojilerine yatırım yapan özel şirketler hem geçmişleri hem de otomasyona yaklaşımları bakımından büyük farklılıklar göstermektedir. Otomasyon yarışında, geleneksel otomobil şirketlerine Google ve Apple gibi teknoloji devleri ve Tesla Motors gibi daha az geleneksel otomobil şirketleri eşlik etmektedir. Bu alana yatırım yapan otomobil şirketlerinin çoğu, aşamalı bir çözümün başarılı olacağına inanmaktadır. Bu şirketler daha çok seviye 2 ve seviye 3 otomasyonuna izin veren yazılım ve mekaniği araştırmış ve uygulamıştır. Bu otomasyon seviyelerinde, gereken durumlarda (yol çalışması, şerit değişiklikleri ve acil durum araçları gibi durumlar dahil) sürücü araç kontrolünü devralmak için daima hazır olmalıdır. Bu yaklaşım, sürücü ve otomobil arasında sürekli kontrol yerine ortak sorumluluklarla iş birliği yapan yeni bir ilişkiyi gerekli kılmaktadır.

Google'ın sürücüsüz otomobil projesi 2009'da başlamıştır. Aslen, Toyota Prius ve Lexus gibi mevcut araçları donatarak işe başlamışlardır. Daha sonra tamamen kendi tasarımları olan direksiyonsuz ve pedalsız bir araç prototipi geliştirmiştir. Şu anda geliştirilen otomobiller Birleşik Devletlerdeki farklı eyaletlerde test edilmekte ve şimdiden 1 milyon milin üzerine çıkmış bulunmaktadır. Google'ın mevcut otomatik sürüş modeli seviye 3 otomasyonunun bir örneği olmasına rağmen, ayrıca çıkarılabilir bir direksiyon simidine sahip ve seviye 4 otomasyonuna ulaşması beklenmektedir. Halihazırda Google, otomasyon dünyasındaki en zor bölgelerden biri olan şehir içi araç kullanımına odaklanmıştır. Google, şehir içi trafikte her olasılığını hesaba katan (aniden çıkan bir bisikletli veya kapısını aniden açan park etmiş bir araç, vb.) karmaşık ve komplike hesaplamalara dayanmaktadır.

Google'ın sürücüsüz otomobil yaklaşımı ile aşamalı otomatikleştirilmiş araç yaklaşımı arasında önemli farklar bulunmaktadır. Volvo, BMW, Toyota, General Motors ve diğer otomobil şirketleri, bugün kullandığımız araçlara benzeyecek olan otomobillere yatırım yaptırmaktadır. Bu otomobiller belirli durumlarda aracın sürücüsünü devreden çıkararak aracın kontrolünü ele geçirmektedir. Hem otomatikleştirilmiş otomobiller hem de sürücüsüz otomobiller aynı sensor, radar ve GPS harita sistemini kullanmaktadır ancak sürücüsüz otomobiller bir adım daha ileri gitmektedir. Direksiyon tamamen kaldırılmakta ve sorumluluk tamamen araca yüklenmektedir.

Günümüzün motorlu taşıtlarındaki sürücü destek teknolojileri, hayat kurtarmaya ve yaralanmaları önlemeye yardımcı olmaktadır. Günümüzün yeni motorlu taşıtlarının birçoğunda, sürücülerin bitişik şeritlere sürüklenmekten kaçınması veya güvenli olmayan şerit değişikliklerine neden olmamaları veya arkalarındaki diğer araçların sürücülerini durduklarında uyarmaları veya önlerindeki bir araç durduğunda veya yavaşladığında otomatik olarak frenlenmesi için teknolojik donanımlar standart olarak sunulmaktadır. Bu ve diğer güvenlik teknolojileri, araçların belirli güvenlik risklerini tanımlamasına yardımcı olmak için bir donanım (sensörler, kameralar ve radar) ve yazılımın bir kombinasyonunu kullanmaktadır. Güvenlik ile ilgili 5 farklı teknolojik gelişim dönemi tanımlanmaktadır. Bu dönemler Şekil 9'da verilmiştir [83].



Şekil 9. Sürüş Güvenliğinde Beş Dönem

7. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ TASARIMINDA MODELLEME VE SİMÜLASYON TEKNİKLERİ

Etkin ulaştırma sistemleri, her toplumda yaşam kalitesine önemli ölçüde katkıda bulunurken mal ve insanların verimli bir şekilde taşınmasını sağlar. Her ekonomik ve sosyal gelişmenin merkezinde, her zaman bir ulaşım sistemi vardır. Bu arada, artan araç sayısı, kentleşme, nüfus artışı ve nüfus yoğunluğundaki değişiklikler nedeniyle dünya genelinde trafik sıkışıklığı artmakta ve bu durum toplumların sosyal ve ekonomik refahını tehdit etmektedir. Trafik sıkışıklığı ulaştırma altyapısının kullanımını azaltır ve seyahat süresini, hava kirliliğini ve yakıt tüketimini arttırır. Bu nedenle, ulaştırma sistemlerinin yönetimi ve kontrol edilmesi, insanlık için bir hayatta kalma ve refah meselesidir ve problemlerin çözümü her toplum için yüksek öncelikli bir görevdir.

Artan trafik kapasitesi talebini karşılamak amacı ile daha çok yol inşa edilmesinin, özellikle büyükşehir alanlarındaki yüksek maliyet ve / veya yeterli alan olmaması nedeniyle artık daha uygun bir çözüm olmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca, ek yollar inşa etmek için geçen süre ve bu durumun trafik ağının geri kalanına getirdiği aksaklık yeni yollar inşa edilmesinin önündeki en önemli engellerdir. Mevcut karayolu taşıma sistemi neredeyse açık döngüye sahipken, bu yollarda bulunan trafik ışıkları gecikmeleri azaltmak ve trafik akışlarını hızlandırmak için gerekli veriden halen daha yoksundur. Elektronik, iletişim, kontrol sistemleri, bilgisayarlar ve sensorlerdeki son gelişmeler, yeni karayolu sistemleri inşa etmek yerine mevcut altyapıyı etkin bir şekilde kullanmak için uygun ulaşım yönetimi politikaları ve stratejileri geliştirme fırsatı sunmaktadır. Teknolojilerin kullanılması, doğru trafik verileri sağlamaya, kontrol eylemlerini uygulamaya yardımcı olacak ve genel olarak günümüzün ulaşım ağlarında mevcut olan belirsizlik seviyesini azaltacaktır. Akıllı ulaşım sistemlerinin başarılı bir şekilde uygulanması, yerel ve küresel sistem düzeyinde trafik dinamiklerini ve buna bağlı olayların iyi bir şekilde anlaşılmasını gerektirecektir. Ek olarak, ulaştırma sistemi içindeki insan etkileşiminin anlaşılması da çok önemlidir [1].

Ulaştırma sistemleri ve trafik olayları oldukça karmaşık dinamik problemler olup basitleştirilmiş matematiksel modeller bu problemlerin analizi için yeterli değildir. Ulaşım problemlerinde yer alan nedensellik, eşleşme, geri besleme döngüleri ve kaotik davranışları analiz etmek için daha gelişmiş yöntem ve modellere ihtiyaç vardır. Trafik modellemesi, günümüzün karmaşık ulaşım sistemlerinin etkili tasarımını ve kontrolünü kolaylaştırabilir. Matematiksel modeller trafik sistemlerinin yüksek karmaşıklığını ve dinamikliğini her zaman doğru bir şekilde yakalayamaz. Bu sebeple, bilgisayar simülasyon modelleri belirli bir trafik ağındaki trafik akışı özelliklerini tanımlamak için geliştirilmiş ve ayarlanmıştır. Bir bilgisayar simülasyon modeli gerçek veriler kullanılarak geliştirilip onaylandıktan sonra, gerçek bir uygulama için teklif edilmeden önce farklı senaryolar ve yeni kontrol stratejileri geliştirilebilir, denenebilir ve değerlendirilebilir [1].

Bu bölümde, mikro ve makro seviyelerde trafik akış modellemesine genel bir bakış, mevcut trafik simülasyon yazılımlarının bir incelemesinin yanı sıra, çeşitli ulaşım sistemi modlarını yönetmek ve kontrol etmek için çeşitli yöntemler gözden geçirilmiştir. 2. Bölümde trafik akışı teorisi ve taşıma sistemlerinin modellenmesinde kullanılan mikro ve makro yöntemler incelenmiştir. Kütle korunum yasasına dayanan trafik akışı teorisi ile akış hızı ve yoğunluğu arasındaki ilişkiler makro modeller başlığı altında 3. bölümde sunulmaktadır. Bölüm 4'de mikro modeller analiz edilmiş ve avantajları ve kısıtlamaları açıklanmıştır. Bölüm 5'de akıllı ulaşım sistemlerine ilişkin karmaşık trafik yazılımı modelleme araçlarından bazılarını gözden geçirilmiştir. Son olarak, yürütülen akıllı ulaşım sistemlerine ilişkin çalışmalar özetlenmiştir.

7.1. Trafik Akışı Modellemesi

Trafik akışı çalışması ve özellikle araç trafiği akışı, trafik sıklığı sorunlarının önlenmesi ve düzeltilmesine yardımcı olmak amacıyla gerçekleştirilir. Trafik akışı için matematiksel bir teori geliştirmeye yönelik ilk girişimler, 1930'lara kadar uzanır [76; 2]. Ancak konu ile ilgili yoğun araştırmalara rağmen gerçek trafik akış koşullarını tanımlamak için henüz tatmin edici bir matematik teorisi yoktur. Bunun nedeni, trafik olaylarının çok sayıda aracın etkileşimine bağlı olarak karmaşık ve doğrusal olmamasıdır. Dahası, araçlar sadece fizik yasalarına uyarak etkileşimde

bulunmazlar, aynı zamanda insan sürücülerin psikolojik tepkilerinden de etkilenirler. Sonuç olarak kümeleme oluşumu ve araç hızı ve yoğunluğu ile ilgili geriye doğru yayılan şok dalgaları gibi kaotik olaylar gözlemliyoruz ve bu olayların matematiksel olarak modellenmesi oldukça zordur [16]. Ulaştırma Araştırma Kurulu'nun raporuna göre [49], trafik akışına yönelik matematiksel modeller şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Trafik Akışı Karakteristik Modelleri,
- İnsan Faktörü Modelleri,
- Araç Takip Modelleri,
- Sürekli Akış Modelleri,
- Makroskobik Akış Modelleri,
- Trafik Etki Modelleri,
- Sinyalize Olmayan Kavşak Modelleri
- Sinyalize Kavşak Modelleri ve
- Trafik Simülasyon Modelleri.

Trafik Akışı Karakteristik Modelleri Teorisi [54], hız, akış ve konsantrasyon veya yoğunluk gibi trafik akışı değişkenleri arasındaki ilişkileri tanımlamak için geliştirilen çeşitli matematiksel modelleri içermektedir.

İnsan Faktörü Modellemesi, insan-makina etkileşimli sistemler bağlamında insan unsurunun göze çarpan performans yönleriyle ilgilenmektedir [67]. Bunlara algı-tepki süresi, kontrol hareket süresi ve trafik kontrol cihazlarına, diğer araçların hareketine ve karayolundaki tehlikelere verilen yanıtlar örnek olarak verilebilir. Ayrıca, insan faktörleri teorisi, direksiyon, fren ve hız kontrolünün temelini oluşturan kontrol performansı ile de ilgilenir. İnsan faktörleri teorisi, araç takip modellerinin geliştirilmesine temel oluşturur.

Araç takip modelleri, bireysel araçların (ve sürücülerinin) birbirini takip etme şeklini inceler [103]. Genel olarak, bu modeller bir uyarıcı-tepki ilişkisi üzerine geliştirilir. Araç takip modelleri, trafiğin ayrık parçacıklardan (sürücü-araç birimlerinden)

oluşturduğunu kabul eder. Bu birimler arasındaki etkileşim hız-akış-yoğunluk kalıpları ile ilgili sürücü davranışını belirler.

Sürekli Akış Modelleri, parçacıklar arasındaki etkileşimlerden ziyade trafik akışının genel istatistiksel davranışı ile daha fazla ilgilidir [68].

Süreklilik modeli paradigmasına benzer olarak, Makroskobik Akış Modelleri, tek tek araçları veya tek tek sistem bileşenlerini (bağlantılar veya kesişimler gibi) incelemek yerine bir ağdaki trafiğin makroskobik bir görünümünü ele alır [119]. Makroskobik akış modelleri, akış hızı, yoğunluk gibi değişkenleri göz önünde bulundurur ve araçların bireysel tepkilerini görmezden gelir.

Trafik Etki Modelleri, trafik güvenliği, yakıt tüketimi ve hava kalitesi modelleri ile ilgilidir [6]. Trafik güvenliği Modelleri, trafik akışı ve kaza sıklığı arasındaki ilişkiyi tanımlar.

Sinyalize Olmayan Kavşak Modelleri teorisi boşluk kabul teorisi ve boşluk kabul hesaplamalarında kullanılan ana dağılımları ele almaktadır [113].

Sinyalize Kavşak Modelleri, akıştaki diğer trafik sinyallerinin etkisi de dahil olmak üzere yalıtılmış kavşaklardaki gecikme ve kuyrukların tahminlerini sağlamak için trafik akışının istatistiksel teorisini ele almaktadır [104].

Trafik simülasyon modellemesi, simülasyon paketlerine yerleştirilmiş trafik modelleri ve simülasyon deneyleri yapmak için kullanılan prosedürler ile ilgilidir [72].

Matematiksel olarak, trafik akışını modelleme sorunu iki ana gözlem ölçeğinde çözülebilir. Bu ölçekler mikroskobik ve makroskobik seviyelerdir. Mikroskobik seviyede, her araç ayrı ayrı kabul edilir ve bu nedenle her araç için genellikle bayağı bir diferansiyel denklem vardır. Makroskobik düzeyde, zaman ve mekân açısından trafik akışının yoğunluğu, hızı ve akış hızı gibi değişkenleri içeren kısmi

diferansiyel denklem sistemlerinin bulunduğu akışkan dinamiği modelleri analojisi kullanılır.

