



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK ELDE
EDİLEN TRAFİK VERİLERİ İLE KISA DÖNEMLİ TRAFİK AKIM VE
HIZ TAHMİNİ

YAĞMUR ÖZİNAL
YÜKSEK LİSANS



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKEŞ BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK ELDE
EDİLEN TRAFİK VERİLERİ İLE KISA DÖNEMLİ TRAFİK AKIM VE
HIZ TAHMİNİ

YAĞMUR ÖZİNAL
YÜKSEK LİSANS

DANIŞMAN
PROF. DR. FARUK FIRAT ÇALIM

ADANA 2020

Bu tezde yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışa uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde bu çalışmaya özgün olmayan tüm bilgiler için atıf verdiğimi ve kaynak gösterdiğimi beyan ederim.



Yağmur ÖZİNAL

ÖZET

NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK ELDE EDİLEN TRAFİK VERİLERİ İLE KISA DÖNEMLİ TRAFİK AKIM VE HIZ TAHMİNİ

Yağmur ÖZİNAL

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM

Temmuz 2020, 111 sayfa

Akıllı ulaşım sistemleri (AUS), operasyonel verimliliğinin ve kapasitenin artırılması için akıllı algılama, hesaplama ve iletişim teknolojileriyle donatılmış ulaşım sistemleri olarak tanımlanmaktadır. AUS bünyesinde kullanılan teknolojilerle, trafiği oluşturan bileşenler ile ilgili doğru, güvenilir ve gerçek zamanlı veriler elde edilmektedir. Böylece ulaşım sistemlerinde gerçek zamanlı trafik yönetimi, kontrol stratejilerinin geliştirilmesi, gecikme, tıkanıklık ve enerji tüketiminin azaltılması sağlanmaktadır. Bu nedenle doğru ve gerçek zamanlı trafik tahminleri AUS'un efektif çalışması için kritik bir ihtiyaç olmaktadır. Bu tez çalışmasında, AUS uygulamalarında kullanılan IoT teknolojisi sayesinde elde edilen gerçek zamanlı trafik verileri kullanılarak kısa dönemli trafik hız ve akım tahmini yapılması amaçlanmıştır. Bu yüzden öncelikle AUS'un detaylı olarak açıklaması yapılmış olup, mimari yapısı ve tarihsel gelişimi anlatılmıştır. Ülkemizdeki ve dünyadaki kullanım alanları ve örnekleri incelenmiştir. Daha sonra IoT teknolojisi tanımlanarak mimari yapısından bahsedilmiştir. AUS uygulamalarında yer alan IoT teknolojisi uygulamaları örnekler ile açıklanmıştır. Son olarak tez çalışması kapsamında, Kaliforniya Ulaşım Daire Başkanlığı'na (Caltrans) ait Performans Ölçüm Sistemi'nde (PeMS) bulunan sensörlerden alınmış veriler kullanılarak kısa dönemli trafik hız ve akımı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu tahminlerin yapılması için makine öğrenmesi algoritmalarından yapay sinir ağları ve destek vektör makinesi yöntemleri kullanılmıştır. Trafikin kısa dönemli tahmini için 15 dakika sonrasına ait hız ve akım değerleri tahmin edilmiştir. Ayrıca hem gerçek veriler hem de tahmin edilen değerler kullanılarak hız-akım değeri ilişkisini gösteren saçılma grafikleri oluşturulmuştur. Bu

saçılma grafikleri üzerinden, üç rejimli hız-akım değeri modeli temel alınarak, trafiğin tıkanıklık durumu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı ulaşım sistemleri, nesnelerin interneti, kısa dönemli trafik tahmini



ABSTRACT

SHORT-TERM TRAFFIC FLOW AND SPEED ESTIMATION WITH TRAFFIC DATA OBTAINED USING THE INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

Yağmur ÖZİNAL

M.Sc., Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM

July 2020, 111 pages

Intelligent transportation systems (ITS) are defined as transportation systems equipped with smart sensing, computation and communication technologies to increase operational efficiency and capacity. With the technologies utilized within ITS, accurate, reliable and real-time data about the traffic components are obtained. Thus, real-time traffic management, control strategies, delay, congestion and energy consumption are reduced in transportation systems. Therefore, accurate and real-time traffic estimates are a critical need for ITS to work effectively. In this thesis, it is aimed to make short-term traffic speed and flow estimation using real-time traffic data obtained thanks to the internet of things (IoT) technology used in ITS applications. Accordingly, ITS firstly has been described in detail and its architecture and historical development have been explained. Usage areas and examples in our country and in the world are examined. Afterward, IoT technology is defined and its architectural structure is mentioned. IoT technology applications in ITS applications are explained with examples. Finally, within the scope of the thesis, short-term traffic speed and flow are estimated by using the data obtained from the sensors in the Performance Measurement System (PeMS) of California Transportation Department (Caltrans). Among machine learning algorithms, artificial neural networks and support vector machine methods are used to make these estimations. Traffic speed and flow values for 15-minutes ahead are estimated as the short-term values. In addition, scatter plots showing the speed-flow value relationship are created using both real data and estimated values. On the basis of these scatter plots, the congestion situation of the traffic are assessed based on the three-regime speed-flow model.

Keywords: Intelligent transportation systems, internet of things, short-term traffic prediction



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması boyunca ilgi ve yardımını esirgemeyen,engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, gösterdiği anlayışla bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM’a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Tez jürimde bulunan sayın Prof. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR’e ve sayın Doç. Dr. Turan ARSLAN’a değerli görüş ve katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte kendisine ne zaman danışsam kıymetli zamanını ayırıp, bilgi ve fikirlerini paylaşarak desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Ercan AVŞAR’a çok teşekkür ederim.

Çalışma hayatım boyunca her zaman yanımda olan, beni hep destekleyen ve koşulsuz şartsız beni seven annem Serap ÖZİNAL ile babam Ahmet Nadir ÖZİNAL’a sonsuz teşekkür ederim. Karşılaştığım problemlerde her daim çözüm üreten ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen abim Aziz ÖZİNAL ile ablam Güven ÖZİNAL’a çok teşekkür ederim. Hayatımın her anında olduğu gibi, tez çalışmamı hazırlarken de her aşamada bana yardımcı olan canım ikizim, diğer yarım Damla ÖZİNAL’a çok ama çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLER LİSTESİ.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ.....	4
2.1.Akıllı ulaşım sistemlerinin tanımı ve amaçları.....	4
2.2.Akıllı ulaşım sistemlerinin mimarisi.....	5
2.3.Akıllı ulaşım sistemlerinin tarihsel gelişimi.....	9
2.4.Türkiye’de akıllı ulaşım sistemlerinin tarihsel gelişimi.....	12
3. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ VE KULLANIM ALANLARI.....	15
3.1.Akıllı ulaşım sistemlerinin uygulandığı alanlar	15
3.1.1. Trafik yönetim sistemleri.....	17
3.1.2. Yolcu bilgilendirme sistemleri.....	20
3.1.3. Toplu taşıma sistemleri.....	21
3.1.4. Yük ve filo yönetim sistemleri	22
3.1.5. Sürücü destek ve güvenlik sistemleri.....	23
3.1.6. Kaza ve acil durum yönetim sistemleri	23
3.1.7. Elektronik ödeme sistemleri.....	24
3.2.Dünyadaki akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları.....	24
3.2.1. Güney Kore.....	25
3.2.2. Amerika Birleşik Devletleri.....	27
3.2.3. Avustralya	28
3.2.4. Hollanda	29
3.2.5. Birleşik Krallık	30
3.2.6. Japonya	30
3.2.7. Singapur	32
3.3.Akıllı ulaşım sistemlerinde kullanılan teknolojiler	34
3.3.1. Kapalı devre televizyon (CCTV – closed circuit television)	34
3.3.2. Küresel konum belirleme sistemi (GPS – global positioning system).....	35
3.3.3. Yakın alan iletişim (NFC – near field communication)	36

3.3.4. Tahsis edilmiş kısa mesafeli iletişim teknolojisi (DSRC – dedicated short range communications).....	36
3.3.5. Radyo frekans tanımlama teknolojisi (RFID - radio frequency identification)	36
3.3.6. Kızılötesi iletişim (infrared).....	37
3.3.7. Mobil iletişim araçları.....	37
3.3.8. Sensör teknolojisi.....	37
3.3.9. Kablosuz ağlar	38
4. NESNELERİN İNTERNETİ.....	39
4.1.Nesnelerin interneti tanımı.....	39
4.2.Nesnelerin interneti mimarisi.....	42
4.3.Nesnelerin interneti ve akıllı ulaşım sistemleri.....	44
4.4.Akıllı ulaşım sistemlerinde yer alan nesnelerin interneti uygulamaları örnekleri.....	50
5. YÖNTEM.....	58
5.1.Trafik bileşenleri	58
5.2.Trafik bileşenlerinin tahmin edilmesinde kullanılan yöntemler.....	65
5.3.Literatür taraması.....	66
5.4.Verit seti açıklaması	74
5.5.Trafik hız ve akım değerinin tahmin edilmesi çalışmaları.....	76
6. BULGULAR	83
6.1.Performans ölçütleri	83
6.2.Hız-akım değeri saçılma grafikleri	90
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ	111

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. AUS'un amaçları	5
Şekil 2. 2. ABD Ulusal AUS mimari şeması.....	7
Şekil 2. 3. AUS uygulamalarının tarihsel gelişimi	10
Şekil 2. 4. Türkiye'deki AUS uygulamalarının tarihsel gelişimi.....	14
Şekil 3. 1. AUS kavramsal modeli	15
Şekil 3. 2. İstanbul Büyükşehir Belediyesi trafik kontrol merkezi şeması	19
Şekil 3. 3. Güney Kore AUS kurumsal yapısı.....	25
Şekil 3. 4. Akıllı yol projesi	32
Şekil 3. 5. Singapur otopark kılavuzluk sistemi	34
Şekil 3. 6. Araç içi navigasyon cihazı	35
Şekil 3. 7. RFID araç tanımlama sistemi.....	37
Şekil 4. 1. Nesnelerin internetinin kullanıldığı alanlar.....	41
Şekil 4. 2. İnternete bağlı cihazların gelişimi.....	42
Şekil 4. 3. Nesnelerin interneti üç katmanlı mimarisi	43
Şekil 4. 4. Nesnelerin interneti katmanları	44
Şekil 4. 5. AUS'un gelecekteki eğilimleri.	45
Şekil 4. 6. Gelişmekte olan teknolojilerin AUS üzerine etkisi	46
Şekil 4. 7. Ağa bağlanabilen araçların V2V ile V2I iletişimi.....	47
Şekil 4. 8. IoT tabanlı akıllı park sistemi.....	48
Şekil 4. 9. Trafik ışıklarında yer alan IoT sistemleri	49
Şekil 4. 10. Kavşaklarda kullanılan adaptif trafik yönetim sisteminin işleyişi.	52
Şekil 4. 11. ATAK kullanımının sağladığı faydalar.....	53
Şekil 4. 12. Raylı ulaşım sistemlerinde IoT uygulamaları	54
Şekil 4. 13. Yük ve filo yönetiminde kullanılan IoT teknolojisinin sağladığı faydalar.....	55
Şekil 4. 14. Urban Bus Navigator (UBN) sisteminin işleyişi.....	56
Şekil 4. 15. Önerilen SERSU için sistem içeriği	57
Şekil 5. 1. Trafik akım bileşenleri arasındaki ilişkiler.....	60
Şekil 5. 2. Tek rejimli hız-akım değeri modeli.....	62
Şekil 5. 3. Üç rejimli hız-akım değeri modeli	63
Şekil 5. 4. Farklı serbest akım hızları için ABD'deki temel otoyol kesimlerinde hız-akım değeri ilişkisi	64
Şekil 5. 5. Trafik akış tahmin yöntemlerinin sınıflandırılması.....	66
Şekil 5. 6. (A) insan sinir hücresi, (B) yapay sinir hücresi, (C) biyolojik sinaps, (D) YSA sinapsları .	70
Şekil 5. 7. Yapay sinir hücresi.....	71
Şekil 5. 8. Çok katmanlı algılayıcı ağ modeli	71
Şekil 5. 9. Doğrusal olarak ayrılabilen veriler için hiper düzlemin belirlenmesi	73
Şekil 5. 10. PeMS sistem görünümü	75
Şekil 5. 11. Verilerin alındığı sensör noktası	75
Şekil 5. 12. Hız (a) ve akım (b) tahmini için oluşturulmuş öznitelik matrisleri	79
Şekil 5. 13. Tahmin için kullanılan YSA mimarisi	81
Şekil 6. 1. Gerçek akım değerinin YSA ile tahmin edilmiş veriler ile birlikte gösterilmesi	86
Şekil 6. 2. Gerçek akım değerinin DVM ile tahmin edilmiş veriler ile birlikte gösterilmesi.....	86

Şekil 6. 3. Gerçek hız değerinin YSA ile tahmin edilmiş veriler ile birlikte gösterilmesi	87
Şekil 6. 4. Gerçek hız değerinin DVM ile tahmin edilmiş veriler ile birlikte gösterilmesi	87
Şekil 6. 5. Gerçek verilerin ve YSA ile tahmin edilmiş akım verilerinin saçılım grafiği	88
Şekil 6. 6. Gerçek verilerin ve DVM ile tahmin edilmiş akım verilerinin saçılım grafiği	89
Şekil 6. 7. Gerçek verilerin ve YSA ile tahmin edilmiş hız verilerinin saçılım grafiği.....	89
Şekil 6. 8. Gerçek verilerin ve DVM ile tahmin edilmiş hız verilerinin saçılım grafiği	90
Şekil 6. 9. Hız-akım değeri saçılma grafiği.....	91
Şekil 6. 10. YSA ile tahmin edilen hız-akım değeri saçılma grafikleri	92
Şekil 6. 11. DVM ile tahmin edilen hız-akım değeri saçılma grafikleri	92



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2. 1. Akıllı ulaşım sistemlerinin kullanıcı servisleri.....	8
Tablo 3. 1. AUS kullanım alanları	16
Tablo 3. 2. Anyang kentindeki bazı AUS uygulamaları.....	27
Tablo 5. 1. Biyolojik sinir yapısı ve yapay sinir ağı karşılıkları	70
Tablo 5. 2. Kullanılan verilerin mevsimlere göre zaman aralıkları.....	76
Tablo 5. 3. 15 dakikalık verilerin oluşturulması örneği	77
Tablo 5. 4. Akım tahminine dair düğüm nokta sayısı seçimi	82
Tablo 5. 5. Hız tahminine dair düğüm nokta sayısı seçimi	82
Tablo 6. 1. Akım tahminine dair tahmin sonuçları.....	85
Tablo 6. 2. Hız tahminine dair tahmin sonuçları	85

KISALTMALAR

AUS	: Akıllı Ulaşım Sistemleri
IoT	: Internet of Things
ITS	: Intelligent Transportation Systems
GPS	: Global Positioning System
ERGS	: Electronic Route Guidance System
CACS	: Comprehensive Automobile Control System
ARI	: Autofahrer-Rundfunk Information Systems
RACS	: Road/Automobile Communication System
SCATS	: Sydney Coordinated Adaptive Traffic System
IVHS	: Intelligent Vehicle Highway Systems
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
OGS	: Otomatik Geçiş Sistemi
KGS	: Kartlı Geçiş Sistemi
HGS	: Hızlı Geçiş Sistemi
EDS	: Elektronik Geçiş Sistemi
ATAK	: Adaptif Trafik Yönetim Sistemi
İSBK	: İstanbul Bilişim ve Akıllı Kent Teknolojileri
GPRS	: General Radio Packet Service
CO ₂	: Karbondioksit
3G	: 3.Nesil
KGYS	: Karayolu Güvenlik Yönetim Sistemi
MOBESE	: Mobil Elektronik Sistem Entegrasyonu
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
İETT	: İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
HeERO	: Harmonised eCall European Pilot
AKOM	: Afet Koordinasyon Merkezi
KEC	: Korea Expressway Corporation
PROMETHEUS	: Program for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety

IRF	: International Road Federation
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers
RDS-TMC	: Radio Data System - Traffic Message Channel
NDOV	: National Data Office for Public Transport
UTMC	: Urban Traffic Management and Control
CCTV	: Closed Circuit Television
AMTICS	: Advanced Mobile Traffic Information and Communication System
VICS	: Vehicle Information and Communication System
SSVS	: Super Smart Vehicle System
VERTIS	: Vehicle, Road and Traffic Intelligence Society
EMAS	: Expressway Monitoring Advisory System
GLIDE	: Green Link Determining System
V2V	: Vehicle to Vehicle
V2I	: Vehicle to Infrastructure
NFC	: Near-field Communication
LAN	: Local Area Network
PAN	: Personal Area Network
Wi-Fi	: Wireless Fidelity
mph	: miles per hour
q	: Trafik Akım Değeri, taşıt/saat
u	: Hız, km/saat
k	: Yoğunluk, taşıt/km/şerit
k_t	: Tıkanıklık Yoğunluğu, taşıt/km/şerit
U_s	: Serbest Akım Hızı, km/saat
σ	: Standart sapma
OMH	: Ortalama Mutlak Hata
OMYH	: Ortalama Mutlak Yüzde Hata
OKH	: Ortalama Kare Hata
KOKH	: Kök Ortalama Kare Hata
R^2	: Belirleme Katsayısı
YSA	: Yapay Sinir Ağları
DVM	: Destek Vektör Makinesi

ERTICO : European Road Transport Telematics Implementation Coordination
Organization



1. GİRİŞ

Akıllı ulaşım sistemleri (AUS), geliştirilmiş algoritmalarından, sürekli artan bilgi işlem gücüne sahip bilgisayarlardan ve trafik ağlarına dağıtılmış bol miktarda veri toplayan sensörlerden yararlanarak mevcut ulaşım altyapılarının operasyonel verimliliğini arttırmayı amaçlamaktadır. Etkili bir AUS ortamı yaratma kavramı, trafik koşullarının (akım, yoğunluk ve hız gibi parametrelerin) zaman içinde nasıl değiştiği hakkında sürekli bir bilgi akışı sağlamaya dayanmaktadır (Lieu, 2000). Son yıllarda, eski nesil trafik sensörlerine ilaveten ortaya çıkan, farklı olayları izleme konusunda yüksek verimlilik ve doğruluk sunan yeni sensör teknolojileri ile her türlü trafik verisinin elde edilmesine imkân tanınmıştır (Chen ve Zhang, 2014; Zhang ve diğ., 2011). Dünyadaki birçok ülkede, trafik ağlarına farklı türlerdeki bu sensörler yerleştirilmeye başlanmıştır (Tewolde, 2012). Bu şekilde sensörlerden sağlanan verilerin yanı sıra, mobil ve web tabanlı teknolojiler de yol durumları ve araçlar hakkında ayrıntılı verilerin elde edilmesini sağlamaktadır. Ulaşım sistemlerinde kullanımı giderek yaygınlaşan nesnelerin interneti (IoT) teknolojisi ile veri hacminin hızlı bir şekilde artmakta olduğu görülmektedir (Vlahogianni, 2015). IoT içerisinde yer alan teknolojilerden üçü AUS için anahtar teknoloji niteliğindedir. Bunlar algılama, bilgi aktarım ve akıllı işleme teknolojisi. Algılama teknolojisi ile RFID, sensör vb. ekipman ve teknolojiler kullanılarak nesneler hakkında veri toplanmaktadır. Bilgi aktarım teknolojisi ile çeşitli telekomünikasyon ağları ve internet arasındaki birleşim kullanılarak, nesnelere ait bilgilerin gerçek zamanlı ve doğru şekilde aktarımı gerçekleştirilmektedir. Akıllı işleme teknolojisi ile büyük miktarda veri analiz edilip ayıklanabilmektedir (Zhou ve diğ., 2012).

Kullanılan gelişmiş teknolojilerle toplanan bu geniş ve zengin veri kümeleri ulaşım sistemlerinin yönetimini ve kontrolünü daha fazla veri güdümlü hale getirmiştir. Verilerin bolluğuna ek olarak, donanımsal gelişmelerin artması ve güçlü bilgisayarlara erişimin kolay olmasını sağlayan bulut bilişimin ortaya çıkması sayesinde araştırmacılar her zamankinden daha fazla bilgi işlem gücüne erişebilmektedir. Veri ve hesaplama gücünün bu erişilebilirliği, araştırmacıların elde edilen ham verileri ulaşım sistemlerinin yönetimi ve kontrolünde kullanılabilecek bazı faydalı bilgilere dönüştürmesinde veriye dayalı modeller ve algoritmalar geliştirmeleri için fırsatlar doğurmuştur.

Akıllı ulaşım sistemlerinin birçoğunun başarısı büyük ölçüde trafik akımı, hızı ve yoğunluğu gibi trafik bileşenlerinin zamanında ve doğru şekilde tahmin edilmesinde gelişmiş trafik modelleri kullanan tahmin sistemlerine bağlı olmaktadır. Kısa dönemli trafik tahminleri, geçmiş trafik verilerine dayanarak yakın gelecekteki trafik durumunun tahmin edilmesini amaçlayan AUS içindeki en dinamik ve tipik araştırma alanlarından biri olarak görülmektedir (Vlahogianni ve diğ., 2004; Vlahogianni ve diğ., 2014). Trafik tahminleri esas olarak seyahatlerin daha iyi planlanmasını ve uygun güzergâhların seçilmesini sağlayarak trafik yönetim sistemleri ve yolcu bilgilendirme sistemlerinde oldukça kritik rol oynamaktadır (De Fabritiis ve diğ., 2008).