7.1.1. Mikroskobik Modeller

Mikroskobik model, hız, ivmelenme ve bireysel sürücü-araç etkileşimi gibi özelliklere sahip ayrı birimler içerir. Mikroskobik modeller araç takip modeli yaklaşımına dayalı olarak farklı tiplerde sınıflandırılabilir. Bu modellerde, araç konumu sürekli bir fonksiyon olarak değerlendirilir ve her araç öndeki otomobilin hızına ve mesafesine bağlı olan bir bayağı diferansiyel denklem tarafından yönetilir. Başka bir mikroskobik model tipi, araç takip modeli yaklaşımdan farklı olan ve tamamen ayrık zaman modelleri olarak tasarlanır. Yolu, boş ya da bir araç tarafından işgal edilmiş bir hücre dizisi olarak görürler. Bu modellerden biri Stokastik Trafik Hücresel Otomatlarıdır [80; 81]. Ayrıca, daha yeni bir yaklaşım olan ajan bazlı modelleme ile ilgili yoğun araştırmalar yürütmektedir [82]. Mikroskobik yaklaşımlar, genellikle her bir adımda çözülecek bir bayağı diferansiyel denkleme sahip olduğu için ve araba sayısı arttıkça çözülecek sistemin boyutu da arttığından, büyük sistemlerde hesaplama yoğunluğu vardır. Dolayısı ile analitik matematiksel mikroskobik modellerin değerlendirilmesi zordur, bu nedenle genellikle mikroskobik bilgisayar simülasyonu kullanılmaktadır. Bu tür mikroskobik trafik modellerinde, araçlar, bilgisayarla simüle edilmiş bir ortamda hareket eden ayrı sürücü-araç birimleri olarak ele alınır.

7.1.2. Makroskobik Modeller

Makroskobik modeller, sürekli taşıt yaklaşımı kullanarak trafik akışını incelemeyi amaçlamaktadır, burada bireysel taşıtların hareketinin akışkan hareketi özelliklerine sahip olduğu varsayılmaktadır. Sonuç olarak, taşıt dinamiği akışkan dinamiği olarak değerlendirilir. Bu fikir, ayrıntılı etkileşimler göz ardı edildiğinden ve modelin özellikleri, hepsi tek boyutlu alan ve zamanın işlevleri olan akış hızı, konsantrasyon veya trafik yoğunluğu ve ortalama hız gibi daha önemli parametrelere kaydırıldığı için bir avantaj sağlar. Bu model sınıfı kısmi diferansiyel denklemlerle temsil edilir. Araç trafiğinin Makroskobik modeller üzerinden modellenmesi, yerel veya yerel olmayan etkilere cevap veren bir devamlılıkta akışkan akışı teorisi kullanılarak elde edilir. Bu modellerin matematiksel detayları

mikroskobik olanlarından daha azdır. Makroskobik modellemenin dezavantajı, trafik akışının gerçekliğin oldukça zor bir yaklaşımı olan sıvı akışı gibi davrandığı varsayımıdır. Araçlar kendi aralarında etkileşime girme eğilimindedir ve dolayısı ile makroskobik modeller tarafından yakalanmayan yerel trafik bozukluklarına duyarlıdır. Öte yandan, makroskobik modeller büyük ölçekli problemleri incelemek için uygundur ve özellikle kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü daha kolaydır.

7.1.3. Mesoskopik (Kinetik) Modeller

Mikroskobik ve makroskobik seviyeler arasında bir yerde olan mesoskopik seviye olarak adlandırılan üçüncü bir analiz seviyesi de vardır. Bir orta seviye olan mezoskopik modeller kinetik bir ölçekte, t zamanında v hızında x konumunda bir aracın bulunma olasılığını ifade eden $f(t, x, v)$ fonksiyonunu tanımlar. İstatistiksel mekanik yöntemlerini izleyen bu fonksiyon, Boltzmann Denklemi gibi bir integral-diferansiyel denklem çözülerek hesaplanabilir [117;118].

Uygun modelin seçimi, gereken detay seviyesine ve mevcut hesaplama gücüne bağlıdır. Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler nedeniyle, bugünkü eğilim, insan faktörlerini ve araç takip eden modelleri sürücü-araç davranış birimi olarak içeren mikroskobik ölçekli matematiksel modellerin kullanılması yönündedir.

7.2. Mikroskobik Trafik Modelleme Yazılım Araçları

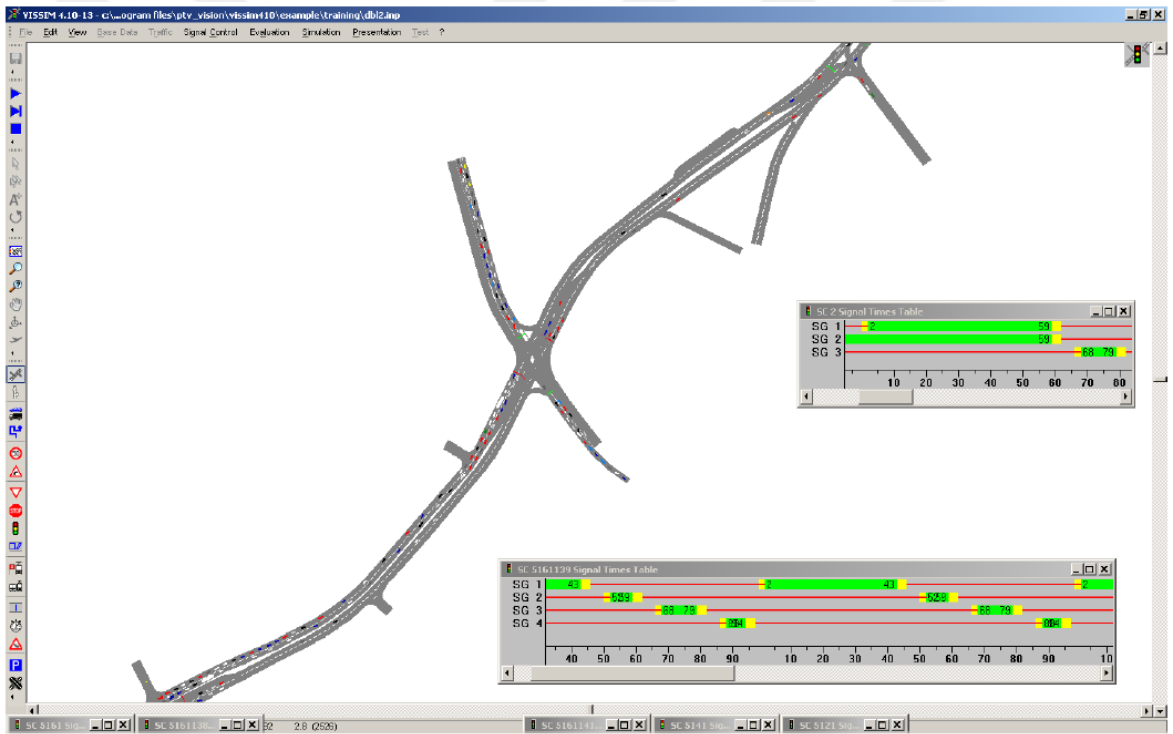
Mikroskobik simülasyon, trafik modellemesinde kullanılan bir terimdir ve aşağıdaki yazılım paketleri bu amaçla kullanılmaktadır:

- VISSIM [40;51;95]
- CORSIM [73;100;125]
- PARAMICS [48; 63; 89].

Trafik simülasyonu mikroskobik modelleri, bireysel araçların önceden tanımlanmış bir karayolu ağı içindeki davranışını simüle eder ve önerilen ticari gelişmelerden veya yol şemalarından kaynaklanan trafik düzenindeki değişikliklerin olası etkisini tahmin etmek için kullanılır. Ulaştırma danışmanları, belediyeler, devlet ulaştırma makamları ve toplu taşıma şirketleri bu araçları çoklukla kullanmaktadırlar.

Kullanılan trafik akış modelleri ayırık, stokastik, zaman adımına dayanan mikroskobik modellerdir ve sürücü-araç birimlerinden meydana gelir.

Trafik simülasyon yazılımı modelleyicileri, tek bir pakette çoklu trafik akışı matematiksel modellerini birleştirir ve böylece trafik tıkanıklığı problemini analiz ederken mevcut bilgileri trafik teorisi üzerinde birleştirmeyi mümkün kılar. VISSIM grafik kullanıcı ara yüzünün bir ekran görüntüsü, Şekil 10'da verilmiştir. Şekilde gösterilen mikroskobik model, trafiği analiz etmek ve Lefkoşa, Kıbrıs'taki bir trafik ağı için çeşitli veri yolu öncelik senaryolarının etkisini değerlendirmek amacıyla geliştirilmiştir [92; 93].



Şekil 10. VISSIM Grafikselsel Kullanıcı Arayüzü

Günümüz trafik simülasyonu yazılımlarında, yol ve parkurların ağ tanımı, teknik araç ve davranışsal sürücü spesifikasyonları, araç hacimleri ve yollar gibi veriler grafiksel kullanıcı ara yüzüne eklenebilir. Hızlanma, maksimum hız ve istenen hız dağılımları için değerler yerel trafik koşullarını yansıtacak şekilde kullanıcı tarafından yapılandırılabilir. Çeşitli araç tipleri de tanımlanabilir. Ayrıca, trafik kontrol stratejileri ve algoritmaları tanımlanabilir ve tanınmış kentsel trafik

kontrolörleri ile ara yüzler oluşturulabilir. CORSIM, PARAMICS, VISSIM ve AIMSUN gibi yazılımlar dünya çapında bir çok trafik çalışmasında kalibre edilmiş ve onaylanmıştır. Aşağıda bazı temel özelliklerini sunulmuştur.

7.2.1. CORSIM Simülasyon Yazılımı

Koridor mikroskobik simülasyonu anlamına gelen CORSIM, ABD Federal Karayolu İdaresi tarafından geliştirilmiştir. NETSIM ve FRESIM olmak üzere iki ayrı trafik simülasyon programının geliştirilmesi ile ortaya çıkmıştır. NETSIM, sinyalize ve işaretsiz kavşaklara sahip arterleri, FRESIM ise otoyolları ve şehir içi yolları modellemek için kullanılmaktadır [73; 100; 125].

7.2.2. VISSIM Simülasyon Yazılımı

VISSIM simülasyon yazılımında mikroskobik model, uzunlamasına araç hareketi için psiko-fiziksel bir modelden ve yanıl hareketler için kural tabanlı bir şerit değiştirme algoritmasından oluşur. Model, Wiedemann tarafından Karlsruhe Üniversitesi'nde geliştirilen kentsel ve çevre yolu modeline dayanmaktadır. VISSIM hemen hemen her türlü trafik kontrol mantığını modelleyebilen bir programlama dili kullanan sinyal kontrol modülü ile tanınmaktadır. Ayrıca, VISSIM toplu taşıma sistemlerini modellemesinde de oldukça başarılı bir programdır [40; 51; 95].

7.2.3. AIMSUN Simülasyon Yazılımı

AIMSUN, kentsel ve şehirlerarası trafik ağlarını simüle etmek için geliştirilmiştir. Ve araç takip modeline dayanmaktadır. Bu nedenle AIMSUN, çarpışmayı önleme aracını takip eden bir modele dayanmaktadır. Trafik giriş akışları ve dönüş hareketleri, varış noktası matrisleri ve rota seçim modelleri ile modellenebilir.

7.2.4. PARAMICS Simülasyon Yazılımı

Paralel Mikroskobik Simülasyon anlamına gelen PARAMICS, bir modelleyici, bir işlemci, bir analizör, bir monitör, bir dönüştürücü ve bir tahminci içeren çeşitli modüllerden oluşur. PARAMICS, görselleştirme grafikleri ve oldukça çeşitli trafik senaryolarını modelleme kabiliyeti ile ön plana çıkmaktadır [48; 63; 89].

7.2.5. Simülasyon Yazılımların Karşılaştırılması

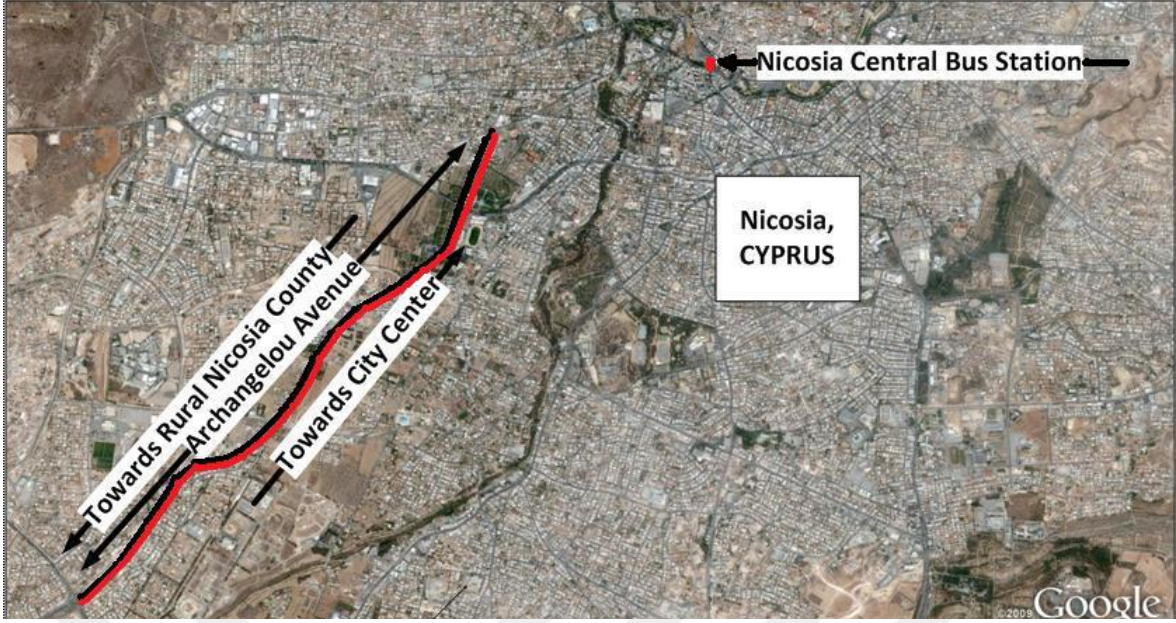
SMARTTEST Projesi kapsamında, Leeds Üniversitesi Ulaşım Araştırmaları Enstitüsü tarafından trafik akışının simülasyon modellerinin kapsamlı bir incelemesi yapılmıştır [57]. Projenin amacı karayolu trafik yönetimi sorunlarının çözülmesine yardımcı olacak mikro-simülasyon araçları geliştirmek olarak belirlenmiştir. Çalışma 50'den fazla simülasyon paketinin yeteneklerini karşılaştırdı. Sonuçlar internette <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/smartest> adresinde bulunabilir. Trafik simülasyon yazılımı ile ilgili diğer önemli incelemeler arasında CORSIM ve VISSIM'i karşılaştıran ve CORSIM, AIMSUN ve PARAMICS'in özelliklerini karşılaştıran bu incelemeler sonucunda VISSIM, AIMSUN ve PARAMICS yazılımları ön plana çıkmaktadır [14; 17].

7.2.6. Mikroskobik Simülasyon Modelleri Kullanmanın Avantajları

Mikroskobik simülasyon modellerinin diğer yazılım paketlerinde kullanılmasının nedeni, mikroskobik simülasyonların farklı trafik elemanlarının birbirleri üzerindeki etkilerini değerlendirmemize izin vermesidir. Yakın mesafeli kavşakların trafik ağı üzerindeki etkilerini veya tıkanıklık durumunun çevresindeki sistem üzerindeki etkilerini değerlendirebilmek ancak mikroskobik trafik simülasyonu modelleri ile sağlanabilir. Ayrıca, büyük şehirlerde ki trafik koşulları 3 ila 4 saatlik periyotların üzerinde tıkanıklık yaşadığından, mikroskobik trafik simülasyon programları, sıkışık koşullardaki birikmeyi ve sistemin sonunda toparlanmayı değerlendirmemizi sağlar. Yoğunlaşmanın en yoğun olduğu dönem karmaşıktır ve bu koşullar altında çözümlerin değerlendirilmesi yalnızca mikroskobik simülasyon araçları kullanılarak gerçekleştirilebilir.

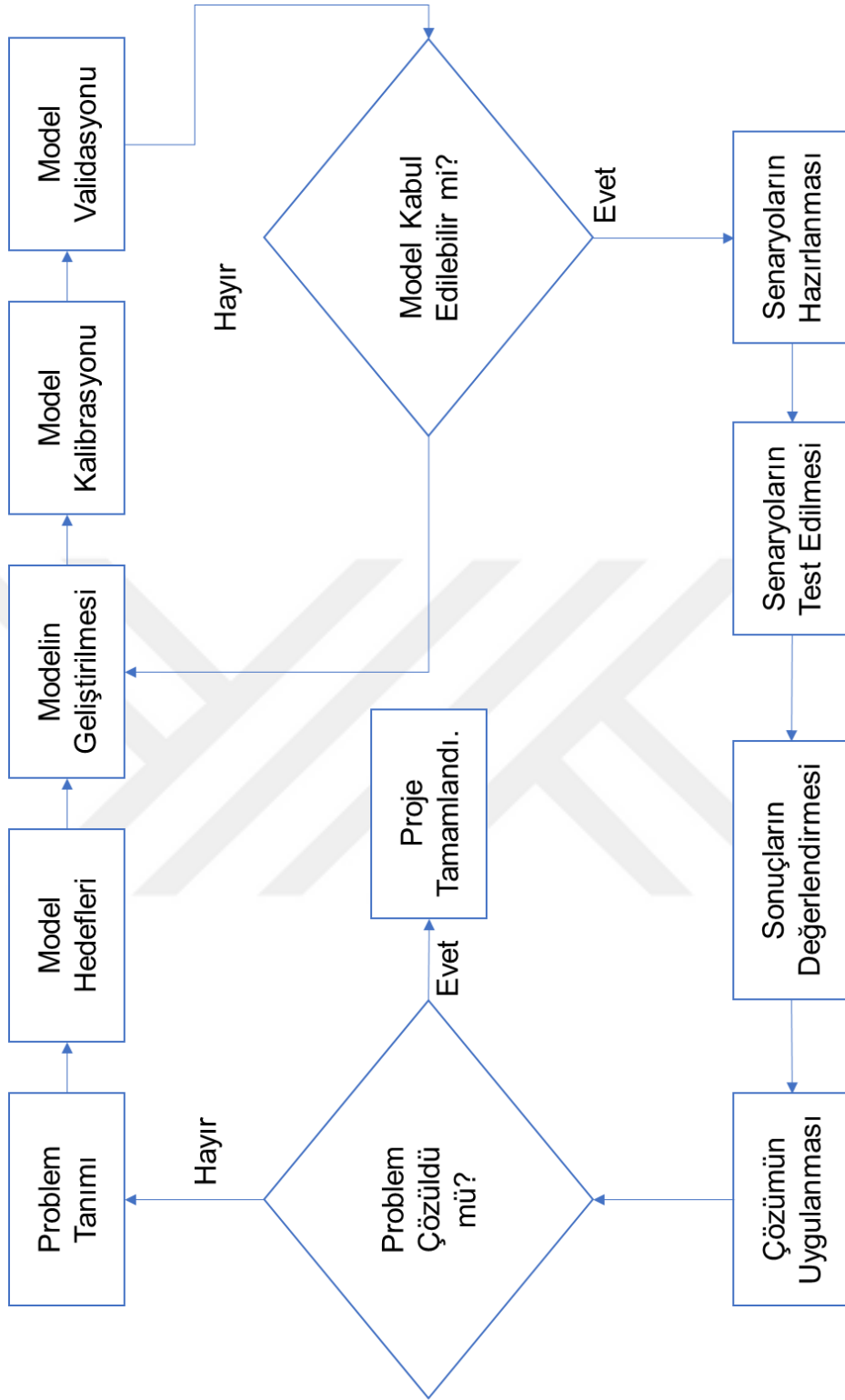
7.3. Akıllı Ulaşım Sistemi Projelerinde Mikroskobik Simülasyon Kullanımı

Önceki bölümlerde açıklandığı gibi trafik olayları dinamik problemler olup bu problemlerin simülasyonu çok karmaşık, yinelemeli ve zorlayıcıdır. Bu bölümde örnek olması açısından Kıbrıs, Lefkoşa'daki Archangelou Bulvarındaki trafik ağının modellenmesi özetlenmiştir. Archangelou Bulvarı, Kırsal Lefkoşa Bölgesi'ni, ana iş merkezinin bulunduğu Lefkoşa'nın merkezine bağlayan ana yoldur. Çalışma alanı Şekil 11'de gösterilmiştir. Gerçekçi bir simülasyon modeli geliştirmek amacı ile [72; 35] tarafından yapılan öneriler dikkate alınmıştır.



Şekil 11. Simülasyon Çalışmasının Yapıldığı Alan

“Archangelou Bulvarı’ndaki Akıllı Ulaşım Sistemleri (BUSSIM)” adlı çalışmanın amacı, bilgisayar simülasyonlu bir ortamda senaryo analizi ile Hızlı Transit Otobüs stratejileri geliştirmek ve test etmektir. Ayrılmış otobüs yolu şeritleri, otobüs geçiş sinyal alanları, yüksek kapasiteli araç şeritleri gibi yeni uygulamalar değişik senaryolar üzerinden denenmiştir. Senaryo analizi, Archangelou Bulvarı trafik ağının mikroskobik simülasyon modeli kullanarak bilgisayar deneyleri ile gerçekleştirildi [94]. Simülasyon modellemesi yaklaşımının aşamaları Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. Simülasyon Modelinin Aşamaları

Önerilen yaklaşımın ilk adımı olarak problem tanımı yapılmıştır. Ele alınan durumda trafik tıkanıklığına bağlı sorunun belirtileri, tüm ulaşım modları için artan seyahat süreleri olarak kendini göstermektedir. Lefkoşa'da trafik sıkışıklığı

sorununun ana nedenleri, artan araç sayısından ve otobüs taşıma sisteminin azalan kullanımından kaynaklanmaktadır. Yol altyapısına daha fazla kapasite eklemek, işleri daha da kötüleştirecektir, çünkü bu durum özel araçların daha fazla kullanılması teşvik edecek ve toplu taşıma araçlarının kullanımını düşürecektir. Bu nedenle, soruna uzun vadeli çözüm, toplu taşıma modunu kullanmayı teşvik ederek durumu dengelemek olarak değerlendirilmiştir.

Bu noktada problem toplu taşımanın nasıl cazip hale getirileceğidir. Yapılan bir ankette Kıbrıs halkının daha yüksek kalitede ve daha hızlı bir toplu ulaşım sistemi istediği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle modelleme ve simülasyon yöntemindeki amaç, otobüs ulaşım sistemi için daha iyi bir hizmet seviyesi sağlayacak olan özel otobüs şeritleri ve Hızlı Otobüs Transit Sistemleri gibi çeşitli senaryoları incelemektir. Bu arada, ortaya konan çözümlerin taşıma sisteminin geri kalanına olan herhangi bir yan etkisini tahmin etme ve değerlendirme ihtiyacı vardı.

Belirtilen model hedeflerine dayanarak, Archangelou Bulvarı'nın mikroskobik bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Diğer herhangi bir trafik ağı gibi, Archangelou Bulvarı da dikkate alınması gereken birçok trafik parametresinden oluşuyordu. Bunlar arasında trafik kontrol sinyalleri, öncelik kuralları, yönlendirme kararları ve yaya geçitleri, işaretlenmiş ve işaretlenmemiş kavşaklar vb. Model, statik ve dinamik veriler olmak üzere önemli miktarda trafik verileri içermektedir.

Modelleme işlemi ve özellikle mikroskobik modelin kalibrasyonu zaman alıcı olsa da, simülasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar çeşitli etkinlik ölçütleri hakkında önemli bilgiler verdi. Özellikle, incelenmekte olan çeşitli senaryolar için seyahat zamanlarını, kuyruk uzunluklarını, gecikmeleri, ortalama hızları, şerit değişikliklerini ve diğer performans kriterleri başarı ile hesaplanmıştır. Ayrıca senaryolar arasında karşılaştırmalar yapılmış ve en iyi senaryolar belirlenmiştir. Sonuç olarak simülasyon modelleri akıllı ulaşım sistemlerinin tasarlanmasında son derece önemlidir.

7.4. Simülasyon Modellerinin Genel Değerlendirmesi

Akıllı Ulaşım Sistemlerinin (AUS) tasarımında, işletilmesinde ve kontrolünde modelleme ve simülasyon yöntemleri temel unsurlardır. Dünya genelindeki şehirlerdeki tıkanıklık sorunları, ulaştırma sistemlerinin daha iyi yönetimi ve kontrolünü ön plana çıkarmıştır. En önemlisi, gelişmiş trafik yönetimi ve kontrol tekniklerini içeren akıllı ulaşım sistemleridir. Bu teknikler arasında gerçek zamanlı trafik kontrol önlemleri ve gerçek zamanlı gezgin bilgileri ve danışmanlık sistemleri (kalkış saati, mod ve rota seçim kararları, vb.) bulunur. Ulaştırma araştırması, bu tür akıllı ulaşım sistemlerinin planlanmasında, tasarlanmasında ve işletilmesinde ve kontrolünde kullanılmak üzere modeller ve simülatörler geliştirmeye yönelmektedir.

Bu bölüm trafik akışı teorisindeki en önemli gelişmelere genel bir bakış sunmakta ve trafik akışının iki temel seviyede modellenmesini incelemektedir: trafiğin akışkan olarak kabul edildiği makroskobik seviye ve trafiğin bireysel sürücü tarafından temsil edildiği mikroskobik seviye. Bu iki analiz seviyesiyle ilgili olarak, makroskobik modellerin kullanılabilirliğini göz ardı etmeden, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin ve daha ayrıntılı ve doğru trafik modellerine duyulan ihtiyaçların neticesinde, günümüzde en nihayetinde mikroskobik trafik modelleri için bir eğilim olduğu sonucuna varılabilir. Amaç, bilgisayar simülasyonu ortamında, çeşitli sürüş koşullarında sürücü-araç birimi etkileşimlerini yakalamaktır.

Ayrıca, VISSIM, AIMSUN, CORSIM ve PARAMICS gibi simülasyon yazılımlarının yetenekleri ve sınırlamaları hakkında bilgiler verilmiştir. Son olarak, akıllı ulaşım sistemlerinin modellenmesine ve simülasyonuna bir yaklaşım önerilmekte ve uygulanmaktadır. Önerilen yaklaşım, problem tanımlama, model hedefleri, model geliştirme, model kalibrasyonu, model doğrulama, senaryo hazırlama, simülasyon deneyleri ve sonuç değerlendirmesi gibi çeşitli aşamalardan geçer. Bu yaklaşım bir vaka çalışması üzerinden anlatılmıştır.

8. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ TASARIMINDA OPTİMİZASYON

Sınırlı ekonomik ve fiziksel kaynaklarla hızlı bir şekilde büyüyen ulaşım altyapısı talebini karşılamak çoğu zaman mümkün değildir. Özellikle karayolu altyapısının genişlemesinin artan araç sayısına ayak uyduramadığı, dolayısıyla tıkanma ve gecikmelere neden olduğu bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, yeni yolların inşası için çaba göstermenin yanı sıra, yeni akıllı ulaşım yönetimi ve koordinasyon sistemlerinin geliştirilmesi de şarttır. Yeni bir tekniğin etkinliği, optimum kapasite kullanımıyla karşılaştırılarak değerlendirilebilir. Bu karşılaştırma önemli iyileştirmelerin mümkün olduğunu gösteriyorsa, akıllı bir trafik sistemi geliştirmenin ve yaygınlaştırmanın maliyetini kabul haklı çıkarılabilir. Ayrıca, bir optimizasyon modeli geliştirmek, kapasite planlamasında da yardımcı olabilir. Örneğin, belirli bir talep seviyesinde, eğer optimum çözüm önemli ölçüde kötüleşirse, bu hiçbir akıllı stratejinin bu talebi karşılayamayacağı ve altyapının genişletilmesinin tek alternatif olacağı anlamına gelir.