1970'lerin sonlarından bu yana çok sayıda araştırmacı, farklı disiplinlerden çeşitli teknikler ve matematiksel modeller kullanarak özellikle kısa dönemli trafik tahminleri üzerine çalışmalar yürütmüştür. Bununla birlikte, özellikle son yıllarda, benzersiz veri kullanılabilirliği ve hızlı işleme olanakları, birçok araştırmacıyı, makroskobik ve mikroskobik teorilere dayanan köklü matematiksel modellere paralel olarak sistematik büyüyen yeni veri odaklı ampirik algoritmalara yöneltmiştir (Wang ve Papageorgiou, 2005; Yuan ve diğ., 2012). Analitik yöntemlerden veriye dayalı modellemeye geçilmesiyle, verilerin analizine yönelik yapay zekâ ve veri madenciliği yaklaşımlarında önemli bir artış olduğu görülmüştür. Yapay zekânın bir kolu olan makine öğrenmesi, kullanılan verilerle mantıklı ve rasyonel sonuçlar türetebildiğinden trafik tahminlerinde araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, AUS uygulamalarında kullanılan IoT teknolojisi sayesinde elde edilen gerçek zamanlı trafik verileri kullanılarak kısa dönemli trafik hız ve akım tahmini yapılması amaçlanmıştır. Bu bakıma öncelikle AUS'un detaylı olarak açıklaması yapılmış olup, mimari yapısı ve tarihsel gelişimi anlatılmıştır. Ülkemizdeki ve dünyadaki kullanım alanları ve örnekleri incelenmiştir. Daha sonra IoT teknolojisi tanımlanarak mimari yapısından bahsedilmiştir. AUS uygulamalarında yer alan IoT teknolojisi uygulamaları örnekler ile açıklanmıştır. Son olarak tez çalışması kapsamında, Kaliforniya Ulaşım Daire Başkanlığı'na (Caltrans) ait Performans Ölçüm Sistemi'nde (PeMS) bulunan sensörlerden alınmış veriler kullanılarak kısa dönemli trafik hız ve akımı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sistemin IoT teknolojisi kullanarak elde ettiği verilerle trafiğin kısa dönemli tahminine yönelik analizi, makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak yapılmıştır. Bu doğrultuda makine öğrenmesi algoritmalarından yapay sinir ağları (YSA) ve destek vektör makinesi (DVM) yöntemleri

kullanılmıştır. Trafiğin kısa dönemli tahmini için 15 dakika sonrasına ait hız ve akım değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca hem gerçek veriler hem de tahmin edilen değerler kullanılarak hız-akım değeri ilişkisini gösteren saçılma grafikleri oluşturulmuştur. Bu saçılma grafikleri üzerinden, üç rejimli hız-akım değeri modeli temel alınarak, trafiğin tıkanıklık durumu değerlendirilmiştir.



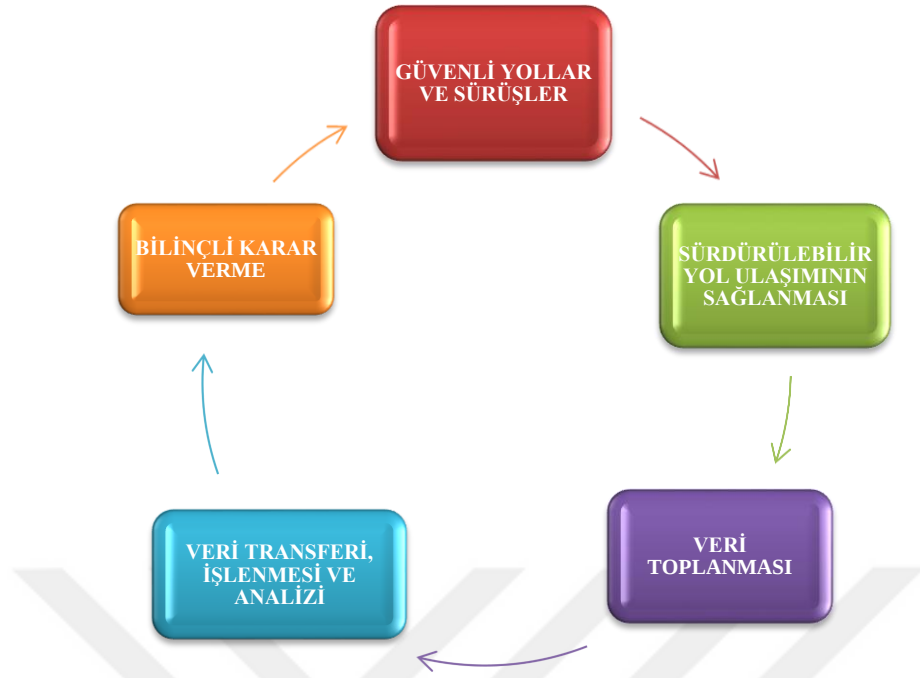
2. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ

2.1. Akıllı ulaşım sistemlerinin tanımı ve amaçları

Ulaştırma yönetimiyle alakalı birimler, artan ulaşım talebiyle beraber yeterli olmayan ulaştırma altyapısının etkili biçimde kullanılmasına yönelik çözüm bulma arayışına girmiştir. Gelişen teknolojilerle birlikte bilişim teknolojisinin altyapısının kurulması için elverişli ortam oluşturmuş ve bu durum AUS kavramını meydana çıkarmıştır. Günlük yaşantımızda sıklıkla yer almaya başlayan hareketlilik ve sürdürülebilir ulaşım kavramları ile ulaşım ihtiyacının daha hızlı, güvenli, ekonomik ve kolay şekilde giderilmesinde, AUS kullanılması büyük önem kazanmıştır. Kapsamlı, planlı, çok boyutlu ve koordine bir AUS yapısının oluşturulmasıyla, ülke genelinde sürdürülebilir ve efektif bir ulaşım yönetimi sağlanabilmektedir (UDHB, 2014).

AUS, ulaşım sistemindeki hareketlilik, verimlilik ve güvenliği arttırmak için haberleşme, bilişim ve ileri teknoloji sistemlerinin birlikte kullanılarak birçok ulaşım modunun daha koordine ve akıllı olmasını sağlayan sistemler bütünü olarak tanımlanabilir. Bu sistemler trafik yönetimini iyileştirmek ve trafiğin sorunsuz akmasını sağlamak adına kullanılmaktadır. Ayrıca kamu yararına yapılan taşımacılığın faydalarını arttırarak, çevresel etkilerin ortadan kaldırılmasına katkı sağlamaktadır. AUS’da kullanılan sistemler araç içi, araç ile araç ve araç ile sabit kontrol merkezi arasında her türlü haberleşmeyi ve çok yönlü veri alışverişini sağlayabilmektedir. Bu şekilde elde ettiği verilerle kullanıcıların karar vermesine yardımcı olacak bilgi ve hizmetler sunmaktadır. Geleneksel ulaşım sistemleri ile kıyaslandığında AUS’u farklı kılan en önemli özellik, sistemin içine adapte edilen ileri teknolojik uygulamalardır (Yan ve diğ., 2012).

Şekil 2.1’de ise Uluslararası Yol Federasyonu (International Road Federation-IRF) tarafından belirlenen AUS amaçları görülmektedir. Bu amaçların gerçekleştirilmesi, ulaştırma sistemlerinin daha verimli, akıllı ve çevreci olmasına katkı sağlamaktadır (IRF, 2020).



Şekil 2. 1. AUS'un amaçları

2.2. Akıllı ulaşım sistemlerinin mimarisi

Bazı karmaşık sistemlerde olduğu gibi AUS uygulamalarında da tasarlama, karar verme ve uygulama adımlarında stratejik bir çerçevenin yani AUS mimarisinin tanımlanması gerekmektedir. AUS mimarisi, uygulamaların birbiri ile bütünleşmesi için yapılan planları uygulanır duruma getirmek adına üst düzey bir çerçeve oluşturup, aynı zamanda teknik konularla beraber, ekonomik ve yasal konuları da içermektedir. AUS mimarisi kentsel, bölgesel ve ulusal anlamda oluşturulabileceği gibi hizmet veya işkoluna göre de oluşturulabilmektedir. AUS mimarileri sayesinde, sistemler birbiriyle kolay uyum sağlayabilmekte, mantıksal çerçeve ortaya konmakta ve istenen performans düzeyleri belirlenebilmektedir. Ayrıca kullanıcı beklentileri daha iyi biçimde karşılanırken, uygulamaların yönetilmesi ve takip edilmesi kolaylaşmaktadır (Noyes, 2013; Tufan, 2014).

AUS mimarisi, sistemlerin ne yaptığı, nerede çalıştığı ve sistem bileşenleri arasında hangi bilgilerin aktarıldığını ortaya koymaktadır. Trafiğin yönetilmesi, seyahat bilgisi verilmesi, trafik kazalarının takibi, elektronik olarak ücretlerin toplanması, ticari filoların takibi vb. örnekler AUS tarafından sağlanan faaliyetler olup kullanıcı hizmetlerini ifade etmektedir. Toplu taşıma araçları, trafik yönetim merkezi gibi kullanıcı hizmetlerinin verildiği fiziksel ortamlar ile AUS uygulamalarıyla etkileşimde bulunan kullanıcılar veya sistem yöneticileri

varlıkları temsil etmektedir. Veri ve bilgi akışları, kullanıcı hizmetleriyle varlıkların sisteme adaptasyonunu sağlayan unsur olmaktadır. AUS uygulamalarının işleyişi, sistemlerden bilgi toplanması, analiz edilmesi ve dağıtılması başarımına bağlıdır (Tufan, 2014; Yokota, 2004).

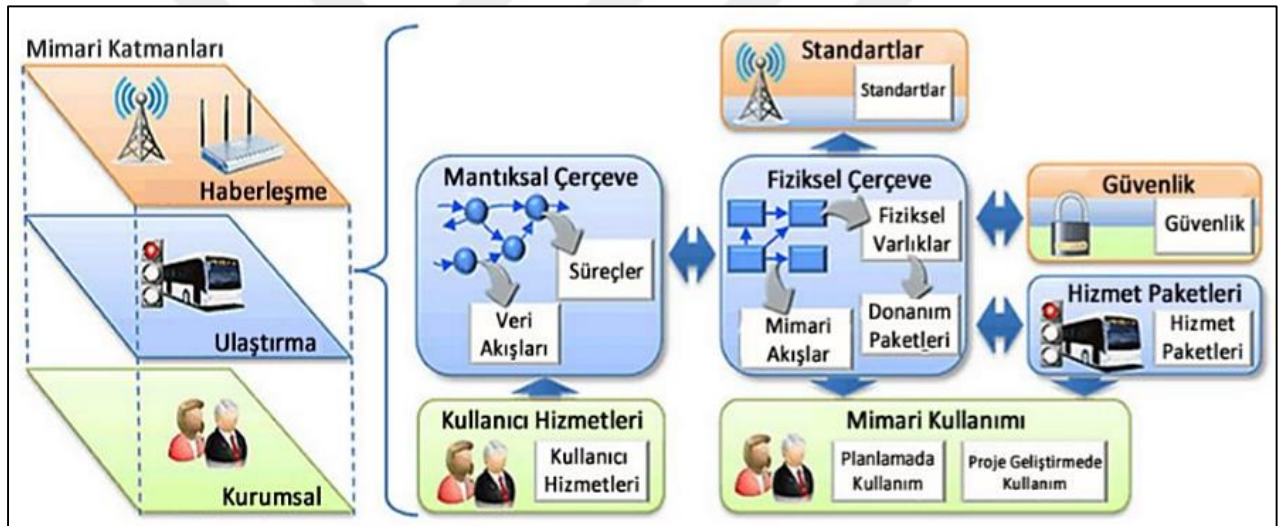
Başta gelişmiş ülkeler olmak üzere, birçok ülke, AUS gerekliliğini yıllar önce fark ederek bu uygulamalara yönelik bir strateji planı ve mimari plan çalışmasına dayalı detaylı projeler geliştirmektedir. Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Güney Kore, Avrupa Birliği Ülkeleri gibi gelişmiş ülkelerin oluşturduğu mimarilerin diğer ülkeler açısından örnek teşkil edildiği gözlenmektedir. AUS bileşenleri arasındaki ilişki belli bir mimari bünye içinde tanımlanmakta ve bu ülkeden ülkeye göre değişiklik gösterebilmektedir (İlıcılı ve diğ., 2016).

Bireysel alt sistemlerin planlanması, tanımlanması ve birleşimi için AUS mimarisi ortak bir düzlemi özümleyerek kullanıcıların ihtiyaçlarına göre tanımlanmaktadır. Macioszek (2014) göre AUS mimarisi aşağıda verilen yapılardan oluşmaktadır.

- Çoğunlukla çalışma prensipleri ve tüm sistem kavramını sunmaktadır.
- Kullanıcıların beklentilerini karşılamak için belirli bir sistem tarafından gerçekleştirilmesi gereken işlevleri belirleyen mantıksal çerçevedir. Çevre ve sistem kullanıcıları ile kullanılan verilerin kümeleri ile olan ilişkileri dikkate almaktadır.
- Fiziksel olarak belirli fonksiyonların gerçekleştirilmesini amaçlayan ulaşım altyapısının unsurlarına dayanan, yazılım ile farklı teknik ekipmanların ayrıntılı bir açıklamasıdır.
- Sistemin unsurları arasında bilgi alışverişine yardımcı olan kaynakları, yani veri akışlarının aktarılma araçlarını tanımlamaktadır. Bilgi ve veri akışı, sistem ve fiziksel alt sistemlerin işlevlerini bütünleşik bir bütünlük içinde birleştirmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri, AUS teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasına kılavuzluk etmek için 1990'ların ortalarında ABD Ulusal AUS Mimarisi hazırlanmasına yönelik girişimlerde bulunmuştur. Böylelikle AUS standartları ve sistem mimarisi üzerine 33 ay süren bir program başlatılmış ve 1996'da konu ile ilgili 12 temel standart belirlenerek uygulamalara esas olarak kabul edilmiştir. Daha sonraki süreçte değişen teknolojileri geliştirmek için Ulusal AUS Mimarisinin 8.3 versiyonu da yayınlanmıştır.

ABD Ulusal AUS mimarisi Şekil 2.2’de gösterildiği gibi üç katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar sırasıyla kurumsal, ulaştırma ve haberleşme katmanlarıdır. Kurumsal katman en altta yer almakta ve bu katman içinde, Tablo 2.1’de görüldüğü gibi, 8 hizmet paketi altında 33 kullanıcı hizmeti bulunmaktadır. Verimli bir AUS programı için ön şart, sağlam kurumsal destek ve etkili kararlardır, bu yüzden kurumsal katman en altta yer almaktadır. Ulaştırma katmanında, süreçleri, mimari akışları, donanım paketlerini ve veri akışlarını tanımlayan hem fiziksel hem de mantıksal mimari bulunur. Haberleşme katmanında ise sistem bütünleşmesi sağlanmakta olup, standart haberleşme teknolojileri yer almaktadır (Noyes, 2013). Amerika Birleşik Devletleri’nden sonra 2000 yılında Avrupa Birliği ülkeleri de AUS uygulama ve servislerinde bütünleşme ve birlikte çalışabilirliği sağlamak adına ortak bir Çerçeve AUS Mimarisi geliştirmiştir (Cihan, 2019).



Şekil 2. 2. ABD Ulusal AUS mimari şeması (Tufan, 2014)

Ülkemiz için 2013 yılında hazırlanan stratejisi belgesinin ikinci taslağında ulusal düzeyde bir AUS mimarisinin oluşturulması şeklinde bir amaç belirlenmiş ve bu amaca yönelik bir eylem ortaya konmuştur (UDHB, 2013b). Daha sonra AUS ile ilgili yapılan her türlü çalışmalara rehberlik etmek ve yön vermek amacıyla Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı koordinatörlüğünde Karayolları Genel Müdürlüğü’nce 28 Kasım 2015 tarihinde taslak Türkiye AUS Mimarisi oluşturulmuştur. Bu taslak mimari hazırlanırken hem hızlı hem de ekonomik olmasını sağlamak adına ABD Ulusal AUS Mimarisinden faydalanılmıştır (Cihan, 2019).

Tablo 2. 1. Akıllı ulaşım sistemlerinin kullanıcı servisleri (Iteris, 2019)

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

2.3. Akıllı ulaşım sistemlerinin tarihsel gelişimi

1896 yılında Londra’da bir aracın yaya çarpıp öldürmesi sonucunda, tarihte bilinen ilk trafik kazası meydana gelmiştir. O tarihten bugüne ulaştırma sistemlerinde sayısız kaza meydana gelmiş ve milyonlarca insan bu kazalar sonucunda yaşamını yitirmiştir. Gelişen teknolojiyle bu sorunlara çözüm bulma arayışına gidilmiş, bu alanda araştırma ve geliştirme çalışmaları yürütülmeye başlanmıştır. Bu bakıma ulaştırma sistemlerinin sağladığı faydaların yanında doğurduğu olumsuzlukları en aza indirmek amacıyla daha etkili, güvenli, çevreci ve ekonomik biçimde çalışmasına olanak tanımak amacıyla AUS kavramı ortaya çıkmıştır.

Bilinen ilk AUS uygulaması 1928 yılında kullanılmaya başlayan elektrikli trafik ışıkları olarak kabul edilmektedir. Daha sonra 1960’larda kullanımına başlanan bilgisayar kontrollü trafik ışıkları da bu uygulamaların tarihçesi bakımından önemli sayılmaktadır (Yılmaz, 2012). AUS’un tarihsel gelişim süreci, araştırmaların yapılması, standartların belirlenmesi ve gerekli uygulamaların geliştirilmesi şeklinde üç dönemden oluşmaktadır. Aşağıda verilen Şekil 2.3’de AUS uygulamaların tarihsel gelişimi gösterilmektedir.

İlk uygulamalar 1960’ların sonunda görülmeye başlanmış ve bu dönem birinci dönem olarak anılmıştır. ABD’de 1969 yılından itibaren bakanlıklar tarafından yürütülen Elektronik Rota Kılavuzlama Sistemi (ERGS-Electronic Route Guidance System) ile AUS adına yapılan araştırma geliştirme çalışmalarının geniş kapsamlı ilk aşaması başlamıştır (Xiong ve diğ., 2012). 1973 yılında Japonya’da bu alanda geliştirilen ilk uygulama Kapsamlı Otomobil Kontrol Sistemi (CACS-Comprehensive Automobile Control System) olmuştur (Nowacki, 2012). Almanya 1974 yılında otoyollarda yaşanan trafik sıkışıklıklarını en aza indirmek adına Sürücü Radyo Yayını Bilgilendirme Sistemi (ARI- Autofahrer-Rundfunk-Informationssystem) adlı uygulamayı geliştirmiştir. Bu sistemlerin ortak yönü rota/güzergâh planlama amaçlı olması ve dev bilgisayar sistemleri tarafından oluşturulan merkezi sistemler ile işletilmesidir. Dönemin şartlarında bazı sınırlamalardan dolayı ekonomik hale getirilememişlerdir ve pratik uygulamaya geçirilmesi yönünden istenen sonuçlar alınamamıştır (Yardım ve Akyıldız, 2005).



Şekil 2. 3. AUS uygulamalarının tarihsel gelişimi

1980 ile 1994 yılları arasında ikinci dönem gerçekleşmiş olup, bu dönemde AUS uygulamalarının sahada uygulanabilirliği artmıştır. Dünya genelinde meydana gelen rekabetçi ortamda, ülkelerin ardı ardına ürettiği projelerde; elektronik hız sabitleme gibi araç içi sistemler, Küresel Konumlama Sistemi (GPS- Global Positioning System) tabanlı rota belirleme, hızlı geçiş sistemleri ve dinamik trafik ışığı kontrol sistemleri gibi konular odak noktası olmuştur (Katanalp ve diğ., 2018). Japonya’da 1984 yılında faaliyete geçen ve şuan hala kullanılan araç rota belirleme sisteminin temeli olan Yol/Otomobil Haberleşme sistemi (RACS- Road/Automobile Communication System) ile Avustralya’da 1982 yılında Sydney Koordine Adaptif Trafik Sistemi (SCATS-Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) bu projelerden bazılarını temsil etmektedir.

1989 yılında başlatılmış olan Avrupa Trafığı için Yüksek Verimlilik ve Benzersiz Güvenlik Programı (PROMETHEUS- Program for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety) Avrupa’daki ilk resmi ulaştırma telematiklerini içinde barındırmaktadır (Yan ve diğ., 2012). Aynı dönemde akıllı ulaşım sistemlerinde standardizasyon yapılmak istenmiştir. Bu yüzden 1991’de Avrupa Karayolu Ulaştırması Telematikleri Uygulama ve Koordinasyon Kurumu (ERTICO-European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization) faaliyetlerine başlamıştır (Nowacki, 2012). ABD’de faaliyete geçen Akıllı Araç Otoyol Sistemleri (IVHS-Intelligent Vehicle Highway Systems) geleneksel ulaştırma altyapısı ile ileri teknolojileri birleştirmek amacıyla çalışmalara öncülük etmiştir. IVHS 1992’de ulaştırma bölümünün önemli bir parçası haline gelmiş ve ekonomik açıdan mühim bir bütçeye sahip olmuştur (Sussman, 2008). Dünya genelinde AUS standartlarının belirlenmesi hedefiyle 1994 yılında Paris’te düzenlenen Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi (ITS World Congress) bu dönemde AUS’un geliştirilmesi için yapılanlara örnek teşkil etmektedir (Tufan, 2014).