Günümüzde ulaşım problemleri kompleks ve dinamik problemler olup bütün sistemin matematiksel olarak modellenmesi mümkün değildir. Bu mümkün olsa bile bu zor problemlerin çözülmesi çoğu zaman mümkün değildir. Ancak akıllı ulaşım sistemlerinin tasarlanmasında bütün sistemin optimize edilmesi yerine, sistemin sadece gerekli parçaları için optimizasyon yapılırsa sistemin verimliliğinde ciddi iyileştirmeler yapılması mümkündür. Bu bölümde AUS tasarımında kullanılan optimizasyon modelleri ile ilgili örnekler verilecektir.

Gallo et al., [47] Sinyal Ayarlarının Global Optimizasyonu (SAGO) sorusunu ele almış ve çözümü için meta-sezgisel bir algoritma önermişlerdir. Bir kentsel ağın tüm veya bazı sinyalli kavşaklarının sinyal ayarlarını optimize etme problemi topoloji ve bağlantı boyutlarının sabit olduğu varsayılarak ele alınmıştır. SAGO problemi, bir trafik ağının tüm (veya bazı) sinyal parametrelerinin ortak bir şekilde optimize edilmesi (örneğin toplam seyahat süresi gibi) durumunda ortaya çıkar. Bu problem literatürde farklı yerlerde geniş çapta incelenmiş ve çoğunlukla iniş yöntemlerine (descent method) dayanan çeşitli algoritmalar önerilmiştir. Bu algoritmalar, gerçek ölçekli problemler için yüksek hesaplama süreleri gerektirir ve

amaç fonksiyonu neredeyse hiç dışbükey olmadığından, genellikle yerel optimum sonucu verir. Yüksek hesaplama süreleri, her bir iterasyonda hedef fonksiyonunu belirlemek için trafik ataması yapma ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, bu problemi çözmek için Muhtemel İniş Yönü Algoritmasına (Feasible Descent Direction Algorithm) dayanan bir çoklu başlangıç yöntemi önerilmektedir. Algoritma, yerel olarak optimal bir çözüm arayabilir ve herhangi bir iterasyonda daha düşük hesaplama süresi gerektirir. Önerilen algoritma, literatürde önerilen farklı atama algoritmaları kullanılarak, farklı talep seviyeleri altında gerçek ölçekli bir ağda test edilmiştir. İlk sonuçlar, önerilen algoritmaların iyi performans gösterdiğini ve hesaplama sürelerinin gerçek ölçekli ağlar için de planlama amaçlarıyla uyumlu olduğunu göstermektedir.

Yük ağı optimizasyon modeli, demiryolu ağlarının bölgesel ve ulusal düzeyde iyileştirilmesi için gerekli olan planlama ve politika kararları için bir destek aracı olarak geliştirilmiştir [74]. Özellikle yük trafiği için tasarlanan, yüksek toplama seviyesine sahip makro ağları modellemek için tasarlanmış stratejik bir trafik atama modeline dayanmaktadır. Model karayolu ve demiryolu taşıma modlarını tasarlar ve iki farklı kargo tipini göz önünde bulundurur: genellikle konteynerlerde taşınan ve modlar arası aktarım terminalerde farklı modlar arasında kolayca değiştirilebilen çok modlu kargo; ve genel kargo (diğer kalan tüm kargoyu temsil eder). Optimizasyon süreci, makul bir hesaplama süresi içinde iyi çözümler sunan yerel arama sezgisel algoritmasına (local search heuristic) dayanmaktadır ve elde edilen çözümün kalitesi, genelleştirilmiş toplam maliyetlerin ve CO₂ emisyonlarının miktarına bağlı olarak değerlendirilmektedir. Bu yük ağı optimizasyon modeli hem mevcut bağlantıların hem de yeni bağlantıların geliştirilmesine olanak sağlanmaktadır ve bu nedenle yenilikçidir.

Talebin düşük, değişken ve tahmin edilemez olması durumunda kaliteli bir toplu taşıma sisteminin kurulması oldukça pahalı olabilir. Talep Duyarlı Ulaştırma (TDU) sistemleri bu sorunları talebe göre değişebilecek rota sırası ve sıklığı ile çözmeye çalışmaktadır. Bu problemlerin tasarımı ve kullanımı çoklu kriterler içerir ve dolayısı ile geleneksel optimizasyon yöntemlerinin kullanımı mümkün değildir. TDU hizmetlerinin tasarlanmasına ve işletilmesine yardımcı olmak, işletme

maliyetlerini en aza indirmek ve hizmet kalitesini en üst düzeye çıkarmak için simülasyon ve optimizasyonu entegre eden yenilikçi bir Karar Destek Sistemi geliştirmişlerdir [52]. Gerçek sorunlardan yola çıkılarak geliştirilen senaryolar ile önerilen yöntemin potansiyeli gösterilmiştir.

Frank-Wolfe algoritması, trafik atama problemini (TAP) çözmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Son on yılda, TAP'ın çözümü için yeni önerilerde bulunulmuştur. Bu algoritmaların, Frank-Wolfe algoritmasının elde ettiğinden çok daha iyi sonuçlar verdiği ve daha büyük ölçekli problemler için uygun olduğu gösterilmiştir. Trafik sayımlarına dayanan O / D matris ayarlama problemi, TAP'ın alt seviye olduğu iki seviyeli bir optimizasyon problemi olarak formüle edilebilir. TAP ve hesaplama maliyetinin yakınsaması kritik olabilir çünkü işlemin her aşamasında çözülecek TAP sayısı çok yüksektir. O/D matris ayar probleminde yeni TAP yöntemlerinin sunduğu olanakları kullanmaktadır. Önerilen yeni yöntemleri kullanarak orta ölçekli ağlarda sayısal örnekler sunulmuştur [101].

Sınırlı ekonomik ve fiziksel kaynaklarla, ulaşım altyapısını sürekli olarak genişletmek mümkün değildir. Bu, özellikle karayolu altyapısının genişlemesinin artan araç sayısına ayak uyduramadığı, dolayısıyla tıkanma ve gecikmelere neden olduğu trafik koordinasyon sistemleri için geçerlidir. Bu nedenle, yeni yolların inşası için çaba göstermenin yanı sıra, yeni akıllı ulaşım yönetimi ve koordinasyon sistemlerinin geliştirilmesi de şarttır. Yeni bir tekniğin etkinliği, optimum kapasite kullanımıyla karşılaştırılarak değerlendirilebilir. Bu karşılaştırma önemli iyileştirmelerin mümkün olduğunu gösteriyorsa, akıllı trafik sistemi geliştirmenin ve yaygınlaştırmanın maliyetini ortadan kaldırabilir. Ayrıca, bir optimizasyon modeli geliştirmek, kapasite planlamasında da yardımcı olabilir. Örneğin, belirli bir talep seviyesinde, eğer optimum çözüm önemli ölçüde kötüleşirse, bu hiçbir akıllı stratejinin bu talebi karşılayamayacağı ve altyapının genişletilmesinin tek alternatif olacağı anlamına gelir. Bu kavramlar kesişen yol güzergâhlarında araçların planlanmasıyla ilgili bir örnek olay incelemesiyle gösterilmektedir [106]. Karma tam sayılı programlama modeli ve uzay-zaman ağı akış modeli olmak üzere iki optimizasyon modeli geliştirerek ve ikinci modelin esasen daha etkili olduğu gösterilmektedir. Dahası, problemin NP zor olduğunu göstererek problemi makul

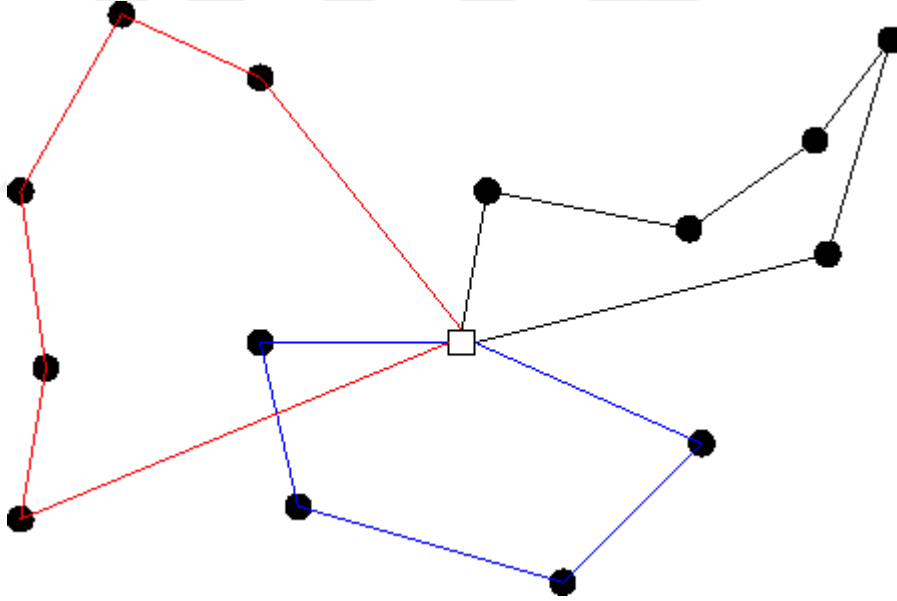
sürede çözmek için iki sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Daha sonra sezgisel çözümler uzay-zaman ağı modeli kullanılarak elde edilen optimum kapasite kullanımı ile karşılaştırılmış ve sonuç bölümünde yönetimsel çıkarımlar özetlenmiştir.

Dinamik sürüş paylaşımı sistemleri benzer güzergahları ve zaman çizelgeleri olan kişileri kısa sürede bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Bu sistemler, kişisel seyahat için kullanılan araç sayısını azaltarak ve mevcut koltuk kapasitesinin kullanımını artırarak önemli sosyal ve çevresel faydalar sağlayabilir. Sürücülerini gerçek zamanlı olarak eşleştiren etkili ve verimli optimizasyon teknolojisi, başarılı bir dinamik sürüş paylaşım sistemi için gerekli bileşenlerden biridir. Agatz et al., [3] 'e göre sürüş paylaşımını desteklemek için yapılan çalışmalarda karşılaşılan optimizasyon zorlukları incelenmiş ve konu ile ilgili yapılan akademik çalışmalar incelenmiştir.

Yeni dinamik sürüş paylaşım sistemleri önemli ölçüde sosyal ve çevresel faydalar sağlama potansiyeline sahiptir. Sürücülerini gerçek zamanlı olarak en iyi şekilde eşleştiren algoritmaların geliştirilmesi, sürüş paylaşımı konseptinin temelini oluşturur. Bu çalışma dinamik sürüş paylaşımını tanımladıktan sonra dinamik sürüş paylaşımını desteklemek için teknoloji geliştirirken ortaya çıkan ilginç optimizasyon zorluklarının birçoğu vurgulanmış ve bu alandaki ilgili yöneylem araştırması modelleri incelenmiştir. Dinamik sürüş paylaşımındaki optimizasyon konularını ele almak için araştırmacıların artan bir ilgisinin olduğu, ancak bugüne kadarki belirli katkıların sayısının hala düşük olduğu tespit edilmiştir.

9. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Araç rotalama problemi (ARP), “belirli bir müşteriye ulaşmak için bir araç filosunun geçiş yapabileceği en uygun rota seti nedir?” diye soran bir kombinasyonlu optimizasyon ve tam sayılı programlama problemidir. ARP tanınmış gezgin satıcı problemini (TSP) genelleştirir. İlk olarak 1959'da George Dantzig ve John Ramser tarafından bir makalede ortaya çıkmış, ilk algoritmik yaklaşım yazılmış ve petrol dağıtım problemine uygulanmıştır [30]. Çoğunlukla, bağlam, merkezi bir depoda bulunan malları, bu tür mallar için sipariş vermiş olan müşterilere teslim etmektir. VRP'nin amacı toplam yol maliyetini en aza indirmektir. 1964 yılında Clarke ve Wright, tasarruf algoritması adı verilen etkili bir açgözlü yaklaşım kullanarak Dantzig ve Ramser'in yaklaşımını geliştirmiştir. Rotalama Problemi'nin görsel olarak gösterimi Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 13. Rotalama Probleminin Görsel Olarak Gösterimi

ARP, NP problem sınıfındadır [112]. Bu nedenle, matematiksel programlama veya kombinasyonel optimizasyon kullanarak çözülebilecek problemlerin boyutu oldukça sınırlıdır. Bu zorluk nedeni ile ticari çözümler, büyük boyutlardaki gerçek dünya problemlerini çözmek için sezgisel yöntemler kullanma eğilimindedir.

ARP'nin endüstride çok belirgin uygulamaları bulunmaktadır. Yapılan araştırmalara göre optimizasyon programlarının kullanılması bir şirkete %5'lik tasarruf sağlamaktadır. Ulaşım giderleri bir ürünün maliyetinin önemli bir kısmını (yaklaşık %10) oluşturmaktadır [26]. Örneğin Avrupa ülkelerinde taşımacılık sektörü GSYH'sinin %10'unu oluşturmaktadır. Dolayısı ile ARP kullanımı ile elde edilebilecek fayda, %5'ten daha az olsa bile önemlidir [56].

9.1. Problemin Tanımı

ARP temel olarak merkezi bir depo, müşteriler ve onlara hizmet götürecek araç kümesinden meydana gelmektedir. Genellikle amaç maliyetleri minimize ederken müşteri taleplerini karşılamaktır. Çok değişik versiyonları olmakla birlikte genel olarak her müşteri bir kere ziyaret edilir ve atanmış bütün müşteriler ziyaret edildikten sonra araçlar depoya geri döner [56]. Problem genellikle müşterileri ve depoyu kapsayan bir ağ üzerinden tanımlanır. Ağ üzerindeki arklar tek yönlü veya iki yönlü olabilir. Arklar ve araçlar üzerinde kapasite kısıtları uygulanabilir. Özet olarak problemin gereksinimlerine göre çok farklı türde ARP tanımlamak mümkündür. Her bir rotanın global maliyetini bilmek için, seyahat maliyeti ve her müşteri ile depo arasındaki seyahat süresi bilinmelidir. Bunu yapmak için orijinal grafiğimiz köşelerin müşteri ve depo olduğu ve yayların aralarındaki yollar olduğu bir grafiğe dönüştürülür. Her yaydaki maliyet, orijinal yol ağındaki iki nokta arasındaki en düşük maliyettir [23].

Bazen bir müşterinin tüm taleplerini karşılamak imkansızdır ve bu gibi durumlarda, çözümler bazı müşterilerin taleplerini azaltabilir veya bazı müşterilere hizmet verilmeyebilir. Bu durumlarla başa çıkmak için, her müşteri için bir öncelik değişkeni verilebilir veya verilen her müşteri için kısmi veya hizmet yetersizliğine ilişkin cezalar getirilebilir [112].

Bir ARP'nin hedef fonksiyonu, problem gereksinimlerine ve tanımına bağlı olarak çok farklı olabilir. En yaygın kullanılan hedef fonksiyonları aşağıda sıralanmıştır [112]:

- Araç ve sürücüler ile ilgili sabit maliyetlerin yanı sıra seyahat edilen mesafeye bağlı olarak toplam nakliye maliyetlerinin en aza indirilmesi
- Tüm müşterilere hizmet etmek için gereken araç sayısının en aza indirilmesi
- Seyahat süresinde ve araç yükünde yapılan değişiklik sayısının en aza indirilmesi
- Düşük kaliteli hizmet için cezaların en aza indirilmesi

9.2. Akıllı Ulaşım Sistemlerinde ARP Kullanımı

Trafik sıkışıklığı, hava kirliliği ve gürültü gibi olumsuz çevresel etkiler ile ilişkili kentsel yük taşımacılığı sorunlarını çözmek için yapılan çalışmalar sonucunda “şehir lojistiği” fikri ortaya çıkmıştır. Şehir lojistiği, lojistik ve taşımacılık faaliyetlerini, trafik ortamını, trafik sıkışıklığını, emniyetini ve enerji tasarrufunu göz önünde bulundurarak kentsel alanlarda gelişmiş bilgi sistemlerinin desteğiyle tamamen optimize etme süreci olarak tanımlanabilir. Bu problemler de yapısal olarak ARP probleminin farklı uygulamaları olarak ifade edilebilmektedir. Dolayısı ile AUS uygulamalarında rotalama ile ilgili olarak kullanılan birçok karar destek sistemi temelde ARP probleminin farklı uygulama alanları olarak değerlendirilebilir. Bu bölümdeki amaç AUS uygulamalarında sıklıkla kullanılan ARP probleminin genel bir sınıflandırılmasının ortaya konması ve bu problemleri çözmek için kullanılan yöntemlerin açıklanmasıdır.

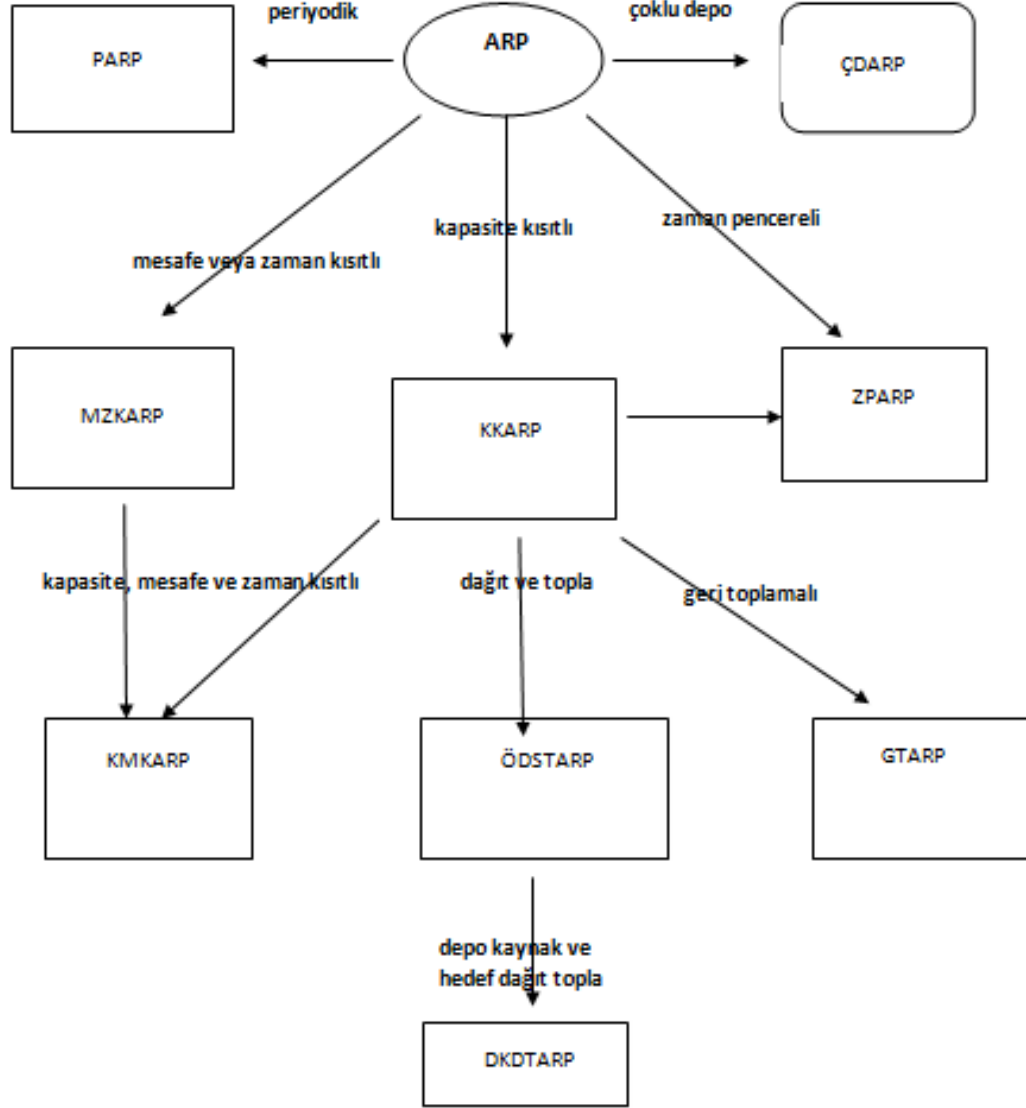
9.3. ARP Problemlerinin Sınıflandırılması

ARP problemi tedarik zincirlerinin dağıtım aşamasında karşılaşılan optimizasyon problemlerini ifade etmek için kullanılmaktadır. Tasarlanan sistemin sahip olduğu özelliklere göre literatürde farklı tipte problemler tanımlanmıştır. ARP'nin sınıflandırılması Şekil 14'de gösterilmiştir [69].

9.3.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP)

KKARP'de araçlar için kapasite kısıtları uygulanmaktadır ve araçların homojen olduğu varsayılmaktadır. Her bir müşteri ve talep miktarları da önceden bilinmektedir. Araçlar depodan hareket eder, belirli sayıda müşteriye hizmet verdikten sonra tekrar depoya dönerek rotalarını sonlandırırlar. Her bir müşteri

talebi tek seferde teslim edilir. Diğer bir deyişle müşteriler bir kere ziyaret edilir. Amaç araçlar tarafından kat edilen toplam mesafenin minimize edilmesidir [112].



Şekil 14. ARP Problemlerinin Sınıflandırılması

9.3.1. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (MKARP)

MKARP’de her araç için toplam mesafe kısıtı tanımlanır. Dolayısı ile bir araca atanan rotanın toplam uzunluğu bu mesafeden küçük olmak zorundadır. Bu kısıt

eklenirken araçların belirli bir süreden daha az yolculuk yapması ve çeşitli aksaklıklardan dolayı gecikmemesi gerekmektedir [88].

9.3.2. Çok Depolu Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi (ÇDÖDSTARP)

ÇDÖDSTARP'de birden fazla depo bulunmaktadır. Her depoya atanmış olan belirli sayıda araç vardır ve araçlar başladıkları depoya dönmek zorundadır. Her müşteri bir kere ziyaret edilebilir ve araçların tamamının homojen olduğu varsayılmaktadır. Problemin amacı bütün araçların kat ettiği toplam mesafenin minimize edilmesidir [71; 111].

9.3.3. Eş Zamanlı ve Karışık Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi (KTDARP)

Bu problem tipinde toplama ve dağıtma işlemleri eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Bir müşteriyi ziyaret eden araç hem talep edilen ürünleri bırakırken hem de ürünler toplanmaktadır. Örneğin içecek sektöründe dolu içecek şişeleri müşteriye bırakılırken boş şişeler toplanır [64].

9.3.4. Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi (ÖDSTARP)

ÖDSTARP'da müşteri kümesi iki gruba ayrılır, bunlar ürün dağıtılacak müşteriler ve ürün toplanacak müşterilerden oluşmaktadır. İlk olarak dağıtım yapan araçlar dönüşte ürünleri toplayarak depoya geri dönerler [36; 90].

9.3.5. Ayrık Yüklemeli ve Zaman Pencere ARP (ZARP)

ZARP zaman pencere ARP'nin bir türevi olarak önerilmiştir. Bu problemi ele alan çok sayıda çalışma olmamakla birlikte ayrık zamanlara göre karar vermenin önemini anlatan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [77]. Problemden temel olarak dağıtım hizmeti ayrılmış zaman dilimlerinde verilir. Bu zaman dilimlerinin sayısı arttıkça zaman kısıtı üzerindeki baskı da artmaktadır [70].

9.3.6. Geri Toplamalı ARP (GTARP)

GTARP iade olması durumunda kullanılan araç rotalama problemidir. Özellikle otomotiv sektöründe yedek parça tedarikinde, depozito ve ambalaj işlemlerinde

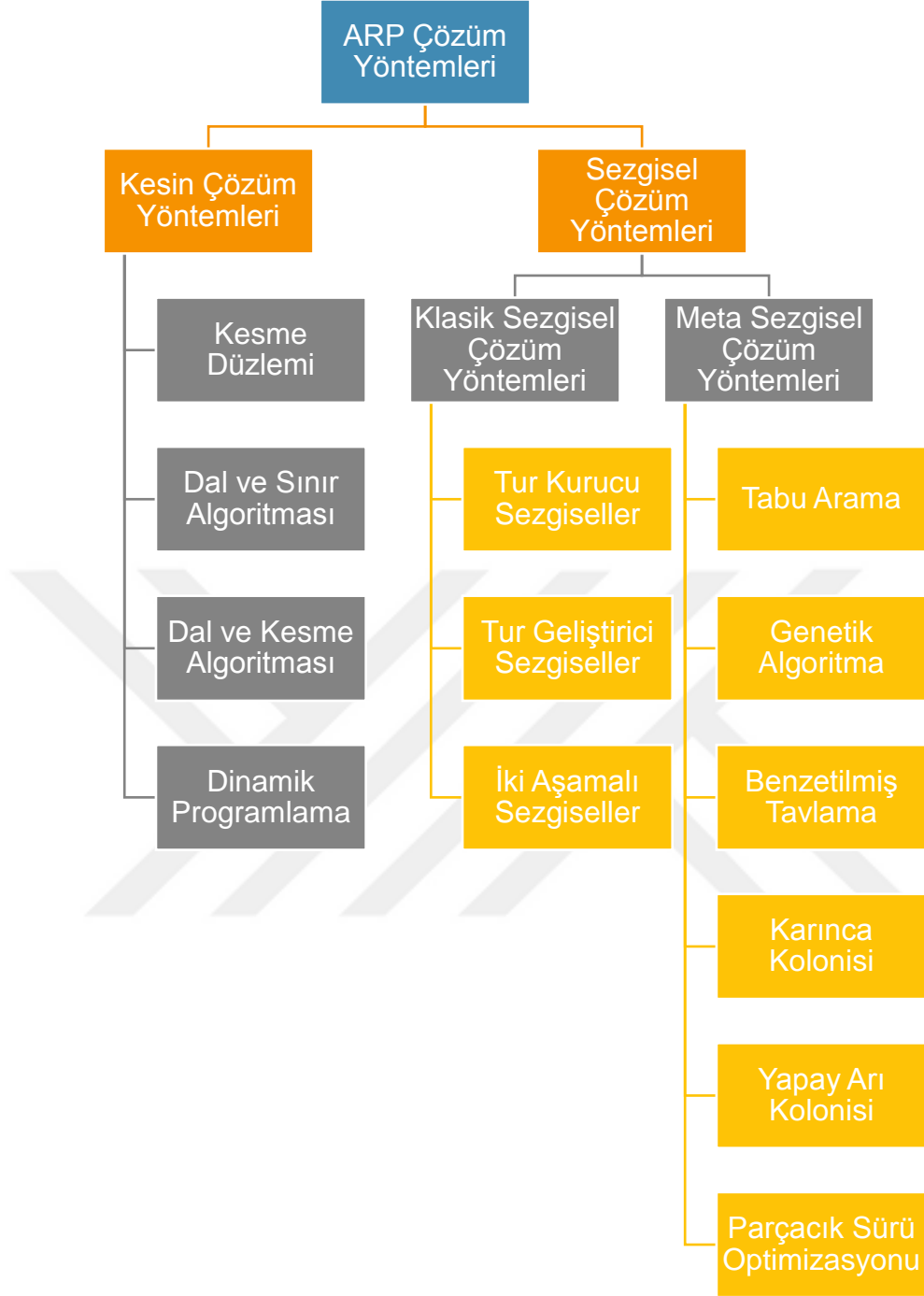
sıklıkla kullanılmaktadır. Problemden araç kapasiteleri hesaplanırken ideler de göz önünde bulundurulmalıdır [112].