1994’den günümüze kadar olan üçüncü dönemde ise önceki dönemde başlatılan programların pratik uygulamaları yayılmaya başlamış ve çok modlu ulaşım sistemlerin tasarlandığı bir döneme girilmiştir. AUS uygulamaları sadece karayolu trafiğine yönelik çözümler için kullanılmaktayken bu dönemle birlikte diğer ulaşım modlarında yaşanan problemlere yönelik çözümler için kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca ulusal ve uluslararası genel bilgi teknoloji hiyerarşisinde, AUS önemli bir unsur olarak tanınmaya başlanmıştır.

Bu dönemde artan teknolojik ilerlemelerle birlikte AUS'da yer alan radyo yayınları, elektronik tabelalar ve kavşak sinyalizasyonları gibi sistemler yerini 3G-Wifi-Bluetooth tabanlı veri paylaşımları, gerçek zamanlı kavşak kontrol sistemleri ve otonom araçlar gibi gelişmiş uygulamalara bırakmıştır (Katanalp ve diğ., 2018). 1998 yılında Avustralya'da otoyollarda kullanılan iki farklı sistem birbiriyle birleştirilerek STREAMS adında yeni bir trafik yönetim ve kontrol sistemi oluşturulmuştur (Tufan, 2014). Amerika Birleşik Devletleri'nde, Amerikan Ulusal Otomasyon Sistemi Konsorsiyumu (NAHSC-National Automated Highway System Consortium) trafik güvenliği ve otoyol verimliliğinin artırılması amacıyla 1997 yılında Demo'97 projesi hazırlanmıştır (Roads, 1997). Güney Kore, Çin, Singapur, Kanada gibi ülkelerin bu dönemde gerçekleştirdiği ve halen devam ettiği önemli çalışmaları mevcuttur.

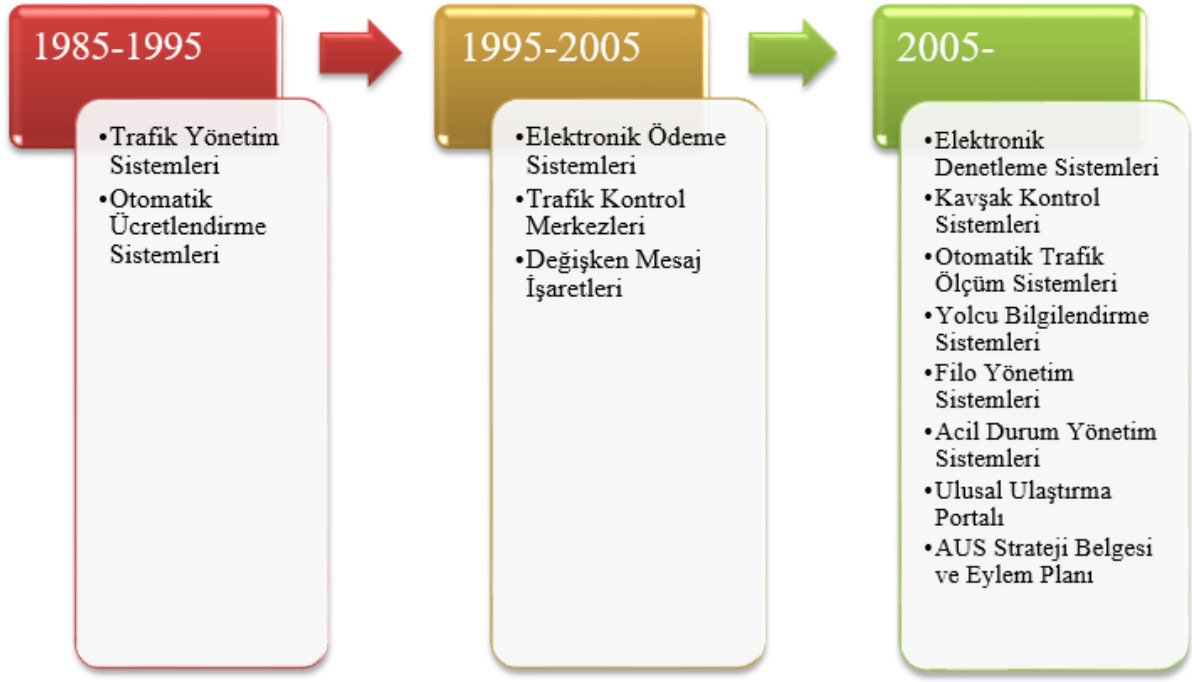
2.4. Türkiye'de akıllı ulaşım sistemlerinin tarihsel gelişimi

1984 yılında İstanbul'da günün saatlerine göre ana arterler üzerinde yer alan sinyalize kavşakların sinyal sürelerinin ayarlanması ve senkronizasyonu için yapılan çalışmalar, Türkiye'de AUS alanında yapılan ilk uygulamayı teşkil etmektedir. 1990'lı yıllarda elektronik ücret toplama sistemi uygulamaları görülmeye başlanmış olup, 1992 yılında araçların kat ettikleri mesafeye göre değişkenlik gösteren ücretlendirmeye tabii tutuldukları Otoyol Ücret Toplama Sistemi uygulanmıştır. 1995 yılına gelindiğinde ilk Trafik Kontrol Merkezi İstanbul'da kurulmuş ve kritik kavşak noktaları birbirine bağlanılarak arıza ve sinyal kontrolleri yapılmıştır. Ayrıca bu noktalara kurulan 10 adet kamera ile trafik akış verileri ve trafik görüntüleri Trafik Kontrol Merkezi'ne aktarılmaya başlamıştır (Akbaş ve Akdoğan, 2001). Günümüzde birçok şehir merkezinde kurulmuş olan Trafik Kontrol Merkezlerinde trafik ölçüm ve izleme sistemleriyle elde edilen trafik verilerinin işlenip kullanılmasını sağlayan yapılar yer almaktadır. Bu yapılar, etkili bir ulaşım planlaması ağı oluşturmayı amaçlamaktadır. Böylece trafik talebi belirlenebilmekte olup, ulaşım sistemleri elde edilen veriler ve talep doğrultusunda verimli bir şekilde işletilebilmektedir (Katanalp ve diğ., 2018).

1995 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), toplu taşımada geçiş turnikelerinin modern ve verimli şekilde kullanılmasına yönelik elektronik bilet sistemi (AKBİL) uygulamasını başlatmıştır. Günümüzde birçok şehirde kullanılmakta olan Kentkart kartlı ödeme sisteminin temelini oluşturmaktadır (Yardım ve Akyıldız, 2005). Bolu Dağı'ndaki

geçişleri daha etkin kılmak için 1999 yılında Trafik ve Yol Bilgilendirme Sistemi kurulmuştur. Bu sistemde Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID- Radio Frequency Identification) teknolojisinden faydalanılmış ve bu sayede yol kullanıcılarının hava ve trafik durumundan gerçek zamanlı bilgilendirilmeleri sağlanmıştır (DATEL, 1999). 2000 yılından itibaren yol ve köprü geçişlerindeki ücret toplanmasına yönelik olarak Otomatik Geçiş Sistemi (OGS), Kartlı Geçiş Sistemi (KGS) ve Hızlı Geçiş Sistemi (HGS) gibi uygulamalar kullanılmaya başlanmıştır (Yalçın ve Büyük, 2014). 2001 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü aracılığıyla yollara Değişken Mesaj İşaretleri konularak kullanılmaya başlanmıştır. Ankara’da 2001 yılında akıllı manyetik kartlar geliştirilerek elektronik ödeme sistemine başlamıştır. Emniyet Genel Müdürlüğü ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi ortaklığıyla 2006 yılında Elektronik Denetleme Sistemleri’nin (EDS) geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bunun neticesinde uygulamaya konan EDS, hala İstanbul’un trafik denetimin sağlanmasında büyük rol oynamaktadır (İlcalı ve Kızıltaş, 2016).

Karayolları Genel Müdürlüğü 2005-2010 yılları arasında otoyollara çok sayıda otomatik araç sayım istasyonu kurmuştur (Yılmaz, 2012). 2010 yılıyla beraber AUS uygulamaları ülkemizde giderek yaygınlaşmış, birçok şehirde akıllı duraklar kullanılmaya başlanmıştır. Akıllı duraklar, otobüs saatleri, güzergâhları ve alternatif ulaşım türleri gibi birçok konu hakkında kullanıcıların bilgi almasına olanak tanımaktadır. Ayrıca son yıllarda belediyeler tarafından çok sayıda mobil uygulama (MOBIETT, EGO Cepte vb.) geliştirilmiştir. Böylelikle kullanıcıların ihtiyaç duyduğu birçok bilgi anlık ve yüksek doğrulukla verilmeye başlanmıştır. Ülkemizin 2013 yılı itibarıyla dâhil olduğu, Avrupa ülkeleri arasında başlatılan 112 Acil Çağrı Merkezi (ECall- Harmonised eCall European Pilot) adlı proje kapsamında ülkemizde de 112 E-Call merkezleri kurulmuştur. Ülkemizde AUS uygulamalarının tarihsel gelişimi Şekil 2.4’de görülmektedir.



Şekil 2. 4. Türkiye'deki AUS uygulamalarının tarihsel gelişimi

Tablo 3. 1. AUS kullanım alanları (İlıcılı ve Kızıldaş, 2016)

Karayolu güvenliği ve emniyetinin iyileştirilmesi	▪ Akıllı hız kontrolü ▪ Korumasız yol kullanıcı destek ▪ Yol ve hava koşulları izleme ve uyarı ▪ Olumsuz durumlar ve olay tespit ve uyarı ▪ Çarpışma uyarı ▪ Acil araç öncelik hakkı ▪ Sürücü izleme ve görüş iyileştirme ▪ Elektronik denetleme ▪ Zararlı yük ve kargo izleme ▪ Acil durum yol işaret ve önceliği
Ulaşım tıkanıklarının giderilmesi ve azaltılması	▪ Ulaşım ağı ve verimliliği ile bağlantılı olanlar: Trafik kontrol yönetimi, güzergâh yardımı, değişken hız kontrolü, otoyol katılım kontrolü, olay tespit ve yönetimi, sürücü bilgilendirme ▪ Talep yönetimi: Erişim kontrolü, ücretli yol, tıkanıklık fiyatlandırması ▪ Türel dağılımın değişimi: Seyahat planlama, eş zamanlı trafik bilgilendirme, toplu taşıma öncelikli geçiş hakkı
Çevre koruma ve etkilerinin ortadan kaldırılması	▪ AUS, trafik tıkanıklığını azaltması, özel taşıt kullanıcılarının toplu taşımaya kaymasını sağlaması
Ulaşım sistemi verimliliğinin artırılması ve işletme koşullarının iyileştirilmesi	▪ Filo yönetimi ▪ Bilgisayar destekli taşıt yönlendirme ▪ Otomatik taşıt konumu ▪ Otomatik kargo takibi ▪ Sürücü takibi
Ulaşım sisteminde konforun artırımı	▪ Güncel trafik ve toplu taşıma ▪ Değişken güzergâh bildirimi ▪ Otomatik taşıt konumu ▪ Otoyol ve toplu taşıma sistemlerinde elektronik ücret ödeme sistemleri

AUS uygulamalarının daima politika ve mevzuatın önünde gittiğine yapılan çalışmalarda rastlanmaktadır. İlk olarak teknoloji geliştirilmiş, daha sonrasında bu teknolojiyi kullanan uygulamalar icat edilmiş ve o uygulamaların yerel olmaktan çıkıp genelleşmeye başlamasıyla uygulamalara ait kullanım stratejisi, mevzuatı ve politikası ortaya konmuştur. Uygulamalardan birkaçı hâlihazırdaki bazı sınıflandırma yöntemlerine göre net bir şekilde sınıflandırılmamaktadır. Genel olarak kabul görmüş sınıflandırma olmamakla beraber, kullanım alanlarına göre 7 temel uygulama alanı altında incelenebilmektedir. Bunlar; trafik bilgi sistemleri, yolcu bilgi sistemleri, toplu taşıma sistemleri, yük ve filo yönetim sistemleri, sürücü destek ve güvenlik sistemleri, kaza ve acil durum sistemleri ve elektronik ödeme sistemleri şeklindedir. (İlcalı ve Kızıldaş, 2016).

3.1.1. Trafik yönetim sistemleri

Trafiğin hizmet kalitesini artırmak için trafik yöneticilerine anında bilgi sunularak trafik akışında yaşanan sıkışıklıkları ve kazaları azaltan uygulamaların tümünü içeren sistemlerdir. Bu sistemler sayesinde yönetim ve koordinasyon birimlerine veri iletimi sağlanarak trafik akışı düzenlenmektedir. Sistem altında 3 temel bileşen bulunmaktadır. Bunlardan birinci bileşen, veri toplama bileşeni olup trafiğin durumu izlenmektedir. İkinci bileşen destek sistemleri olup, kameralar, sensörler ve elektronik tabelalar sayesinde gerçek zamanlı olarak trafiğin yönetilip kontrol edilmesini sağlamaktadır. Üçüncü bileşen ise gerçek zamanlı trafik kontrol sistemleridir. Bu bileşen sağlanan veri ve bilgileri kullanarak elektronik tabelalara mesaj göndererek ve otoyol geçişlerini kontrol etmektedir (Figueiredo ve diğ., 2001).

Trafik tıkanıklığının azaltılmasına, yolcuların seyahatlerini daha kaliteli geçirmesine ve acil durumlarda zaman kaybetmeden olay yerine ulaşılmasına imkân veren trafik yönetim sistemleri içerisinde çeşitli uygulamalar kullanılmaktadır. Otoyol radyosu, araç içi navigasyon sistemleri ve değişken mesaj işaretleri bunlara örnek olarak gösterilebilmektedir.

Karayolları Genel Müdürlüğü, Emniyet Genel Müdürlüğü ve yerel idareler ülkemizde trafiğin yönetimi, işletimi ve denetiminden sorumlu olup, bu bakıma bünyelerinde trafik yönetim sistemleri bulundurmaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından Ankara, İstanbul, Mersin ve İzmir bölge müdürlüklerinde Trafik Yönetim Merkezleri kurulmuştur (Tufan, 2014). Bu merkezler, tüm trafik bilgileri toplanıp analiz edilerek, elde edilen sonuçlara göre yol kullanıcılarına bilgilendirmelerin yapıldığı sistemleri içermektedir. Temel olarak işlevleri;

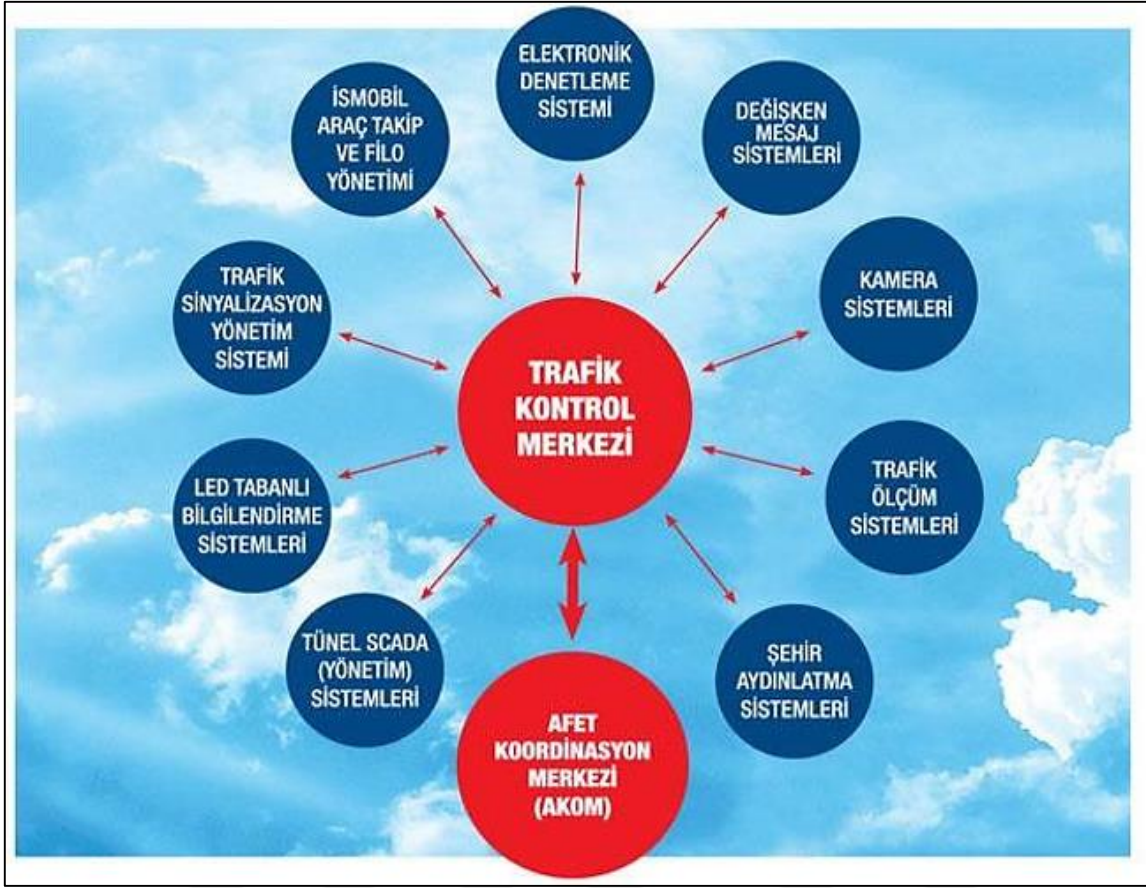
- Kent trafiğini gerçek zamanlı olarak izleme,
- Trafik yoğunluk bilgilerini anlık olarak alma,
- Sinyalize kavşakların gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve yönetimi,
- Trafik yoğunluk bilgilerini görsel ve işitsel olarak verme,
- Trafikteki sürücülerin anlık değişimlerden haberdar edilmesi,
- Trafik ve yol durumu bilgisini kullanıcılara web ve telefon yoluyla iletme,
- Bölgesel trafik durumlarını izleme e-ulaşım kavramına uygunluk,
- Doğru zamanda bilgilendirme ile alternatif güzergâhlara yönlendirme,

şeklindedir (Tektaş ve diğ., 2016).

Trafik Kontrol Merkezlerinde, ulaşım sisteminin yönetilmesi, işletilmesi ve üst düzey teknolojilerin kullanılmasına imkân sağlanmaktadır. Oluşturulan bilgi sistemleri ile kurumlar arası bilgi transferi gerçekleşmekte ve karar destek sistemlerine katkı sağlanmaktadır (İBB, 2011; KGM, 2017).

İstanbul'da trafik yönetimine yönelik AUS kapsamında yer alan sistemler uygulanmaktadır. Şekil 3.2'de İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından kurulan oluşturulan trafik kontrol merkezinin işlevsel şeması verilmiştir. İstanbul'un değişik noktalarına kurulan sinyalizasyon sistemi, trafik izleme kamera sistemi, trafik ölçüm sistemi vb. AUS uygulamalarından elde edilen veriler ile yazılım algoritmaları kullanılarak oluşturulan trafik bilgisi Cep Trafik, değişken mesaj işaretleri, web uygulamaları gibi çeşitli platformlara aktarılmaktadır (İlıcılı ve Kızıltaş, 2016).

Kullanılan sistemlerden biri olan Adaptif Trafik Yönetim Sistemi (ATAK), İstanbul Bilişim ve Akıllı Kent Teknolojileri (İSBAK) A.Ş bünyesinde yer almaktadır. Sistem, kavşakların denetlenmesi için trafik sinyalizasyon sürelerini uygun hale getirerek kavşaklara ait bilgileri kaydetmektedir. Kavşaklardan toplanan bilgilerin merkeze aktarılmasıyla uygun komutların elde edilmesi ve aksamaların kaydedilmesi sağlanmaktadır. Bu sistemin içerisinde 3. Nesil (3G) mobil haberleşme sistemleri ve GPRS (General Radio Packet Service – Radyo Paketi Genel Servisi) haberleşme sistemleri kullanılmaktadır. Sistem sayesinde dur-kalk sayısında, taşıt gecikme süresinde, kuyruklanmalarda ve CO₂ emisyonunda azalmalar olduğu görülmüştür (İSBAK, 2014).



Şekil 3. 2. İstanbul Büyükşehir Belediyesi trafik kontrol merkezi şeması (İSBAK, 2014)

Trafik yönteminin sağlanması ve kural ihlallerini önleyebilmek adına MOBESE (Mobil Elektronik Sistem Entegrasyonu), KGYS (Karayolu Güvenlik Yönetim Sistemi) ve EDS (Elektronik Denetleme Sistemleri) olarak isimlendirilen sistemler emniyet müdürlükleri tarafından kullanılmaktadır. Ülkemizdeki ilgili bakanlıklar EDS, MOBESE ve yeni kurulacak tüm bu sistemlerin AUS mimarisine en iyi şekilde uyumunun sağlanmasını amaçlamaktadır (UDHB, 2016).

Günümüzde birçok Büyükşehir Belediyesi tarafından trafiğin denetlemesi kapsamında, trafik kural ihlallerinin önüne geçilmesi, trafik akışının kontrolü, kazaların engellenmesi, can ve mal emniyetinin sağlanması ve şehir içi trafiğin optimizasyonun sağlanması için trafik düzenini bozan araçların tespiti amacıyla geliştirilen EDS kullanılmaktadır. EDS aşağıda sıralanan alt bileşenlerden oluşmaktadır (İSBAK, 2016b).

- Kırmızı ışık ihlal tespit sistemi

- Hız koridor ihlal tespit sistemi
- Mobil EDS
- Otomatik park ihlal tespit sistemi
- Tramvay yolu ihlal tespit sistemi
- Otomatik plaka tanıma sistemi
- Aşırı yüksek araç tanımlama sistemi
- Yaya şeridi güvenlik sistemi
- Otobüs şeridi ihlal tespit sistemi
- Aşırı yük ihlal sistemi
- Demiryolu geçiş ihlal tespit sistemi
- Ters yön ihlal tespit sistemi

Bu sistemler sağladıkları güvenlik faydalarının yanı sıra görüntüleme işlevleriyle de AUS kapsamında değerlendirilebilmektedir. Dijital kameralarla ihlal anları belirleyen EDS, bununla birlikte anlık olarak trafik verilerinin toplanması ve araç sayım bilgilerinin elde edilmesine olanak veren bir sistemdir. Örneğin plaka tanıma sistemleri sayesinde araçların seyir halindeyken plakalarının otomatik olarak okunmasıyla, hız veya kırmızı ışık ihlali yapan araçlar tespit edilerek otomatik cezai işlemler uygulanmaktadır (İlıcılı ve Kızıldaş, 2016).

3.1.2. Yolcu bilgilendirme sistemleri

Yolcu bilgilendirme sistemleri farklı yol kullanıcılarına, yapacakları veya yaptıkları yolculuk ile ilgili olarak anlık yol durumu, güzergâh planlaması, hava durumu ve yolda meydana gelmiş kazaların yeri gibi bilgilerin verilmesini sağlayan sistemlerdir. Bu sayede AUS'un başlıca hedeflerinden olan enerji ve zamanın verimsiz kullanılmasının önüne geçilerek, toplu taşımacılığın özendirilmesi ve geliştirilmesi önem kazanmaktadır (Nairat, 2015).

Yolcu bilgilendirme sistemleri, yol kullanıcılarına yolculuklarını en kısa sürede tamamlama imkânı vererek alternatif seçenekler sunması, yapılan seyahatlerin kalitesini artırması, karayolu ağı kapasitesinin en uygun kullanımını sağlaması kapsamında ulaşım hizmet kalitesinin artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu sistemlerde yer alan uygulamaların üç temel alanda etkili olduğu görülmektedir (Yılmaz, 2012):

1. Ulaştırıma olan talebin yönetimi,
2. Sürücü davranışlarının kontrol altında tutulması ve

3. Sürücülerin trafikte aldıkları kararların geliştirilmesidir.

Ülkemizde yer alan yolcu bilgilendirme sistemlerinde kullanılan uygulamalara bakıldığında, Ulusal Ulaştırma Portalı, KGM, İBB, İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü ve bazı özel şirketler tarafından geliştirildiği ve uygulandığı görülmektedir. İBB'nin uygulaması olan İBB Yol Gösteren ile kullanıcılar, anlık trafik kamera görüntüleri, tüm toplu ulaşım seçenekleri, otoparkların doluluk oranları ve çeşitli duyurulara ulaşabilmektedir (Kurt ve diğ., 2017). İstanbul başta olmak üzere başka kentlerde de kullanılan akıllı duraklar, yolculara ulaşım araçlarının kalkış-varış saatlerini gösteren yolcu bilgi sistemleri içerisinde yer almaktadır. KGM'nin sorumluluğunda olan yollarda kullanılan değişken mesaj işaretleri ile sürücü ve yol kullanıcıları bilgilendirilmektedir. Telsiz haberleşmesini kullanan ve grafik tabanlı çalışan değişken mesaj işaretleri, sürücülerin trafik kazaları, yol ve hava durumu, yoğunluk gibi gelişmelerden haberdar olmasıyla, alternatif rotalara yönlendirilmesi ve yol kapasitesinin etkin olarak kullanılmasına yardımcı olmaktadır (UDHB, 2013a). KGM'nin kendi web sayfasında, şehirlerarası yol kullanıcıları için en uygun güzergâhlar ve alternatifleri yer almaktadır. Buradan yol kullanıcıları, çalışma yapılan veya kapalı olan yolların durumu ve yol yapısı gibi bilgilere erişebilmektedir. Ayrıca yol kullanıcıları için yol durumu, haritalar, güzergâh analizi ve OGS/KGS geçiş ihlali sorgulama programlarının yer aldığı mobil uygulamaları da bulunmaktadır (İlıcılı ve Kızıltaş, 2016).

3.1.3. Toplu taşıma sistemleri

Yolcular ve hizmet sağlayıcıların daha güvenli, verimli ve konforlu bir şekilde toplu taşıma sistemlerini kullanmalarına olanak tanıyan elektronik sistemlerdir. Toplu taşıma sistemlerini iyileştirmeyi amaçlayan bu sistemler; yolcu ve personel güvenliği, bilet kesme ve ücret toplama, yolcu bilgisi ve operasyonel yönetim olmak üzere genel olarak 4 temel alan için kullanılmaktadır (Yılmaz, 2012).

Ülkemizde günden güne artan nüfus oranı beraberinde, özellikle büyükşehirlerde, toplu taşıma sistemlerine duyulan ihtiyacı da arttırmıştır. Bu durumda toplu taşıma sistemlerinde AUS teknolojilerinden faydalanılması çözüm olarak ortaya konmuş, özellikle Büyükşehir Belediyeleri tarafından önemli projeler uygulanmış ve halen geliştirilmeye devam etmektedir. Ayrıca son yıllarda ülkemizde kullanımı hızla artan akıllı telefon ve mobil internet ile buna

paralel olarak ortaya konan telefon uygulamalarıyla toplu taşımada yolcuların bilgilendirilmesine yönelik faydalı uygulamalar kullanılmaktadır.

Toplu taşımaya sistemlerinde yer alan AUS uygulamalarından biri de elektronik bilet işlemleridir. Ulaşım hizmetlerinden faydalanan kullanıcıların ücretlerini hızlı ve pratik şekilde ödemesine yönelik kullanılan temassız akıllı kartlar günümüzde birçok büyükşehir ve il belediyeleri tarafından kullanılmaktadır. 1995 yılında İBB tarafından halkın hizmetine sunulan Akbil Türkiye'deki elektronik bilet işlemlerinin öncüsü sayılmaktadır. Sonrasında yine İBB tarafından İstanbulkart olarak adlandırılan akıllı kartlar uygulanmaya başlanmıştır (BELBİM, 2014). Ülkemizin en büyük bütünleşmiş toplu taşıma elektronik bilet uygulamaları olan bu temassız akıllı kartlar ile ücretlendirmenin mesafe ve zamana bağlı olarak değişebilmesine imkân tanınmaktadır. Yolcu dağılımlarının hat, istasyon ve saat bazında takip edilmesiyle ilgili birimlere transferi sağlanabilmektedir (Yardım ve Akyıldız, 2005).

İBB'nin bünyesinde yer alan bir başka toplu taşıma uygulaması MobİETT'dir. MobİETT, cep telefonu uygulaması ile yolcuların gerçek zamanlı olarak sefer tarifi, toplu taşıma araçlarının tahmini geliş süresi, durak ve güzergâh bilgileri gibi verilere anlık olarak uygulama üzerinden erişilebilmektedir. Ayrıca bu uygulamayla toplu taşıma hizmetlerine yönelik şikâyet ve talepler de alınabilmektedir (İETT, 2014).

1999 yılında İzmir Büyükşehir Belediyesi aracılığıyla feribot, metro ve otobüs gibi farklı toplu taşıma sistemlerinde kullanılabilmesi için Akıllı Kartlarla Elektronik Ücret Toplama Sistemi işletilmeye başlanmıştır (Kentkart, 2014). Daha sonrasında Kentkart olarak isimlendirilen bu sistemin Adana, Mersin, Kocaeli, Sivas ve Manisa da kullanımı başlamıştır (Center, C., 2014).

3.1.4. Yük ve filo yönetim sistemleri

Bir yükün taşınma amaçlı çıkış yaptığı noktadan, gitmesi istenen noktaya kadar izlenmesi, kontrol edilmesi ve gerektiğinde müdahalede bulunulmasına imkân verecek şekilde tasarlanan sistemlerdir (Nairat, 2015). Bu sistemlerle özel ve kamu araç filolarının yük ile güvenlik konusundaki denetimi, acil durumlarda müdahale edilmesi, araçlara rehberlik edilmesi ve çalıntı araçların yerinin tespitinin saptanması gibi denetim ve yönetim açısından faydalar sağlamaktadır (Küçükçınar, 1998). Bu sistemler özellikle mobil veri üretimi için AUS

açısından oldukça önemlidir. Temin edilen bu verilere sonradan kapasite ve trafik yoğunluk bilgisi elde edilmek adına yararlı olabilmektedir. Hem de geçmiş zamanlı veri olarak kaydedilerek, trafik tahmin algoritmalarında da kullanılabilir (İlıcılı ve diğ., 2016).

Ülkemizdeki örneklerine bakıldığında, İSBAK tarafından kullanılan Araç Takip ve Filo Yönetim Sistemi diğ er bir adı İSMOBİL olan sistem ile sürücüler ve araçlar uygun düzeyde kontrol edilerek, gerekli yönlendirmeler yapılmaktadır. İSMOBİL ile online olarak araçların güzergah, hız ve konum takipleri yapılmaktadır (İSBAK, 2016a). Ülkemizde tüm şehirler için filo yönetim ve araç takip sistemlerinin kullanılması amaçlanmaktadır ve bu konuda gerekli altyapı çalışmaları ülke genelinde yürütölmektedir. Bu bağlamda tüm İETT filosu izlenmekte olup ilerleyen sürede İstanbul'daki tüm minibüslerin sisteme dâhil edilmesi planlanmaktadır. Ankara'da toplu taşıma araçlarında takip sistemleri bulunurken, Erzurum'da Türk Track Araç Takip ve Veri Toplama Sistemi kullanılmaktadır (Kenanoğlu, 2018; UDHB, 2016).

3.1.5. Sürücü destek ve güvenlik sistemleri

Sürüş emniyeti ile rahatlığı sağlamak için araçların uyumunu ve otomasyonunu sağlayan sistemlerdir. Bu sistemlerin tarihi çok eski olmamakla birlikte 1970'lerde uygulanmaya başlayan hız sabitleyici (cruise control) ile anti-lock fren sistemleri (ABS) bu alanda ilk uygulanan sistemlerdir. Daha sonraki süreçte ardı ardına geliştirilen akıllı uygulamalar ile bu alanda önemli gelişmeler görölmüştür. Çeşitli çarpışma olasılıklarını önlemek adına; yatay ve dikey çarpışma önleyici sistemler, kaza öncesi güvenlik sistemleri ve kesişme kazalarını önleme sistemleri geliştirilmiş ve günümüzde uygulanmaktadır (Küçükçınar, 1998). Sistemlerin içinde sensörler, kameralar, V2V (araç ile araç), V2I (araç ile altyapı) ve araç veri şebekeleri yer almaktadır (AUSDER, 2017).

3.1.6. Kaza ve acil durum yönetim sistemleri

Yollarda gerçekleşen, trafik kazaları başta olmak üzere, acil müdahale gerektiren olayların tespiti, müdahalesi, ilgili birimlerin bilgilendirilmesi ve olayın bıraktığı tahribatın yönetimini içeren uygulamalardır. Sistemlerin asıl amacı can kayıpları ve maddi zararların minimize edilerek kaza ve acil durumları etkin şekilde yönetilmesini sağlamaktır (UDHB, 2016).

1 Ocak 2013 tarihinden sonra, Avrupa Birliği ölkeleri ile İsviçre, İzlanda ve Norveç'teki tüm araçların uyumlu biçimde üretilmesi ve eCall çağrılarını karşılayacak şekilde yeniden tasarımları amacıyla başlatılan HeERO (Harmonised eCall European Pilot -

Uyumlandırılmış e-Çağrı Avrupa Pilot Projesi) projesine Türkiye’de dâhil olmuştur. Bu proje kapsamında, araçların kaza yapmaları durumunda otomatik olarak 112 acil çağrı merkezini arayarak ilgili acil durum ekiplerinin olay yerine müdahalesini hızlandırmak amaçlanmaktadır. Ayrıca AKOM (Afet Koordinasyon Merkezi) tarafından, afet ve benzeri durumların müdahalesi için trafik kontrol merkezlerine bilgi akışında kullanılan gözlem kameraları izlenmektedir (Gökaşar ve Aydın, 2013).

3.1.7. Elektronik ödeme sistemleri

Elektronik haberleşme, veri işleme ve veri saklama gibi imkânların kullanılarak, seyahat ve park ücretlerinin toplandığı sistemlerdir. Bu sistemler yolculara ücret ödeme kolaylığı sunarken aynı zamanda kurumların mali ve muhasebe işlerinin otomatikleştirilmesi bakımından imkân sağlamaktadır (Yardım ve Akyıldız, 2005).

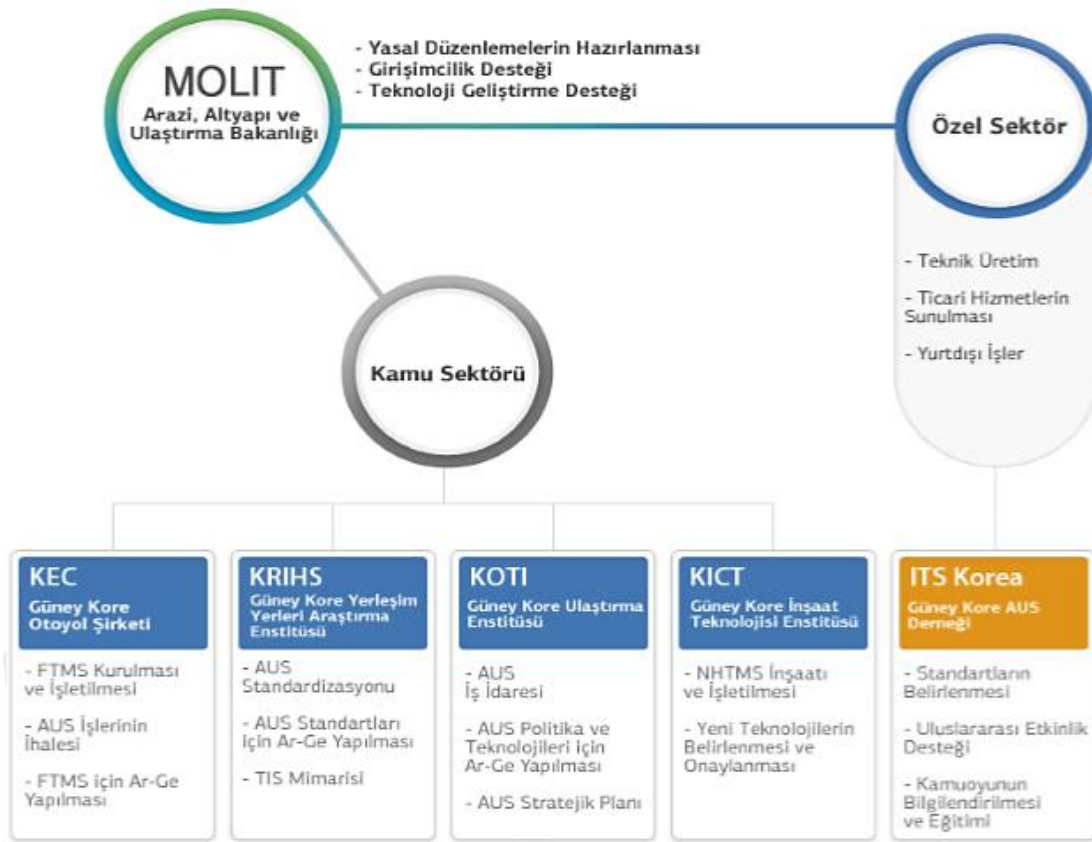
Ülkemizde ilk olarak 1992 yılında Otoyol Ücret Toplama Sistemi başlamıştır. Bu sistem otoyol seyahatlerinde, araç sahiplerinin kat ettikleri mesafe ve araç sınıfı bakımından ücret ödemesi maksadıyla geliştirilen operatörlü bir sistemdir (Yardım ve Akyıldız, 2005). Sonraki yıllarda bu sistem sürücülerin elektronik kart taşıyarak ödemelerini gerçekleştirdiği KGS (Kartlı Geçiş Sistemi) olarak uygulanmaya başlamıştır. En son olarak tüm köprülerde ve otoyollar HGS (Hızlı Geçiş Sistemi) kullanımına geçilmiştir. Sistemde araca takılan RFID (Radio Frequency Identification - Radyo Frekansı ile Tanımlama) etiketi sayesinde aracın bilgileri sistemce algılanarak engelsiz geçiş sağlanmaktadır. Bu şekilde geçişlerde trafik akımının kesintiye uğramamasına olanak verilmektedir.

3.2. Dünyadaki akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları

AUS dünya çapında hızla gelişirken; özellikle bu konuda 50-60 yıllık geçmişi olan Amerika Birleşik Devletleri, Birleşik Krallık, Japonya, Güney Kore, Singapur, Avustralya ve Hollanda gibi ülkelerin AUS konusundaki gelişmelerde başı çektiği görülmektedir. Bu ülkelerde öne çıkan uygulamaların incelenmesinin hem mevcutta bulunan hem de geliştirilmekte olan uygulamalar açısından faydalı olacağı düşünülmektedir. Aşağıda ülke adlarının yer aldığı alt başlıklar altında ülkelerin AUS alanında kaydettiği gelişmelere ve uygulamalara ait genel bilgilere yer verilmiştir.

3.2.1. Güney Kore

Güney Kore hükümeti yol güvenliği, trafik sıkışıklığı ve trafik şartlarını iyileştirme gibi hedefler doğrultusunda AUS uygulamalarını hayata geçirmiştir. Ülkede ulusal bir program altında gerçekleştirilen altyapı yatırımları ile elektronik ücret toplama sistemleri, ileri toplu taşıma bilgi sistemleri ve gerçek zamanlı trafik bilgisi toplama konusunda oldukça önemli bir ilerleme kaydedilmiştir. Aşağıda yer alan Şekil 3.3'te Güney Kore'deki AUS çalışmalarını yapan kurumsal yapılar görülmektedir.



Şekil 3. 3. Güney Kore AUS kurumsal yapısı (Center, N. T. I., 2014)

Kurumsal yapı AUS mimarisinde yer alan uygulamaları genel olarak 7 başlık altında toplamıştır:

1. Gelişmiş Trafik Bilgisi Hizmeti
2. Elektronik Ücret Toplama Hizmeti
3. Gelişmiş Ticari Araç İşlemleri
4. Gelişmiş Toplu Taşıma Hizmeti
5. Gelişmiş Trafik Yönetim Hizmeti

6. Gelişmiş Yolcu Bilgi Hizmeti
7. Gelişmiş Araç ve Otoyol Hizmeti (Center, N. T. I., 2014).

Güney Kore’de kullanılan Otoyol Trafik Yönetim Sistemi ile gerçek zamanlı trafik verileri elde edilmektedir. Elde edilen veriler Ulusal Ulaştırma Bilgi Merkezi’ne anlık olarak iletilmektedir. Ülkede bulunan 79 farklı noktadan alınan veriler bu merkezde toplanmakta ve işlenerek vatandaşlara çeşitli kanallar yoluyla ücretsiz olarak sunulmaktadır. Otoyolların yanı sıra kent içi veya kentlerarası yolların trafik bilgisi, Kore Otoyol İşletmesi (KEC – Korea Expressway Corporation) tarafından ücretli olarak vatandaşlara sunulmaktadır (Ezell, 2010).

Toplu taşıma bilgi sistemlerinde oldukça gelişmiş olan Güney Kore’de otobüslerin içerisinde kablosuz modem ve GPS cihazları bulunmaktadır. Bu sayede toplu taşıma sistemi kullanıcıları otobüslerin güzergah ve durak bilgilerine erişebilmektedir. Ayrıca ülke genelinde kullanılan T-money isimli akıllı kart sayesinde, yolcular otobüs, tren, metro ve taksi gibi farklı ulaşım hizmetlerinden tek bir kart ile faydalanmaktadır (Yılmaz, 2012).

Güney Kore’nin Anyang kentinde 2003 yılı itibariyle uygulamaya konan akıllı şehir projesi kapsamında günümüze kadar birçok AUS uygulaması hayata geçirilmiştir. Anyang kentinde uygulanan AUS uygulamaları aşağıdaki Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3. 2. Anyang kentindeki bazı AUS uygulamaları (Lee ve diğ., 2016)

Trafik Bilgisi İşleme ve Analiz Etme	• Toplanan ham verilerin uygun algoritması kullanılarak üretilen ve analiz edilen bilgileri üretmek • Beklenmedik durumu ve tekrarlanan sıkışıklığı tespit etmek • Trafik bilgisi, model bilgisi ve istatistik bilgisi üretmek
Merkezi İşlemler Yönetimi	• Merkezi ve temel verileri yönetmek • Değişken mesaj işaretlerini yönetmek • Beklenmeyen durumlar ve sıkışıklığı yönetmek
Yönetim ve Bakım Faaliyeti	• Yol durumunun kontrolünü ve yönetimini yapmak
Elektronik Harita	• WEB için elektronik harita bilgilerinin sağlanması
Trafik Bilgisinin Tedariği	• Vatandaşlar ve diğer kurum ile merkezlere trafik bilgisini sağlamak
Trafik Bilgisi Toplama ve Yayma	• CCTV, Otobüs Bilgi Sistemi (BIS), WEB, görüntü dedektörleri ve sinyal kontrol dedektörlerinden elde edilen bilgileri toplamak

3.2.2. Amerika Birleşik Devletleri

AUS konusunda öncü olan ülkelerin başında yer alan ABD’de bu konuyla ilgili olarak Ulaştırma Bakanlığı, eyalet meclisleri, eyaletlerin ulaşım idareleri, özel kurum ve kuruluşlar aktif olarak görev almaktadır. AUS için yasaların yürütülmesi, yorumlanması ve düzenlenmesi konusunda ABD Ulaştırma Bakanlığı sorumlu olup üzerine düşen görevi yapmaktadır. 1998 yılında ABD Ulaştırma Departmanı tarafından tehlikeli durumlara karşı sürücüler uyararak, çarpışmaların önüne geçmek, araç kontrolünün sağlanması için sürücü destek sistemleri geliştirmek ve bu sistemlerin ticarileştirilmesi hedefleyen Akıllı Araç

İnisiyatifi kurulmuştur (Auer ve diğ., 2016). Eyalet meclisleri ve eyaletlerin ulaşım idareleri sorumlu oldukları bölgelerde kendi uygulamalarını gerçekleştirmektedir (RITA, 2014).