9.3.7. Periyodik ARP (PARP)

PARP daha çok rekabetçi ortamlarda müşterilere diğer tedarikçilerden daha önce ulaşarak satışların artırmasını amaçlayan sistemler için kullanılır. Aksi durumda diğer tedarikçiler müşterilere daha hızlı ulaşacağı için satışlarda kayıp olması söz konusudur. Dolayısı ile rotalar oluşturulurken diğer rakiplerin stratejileri de göz önüne alınmalıdır. PARP daha çok kısa raf ömrü olan ürünlerin dağıtım problemlerinde kullanılmaktadır. Taşınan ürün hassas olduğu için toplam taşıma zamanı da göz önünde bulundurulmaktadır. Problemin amacı toplam mesafeyi minimize etmek ve satış miktarını maksimize etmektir [85].

9.4. ARP Problemlerinin Çözüm Yöntemleri

ARP problemlerini etkin bir şekilde çözmek amacıyla literatürde birçok yöntem geliştirilmiştir. Temel olarak bu yöntemler kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel yöntemler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Sezgisel yöntemler ise klasik sezgiseller ve meta sezgiseller olarak iki gruba ayrılmaktadır. Kesin çözüm yöntemleri sonucunda optimal çözüm garanti edilmekle birlikte sezgisel yöntemlerle optimum veya optimuma yakın çözümler elde edilebilir. Araç rotalama problemlerinin sınıflandırması Şekil 15'de verilmiştir [112].



Şekil 15. Araç Rotalama Problemlerinin Sınıflandırması

9.4.1. Kesin Çözüm Yöntemleri

Gezgin Satıcı Probleminin çözümü için kullanılan yöntemler daha da geliştirilerek ARP problemlerine uygulanmıştır [37]. Bu yöntemler en iyi çözümü garanti etmekle birlikte problemin boyutuna bağlı olarak çözüm süresi üstel olarak artmaktadır. Dolayısı ile genellikle küçük ve orta boyutlu problemler kesin olarak çözülebilirken daha büyük boyutlu problemler için başka yöntemler kullanılmaktadır [102].

9.4.1.1. Kesme Düzlemi

Algoritmanın temel mantığı doğrusal programlama ile oluşturulmuş olan çözüm bölgesinden belirli parçaların kesilmesi ile tam sayılı optimal çözüme Simplex Algoritmasını kullanarak ulaşmaktır [91]. Amaç tam sayılı bir çözüm bulmak olduğu için bu şartı sağlamak için probleme kısıtlar eklenir. Tam sayılı çözüme ulaşınca kadar kısıt ekleme işlemine devam edilir [112].

9.4.1.2. Dal ve Sınır Algoritması

Bu yöntemde gezgin satıcı probleminde yer alan alt tur engelleme kısıtları yok sayılarak atama problemleri haline dönüştürülür ve Macar Yöntemi ile çözüme başlanır. Satırlar ve sütunlar eklenerek rotalar oluşturulur. Eğer alt tur oluşursa gerekli kısıt eklenerek alt tur engellenir. Eğer istenmeyen rotalar varsa bu rotalara yüksek maliyetler eklenerek problem tekrar çözülür ve tüm dallar için aday çözümler belirlenir. Bütün dallar için bu iterasyonlar yapılır ve en iyi çözüm seçilir [8].

9.4.1.3. Dal ve Kesme Algoritması

Dal-sınır ve kesme düzlemi yöntemleri birleştirilerek Dal ve Kesme Algoritması oluşturulmuştur (Araque ve diğerleri, 1994). İlk olarak ARP problemi doğrusal programlama yöntemi kullanılarak çözülür. Çözümde oluşması muhtemel olan alt turlar sıfıra eşitlenerek problem dallara ayrılır. Her bir dal için araç sayısı ve alt tur engelleme kısıtları eklenerek en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılır [10].

9.4.1.4. Dinamik Programlama

Bu yöntemde problem birbirinden bağımsız alt problemlere ayrılır ve her bir alt problem için elde edilen çözüm saklanır. Daha sonra ihtiyaç duyulduğu zaman bu çözümler kullanılarak en iyi çözüme ulaşılır [22].

9.5. Klasik Sezgisel Çözüm Yöntemleri

ARP probleminin en iyi çözümü üretilecek olası rota kombinasyonlarından birisidir. Eğer mümkün olan bütün ihtimaller denenebilirse en iyi çözüm deneme yanılma

yöntemi ile bulunabilir. Ancak büyük boyutlu problemlerde bütün kombinasyonların oluşturulması ve en iyi çözümün bulunması pratik değildir. Çoğu problem için bu mümkün de değildir. Bu nedenle gerçek hayatta kabul edilebilir hızlı çözümlere ulaşabilmek amacı ile sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Klasik sezgisel yöntemler temel olarak tur kurucu, tur geliştirici ve iki aşamalı sezgiseller olarak üç grupta incelenmektedir [28; 18].

9.6. Meta Sezgisel Çözüm Yöntemleri

Klasik sezgisellere alternatif olarak meta sezgiseller son yıllarda büyük gelişim göstermişlerdir. Klasik sezgisellere göre çözüm uzayının daha verimli bir şekilde taranarak daha iyi sonuçların elde edilmesine olanak sağlar. Özellikle büyük boyutlu ve karmaşık problemler kesin çözüm yöntemleri ile çözülemezken, bu problemler için meta sezgisel yöntemlerle kabul edilebilir zaman dilimlerinde en iyi çözüme yakın makul çözümler elde edilebilmektedir. Bu yöntemlerin birçoğu doğadan esinlenerek geliştirilmiştir [105].

9.7. ARP Uygulama Alanları

Araç rotalama problemleri literatürde birçok alanda uygulanmıştır. En çok kullanılan alanlar aşağıda listelenmiştir [87; 43; 61]:

- Atık toplama,
- Ürün Dağıtımı (Bir veya daha fazla depodan)
- Dağıtım ve toplama,
- Servis araç güzergâhlarının belirlenmesi,
- Uçak rotalarının belirlenmesi,
- İnternet üzerinden satın alınan ürünlerin teslimatı,
- Gazete, ekmek, içecek, kargo vb. dağıtımı,
- Devriye araç rotalarının oluşturulması,
- Depodan malzeme toplama problemleri
- Engelli insanların taşınması,
- Malzeme akış sistemleri

10. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNDE GELECEĞE BAKIŞ

Yapılan araştırmalara göre gelecekte akıllı ulaşım sistemleri ile ilgili gelişmeler artarak devam edecektir. Yakın gelecekte, akıllı ulaşımının altında yatan temel fikirler, araç trafiğinin ötesine uzanacak ve kargo hava taşımacılığı, yolcu hava taşımacılığı, deniz yolu taşımacılığı ve kişiselleştirilmiş hızlı transit sistemleri de dahil olmak üzere diğer ulaştırma modlarına kadar uzanacak. Akıllı ulaşım sistemlerine olan ihtiyaç aşağıdaki üç nedenden dolayı daha belirgin şekilde ortaya çıkacaktır [50]:

- Artan ulaşım hızları,
- Ulaştırma sistemlerini kullanan kişi sayısındaki önemli artış ve
- Kesin ve zamanında bilgi için meydan gelecek talep artışı.

Bilimsel ve mühendislik perspektifinden hareketle akıllı ulaşımındaki gelişmeler teorik ve teknolojik yeniliklerde gerçekleşecek. Bununla birlikte, sıradan yolcunun bakış açısına göre, asıl ilerleme ve doğrudan yarar, farklı ulaşım türlerinin kesintisiz ve doğal entegrasyonunun sağlanması ile mümkün olacaktır. Gerçekleştirilecek bu entegrasyonun sonucu olarak, ulaştırma sistemi kullanıcıları [42]:

- Dünyanın herhangi bir bölgesinden, sistemin herhangi bir yerinden herhangi bir ulaşım moduna ilişkin doğru durum bilgisine erişim kazanacak,
- Dinamik olarak herhangi bir ulaşım modunda seyahat halindeyken bile başka ulaşım modlarına rezervasyon yapabilecek.

Bahse konu dağıtık mimariye sahip sistemlerinin tasarlanması için bilginin kesinliği, doğruluğu ve zamanlaması çok önemlidir. Akıllı kişiselleştirilmiş karar destek olanaklarından faydalanan AUS kullanıcısı, en verimli rotayı hesaplamak için mevcut bilgileri işleyebilir ve hava, demiryolu, kara ve deniz yolları dahil olmak üzere tüm farklı ulaşım modlarını kullanarak rotasını güncelleyebilir. Yeniden planlamanın en sık karşılaşılan nedenleri, halihazırda rezerve edilmiş bir ulaşım

sistemindeki yolcunun niyetindeki ve ihtiyaçlarındaki değişiklikleri ve planlanmamış gecikmeleri içerir [15].

Enformasyon teknolojileri karmaşık ve pahalıdır. Bu nedenle yapılan yatırımların boyutu nedeni ile makul bir süre boyunca hizmette kalmaları beklenmektedir. Bu açıdan sağlam ve kapsamlı bir anlayış geliştirmek kesinlikle şarttır. Bu sistemler zaman içinde ortaya çıkan ihtiyaçları karşılamak için geliştirmeye açık olmalıdır. Bunun yanı sıra verimlilik ve ekonomiklik için, sistem mimarisinin ve tasarım değişimlerinin kesin detayları, bugün mevcut en pratik bilimsel araç olan davranış modellemesi ve asenkron dağıtılmış simülasyon yöntemleri kullanılarak ayrıntılı bir şekilde çalışılmalıdır. Bir sistemin yüzlerce simülasyon çalışması gerektirebileceği göz önüne alındığında, davranış modellemesi ve asenkron dağıtılmış simülasyon, bu tür karmaşık sistemlerin davranışları hakkında fikir verebilir. Böylece, gelecekteki bilgi sistemlerinin geliştirilmesine yönelik vazgeçilmez bir araç oluşturmaktadır. Örnek olarak, belirli bir coğrafi bölgede bulunan çok sayıda trafik yönetimi merkezinin birbirine bağlanmasını ele alalım. Bir davranış modellemesi ve simülasyon çalışması uzun vadeli ve stratejik hedefler kümesi için kurulacak sistemin sahip olması gereken ara bağlantı topolojisine ve merkezler arasındaki bilgi alışverişinin doğasına ilişkin anlamlı ve değerli bilgiler sağlayabilir. Bu seviyede sistemleri kurmak için milyonlarca lira yatırım yaptıktan sonra sistemin yetersizliğinin ortaya çıkması ciddi anlamda kaynak israfına yol açacaktır [1].

10.1. Gelecekte Potansiyel Çalışma Alanları

Bilgi teknolojileri projelerinin bir kısmı fikirleri ve bu alanın belirli yönlerini araştırmak için kullanılan laboratuvar prototiplerinden oluşmaktadır. Amaç, yüksek ekonomik kaynaklar ve farklı araştırma alanlarını kapsayan çok çeşitli teknolojiler gerektiren karmaşık özerk sistemlerin geliştirilmesidir. Gelecekte umut vadeden çalışma alanları müteakip bölümlerde açıklanacaktır.

10.1.1. Simülasyon ve Modelleme

Simülasyon ve modellemedir önemli bir araştırma alanıdır. Bu araçlar sayesinde, bir bilgi sistemi mimari önerisi değerlendirilebilir, ölçülebilir ve analiz edebiliriz [24]. Matematiksel modellerle, gerçek hayattaki durumları modellenerek yalnızca

gerçek sistemler aracılığıyla elde edilebilecek bir analiz yapma olanağı sağlanabilir. Bu nedenle, simülasyon ve modelleme sayesinde tasarımları gerçekten uygulamaya gerek kalmadan geliştirme, değerlendirme ve değiştirme yeteneğine sahip olabiliriz. Bilgi sistemleri bağlamında, simülasyon modellerinin dağıtım için amaçlanan ürün ve hizmetlerin birçoğunun nispeten yeni olması ve olası etkilerin detaylı bir şekilde anlaşılması gerektiğinden, simülasyon modellerinin çok çekici olabileceği söylenebilir. Son yıllarda, daha önce tartışılan bilgi sistemlerinin hemen hemen tüm alanlarında analizi desteklemek için simülasyon modelleri geliştirilmiştir. Aşağıda simülasyon sistemlerinin uygulanmasına yönelik örnekler sunulmuştur [78; 50].

10.1.1.1. Gezgin Bilgisi

Gezgin bilgisinin simülasyonu, insan davranışlarının modellenmesini, yani farklı alternatifler arasındaki seçimi temsil eden bilgilere tepki verilmesini gerektirir. Çoğu durumda, davranış, her alternatifle ilişkili maliyeti belirleyen bir maliyet fonksiyonu ile temsil edilir. Bu maliyet fonksiyonu genellikle bir anket çalışmasına dayanarak geliştirilir [9].

10.1.1.2. Trafik Yönetimi

Hem araçları hem de yol ağlarını temsil eden bir simülasyon modeliyle, ağın değiştirilmesinin, araçların ve sürücü davranışının etkilerini analiz etmek mümkündür. Bu sistemlerde, karayolu ağı tipik olarak bir dizi düğüm ve bağlantı olarak temsil edilir. Bir link, toplam genişlik ve uzunluk sayısı gibi temel özelliklere sahip bir yolun uzunluğunu temsil eder ve bir düğüm iki veya daha fazla bağlantının birleştirilmesi ile meydana gelir. Araçlar türlerine göre, özel arabalar, otobüsler ve kamyonlar olarak sınıflandırılır. Her tip, ivmelenmesi, maksimum hızı ve gereken yol boşluğu ile karakterize edilir [42].

Simülasyon ve modelleme ile ilgili en önemli gelişmelerden biri, gerçek ilişkilerin ve nesnelerin sayısal olarak ifade edilen parametrelere çevrilmesidir. Bu, birçok yanlışlığın ve hatanın ortaya çıktığı noktadır. Bu nedenle, dinamik modeller ve parametre tanımlama konusunda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

10.1.1.3. Sürücü Direksiyon Davranışı

Bir diğer önemli husus, sürücü direksiyon davranışının modellenmesi ve simülasyonudur. Yeni teknolojik cihazları içeren araçların geliştirilmesi nedeniyle, araç ve sürücü arasındaki etkileşimle ilgili elde edilecek bilgi yeni araçların tasarımı için büyük yarar sağlar [42].

10.1.2. Tam Otomatik Sistemler

Yüksek veya tam otomasyon, sürücünün iş yükünü azaltarak, sürüş açısından sürücünün dikkatinin dağılması veya dikkatinin azalması nedeniyle insan hatalarını ve olayları en aza indirerek trafik güvenliğinin artırılmasına katkıda bulunacaktır. Bir diğer önemli etki, sürüş stillerini optimize ederek, hız değişikliklerini en aza indirerek ve durma durumlarını önleyerek, özellikle kentsel alanlarda ve otoyollarda tıkanıklığı azaltmak olacaktır. Bu, sürülen kilometre başına araç emisyonlarını ve yakıt tüketimini azaltacak ve bu nedenle çevre üzerinde olumlu bir etkiye sahip olacaktır [86].

Kamuya açık otoyollarda yüksek veya tamamen otomatik sürüş, zorlu yasal sorunların çözülmesinden sonraki on ila on beş yıl içinde kabul edilebilir hale gelebilir. Kentsel alanlarda otomatik sürüşün karmaşıklığı özellikle zordur ve otomobilleri son derece güvenli hale getirmek için ek teknolojik gelişme gerektirir [19].

11. SONUÇ

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) ulaştırma konusunda en önemli sorunlardan biri olan trafik güvenliğine bir çözüm olarak gelişmiş ülkeler tarafından kullanılmaya başlanmış ve konu ile ilgili olarak bütün dünyada çok yoğun olarak çalışmalar yürütülmeye başlanmıştır. Günümüzde AUS alanında A.B.D., Fransa, Britanya, Almanya, Güney Kore, Avustralya, Japonya, İsveç, Kanada, Hollanda ve Singapur gibi ülkelerin öncü olduğunu, Çin, Brezilya, Tayland ve Tayvan'da ise konu ile ilgili olarak önemli gelişmelerin olduğu görülmektedir.

AUS araçlar arasında, araçlar ile ana kontrol merkezi arasında, araçlar ile altyapı arasında emniyet, güvenlik, durum vb. her türlü veriyi paylaşmak amacı ile kurulmuş entegre bir haberleşme sistemidir. AUS bir taraftan çevreye verilen zararları minimize etmeye çalışırken diğer taraftan da yolcuların, araç kullanıcılarının, işletmecilerin ve hükümetlerin yarar fonksiyonlarını da maksimize etmeye çalışır. Dolayısı ile sistemin bütün paydaşlarının ortak olarak fayda sağladığı bir sistemin kurulması amaçlanır. AUS'un amaçları aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir:

- insan-araç-altyapı-merkez arasında çok yönlü veri alışverişi,
- trafiğin güvenliliği,
- yolların kapasitelerine uygun olarak kullanımı,
- mobilitenin artırılması,
- enerji verimliliği sağlanarak çevreye verilen zararın azaltılması

AUS uygulamaları disiplinler arası bir çalışma sonucunda geliştirilir. Ancak sistemlerin tasarlanması, işletilmesi ve geliştirilmesinde Endüstri Mühendisliği açısından önemli fırsatlar bulunmaktadır. Özellikle servislerin optimizasyonunda ve sistemlerin tasarım aşamasından başlanarak simüle edilmesi ve doğruluklarının kontrol edilmesinde önemli katkılar sunulabilir. Bu çalışmada AUS konusu Endüstri Mühendisliği bakış açısı ile değerlendirilmiş ve yapılan çalışmalar ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar ile ilgili bilgi verilmiştir.

Bu çalışmada akıllı ulaşım sistemleri sistematik derleme metodolojisi kullanılarak endüstri mühendisliği açısından değerlendirilmiştir. Planlama aşamasında AUS ile ilgili olarak yapılan çalışmaların incelenerek endüstri mühendisliği açısından değerlendirilmiştir. Bu kapsamda:

- AUS sistemleri tanımlanarak AUS kapsamında sunulan hizmet paketleri ve kullanıcı servisleri açıklanmıştır.
- AUS sistemlerinin geliştirilmesi ile ilgili olarak ülkemizdeki ve dünyada ki tarihsel süreç anlatılmıştır.
- AUS sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılan endüstri mühendisliği araçları ve bu araçlar ne sıklıkla ve hangi amaçlarla kullanıldığı anlatılmıştır.
- AUS tasarımında modelleme ve simülasyon araçlarının kullanım amaçları, geliştirilen uygulamalar ve bu uygulamaların kapsamı açıklanmıştır.
- AUS tasarımında optimizasyon uygulamaları, bu uygulamaların kullanım alanları anlatılarak bu uygulamaların gelecekte hangi amaçlarla kullanılabileceği açıklanmıştır.
- Araç rotalama problemleri ile AUS sistemleri arasında ki ilişki açıklanmış ve konu ile ilgili yapılan çalışmalar nasıl sınıflandırılarak kullanılan çözüm yöntemleri açıklanmıştır.

Araştırma soruları tanımlandıktan sonra bir inceleme prosedürü geliştirilmiştir. Bu prosedüre göre öncelikli olarak her bir araştırma sorusu ile ilgili olarak hızlı bir literatür taraması yapılarak bulunan çalışmalar hızlı bir şekilde gözden geçirilmiş ve gerekli ve önemli olan çalışmalar seçilecek diğer çalışmalar ise elenmiştir. Daha sonra seçilen çalışmalar daha detaylı olarak incelenerek araştırma sorularına cevap verecek şekilde çalışmalar sınıflandırılmış ve mantıksal bir sıra dahilinde raporlama işlemine geçilmiştir.

Çalışmada ilk olarak akıllı ulaşım sistemleri konusunun seçilmesindeki motivasyon ve konunun Endüstri Mühendisliği açısından önemi açıklanmış ve araştırma için kullanılan metodoloji, araştırmanın amaçları ve araştırma soruları verilmiştir.

Yapılan çalışmanın literatüre olan katkısı anlatılmıştır. Ayrıca akıllı ulaşım sistemleri ile ilgili tanımlar, hizmet paketleri ve kullanıcı servisleri ile ilgili bilgi verilmiş ve AUS sistemlerinin tarihsel gelişimi dönemler halinde açıklanmıştır. Bunlara ek olarak akıllı ulaşım sistemleri tasarımında modelleme ve simülasyon tekniklerinin kullanımı ile ilgili araştırma sonuçları verilmiş ve akıllı ulaşım sistemleri tasarımında optimizasyon yaklaşımı ile ilgili yapılan çalışmalar ile ilgili bilgi verilmiştir. Ayrıca akıllı ulaşım sistemlerinin tasarımında önemli bir yeri olan araç rotalama problemi ile ilgili literatür taraması sonuçları verilmiş ve problemin tanımı, sınıflandırması, zm yöntemleri ve kullanım alanları ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Son olarak akıllı ulaşım sistemlerinin gelecekteki durumu incelenmiş ve potansiyel endüstri mühendisliği açısından potansiyel çalışma alanları özetlenmiştir. Son olarak sonuç bölümünde yapılan çalışma özetlenmiştir.

KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] Abdel-rahim, A. (2012). *Intelligent Transportation Systems*. Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia: InTech.
- [2] Adams, W. F. (1937). *Road traffic considered as a random series*. Institution of Civil Engineers.
- [3] Agatz, N., Erera, A., Savelsbergh, M., & Wang, X. (2012). Optimization for dynamic ride-sharing: A review. *European Journal of Operational Research*, 223, 295–303.
- [4] Akbaş, A., & Akdoğan, E. (2001). İstanbul Kent İçi Trafik Kontrol Sistemi Üzerine Bir Durum Değerlendirmesi. *TMMOB Makine Mühendisleri Odası İstanbul'da Kent İçi Ulaşım Sempozyumu*, 28–30.
- [5] Araque, J.R., Kudva, G., Morin, T.L., Pekny, J. F. (1994). A branch-and-cut algorithm for vehicle routing problems. *Annals of Operations Research*, 50, 37–59.
- [6] Ardekani, S., Hauer, E., & Jamei, B. (1992). Chapter 7 in Traffic Flow Theory. In *Traffic impact models*. Oak Bridge National Laboratory Report.
- [7] Auer, A., Feese, S., & Lockwood, S. (2016). History of Intelligent Transportation Systems. In *U.S. Department of Transportation Intelligent Transportation Systems Joint Program Office*.
- [8] Balas, E., Toth, P. (1983). *Branch and bound methods for the traveling salesman problem*.
- [9] Barceló J., Casas J., Ferrer J.L., G. D. (1999). Modelling Advanced Transport Telematic Applications with Microscopic Simulators: The Case of AIMSUN2. In *TSS - Transport Simulation Systems*.
- [10] Başkaya Z., Avcı Öztürk, B. (2005). Tamsayılı programlamada dal kesme yöntemi ve bir ekmek fabrikasında oluşturulan araç rotalama problemine uygulanması. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, XXIV(1), 101–114.
- [11] Baumeister, R. F. (2013). Writing a literature review. In M. J. Prinstein & M. D. Patterson (Eds.),. In *The portable mentor: Expert guide to a successful career in psychology* (2nd ed., pp. 119–132). New York: Springer Science+ Business Media.

- [12] Baumeister, R. F., & Leary, M. R. (1997). Writing narrative literature reviews. *Review of General Psychology*, 3, 311–320.
- [13] Bem, D. J. (1995). Writing a review article for Psychological Bulletin. *Psychological Bulletin*, 118, 172–177.
- [14] Bloomberg, L., & Dale, J. (2000). Comparison of VISSIM and CORSIM traffic simulation models on a congested network. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1727(-1), 52–60.
- [15] Blythe, P. (1998). *Intelligent Infrastructures Futures Foresight Study*.
- [16] Bose, A., & Ioannou, P. (2000). *Shock Waves in Mixed Traffic Flow*.
- [17] Boxill, S. A., & Yu, L. (2000). *An evaluation of traffic simulation models for supporting ITS development: Center for Transportation Training and Research, Texas Southern University*.
- [18] Bozyer, Z., Alkan, A., Fiğlalı, A. (2014). Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Çözümü için Önce Grupla Sonra Rotala Merkezli Sezgisel Algoritma Önerisi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 7(2).
- [19] Broggi, A., Bertozzi, M., Fascioli, A., & Conte, G. (1999). *Automatic Vehicle Guidance: the experience of the ARGO Autonomous Vehicle*. Singapore: World Scientific Co. Publisher.
- [20] Butakov, V., & Ioannou, P. (2015). Driving Autopilot with Personalization Feature for Improved Safety and Comfort. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 387–393.
- [21] Carley, W. A. (1998). Railroads test satellite positioning in effort to improve safety, efficiency. *The Wall Street Journal Interactive Edition*.
- [22] Chauhan, C., Gupta, R., Pathak, K. (2012). Survey of Methods of Solving TSP along with its Implementation using Dynamic Programming Approach. *International Journal of Computer Applications (0975–8887)*, 52(4).
- [23] Christofides, N. ., Mingozzi, A. ., & Toth, P. (1979). *The Vehicle Routing Problem*. Chichester: Wiley.
- [24] Clark, J., & Daigle, G. (1997). The Importance of Simulation Techniques in ITS Research and Analysis. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*.

- [25] Cobo, M. J., Chiclana, F., Collop, A., Ona, J. De, & Herrera-Viedma, E. (2014). A bibliometric analysis of the intelligent transportation systems research based on science mapping. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 15(2), 901–908.
- [26] Comtois, C., Slack, B., & Rodrigue, J.-P. (2013). *The geography of transport systems* (3rd ed.). London: Routledge, Taylor & Francis Group.
- [27] Cooper, H. M. (2003). Editorial. *Psychological Bulletin*, 129, 3–9.
- [28] Cordeau, J.F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.Y., Semet, F. (2002). A Guide to Vehicle Routing Heuristics. *The Journal of the Operational Research Society*, 53(5), 512–522.
- [29] Cung, V. D. (2011). *Industrial Engineering at the service of Intelligent Transportation System (ITS) for Sustainable Development*. Retrieved from <http://genie-industriel.grenoble-inp.fr/fr/20-ans/industrial-engineering-at-the-service-of-intelligent-transportation-system-its-for-sustainable-development>
- [30] Dantzig, George Bernard; Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6 (1), 80–91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>
- [31] Deakin, E. A., Skabardonis, A., & May, A. D. (1986). *Traffic Signal Timing as a Transportation System Management Measure: The California Experience*. Retrieved from <https://trid.trb.org/view.aspx?id=288542>
- [32] Diakaki, C., Papageorgiou, M., Dinopoulou, V., Papamichail, I., & Malandraki, G. (2015). State-of-the-art and -practice review of public transport priority strategies. *IET Intel. Transport Syst.*, 9, 391–406.
- [33] Dopart, K. (2012). *About Automation*. Retrieved from https://www.its.dot.gov/research_areas/automation.htm
- [34] Dopart, K. (2014). *Connected Vehicle Safety Pilot*. Retrieved from https://www.its.dot.gov/research_archives/safety/cv_safetypilot_progress.htm
- [35] Dowling, R. (2007). *Traffic Analysis Toolbox Volume VI: Definition, Interpretation, and Calculation of Traffic Analysis Tools Measures of Effectiveness*.
- [36] Duhamel, C., Potvin, J.-Y., & Rousseau, J. M. (1997). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with backhauls and time windows. *Transportation Science*, 31(1), 49–59.