Gelişen teknolojileri kullanarak daha güvenli, daha ekonomik, enerji etkin ve çevreye duyarlı karayolu altyapısına yönelik araştırma, geliştirme, test ve uygulama faaliyetlerinin yürütüleceği ulusal bir program oluşturma hedefiyle kar etme gayesi olmayan Akıllı Araç Otoyol Sistemleri (IVHS – Intelligent Vehicle Highway Systems) kamu ve özel sektör ortaklığı ile kurulmuştur (TRB, 1991). Daha sonra Ulaştırma Bakanlığı tarafından bu ortaklığın adı AUS Amerika (ITS America – Intelligent Transportation Society of America) olarak değiştirilmiştir (Yılmaz, 2012). AUS Amerika'nın öncelikle hedefledikleri; gelişmiş yeni nesil çözümler sunmak, teknoloji dağıtımını hızlandırmak, ulaşımда güvenliği ve hareketliliği arttırmak, çevreye verilen zararı minimuma indirmek ve finansman seçeneklerini araştırmak şeklindedir (Kenanoğlu, 2018). AUS' un araştırılması, geliştirilmesi ve entegre edilmesi faaliyetlerinde AUS Amerika ve IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers - Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) gibi dernekler devlete ve özel sektöre danışmanlık yaparak gerekli olan hizmetlerin sunulmasına yardımcı olmaktadır (RITA, 2014).

AUS uygulamaları dâhilinde ABD'de trafik yönetimi, bilgi yönetimi, ticari araç hizmetleri, acil durum yönetimi, elektronik ödeme, araç güvenlik sistemleri ve toplu taşıma yönetimi gibi birçok alanda uygulamalar kullanılmaktadır. Örneğin özel sektördeki firmalar tarafından HotStop, MapQuest ve Google Transit gibi uygulamalar ABD'de toplu taşıma kullananları bilgilendirmek amacıyla geliştirilmiştir (Schweiger, 2014).

3.2.3. Avustralya

AUS ile ilgili çalışmaların yoğun biçimde yürütüldüğü diğer bir ülke olan Avustralya, ülke genelindeki ulaşım sistemlerinin daha verimli, güvenli ve diğer sistemlerle uyum içinde olması amacıyla birçok çalışma yapmaktadır. 1992 yılında Avustralya'da AUS ile ilgili uygulamaların ortaya konması ve geliştirilmesine imkânlar tanınması amacıyla kar amacı olmayan AUS Avustralya (ITS Australia) örgütü kurulmuştur. AUS Avustralya kurulduktan sonra bu alandaki çalışmaların hızlandığı ve AUS stratejisinin belirlenmesine yönelik ihtiyaç doğrultusunda girişimlerin başladığı görülmektedir (Australia, 2002).

Avustralya'daki otoyollar ve önemli kent içi yollarda değişken mesaj işaretleri, rampa ölçümleri ve değişken hız sınır işaretlemesi gibi AUS bazlı uygulamalar kullanılmaktadır. Gelişmiş yolcu bilgi sistemleri Vicroads, gelişmiş trafik yönetim sistemi SCATS ve elektronik ücretlendirme sistemi e-TAG Avustralya'da kullanılan AUS uygulamalarından bazılarıdır. Ayrıca trafik kaynaklı sorunların çözümünde yardımcı olan araç içi uyarı sistemleri de AUS kapsamında kullanılmaktadır. Bunlar; yorgunluk izleme sistemi, mayday acil durum bildirimi, şerit ihlal sistemi, akıllı hız uyum sistemi, alkol kilit sistemi ve çarpışma önleme sistemi şeklindedir (Regan ve diğ., 2002). Avustralya'da otonom araçlar üzerine de bazı çalışmaların yürütüldüğü ve bazı bölgelerde uygulanmaya başlanıldığı bilinmektedir (Dokic ve diğ., 2015).

3.2.4. Hollanda

Ülkede giderek artış göstereceği öngörülen trafik hacminin doğurabileceği problemler nedeniyle Hollanda hükümeti ulaştırmaya yönelik politikalarda AUS uygulamalarını ön planda tutmaktadır. Hollanda'da ilk AUS uygulamaları 1930'lu yıllarda trafik ışıkları ile başlamış olup Amsterdam ve Eindhoven şehirlerinde kurulmuştur. 1980'li yıllarda gelişen teknolojiler ile birlikte Otomatik Kaza Tespit Sistemleri ve Değişken Mesaj İşaretleri ülke genelinde kullanılmaya başlanmıştır. Aynı yıllarda trafik bilgi sistemleri ve FM radyo yayınları ile trafikte olan sürücüleri bilgilendirmeye yönelik uygulamalar ortaya çıkmıştır. Özel sektörün 1993 yılından başlayarak AUS alanında faaliyete girmesiyle anlık trafik bilgilerinin araç içi navigasyon sistemlerine iletilmesi sağlanmıştır. 1994 yılında ilgili bakanlık tarafından trafik yönetim programı projesi yürütülmeye başlanmıştır. Bu proje ile RDS-TMC (Radio Data System - Trafik Message Channel, Radyo Veri Sistemi - Trafik Mesajı Kanalı) teknolojisi ve trafik kontrol merkezleri kullanımına başlanmıştır (Environment, 2011).

Hollanda'da toplu taşımaya yönelik olarak önemli AUS uygulamaları kullanılmaktadır. Bunlardan biri olan NDOV (National Data Office for Public Transport – Toplu Taşıma için Ulusal Veri Ofisi) projesi sayesinde kontrol, kalite ve standartlaştırma sağlanmaktadır. Proje ile mobil uygulamalara ve seyahat planlaması bilgilerini içeren internet sitelerine veri aktarılması gerçekleştirilmektedir. Hollanda'da yük ve filo yönetimi, yol ücretlendirme sistemleri ve otopark yönetimi gibi alanlarda da AUS uygulamaları kullanılmaktadır (Environment, 2011).

3.2.5. Birleşik Krallık

AUS alanında öncü ülkelerden sayılan Birleşik Krallık' ta, ülkeye ait ulusal AUS mimari yapısı bulunmamaktadır. Avrupa Birliği'nin 2010/40/EU yönergesi ve bu alanda geçerli mevzuat ülke genelinde kabul edilmiştir. Yönergede belirlenenler doğrultusunda birçok AUS uygulaması hayata geçirilmiştir (Tufan, 2014).

Birleşik Krallık'ta seyahat ve trafik verilerinin kullanılmasına yönelik ortaya konan AUS uygulamaları mevcuttur. Bunlardan bazıları; değişken mesaj işaretleri, UTM (Urban Traffic Management and Control – Kent içi Trafiği Yönetimi ve Kontrolü), CCTV sistemleri, ulusal trafik kontrol merkezi, Transport Direct, yol kenarı haberleşmesi ve ulusal trafik bilgi hizmeti şeklindedir. CCTV kameraları sayesinde trafiğin kuş bakışı görüntüleri elde edilmekte ve bu görüntüler bölgesel trafik kontrol merkezlerine iletebilmektedir. Ulaştırma Bakanlığı'na 1997 yılında başlatılan UTM projesi, birden çok trafik yönetimi uygulamasının birbirleri ile haberleşmesine olanak veren bir merkez kurulması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda plaka tanıma kameraları, otoparklar, meteoroloji istasyonları, trafik ışıkları gibi çeşitli yerlerden gelen veriler bu merkez bir araya gelmektedir. Toplanan veriler ile otopark doluluğu, rüzgâr hızının artması gibi durumlara karşı sürücüler için uyarılar yapılarak bilgi aktarımı gerçekleştirilmektedir. Transport Direct, AUS kapsamında Birleşik Krallık genelinde uygulanan bir diğer uygulamadır. Bu uygulama kapıdan kapıya seyahat planlaması için otuz milyondan fazla noktayı içerisinde barındıran bir internet portalı uygulamasıdır. Uygulama sayesinde anlık olarak ulaşım modlarının maliyetlerinin kıyaslanması ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması yapılmaktadır (Transport, 2012).

3.2.6. Japonya

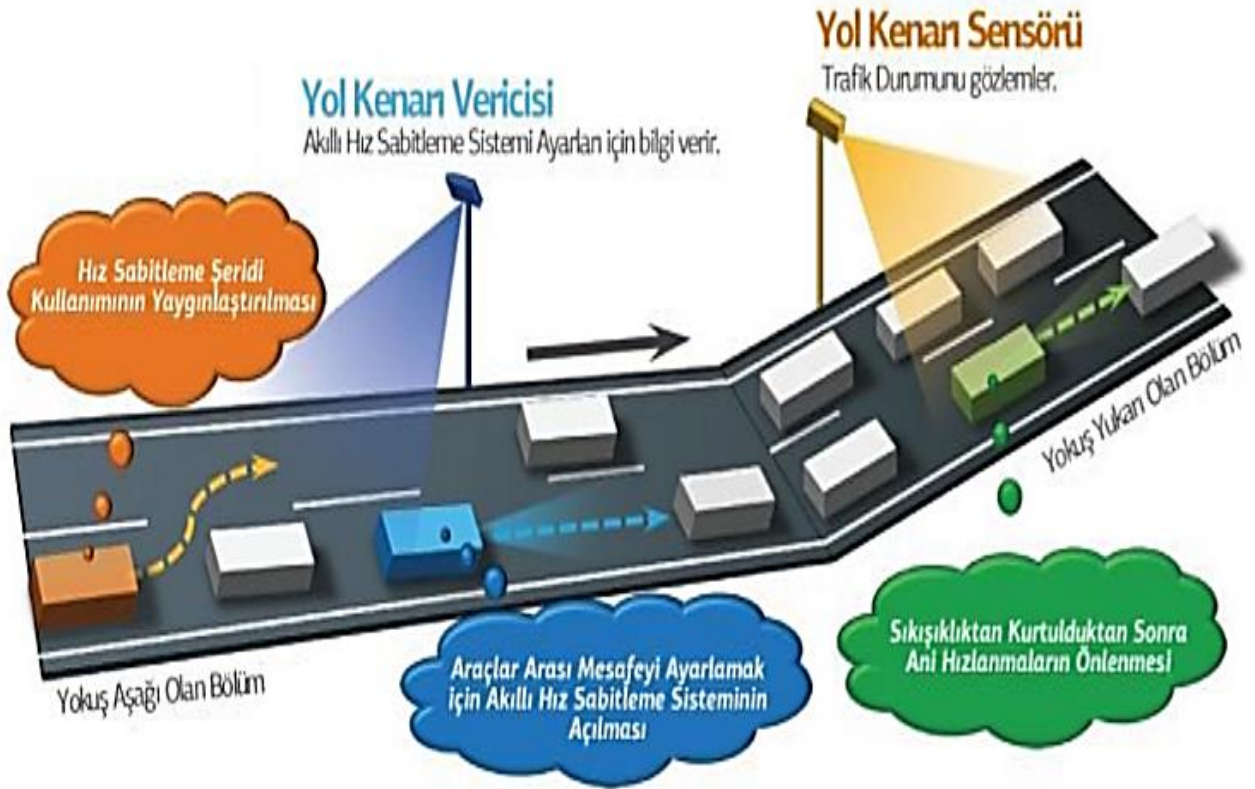
Coğrafi, sosyal, demografik ve ekonomik yönden daha farklı bir yapıda olan Japonya'da, trafikle alakalı problemlere diğer gelişmiş ülkelerden daha erken bir zamanda karşı karşıya kalınmıştır. 1960'larda AUS üzerine ilk araştırma faaliyetlerine başlanılmış olup bu kapsamda, trafik sıkışıklığı, trafik kazaları ve çevresel etkilerin minimize edilmesiyle yolları, araçları ve insanları bilgi ve iletişim teknolojileri sayesinde bütünleştirmek amaçlanmaktadır (Ezell, 2010).

İlk olarak 1973 yılında Japonya'da AUS uygulaması kapsamında trafik kontrol merkezi kurulmuştur. 1973 ile 1979 yılları içerisinde otomobille yol arasındaki iletişimi sağlayan

Kapsamlı Araç Trafik Kontrol Sistemi (CACS – Comprehensive Automobile Traffic Control Ssystem) projesi Uluslararası Ticaret ve Sanayi Bakanlığı tarafında yürütölmüş ve projeden elde edilen çıktıları özel sektör firmaları ile paylaşılmıştır (Yılmaz, 2012). 1984 yılında Yol-Araç İletişim Sistemi (RACS - Road-Automobile Communication System) adı altında elektronik tabela tabanlı sürücü sefer ve iletişim sistemi olan program başlatılmıştır. 1987 yılında sürücölere trafik bilgisi veren İleri Mobil Trafik Bilgisi ve İletişim Sistemi (AMTICS – Advanced Mobile Traffic Information and Communication System) programı devreye alınmıştır. Daha sonraki süreçte her iki programın aynı amacı taşımasından dolayı, 1990 yılında Araç Bilgi ve İletişim Sistemi (VICS - Vehicle Information and Communication System) adı altında birleştirilmiştir (Diebold, 1995). Bu sistem trafik kaynaklı problemlere yönelik temel bir çözüm olarak görölmekte olup, gerçek zamanlı trafik bilgilerinin iletilmesi için otoyol ve karayollarında radyo dalgası işaretleri, kameralar, kızılötesi sensörler ve detektörler kullanılmaktadır (Ezell, 2010; Holborn, 2002). Aynı yıllarda Süper Akıllı Araç Sistemi (SSVS - Super Smart Vehicle System) ile sürücöye yardımcı araçlar, kaza tanıma ve uyarı sistemleri gibi pek çok alanı içeren program başlatılmıştır (Ioannou, 2013).

1994 yılında AUS alanında araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin yürütölmesi, diğler ölkelerde yapılan çalışmaların takip edilmesi ve uygulamaların potansiyel kullanım alanlarına yönelik tartışma ortamının oluşturulması amacıyla Araç Yol ve Trafik Bilgi Topluluğı (VERTIS – Vehicle, Road and Traffic Intelligence Society) oluşturulmuştur. Bu topluluk 2001 yılında AUS Japonya (ITS Japan) olarak yeniden adlandırılmıştır (Yılmaz, 2012).

Japonya’da AUS üzerine yapılan diğler bir proje Akıllı Yol projesidir. Bu projede altyapı-arac haberleşme teknolojisiyle yeni nesil yol ağı oluşturulması hedeflenmektedir. 2010 yılı itibariyle ulusal boyutta yaygınlaştırılmaya başlanan bu projede, otuzdan fazla otomotiv ve araç navigasyon cihazı üreticisi firma görev almaktadır. Şekil 3.4’te göröldüğü üzere yol kenarlarında bulunan sensörler trafik durumunu gözlemlemekte ve trafik yoğunluğu, kaza vb. durumların bilgisini sürücölere iletilmesini sağlamaktadır. Yol kenarı vericileri araç takip mesafelerinin ayarlanması için sürücölere bilgilendirme yapmaktadır (Hanai, 2013).



Şekil 3. 4. Akıllı yol projesi (Hanai, 2013)

3.2.7. Singapur

AUS alanında pek çok uygulamanın ilk olarak denendiği ve yaygın olarak kullanıldığı bir ülke olarak Singapur ön plana çıkmaktadır. Trafik sıkışıklığının giderilmesi için bilinen ilk elektronik yol ücretlendirme sistemi Singapur'da kullanılmıştır. 1999 yılında ülkede ulusal çapta güvenli ve problemsiz trafik akışının sağlanması amacıyla i-Transport olarak isimlendirilen bir platform kurulmuştur. Bu platform ile tünel ve otoyol takip sistemleri, kaza yönetimi, trafiğin izlenmesi, trafik ışıklarının sinyalizasyonu ve gerçek zamanlı trafik bilgilerinin kullanıcılarla paylaşılması gerçekleştirilmektedir. Ayrıca platform içerisinde birçok farklı sistem ve uygulama yer almaktadır (Authority, 2014a, 2014e). AUS kullanımının ortaya çıkardığı faydalar ile Singapur dünyadaki en düşük trafik tıkanıklığı oranlarından birine sahip bir ülke olmuştur (Cities, 2014).

Singapur'da kullanılan AUS uygulamalarından biri EMAS (Expressway Monitoring Advisory System - Otoyol Takip Danışma Sistemi) olarak adlandırılan sistemdir. Bu sistemde otoyollardaki araç arızalanması ve trafik kazası gibi durumların tespiti yapıp trafik akışında aksama olmaması için çabucak müdahale edilmesine yardımcı olunmaktadır. Ayrıca sistem ile

otoyollarda yer alan elektronik tabela, yol işaretleri ve TrafficWatch adlı trafik radyo yayını kullanılarak sürücülerin bilgilendirmesi yapılmaktadır (Authority, 2014b). AUS kapsamında kullanılan diğer bir uygulama J-Eyes adlı uygulamadır. Bu sistemde önemli noktalarda yer alan kavşaklara monte edilen kameralar sayesinde kavşaklardaki trafik durumu takip edilmektedir (Authority, 2014f). GLIDE (Green Link Determining System – Yeşil Hat Belirleme Sistemi) sistemi ülkedeki tüm trafik ışıklarının denetiminin yapıldığı merkezi bir sistemdir. Sistem sayesinde trafik akımındaki yoğunluk durumuna bağlı olarak trafik ışıklarının kırmızı/yeşil süreleri belirlenebilmektedir. Böylelikle ardışık trafik ışıklar boyunca araçların dur-kalk sayıları en aza indirilerek trafiğin kesintiye uğramadan akması sağlanmaktadır (Authority, 2014c).

Singapur Kara Ulaştırma İdaresi tarafından Green Man isimli proje uygulanmaya başlamıştır. Bu proje dâhilinde kavşaklarda yaşlı veya engelli yayalar için karşıdan karşıya geçme sürelerinin daha uzun olmasına imkân veren trafik ışıklarının kullanılmaktadır. Sistemde yer alan trafik ışıklarındaki direklere yaşlı veya engelli yayaların sahip oldukları vatandaşlık kartı ya da Green Man kartını okutmasından sonra yaya geçiş sürelerinin 13 saniyeden daha fazla olmasına olanak tanınmaktadır (Authority, 2014d).

Singapur'da 2008 yılından itibaren uygulanmakta olan bir başka AUS uygulaması, sürücülerin anlık olarak otoparkların doluluk boşluk oranları hakkında bilgi sahibi olduğu ve hızlı şekilde park yeri bulmalarına yardımcı olan otopark kılavuzluk sistemidir. Sistem içerisinde kullanılan My Transport SG adlı cep telefonu uygulaması veya One Motoring adlı portal ile sürücülere bilgi aktarımı gerçekleştirilmektedir. Ayrıca Şekil 3.5'te şehir merkezlerinde yer alan elektronik tabelalar ile sürücülere bilgi aktarımı sağlanmaktadır (Authority, 2014e).



Şekil 3. 5. Singapur otopark kılavuzluk sistemi (Authority, 2014e)

Singapur’da toplu taşıma kullanımını çekici hale getirmek için AUS kapsamında çok sayıda çalışma yürütülmektedir. Bu doğrultuda akıllı durak uygulamaları ülke genelinde birçok yerde kullanılmaktadır. Singapur Ulaştırma Kurumu yolcuların seyahatlerini iyileştirmek adına AUS’un kullanıldığı optimal bir ulaşım ağı hedefiyle çalışmalarını sürdürmekte olup, ulaşım hizmetlerinde çevresel, ekonomik ve zamansal kayıpları en aza indirmeye çalışmaktadır (Ezell, 2010).

3.3. Akıllı ulaşım sistemlerinde kullanılan teknolojiler

İlerleyen bilgi ve iletişim teknolojilerinin ulaşım ile bütünleşmesi ile ortaya çıkan AUS, geliştirdiği sistemlerle güvenli, konforlu ve çevreci bir ulaşım hizmeti sağlamaktadır. AUS’un içerisinde akıllı kelimesinin yer alması, şüphesiz ki teknoloji kullanımından kaynaklanmaktadır. Elektronik, telekomünikasyon ve bilgisayar teknolojilerini ulaşım sektörüne entegre eden AUS’da kullanılan teknolojiler oldukça kapsamlıdır (Ramos ve diğ., 2012). AUS içerisinde yer alan her uygulamanın ihtiyaç duyduğu teknoloji değişkenlik göstermektedir.

3.3.1. Kapalı devre televizyon (CCTV – closed circuit television)

Kapalı devre televizyon sistemi güvenlik ve/veya takip amaçlı uygulanmaktadır. Kameralar kablo aracılığıyla televizyona (monitöre) bağlanarak, alınan görüntülerin belirli bir merkeze iletilmektedir. Bu sistemler sayesinde trafik ve yoğunluk takibi, plaka tanıma, otobüs, uçak,

tren gibi ulaşım araçlarında güvenlik ile servis kalitesini arttırmak ve izleme personellerinin olayı tespiti ve doğrulama yapmasına olanak tanınmaktadır (KAREL, 2018).

3.3.2. Küresel konum belirleme sistemi (GPS – global positioning system)

Düzenli olarak kodlanmış bilgi yollayan bir uydu ağıdır ve uydularla arasındaki mesafeyi ölçerek dünya üzerindeki kesin yeri tespit etmeyi mümkün kılan sistemler olarak açıklanmaktadır. Sistem ilk olarak ABD Savunma Bakanlığı tarafından askeri amaçlar için tasarlanmıştır. Ancak sistem 1980’li yıllardan itibaren sivil kullanımına açılmıştır (Council, 1995).