- [37] Düzakın, E., Demircioğlu, M. (2009). Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri. *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*, 13(1), 68–87.
- [38] E-ZPass Group. (2019). E-ZPass. Retrieved from <https://e-zpassiag.com/index.php>
- [39] Federal Highway Administration. (2019). 511: America's Traveler Information Telephone Number. Retrieved from <https://www.fhwa.dot.gov/trafficinfo/511what.htm>
- [40] Fellendorf, M., & Vortisch, P. (2001). *Validation of the microscopic traffic flow model VISSIM in different real-world situations*.
- [41] Feteiha, M. F., & Hassanein, H. S. (2015). Enabling cooperative relaying vanet clouds over LTE-A networks. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 64(4), 1468–1479.
- [42] Figueiredo, L., Jesus, I., Tenreiro Machado, J. A., Rui Ferreira, J., & Martins De Carvalho, J. L. (2001). Towards the development of intelligent transportation systems. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, (81), 1206–1211.
- [43] Flood, M. (1955). The Travelling-Salesman Problem. *J.Opns.Res.Soc.*, 4(61–75).
- [44] French, R. L. (1986). Historical overview of automobile navigation technolog. *36th IEEE Vehicular Technology Conference*. IEEE.
- [45] French, R. L., & Lang, G. M. (1973). Automatic Route Control System. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 22(2), 36–41. <https://doi.org/10.1109/T-VT.1973.23525>
- [46] Gage, D. W. (1995). Special Issue on Unmanned Ground Vehicles. *Unmanned Systems Magazine*, 13(3). Retrieved from <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a422845.pdf>
- [47] Gallo, M., D'Acierno, L., & Montella, B. (2014). Global Optimisation of Signal Settings: Meta-Heuristic Algorithms for Solving Real-Scale Problems. In *Computer-based Modelling and Optimization in Transportation*. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London.
- [48] Gardes, Y. (2006). *Evaluating Traffic Calming and Capacity Improvements on SR-20 Corridor Using Microscopic Simulation*.
- [49] Gartner, N., Messer, C. J., & Rathi, A. K. (2001). *Traffic flow theory: A state-of-the-art report*. . Washington DC.

- [50] Ghosh, S., & Lee, T. S. (2010). *Intelligent Transportation Systems Smart and Green Infrastructure Design*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- [51] Gomes, G., May, A., & Horowitz, R. (2004). Congested freeway microsimulation model using VISSIM. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1876(-1), 71–81.
- [52] Gomes, R., Sousa, J. P. de, & Galvão, T. (2014). An Integrated Approach for the Design of Demand Responsive Transportation Services. In *Computer-based Modelling and Optimization in Transportation*. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London.
- [53] Greenshields, B. (1935). *A study in highway capacity*.
- [54] Hall, F. L. (1996). *Traffic stream characteristics: Traffic Flow Theory*.
- [55] Hartman, K. K. (2015). *Connected Vehicle Pilot Deployment Program*. Retrieved from <https://www.its.dot.gov/pilots/>
- [56] Hasle, G., & Lie, K.-A. (2007). Geometric Modelling, Numerical Simulation, and Optimization. In E. Quak (Ed.), *Applied Mathematics at SINTEF*. Berlin: Springer Verlag.
- [57] Institute for Transport Studies at the University of Leeds. (1999). Simulation Modelling Applied to Road Transport European Scheme Tests. Retrieved from <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/smarest/>
- [58] International Council on Clean Transportation. (2012). *Global transportation energy and climate roadmap: The impact of transportation policies and their potential to reduce oil consumption and greenhouse gas emissions*. Retrieved from www.theicct.org
- [59] International Energy Agency, & International Energy Agency. (2014). *Key World Energy Statistics 2013*. Retrieved from <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf>
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf>
- [60] Iowa University. (2016). Survey shows big gaps in knowledge. Retrieved August 6, 2019, from <http://www.sltrib.com/home/2929434-155/survey-shows-big-gaps-in-knowledge>
- [61] Irnich, S. (2008). Solution of real-world postman problems. *European Journal of Operational Research*, 190(1), 52–67.

- [62] Iteris, I. and U. S. D. (2019). *Key Concepts of the National ITS Architecture: The National ITS Architecture Version 8.3*. Retrieved from <https://local.iteris.com/arc-it/>
- [63] Jacob, C., & Abdulhai, B. (2006). Automated adaptive traffic corridor control using reinforcement learning: approach and case studies. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1959(-1), 1–8.
- [64] Karaoğlan İ., Altıparmak, F., Dengiz, B., Kara, İ., (2008). Eş zamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi için yeni matematiksel formülasyonlar. *YA/EM 2008-Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXVIII Ulusal Kongresi*, 130. İstanbul: Galatasaray Üniversitesi.
- [65] Katanal, B. Y., Yıldırım, Z. B., Eren, E., & Uz, V. E. (2018). Akıllı Ulaşım Sistemleri Üzerine Bir değerlendirme. *2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*.
- [66] Khali Persad, Walton, C. M., & Hussain, S. (2007). *Toll Collection Technology and Best Practices: Vehicle / License Plate Identification for Toll Collection Applications*. Retrieved from http://ctr.utexas.edu/wp-content/uploads/pubs/0_5217_P1.pdf
- [67] Koppa, R. J. (1999). *Human factors. Traffic Flow Theory, a state of the art report. Revised Monograph on Traffic Flow Theory* (N. Gartner, C. Messer, & A. Rathi., Eds.).
- [68] Kuhne, R., & Michalopoulos, P. (1997). *Continuum flow models. Traffic flow theory: A state of the art report revised monograph on traffic flow theory*.
- [69] Kumar, S. N., & Panneerselvam, R. (2012). A Survey on the Vehicle Routing Problem and Its Variants. *Intelligent Information Management*, 4, 66–74.
- [70] Langevin, A., & Soumis, F. (1989). Design of multiple-vehicle delivery tours satisfying timeconstraints. *Transportation Research Part B*, 23(2), 123–138.
- [71] Lia, J., Pardalos, P. M., Sun, H., Pei, J., & Zhang, Y. (2015). Iterated local search embedded adaptive neighborhood selection approach for the multi-depot vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups. *Expert Systems with Applications*, 42, 3551–3561.

- [72] Lieberman, E., & Rathi, A. (1996). Traffic Simulation. In *Traffic Flow Theory*. Washington, DC: US Federal Highway Administration, 10-11.
- [73] Lin, S. (1998). *CORSIM micro-node logic: Technical Report*. McLean, VA.
- [74] Maia, L. C., & Couto, A. F. do. (2014). A Rail Network Optimization Model Designed for Freight Traffic. In *Computer-based Modelling and Optimization in Transportation*. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London.
- [75] Maimaris, A., & Papageorgiou, G. (2017). A Review of Intelligent Transportation Systems from a Communications Technology Perspective. *IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, (November 2016). <https://doi.org/10.1109/ITSC.2016.7795531>
- [76] May, A. D. (1990). *Traffic flow fundamentals: Prentice Hall*.
- [77] McNabb, M. E., Weir, D. J., Hill, R. R., & Hall, S. N. (2015). Testing local search move operators on the vehicle routing problem with split deliveries and time windows. *Computers & Operations Research*, 56, 93–109.
- [78] McQueen, B., & McQueen, J. (1999). *Intelligent Transportation Systems Architectures*.
- [79] Mortensen, S. (2019). *Integrated Corridor Management*. Retrieved from https://www.its.dot.gov/research_archives/icms/index.htm
- [80] Nagel, K. (1996). Particle hopping models and traffic flow theory. *Physical Review E*, 53(5), 4655.
- [81] Nagel, K., & Schreckenberg, M. (1992). A cellular automaton model for freeway traffic. *Journal de Physique I*, 2(12), 2221–2229.
- [82] Naiem, A., Reda, M., El-Beltagy, M., & El-Khodary, I. (2010). *An agent based approach for modeling traffic flow*.
- [83] NHTSA. (2019a). *The Evolution of Automated Safety Technologies*. Retrieved from <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>
- [84] NHTSA. (2019b). *The Road to Full Automation*. Retrieved from <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>
- [85] Norouzi, N., Sadegh-Amalnick, M., & Alinaghiyan, M. (2015). Evaluating of the particle swarm optimization in a periodic vehicle routing

- problem. *Measurement*, 62, 162–169.
- [86] Oonk, M., & Svensson, J. (2012). *Automation in Road Transport*.
- [87] Orhan, B., Kapanoğlu, Muzaffer. ve Karakoç, T. H. (2010). *Havayolu Operasyonlarında Planlama ve Çizelgeleme*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- [88] Oropeza, A., Cruz-Chávez, M., Martín, H. C.-R., & Bernal, J. . C. A. (2012). Unsupervised Clustering Method for the Capacited Vehicle Routing Problem. *Ninth Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference*,. Mexico.
- [89] Ozbay, K., Bartın, B. O., Mudigonda, S., & Board, T. R. (2006). *Microscopic Simulation and Calibration of Integrated Freeway and Toll Plaza Model*.
- [90] Öztürk, N., & Küçükoğlu, İ. (2013). A differential evolution approach for the vehicle routing problem with backhauls and time windows. *Journal of Advanced Transportation Published Online in Wiley Online Library*. <https://doi.org/10.1002/atr.1237>
- [91] Pan, L. (2015). *Cutting Plane Method*. The Chinese University of Hong Kong.
- [92] Papageorgiou, G. (2006). *Towards a microscopic simulation model for traffic management: a computer based approach*.
- [93] Papageorgiou, G., Damianou, P., Pitsillides, A., Aphames, T., & Ioannou, P. (2006). *A Microscopic Traffic Simulation Model for Transportation Planning in Cyprus*.
- [94] Papageorgiou, G., Maimaris, A., Ioannou, P., Pitsillides, A., & Afamis, T. (2010). *Introduction of Bus Rapid Transit in Cyprus: Evaluation of Bus Priority Scenarios*. Transportation Research Board 89th Annual Meeting.
- [95] Park, B., Won, J., & Yun, I. (2006). Application of microscopic simulation model Calibration and validation procedure: Case study of coordinated actuated signal system. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1978(-1), 113–122.
- [96] Peterson, M. P. (2014). *Mapping in the Cloud*. Retrieved from https://books.google.com.tr/books?id=mNcfAwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=isbn:1462510418&hl=en&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

- [97] Peyrebrune, H., Cerreño, A. L. C. de, & Wagner, R. F. (2002). *The Context for Intelligent Transportation Systems in New York State: Opportunities, Constraints, and the Need for Greater Institutional Coordination*. Retrieved from <https://nyassembly.gov/comm/CritTran/20030401/>
- [98] Pisano, P. (2019). *Clarus*. Retrieved from https://www.its.dot.gov/research_archives/clarus/index.htm
- [99] PrePass Safety Alliance. (2019). Improving Safety on the Highway. Retrieved from <https://www.prepassalliance.org/>
- [100] Prevedouros, P. D., & Wang, Y. (1999). Simulation of large freeway and arterial network with CORSIM, INTEGRATION, and WATSim. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1678(-1), 197–207.
- [101] Reyes, A., Romero, L. M., & Benitez, F. G. (2014). Bilevel O/D Matrix Adjustment Formulation Using High Convergence Assignment Methods. In *Computer-based Modelling and Optimization in Transportation*. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London.
- [102] Ropke, S. (2005). *Heuristic and exact algorithms for vehicle routing problems*. University of Copenhagen (DIKU).
- [103] Rothery, R. W. (1992). *Car following models. Trac Flow Theory*.
- [104] Roupail, N., Tarko, A., & Jing, L. (2001). Traffic Flow at Signalized Intersections. In 9-1. US Federal Highway Administration (Ed.), *Traffic-flow theory* (pp. 9-1-9–28). Retrieved from <http://web.tongji.edu.cn/~yangdy/its/tft/chap9.pdf>
- [105] Şahin, Y., & Eroğlu, A. (2014). Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi İçin Metasezgisel Yöntemler: Bilimsel Yazın Taraması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(4), 337–355.
- [106] Shah, N., Kumar, S., Bastani, F., & Yen, I.-L. (2011). Optimization models for assessing the peak capacity utilization of intelligent transportation systems. *European Journal of Operational Research*, 216 (2012), 239–251.
- [107] Shaheen, S. A., & Finson, R. (2017). *Intelligent Transportation Systems*. (December 2013). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548->

- [108] Siddaway, A. (2014). *What is a systematic literature review and how it is done?*
- [109] Sill, S. (2011). *Integrated Vehicle-Based Safety Systems (IVBSS)*.
- [110] Skabardonis, A. (1994). Evaluation of The Fuel-Efficient Traffic Signal Management (FETSIM) Program: 1983-1993. Retrieved from California University, Berkeley website: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=451797>
- [111] Sombuntham, P. Kachitvichyanukul, V. (2010). Multi-depot vehicle routing problem with pickup and delivery requests. *IAENG Transactions on Engineering Technologies*, 5, 71–85.
- [112] Toth, P.; Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia: Monographs on Discrete Mathematics and Applications. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- [113] Troutbeck, R., & Brilon, W. (1997). *Unsignalized Intersection Theory, Revised Traffic Flow Theory*.
- [114] U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. (1996). Improving Mobility in the Chicago Region. Retrieved from https://www.fhwa.dot.gov/planning/freight_planning/archive/chicago.cfm
- [115] U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. (2006). Ramp Management and Control Handbook. Retrieved from https://ops.fhwa.dot.gov/publications/ramp_mgmt_handbook/manual/manual/1_1.htm
- [116] USDOT. (2019). *Congestion Initiative*. Retrieved from https://www.its.dot.gov/research_archives/congestion/index.htm
- [117] Waldeer, K. (2006). *Kinetic Theory in Vehicular Traffic Flow Modeling*.
- [118] Waldeer, K. T. (2004). Numerical investigation of a mesoscopic vehicular traffic flow model based on a stochastic acceleration process. *Arxiv Preprint Cond-Mat/0412490*.
- [119] Williams, J. C. (1997). *Macroscopic flow models. Revised monograph on traffic flow theory*.
- [120] World Energy Council. (2011). Global Transport Scenarios 2050. In *World Energy Council*. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.05.049>

- [121] Yalçın, E. G., & Büyük, M. (2015). Otomatik Kaza Bildirim Sistemlerinin Trafik Çarpışmalarının Sonuçları Üzerindeki Yeri ve Önemi. 6. *Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi*, 426.
- [122] Yaman, H. T. (2014). Akıllı Ulaşım Sistemleri Tanımı ve Kapsamı. *Akıllı Ulaşım ve Güvenlik Sistemleri*.
- [123] Yang, Y., & Bagrodia, R. (2009). Evaluation of VANET based advanced intelligent transportation systems. *VehiculaR InterNETworking VANET*. Sixth ACM international workshop.
- [124] Yardım, M. S., & Akyıldız, G. (2005). Akıllı Ulaştırma Sistemleri ve Türkiye'deki Uygulamalar. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı*.
- [125] Zhang, L., McHale, G., & Zhang, Y. (2003). Modeling and validating CORSIM freeway origin-destination volumes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1856(-1), 135–142.