GPS, araç içerisinde kullanılan navigasyon ve rota rehberlik sistemlerinin arka planında yer alan ana teknolojidir. Cep telefonlarımız ya da araçlarda bulunan navigasyon cihazları, GPS’den alınan konum bilgisini kullanarak haritada o an bulunduğumuz konumu göstermektedir. Bu şekilde seçtiğimiz hedefe ulaşmamız için gerekli güzergâh bilgilerini hesaplayıp en kısa veya ekonomik yolu seçmemize yardımcı olmaktadır. Bu işlem için cihazlar içerisinde harita bilgisinin yüklü olması gerekmektedir. Cep telefonlarına harita bilgisi önceden yüklenebileceği gibi, internet bağlantısı aracılığıyla en güncel harita bilgisi elde edilebilmesinin yanında anlık trafik bilgisi gibi olanaklar da sunulabilmektedir. Aşağıda yer alan Şekil 3.6’da araç içi navigasyon cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3. 6. Araç içi navigasyon cihazı (İzgöl, 2016)

Gelişmiş toplu taşıma sistemleri kullanan şehirlerde, otobüslerin zamanlaması ve izlenmesi, toplu taşıma araçlarının mevcut konum bilgileri veya hangi durakta saat kaçta olacakları gibi bilgilerin elde edilmesinde GPS kullanılmaktadır (Ezell, 2010).

3.3.3. Yakın alan iletişim (NFC – near field communication)

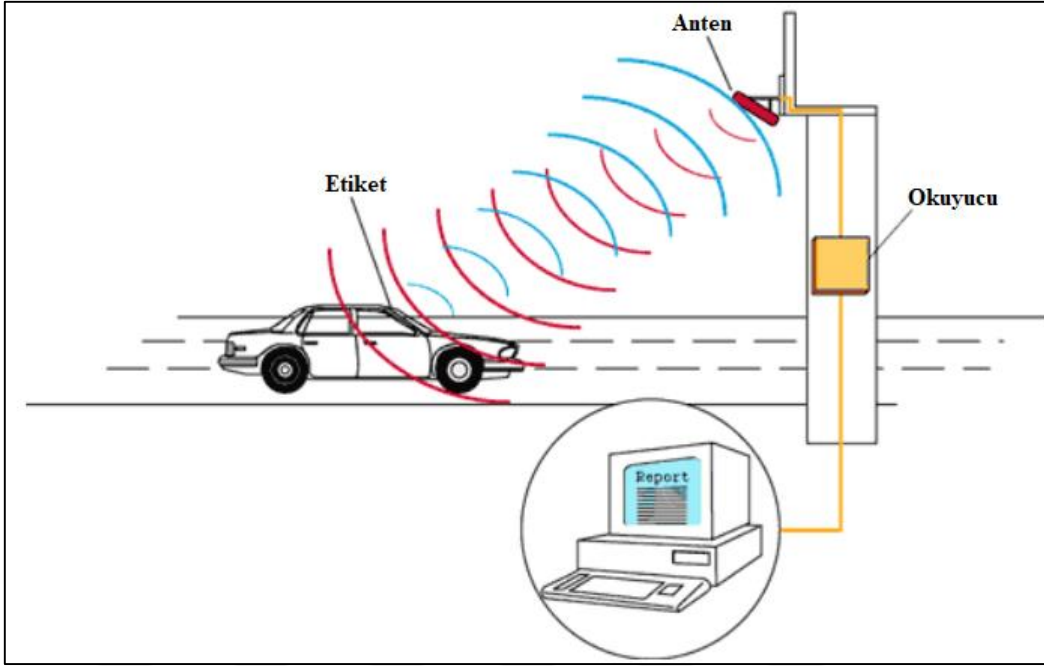
Temassız teknoloji olarak da tanımlanan NFC teknolojisinde iki uyumlu cihazın birbirine birkaç santimetre yaklaştırılmasıyla aktifleşmektedir. Bu sistem radyo frekans okuyucuları ile iki cihaz arasındaki iletişimi sağlamaktadır. Belirli noktalara yerleştirilen radyo frekans okuyucularının, o noktalardan geçen araçlarda bulunan sensörler ile veri alışverişinde bulunarak, cihazlar arasında kablosuz, güvenli ve hızlı bir şekilde iletişim sağlanmaktadır. Toplu taşıma ücretlerinin ödemesinde kullanılan kartlarda ve otoyol geçişlerinde kullanılmaktadır (Nairat, 2015).

3.3.4. Tahsis edilmiş kısa mesafeli iletişim teknolojisi (DSRC – dedicated short range communications)

Bu sistem radyo frekansı tanımlama (RFID) teknolojisinin alt bir bileşeni olup, kısa veya orta mesafeli kablosuz iletişim işlevine sahiptir. Özellikle ulaşım araçlarında kullanılmak için tasarlanmış olup, araçlar ve yol kenarı cihazlar arasında çift yönlü haberleşme yapılmasına imkân vermektedir. Araç ile araç (V2V), araç ile altyapı (V2I) iletişiminde, elektronik ücretlendirme sistemlerinde, trafik sinyalizasyonunun adaptif olarak tasarlanmasında ve tıkanıklık kontrolünde kullanılmaktadır (UDHB, 2014).

3.3.5. Radyo frekans tanımlama teknolojisi (RFID - radio frequency identification)

Antenli bir etiket ve antenli bir okuyucudan meydana gelen RFID, radyo frekansı kullanarak nesneleri otomatik olarak tanıma işlevini görmektedir. Ülkemizde kullanılan HGS ve OGS uygulamalarının işleyişinde RFID yer almaktadır. Şekil 3.7’de görüldüğü üzere, ücretli geçiş noktalarında yer alan okuyucular aracılığıyla radyo frekanslı dalgalar gönderilmektedir. Araç üzerinde yer alan RFID etiketi gelen dalgalardan aldığı güçle modüle edilerek dalgaları geri okuyucuya gönderir ve okuyucu gelen bu dalgaları dijital veriye dönüştürüp kaydetmektedir (Nairat, 2015).



Şekil 3. 7. RFID araç tanımlama sistemi (Samadi, 2013)

3.3.6. Kızılötesi iletişim (infrared)

Uzun yol taşımacılığında yol şartları ve yol bilgilerinin gerçek zamanlı paylaşımında kızılötesi teknolojisinden faydalanılmaktadır. Bu teknoloji yol analizleri, takip sistemleri, kamyonların yerinin tespiti, gece görüşü, hava durumu tahmini ve kısa mesafeli kablosuz iletişim gibi amaçlarla da kullanılmaktadır (UDHB, 2014).

3.3.7. Mobil iletişim araçları

İletişim teknolojilerinin geniş alanda kullanıldığı AUS’da, mobil telefonlar oldukça önemli araçlar sayılmaktadır (Barr ve diğ., 2010). Mobil telefonlar AUS kapsamında navigasyon veya iletişim aracı olarak kullanıldığında güvenliğin artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Konum bildirme özellikleri sayesinde acil müdahale gerektiren durumlara kısa sürelerde ulaşılmasına olanak sağlamaktadır. Üçüncü nesil (3G) ve dördüncü nesil (4G) kablosuz iletişim ortamları şehirlerarası uzun yollarda ve şehir içi bölgelerde erişilebilirliği sağlayıp, yol ve hava durumu gibi bilgilerin elde edilmesinde kullanılmaktadır (UDHB, 2014).

3.3.8. Sensör teknolojisi

Sensörlerin kullanılan ağlarda dört temel görevi bulunmaktadır. Bunlar: Alıcı/verici, işlemci, algılayıcı ve güç kaynağıdır. AUS uygulamaları içerisinde kullanılan sensörlerden biri de

araçlarda yer alan, sürücülere güvenli sürüş için destek veren sensörlerdir. Bu sensörlere, araç takip mesafesinin korunmasına yönelik uyarma sensörleri, lastiklerdeki hava basıncı durumunu kontrol eden sensörler, park sensörleri ve kör nokta uyarma sensörleri örnek gösterilebilmektedir. Karayollarında anlık hava durumunun, rüzgâr yönü ve hızının ölçülmesi için sensörler bulunmaktadır. Ayrıca kavşaklarda ve tünellerde trafik akımının daha verimli işleyişinin sağlanmasına yönelik sensörler kullanılmaktadır (Nairat, 2015).

3.3.9. Kablosuz ağlar

Uzun ve kısa mesafeler için cihazların birbiriyle iletişim kurmasına olanak vermektedir. Uzun mesafeli olan ağlardan olan Yerel Alan Ağı (LAN – Local Area Network) en bilineni Wi-Fi (Wireless Fidelity – Kablosuz Bağlantı Alanı) dır. Bu ağlar içinde en kısa mesafeli olan Kişisel Alan Şebekesi (PAN – Personal Area Network) dir. Zigbee ile Bluetooth gibi şebeke ağları bu alanda değerlendirilebilir. Kablosuz ağlar sayesinde, AUS uygulamalarında ihtiyaç duyulan, araç ile yol kenarındaki cihazların hızlı şekilde iletişimi gerçekleştirilebileceği bir ortam sağlanmaktadır (Nairat, 2015).

4. NESNELERİN İNTERNETİ

4.1. Nesnelerin interneti tanımı

Nesnelerin interneti (IoT), günlük yaşantımızda kullandığımız nesnelerin internete bağlanarak veri gönderme-alma kabiliyeti olarak tanımlanmıştır (FTC, 2015). IoT, internet vasıtasıyla nesnelerin diğer nesneler ile iletişim kurmasına olanak veren ağ olarak da tanımlanmaktadır. Gündüz ve Daş (2018) tarafından IoT, benzersiz bir şekilde adreslenebilen nesnelerin kendi aralarında oluşturduğu, dünya çapında yaygın bir ağ ve bu ağdaki nesnelerin belirli bir protokol ile birbirleriyle iletişim içinde oldukları akıllı uygulama ve hizmetlerin ekosistemi şeklinde ifade edilmiştir. Peña-López (2005) tarafından IoT, bilgi, işlem ve ağ oluşturma yeteneklerinin akla gelebilecek her türlü nesneye gömüldüğü bir paradigma olarak açıklanmıştır. Geniş çapta kabul görmüş bir tanımı olmayan IoT için literatürde farklı tanımlamaların da mevcut olduğu görülmektedir.

Tarihte bilinen ilk IoT uygulaması, 1991 yılında Cambridge Üniversitesi'ndeki birkaç akademisyen tarafından kahve makinesine yerleştirilen kameralı sistem ile kahve makinesinin görüntülerinin internet üzerinden paylaşılması şeklinde olmuştur (López-de-Armentia ve diğ., 2012). IoT kavramı ise ilk olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından özel bir şirkette kullanılan RFID teknolojisinin şirkete sağladığı faydaların anlatıldığı sunumda kullanılmıştır (Ashton, 2009). 2005 yılında ise Uluslararası Telekomünikasyon Birliği'nin (ITU) raporunda terim olarak kullanılmasıyla literatürde yer almaya başlamıştır (Piccialli, 2016). 2008 yılında bu alandaki ilk bilimsel konferans yapılmıştır (Atzori ve diğ., 2010).

İnsan müdahalesine gerek duymadan, nesnelerin kendi aralarında veri iletişiminde bulunarak bilgileri topladığı ve toplanan bilgiler ile kararlar aldığı IoT teknolojisinde nesne kavramı oldukça geniş bir anlama sahiptir. Birbirleri ile iletişim kuran, çevre ile etkileşime giren ve internet üzerinden kontrol edilebilen sensörler, izleme cihazları veya erişim düzenekleri nesne olarak nitelendirilmektedir.

Günümüzde IoT teknolojisi oldukça önemli bir konuma gelmiş olup Şekil 4.1'de görüldüğü üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Yaşam alanı planlamaları, akıllı şehirler, ulaşım sistemleri, üretim ve endüstri sistemleri, lojistik, tarım, enerji, medikal ve sağlık sistemleri gibi sektörlerde hizmet kalitesinin ve verimliliğin artmasını sağladığından kullanımı giderek

yaygınlaşmaktadır. Örneğin IoT teknolojisi otel odalarındaki karbon monoksit oranının günün hangi saatlerinde daha yüksek olduğunun tespit edilmesine yardımcı olmaktadır. Bazı otellerde her bir odada bulunan sensörler yardımıyla karbon monoksit oranı ölçülüp yönetici sisteme iletilmekte ve yönetici sistem bu oran kritik değerlere ulaşınca odadaki elektrik/gaz vanalarının kapatılması veya yangın musluklarının açılmasına müdahale de bulunabilmektedir. IoT bu şekilde duman ve gaz algılama tabanlı güvenlik sistemlerinde kullanıldığı gibi akıllı cihazların yönetimi ve kontroölü, gerçek zamanlı izleme ve süreçlerin kontrolü, uzaktan sağlık izleme, akıllı trafik kontrolü ve otonom araçlar gibi çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. IoT uygulamaları tek bir alan ile sınırlı kalmayıp endüstri, sanayi ve bireyleri kapsamaktadır. Şeker (2020) IoT teknolojisinin yaygınlaşmasının temel sebeplerini aşağıdaki gibi sıralamıştır.

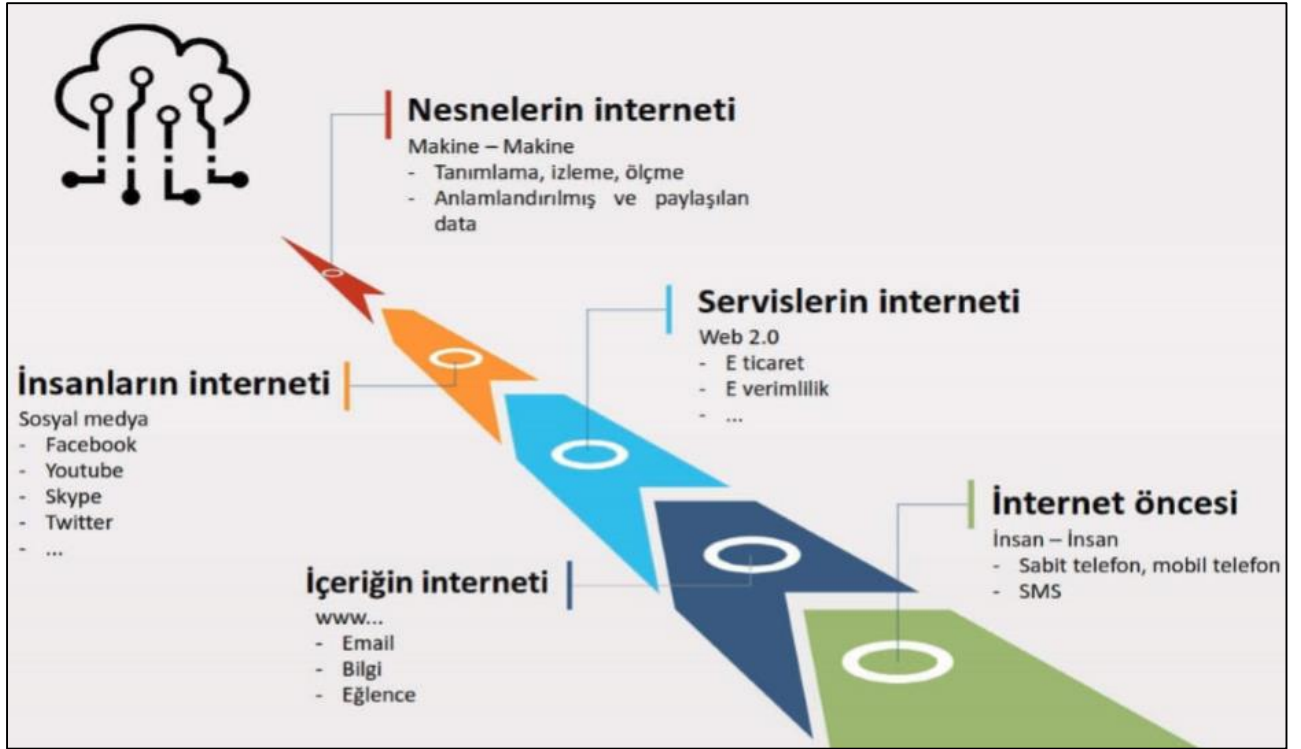
- Her mekânda bağlantı sağlaması; düşük maliyetli ve hızlı olması, yaygın alt ağ yapısı,
- IP tabanlı ağın yaygın olarak benimsenmesi; dünyada küresel standart haline gelmesi,
- Bilişim ekonomisi; düşük güç tüketimi ile birlikte araştırma ve geliştirmeye yatırımın olması,
- Minyatürleştirme; ileri düzeyde bilgi işleme ve iletişime olanak sağlaması,
- Veri analitiğinde gelişmeler; yeni algoritmalar, bilgi işleme gücünde hızın artışı, bulut bilişim gibi konuların gelişmesi,
- Bulut bilişimin yükselişi; verileri işlemek, yönetmek, depolamak için küçük cihazların etkileşime girmesi vb. şeklindedir (s.16).



Şekil 4. 1. Nesnelerin internetinin kullanıldığı alanlar (Oral ve Çakır, 2017).

Dünya genelinde şimdiye kadar birçok ülkede IoT teknolojisinin geliştirilmesine yönelik önemli yatırımlar yapılmış ve yenilikçi girişimler desteklenmeye devam etmektedir. Japonya’da günlük yaşantıda kullanılan hizmetlerde IoT teknolojilerinin yer almasına yönelik stratejiler başlatılmıştır (Zhang ve Zhu, 2011). Çin’de hükümet, IoT teknolojileri için uluslararası standartların belirlenmesinde öncü olunması konusunda girişimlerde bulunmuş ve ayrıca 2015 yılında IoT endüstrisine 800 milyon dolarlık yatırım payı ayırmıştır (Business, 2012). İngiltere’de IoT teknolojilerin ülke genelinde geliştirilmesi amacıyla proje başlatılmıştır. Avrupa Birliği genelinde IoT kullanımı için teknik bir vizyon belirlenmesi ve ortak bir strateji geliştirilmesi adına IoT Avrupa Araştırma Kümesi tarafından uluslararası bir IoT forumu oluşturmuş ve bu kapsamda projeler önerilmiştir (Sundmaeker ve diğ., 2010; Vermesan ve diğ., 2011).

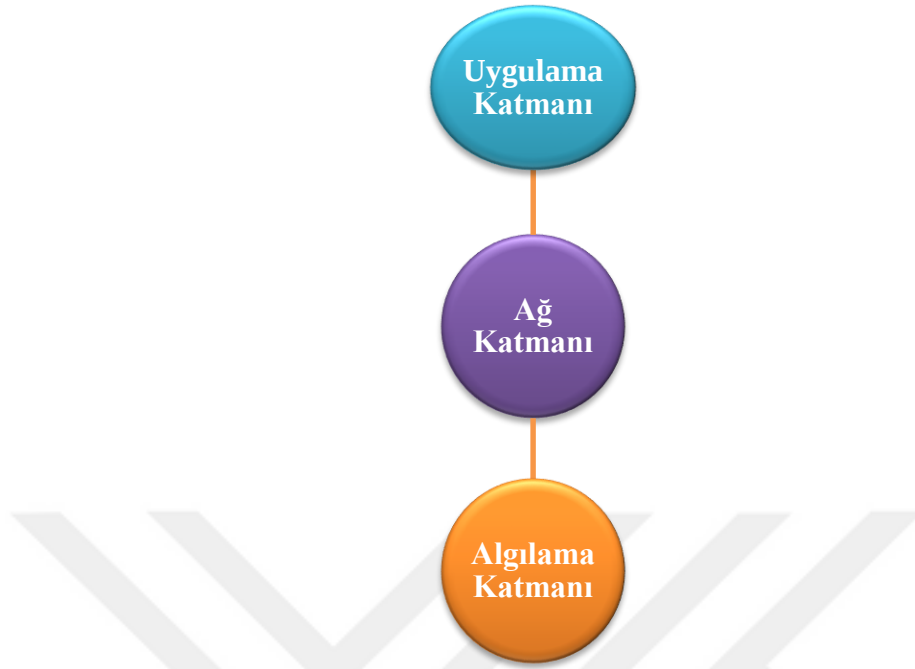
Şekil 4.2’de internete bağlı cihazların gelişimi görülmektedir. İlk ortaya atıldığı tarihten bugüne giderek gelişmekte olan IoT teknolojisi, bilgisayar ve internetten sonra gelen üçüncü dalga dünya endüstrisi olarak değerlendirilmektedir (Oral ve Çakır, 2017). Araştırmalar sonucunda 2020 yılı itibariyle internete bağlı nesnelerin sayısının yaklaşık 26 milyar olacağı ifade edilmektedir ("IoT Timeline," 2018).



Şekil 4. 2. İnternete bağlı cihazların gelişimi (AkıllıKentler, 2020).

4.2. Nesnelerin interneti mimarisi

Nesnelerin interneti için evrensel olarak kabul edilmiş bir standart mimari bulunmamaktadır (Sethi ve Sarangi, 2017). Literatür incelendiğinde birbirinden farklı mimariler olduğu görülmektedir. Nesnelerin interneti alanındaki araştırmaların başladığı dönemde ortaya konan en temel mimari Şekil 4.3'te yer alan üç katmanlı mimari (Khan ve diğ., 2012; Wu ve diğ., 2010; Yang ve diğ., 2011). Bununla birlikte, son zamanlardaki literatürde daha fazla katman barındıran başka mimari modellerde olduğu bilinmektedir (Atzori ve diğ., 2010; Chaqfeh ve Mohamed, 2012; Tan ve Wang, 2010). Üç katmanlı mimari; algılama, ağ ve uygulama katmanlarından oluşmaktadır.

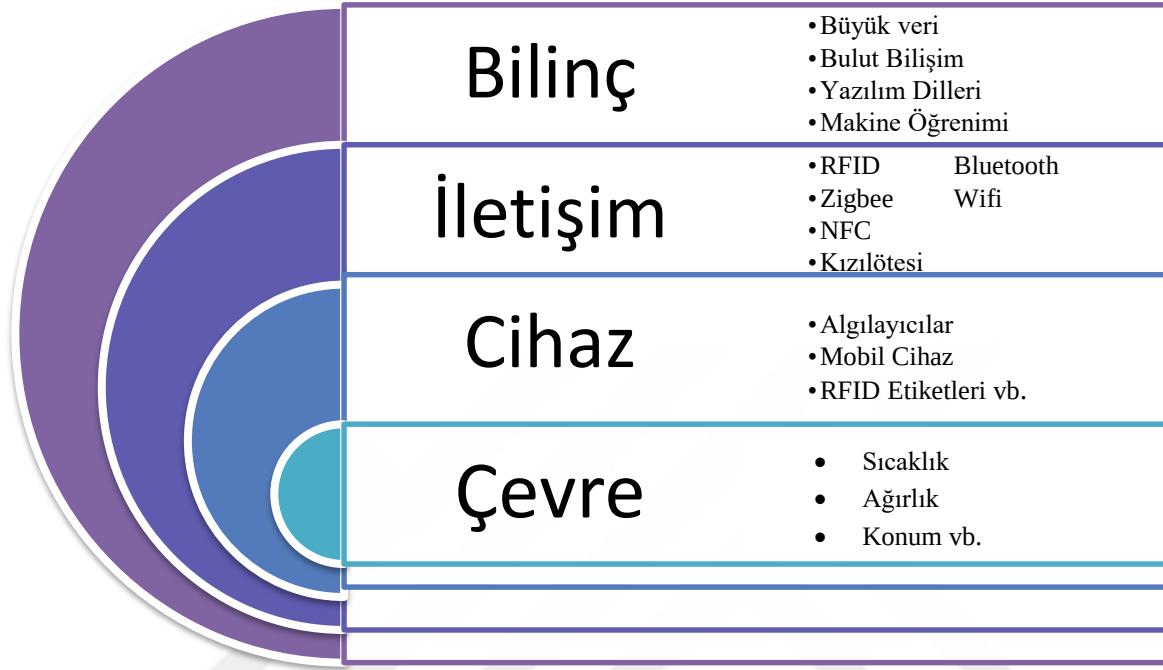


Şekil 4. 3. Nesnelerin interneti üç katmanlı mimarisi

Algılama katmanı, nesneyi tanımlamak ve bilgi toplamak için sensörlere sahip olan fiziksel katmandır. Bu katmanda sensörlerden toplanmış olan verinin iletimi için Zigbee, Wi-Fi, Bluetooth gibi kablosuz haberleşme protokolleri sıkça kullanılmaktadır. Ağ katmanı ise algılama katmanında toplanmış olan verilerin internet üzerinden iletilmesini sağlar. Bu iletim esnasında IPv4, IPv6, UDP ve TCP gibi protokoller kullanılmaktadır. Veriler ağ katmanı üzerinden bir bulut veri tabanı vasıtasıyla veya direkt olarak uygulama katmanında kullanıcıya sunulabilmektedir. Yani uygulama katmanı kullanıcılar tarafından talep edilen hizmetlerin sağlanmasında kullanılmaktadır. Uygulama katmanında kullanılan bazı protokoller MQTT, AMQP, CoAP ve HTTP şeklindedir.

Gökrem ve Bozuklu (2016) yaptıkları çalışma ile nesnelerin interneti için Şekil 4.4'te verilen mimari katmanları önermiştir. Çevre katmanının nesnelerin interneti için çekirdek katman olduğunu ve bu katmanda doğal çevreden elde edilen ağırlık, konum, sıcaklık, nem, pH değeri ve ışık şiddeti gibi her türlü ölçülebilir fiziksel büyüklüğün bulunduğu ortam olduğunu ifade etmiştir. Cihaz katmanında, çevre katmanında toplanan veriler işlenmeye uygun hale getirilmektedir. İletişim katmanında ilgili iletişim protokolleri kullanılarak veriler bilinç katmanına gönderilmektedir. Bilinç katmanı veri işleme merkezi görevini üstlenmektedir.

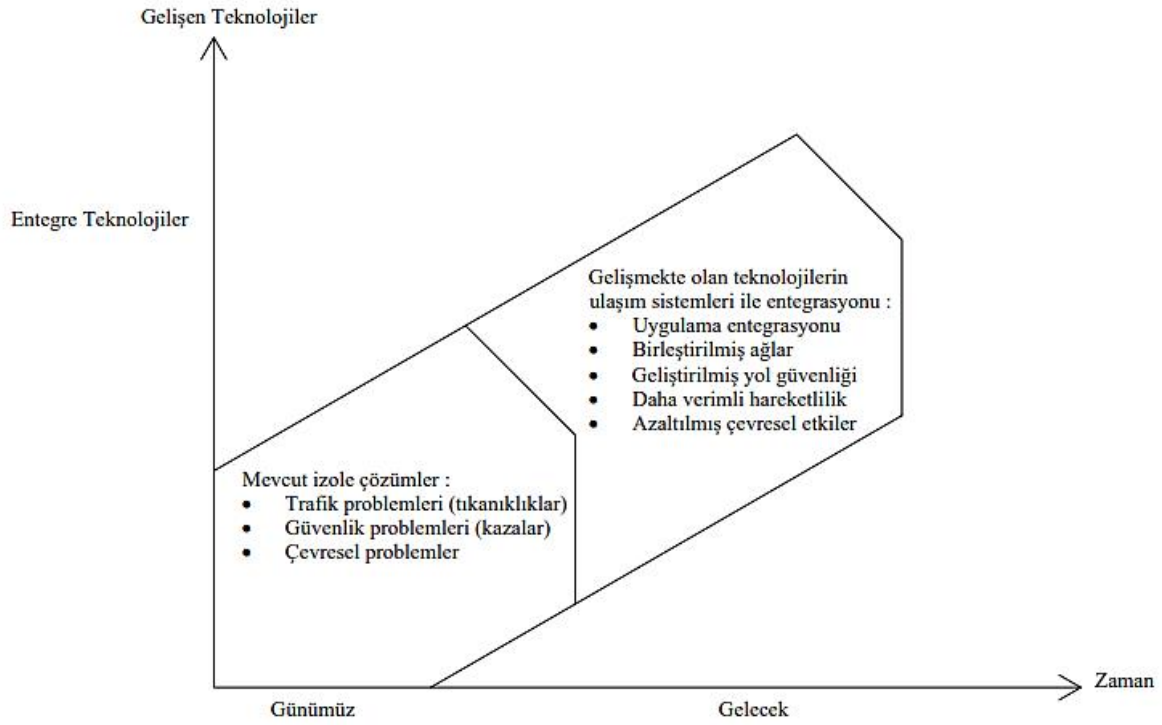
Küçük çaptaki verilerin işlenmesi gömülü sistemleri ile gerçekleştirilmekte ve bazı uygulamalar için ise veriler depolanmak üzere bulut bilişim sistemlerine iletilmektedir.



Şekil 4. 4. Nesnelerin interneti katmanları (Gökrem ve Bozuklu, 2016)

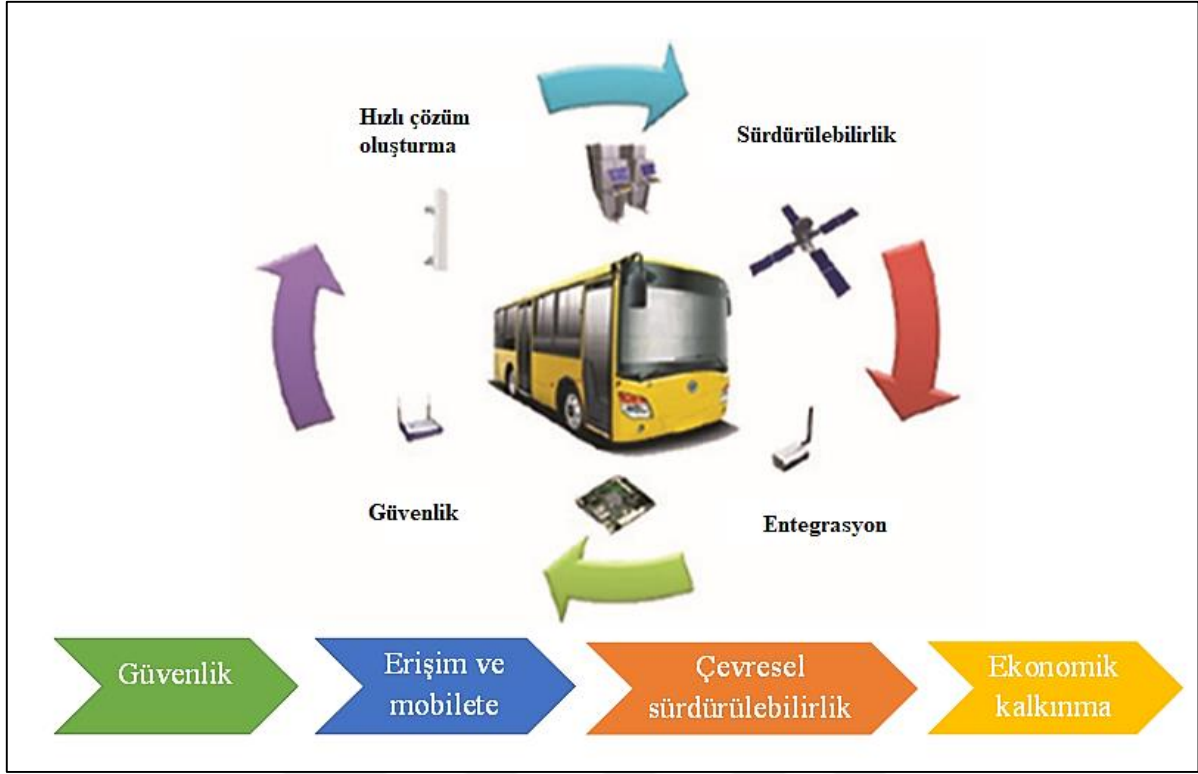
4.3. Nesnelerin interneti ve akıllı ulaşım sistemleri

İletişim, elektronik ve bilgi işlem yeteneklerinde gelişmiş teknolojiler, trafik akışının ve ulaşım ağlarının yönetiminde yardımcı olmak amacıyla uygulanmaktadır. Bu teknolojik sistemlerin çoğu kendi başına veya kapalı sistem ortamında çalışabilmektedir. Ancak son yıllarda artan trafik talebiyle beraber daha iyi, daha güvenli ve konforlu bir seyahat deneyimi sağlamak amacıyla akıllı ulaşım sistemlerinin kullanımı, bu sistemlerin birbirleriyle işbirliği yapması ve birbirleriyle iletişim kurması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.



Şekil 4. 5. AUS'un gelecekteki eğilimleri (Guerrero-Ibanez ve diğ., 2015).

Gelişmekte olan teknolojilerin kullanılmasının ulaşım sistemleri üzerindeki mevcut ve gelecekteki etkisi Şekil 4.5'te görülmektedir. Geliştirilen teknolojilerin ulaşım sistemlerinde benimsenmesi ve devreye alınması, Şekil 4.6'da oklarla belirtilen dört temel hedefe ulaşılmasında oldukça önem arz etmektedir. Gelişmekte olan teknolojiler, ulaşım altyapılarının sürdürülebilirliğinin sağlanmasında rol oynamaktadır. Aynı zamanda güvenlik ve hareketlilik maksimize edilerek, ekonomik kalkınma bakımından kısa ve uzun vadede faydalı çıkarımlar sağlanmaktadır. Bilgi toplamak, işlemek ve yaymak için yeni teknikler uygulanarak trafik koşullarının düzenlenmesi ve yönetilmesi için mevcut ulaşım altyapılarının daha etkin biçimde kullanılması teşvik edilmektedir.

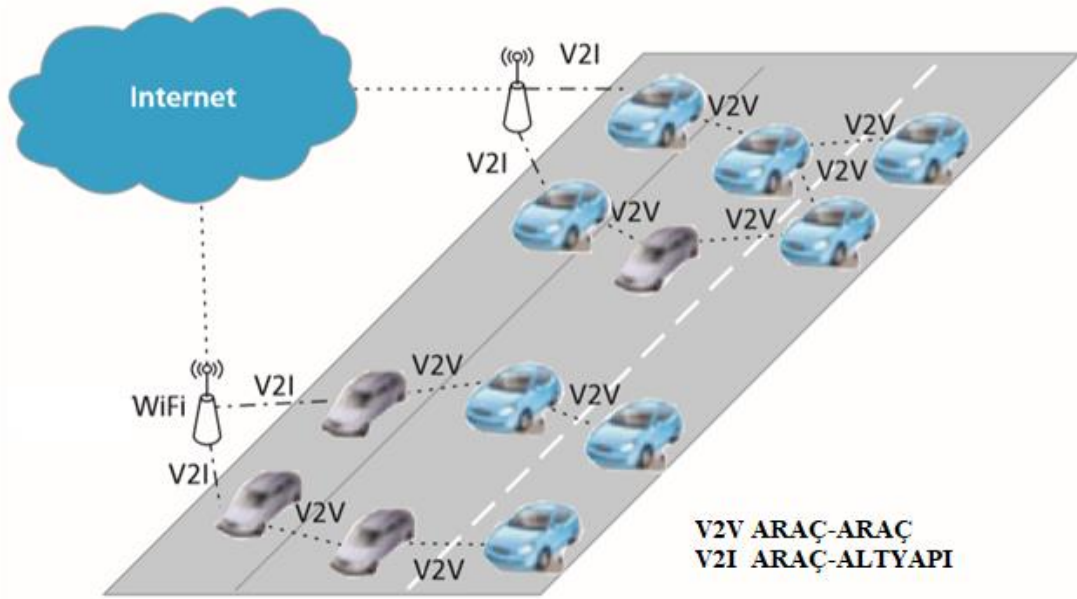


Şekil 4. 6. Gelişmekte olan teknolojilerin AUS üzerine etkisi (Guerrero-Ibanez ve diğ., 2015).

AUS büyük miktarda veri toplayabilen, işleyebilen ve daha sonra bu gerçek zamanlı verilerden elde edilen bilgilere dayanarak, uygun eylemleri gerçekleştirebilen çok çeşitli heterojen teknolojilerin sorunsuz entegrasyonuna dayanan sistemlere doğru gelişimini sürdürmektedir. Nesnelerin interneti teknolojisi, ulaşım sistemlerinin veri toplama ve kullanma şeklini değiştirerek ulaşım endüstrisinin gelişmesine imkân sağlamaktadır. Çünkü IoT güçlü bir veri toplama fonksiyonuna sahiptir ve AUS için daha kapsamlı trafik verilerinin elde edilmesine yardımcı olmaktadır (Chunli, 2012).

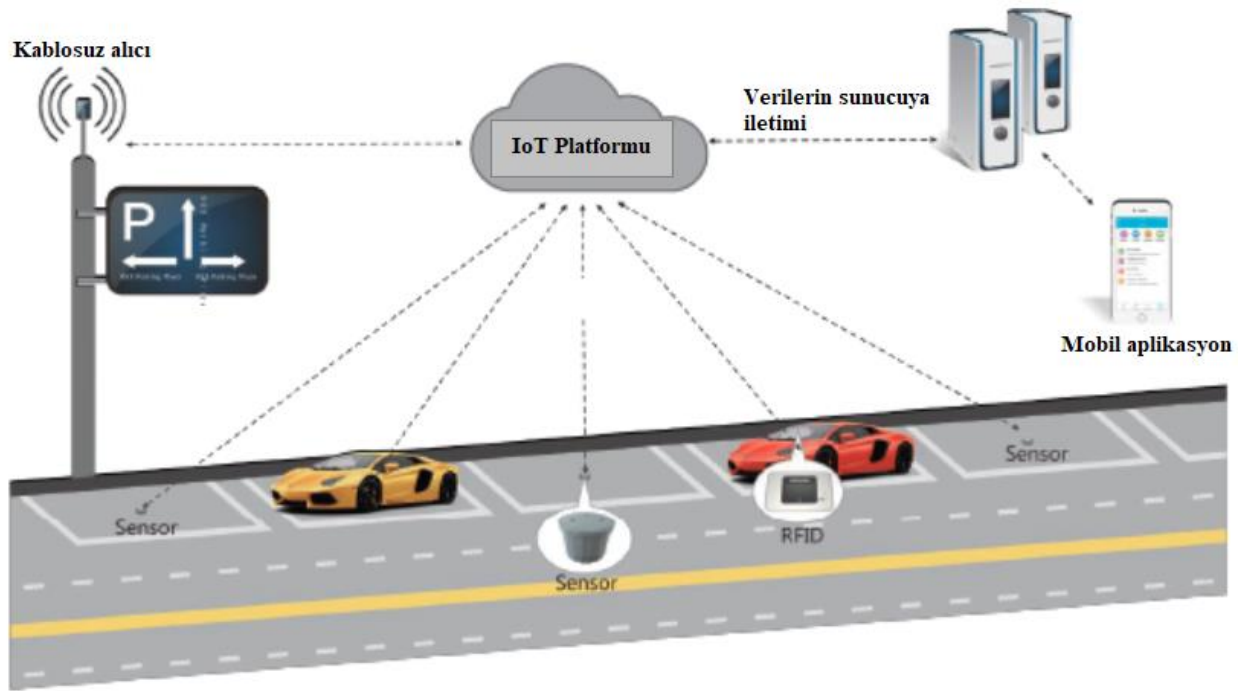
IoT, nesnelerin gerçek dünyadaki etkinlikleri hakkında veri toplayan ve gömülü sensörler, aktüatörler vb. diğer cihazlar aracılığıyla oluşturulan ağ sayesinde verilerin her zaman, her yerde ve her koşulda iletilmesini sağlayan sistemlerdir. AUS'un verimli bir şekilde işleyişinin temelini gerçek zamanlı, doğru ve kapsamlı trafik verileri oluşturmaktadır. Bu doğrultuda IoT, araç-arac, araç-insan veya araç-altyapı arasında veri akışının hızlı bir şekilde yapılması ve sistemlerin birbirleriyle anlık olarak haberleşebilmesine olanak veren bir sisteme sahiptir. Trafik verilerinin iletiminde iyi bir kanal sağlayabilir ve trafik bilgisinin yayınlaması için kullanıcılara iyi ve geniş bir platform sunmaktadır.

IoT cihazları trafik sıkışıklığı kontrol sistemlerinde, motorlu taşıtların içindeki telematik sistemlerinde, toplu taşıma sistemlerinin yönetiminde, lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde, trafik güvenliği ve gözetim sistemlerinde ve uzaktan araç takip sistemlerinde kullanılmaktadır. Günümüzde ağı bağlanabilen modern araçlar (connected vehicle) IoT'nin önemli bir parçası sayılmaktadır. Bu araçlarda bulunan sensörler ve bilgisayarlar aracılığıyla araca ait bilgiler kaydedilebilmekte, gerçek zamanlı veriler diğer araçlar veya altyapı sistemleriyle paylaşılabilir. Araçlarda yer alan bu teknoloji ile doğru ve zamanında kararlar verilmesi için antenler, sensörler, gömülü yazılım ve iletişim teknolojileri ağı kullanılmaktadır. Araçlarda bulunan sensörler ile lastik basıncı, egzoz gaz bileşimi kontrol edilebilmekte, fren ve motorun durumu izlenebilmektedir. Şekil 4.7'de görüldüğü üzere radar ve kamera sistemleriyle desteklenen araçtan araca iletişim teknolojileri (V2V), araçların birbirlerini algılamasına, çarpışmaların önlenmesine ve trafik akışının kesintisiz olarak devam etmesine yardımcı olmaktadır. Araçtan altyapıya iletişim (V2I) ile trafik yoğunluğu ile ilgili verilerin trafik yönetim merkezine aktarılması sağlanmaktadır (HERE mobility, 2020).



Şekil 4. 7. Ağı bağlanabilen araçların V2V ile V2I iletişimi (Guerrero-Ibanez ve diğ., 2015).

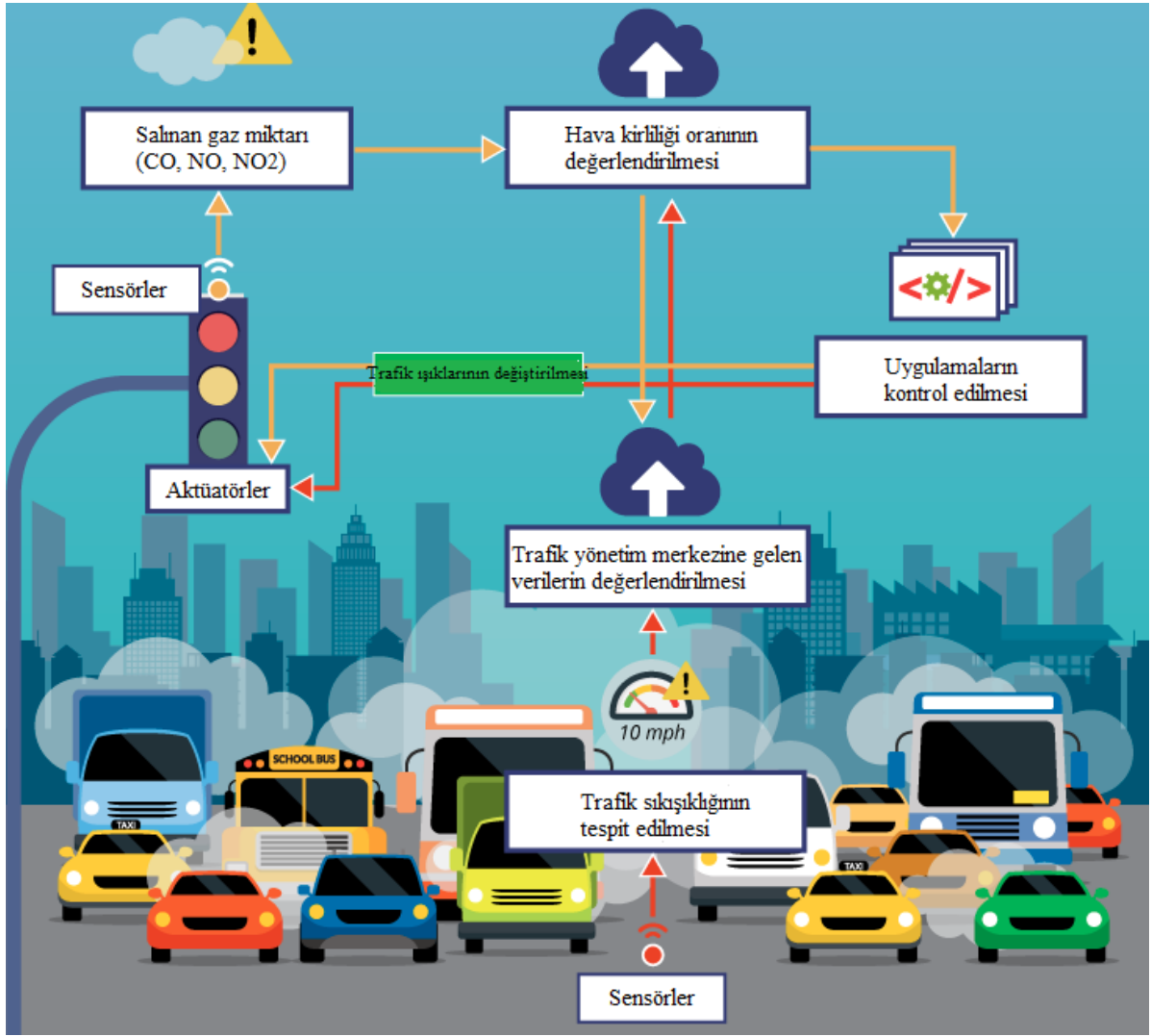
Trafik yönetimi için şehir merkezlerinde kullanılan IoT uygulamaları incelendiğinde park yeri yönetim sistemleriyle sıkça karşılaşılmaktadır. Şehir merkezlerinde veya otoparklarda bulunan IoT tabanlı sensörler veya RFID etiketleri ile arabalar için boş park yerleri hakkında gerçek zamanlı bilgiler sağlanmaktadır. RFID etiketlerinden veya sensörlerden alınan veriler mobil uygulamaya aktararak, sürücülerin mevcutta bulunan en yakın park alanına yönlendirilmesiyle; yakıt tüketimi, karbondioksit emisyonu ve trafik sıkışıklığı azalırken, zamandan tasarruf edilmektedir. Şekil 4.8’de IoT tabanlı akıllı park sisteminin işleyişi gösterilmektedir.



Şekil 4. 8. IoT tabanlı akıllı park sistemi (Cloud, 2018).

Şehir içi yollarda trafik tıkanıklıkları, ışık sürelerinden kaynaklı dur-kalklar trafik akışının kesintiye uğramasına, böylece yakıt tüketimi ve çevreye salınan zararları gazların artmasına yol açmaktadır. Aynı zamanda trafikte geçirilen sürelerin artışı bireyler üzerinde de negatif birçok etkiye sebep olmaktadır. Trafik yönetim sistemlerinin ihtiyaç duyduğu gerçek zamanlı veriler bu bağlamda oldukça önem arz etmektedir. Çünkü anlık olarak alınan veriler ile yol kesimlerindeki trafik hacim bilgileri elde edilmekte ve buna yönelik olarak trafik yönetim merkezlerinden çözüm odaklı aksiyon alınmaktadır. Elde edilen anlık trafik bilgileri seyahat sürelerinin tahmini için kullanılmakta ve sürücülerin yol güzergâhı seçiminde bunu dikkate almasıyla oluşabilecek trafik sıkışıklıklarının önüne geçilebilmektedir.

Şekil 4.9’da trafik akışının iyileştirilmesine yönelik gerçek zamanlı veri kullanımına dayanan trafik ışıkları görülmektedir. Stratejik olarak yola yerleştirilen sensörler ile hem trafik bilgisi hem de atmosfere salınan gazların bilgisi toplanmaktadır. IoT teknolojisi kullanılarak elde veriler trafik yönetim merkezlerinin ilgili birimlerine aktarılmaktadır. Anlık veriler ile trafik ışıklarının değiştirilmesi sağlanmakta ve böylelikle araçların trafikte bekleme sürelerinin en aza indirilmesine yardımcı olunmaktadır.



Şekil 4. 9. Trafik ışıklarında yer alan IoT sistemleri (Dragon1, 2020).

Nesnelerin interneti teknolojisi, ulaşım sistemi içerisinde yer alan nesneleri ve kişileri yetki alanlarını arttırarak trafik akışının iyileştirilmesi için bilinçli ve otomatik kararlar vermelerine yardımcı olmaktadır. Ulaşım ekosisteminde yer alan IoT, tüm paydaşlar için yeni verimlilikler yaratabilir ve mevcut koşulları iyileştirebilir. Bu sayede:

- Kullanıcılar ne zaman seyahat edeceklerine, seyahatlerinde hangi güzergâhı ve ulaşım modunu tercih etmeleri gerektiğine daha iyi karar verebilir,
- Toplu taşıma sistemlerinde yer alan araçlar, trafik şartları ve ihtiyaçlar doğrultusunda daha iyi planlandırılıp yönlendirilebilir,
- Şehir yönetiminden sorumlu birimler nereye yeni yollar inşa edileceğine, bakımlarının nasıl olacağına ve hareketliliğinin artırılması için yapılması gereken yatırımlara daha iyi karar verebilir,
- Trafik tıkanıklığını azaltmak, güvenliği arttırmak, sürücülere yardımcı olmak ve çevresel etkileri en aza indirmek için yollar, araçlar, trafik ışıkları ve trafik levhalarının otomatik olarak değişen koşullara uyum sağlayabilir.

Nesnelerin internetinin sağladığı avantajların yanı sıra dezavantajları da olduğu bilinmektedir. Nesnelerin interneti teknolojisinin dezavantajları gizlilik ve güvenlik konularıdır. Sensörlerin ve ağa bağlı cihazların sayısı arttıkça alınan veri sayısı da aynı doğrultuda artmaktadır. Bu durumda verilerin korunması için gerekli önlemler alınmalıdır. Kullanılan IoT cihazlarının güvenlik ve gizlilik politikalarına uygun olmasına dikkat edilmelidir.

Akıllı ulaşım sistemleri endüstrisi, IoT'nin sanayileşmesini uygulamaya geçirerek başarıya ulaşma potansiyeline sahip endüstrilerden biri olarak kabul edilmektedir (Zhou ve diğ., 2012). Ulaşım sektöründeki IoT, 2016 yılında 135 milyar dolar değerinde bir büyümeye sahip olmuş ve 2023 yılına gelindiğinde bu değer 328 milyar dolara ulaşması beklenmektedir (HERE mobility, 2020). Ayrıca gelecekte IoT'nin akıllı ulaşım sistemlerinin ayrılmaz bir parçası olacağı ve akıllı ulaşım sistemlerinin normal işleyişinin sağlanmasında temel bir tesis olacağı düşünülmektedir (Zhongying, 2010).

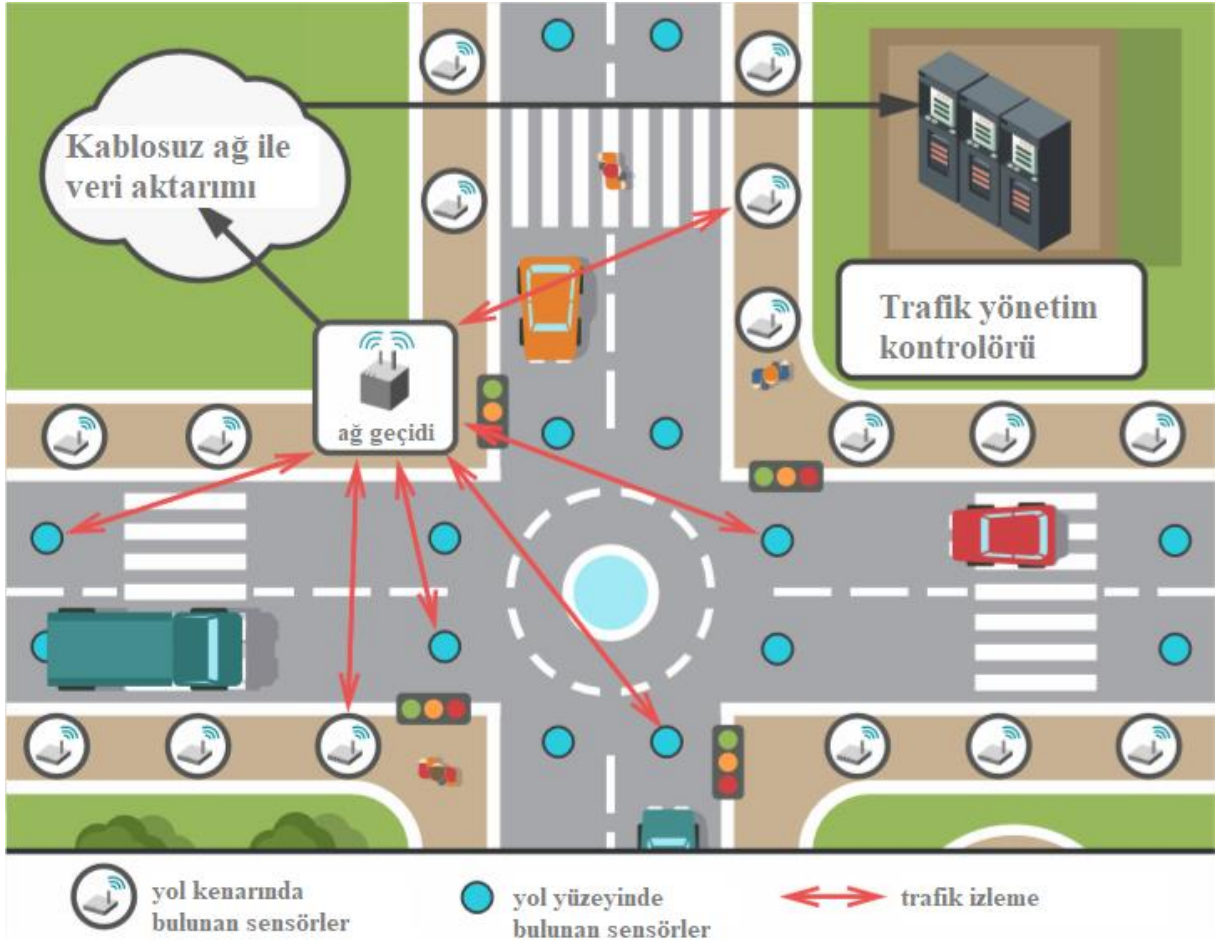
4.4. Akıllı ulaşım sistemlerinde yer alan nesnelerin interneti uygulamaları örnekleri

AUS'da yer alan sensör teknolojisi, RFID teknolojisi, GPS ve bilgi yayma teknolojisi, kablosuz iletişim teknolojisi, ağ teknolojisi, veri işleme, video algılama ve tanımlama teknolojileri ulaşım sistemlerinin gerçek zamanlı, doğru ve verimli bir şekilde yönetilmesi ve kontrol edilmesi için kullanılmaktadır. IoT çeşitli destek sistemlerini içinde barındırarak, ulaşım sistemlerinin daha akıllı, güvenli, uyumlu ve enerji tasarruflu olmasına katkı sağlamaktadır. AUS'da yer alan IoT uygulamalarına ait ülkemizden ve dünyadan bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi sürekli artan nüfusun beraberinde getirdiği ulaşım sorunlarına AUS kapsamında uyguladığı çözümler ile ülkemize örnek teşkil eden uygulamalar ortaya koymuştur. Ankara, İzmir ve Konya gibi şehirlerimizde de yaşanan ulaşım problemlerine yönelik belediyeler ve ulaşım daire başkanlıkları AUS kapsamında çözümler kullanmaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi şehir genelinde ulaşım ile ilgili sorunların çözümünde trafik ölçüm ve bilgilendirme sistemleri, elektronik denetleme sistemleri, toplu taşıma bilgilendirme sistemleri, akıllı otopark sistemleri, sinyalisasyon, adaptif trafik yönetimi, buzlanmayı algılama ve önleme sistemlerini kullanarak sürücü, yaya ve diğer kullanıcıların daha güvenli ve konforlu seyahat etmesini olanak tanınırken, ekonomik ve çevresel anlamda sağladığı katkılar ile verimliliği de arttırmaktadır.

İBB teknoloji ve bilişim alanındaki son yenilikleri kullanarak ortaya koyduğu akıllı çözümler ile ulaşım sorununu en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Ortaya konan uygulamalarının birçoğunda IoT teknolojilerinden de faydalanılmaktadır. Örneğin toplu taşıma sistemlerinde İETT tarafından geliştirilen MobİETT akıllı telefon uygulaması ile kullanıcılar GPS yardımıyla çevrelerinde bulunan durakları ve duraklardan geçen otobüs hatlarının tahmini geliş sürelerini gerçek zamanlı olarak görebilmektedir. Bu sayede kullanıcılar otobüs seferlerinin hangi durağa kaç dakika sonra geleceğine ve hattın sefer tarifesine hızlıca ulaşabilmektedir. MobİETT uygulaması içerisinde barındırdığı otobüs verileri ile eşzamanlı olarak otobüs-hat-durak analizi yaparak bunu kullanıcıyla paylaşmaktadır (İETT, 2014).

Trafik yoğunluğunun anlık olarak takip edilmesine yönelik İBB tarafından 2007 yılında hazırlanan İBB Cep Trafik mobil uygulaması ile İstanbul genelinde birden çok güzergâha ait anlık trafik durumu bilgisi kullanıcılar ile paylaşılmaktadır. Yol güzergâhlarında bulunan bluetooth sensörlerden toplanan verilerle, kullanıcıların gidecekleri yere en kısa süre ve mesafede ulaşmalarına yönelik seyahat süresi tahmini ve alternatif rota seçenekleri sunulabilmektedir (İSBAK, 2020). İBB'nin nesnelerin interneti teknolojisini kullanarak AUS kapsamında ortaya koyduğu diğer mobil uygulama İspark mobil uygulamasıdır. İspark mobil uygulamasıyla İstanbul'daki otoparkların doluluk oranları gerçek zamanlı olarak kullanıcılar ile paylaşılmaktadır.



Şekil 4. 10. Kavşaklarda kullanılan adaptif trafik yönetim sisteminin işleyişi (Masek ve diğ., 2016).

İSBAK tarafından geliştirilen Adaptif Trafik Yönetim Sistemi (ATAK) ile İstanbul'daki trafik yoğunluğunun azaltılması, ortalama dur-kalk ve taşıt gecikme sürelerinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. ATAK sistemi nesnelerin interneti teknolojilerinden faydalanarak sensörler ile araç sayı bilgisini algılamakta ve algıladığı bu verileri anlık olarak trafik yönetim merkezlerine aktarmaktadır (Şekil 4.10). Aktarılan bu veriler merkezde toplanır ve kaydedilir. Trafik hacmi ve kuyruklanma gibi parametreler sistemin özel algoritması sayesinde gerçek zamanlı olarak optimize edilmektedir. Hesaplanan optimum sinyal süreleri anlık olarak kavşaklara uygulanmaktadır.

ATAK sistemi, yol ağı üzerinde bulunan sensörlerden aldığı verileri trafik yönetim merkezlerinde değerlendirilerek, kavşaklardaki sinyal sürelerinin gerçek zamanlı optimize etmektedir. Bu sayede trafik akışını hızlandırmakta ve gecikme sürelerini azaltmaktadır.

Trafik hacminde meydana gelen anlık değişmelere hızlıca adapte olarak sinyal sürelerini güncelleyebilmektedir. Şekil 4.11’de ATAK sisteminin ekonomik ve çevresel anlamda sağladığı faydalar verilmiştir.



Şekil 4. 11. ATAK kullanımının sağladığı faydalar (İSBAK)

Belçika’nın başkenti Brüksel’de tramvay, metro ve otobüs gibi toplu taşıma hizmetlerinden sorumlu olan Brüksel Toplu Taşıma Şirketi (STIB-MIVB), toplu taşıma sistemlerinin daha verimli kullanılabilmesi için şehirdeki ulaşım ağında IoT teknolojisinden faydalanmaktadır. Şehirde bulunan otobüs, metro ve tramvay hatlarındaki araçlara yerleştirilen cihaz ve sensörler anlık yolcu sayılarının elde edilmesinde kullanılmaktadır. Böylelikle seferlerin yoğunlukları tespit edilebilmektedir. Ayrıca elde edilen veriler bir merkezde toplanarak analiz edilmekte ve bu sayede sefer yoğunluklarının değiştirilmesi ve hatların güncellenmesiyle ulaşım ağının daha verimli şekilde kullanılmasına imkân sağlanmaktadır (IoT ve Türkiye, 2018).

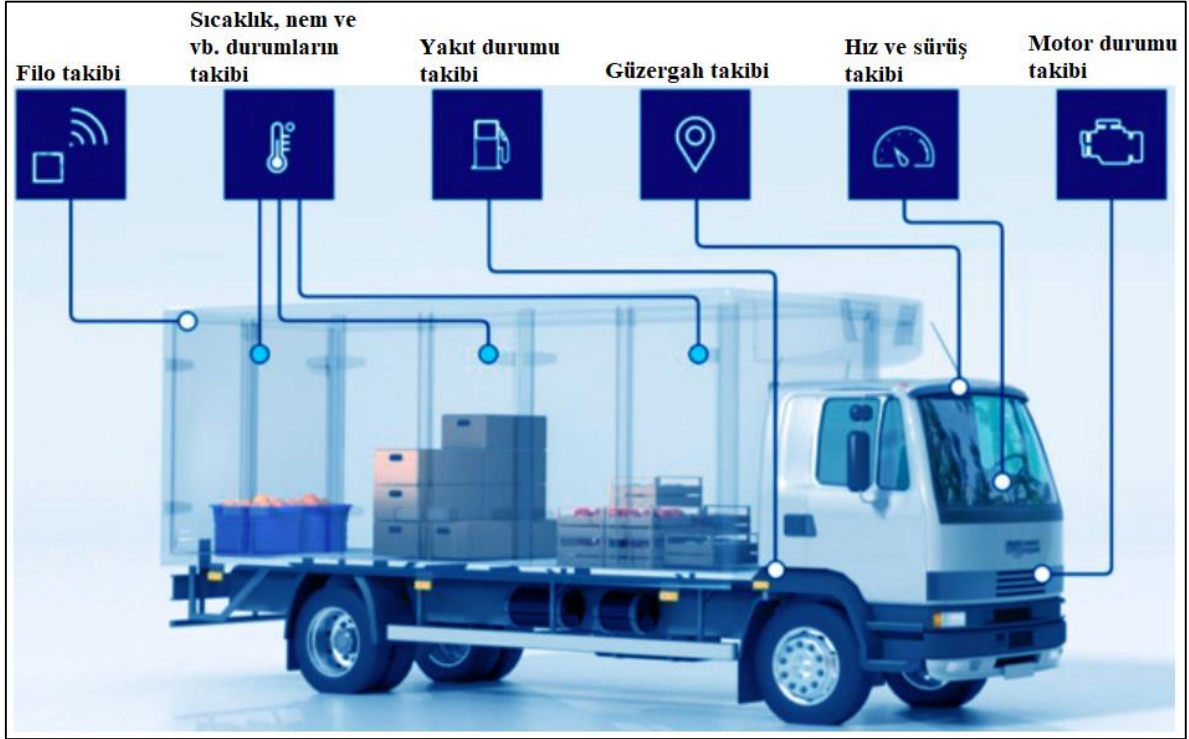


Şekil 4. 12. Raylı ulaşım sistemlerinde IoT uygulamaları (Flair, 2018)

Demir yolu işletimi ve yönetiminde IoT teknolojisinden yararlanılmaktadır. Trenlerin gerçek zamanlı olarak takip edilip yönlendirilmesinde, otomatik frenleme yapılmasında, tren denetim, kontrol ve çarpışma önleme sistemlerinde IoT teknolojisi kullanılmaktadır (Şekil 4.12). Ray etrafında bulunan sensörler ile tren hızları izlenmekte ve kaydedilmektedir. Ayrıca araç üzerinde bulunan kontrol ekipmanları ile çarpışma ve raydan çıkmaları önlemek adına otomatik frenleme yapılabilmektedir. Kullanılan sistemler sayesinde demiryolu operatörlerinin güvenliği sağlanır, kontrol hızlarını ayarlayabilmelerine ve arızaların tahmin edilip maliyetlerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Ülkemizde de demiryolu araçlarında kullanılan bu sistemler demiryolu işletmelerinde trenlerin takibine yönelik faaliyetler konusunda hizmet kolaylığı sağlayıp yolcular için daha güvenli ve konforlu bir seyahat ortamı oluşturmaktadır.

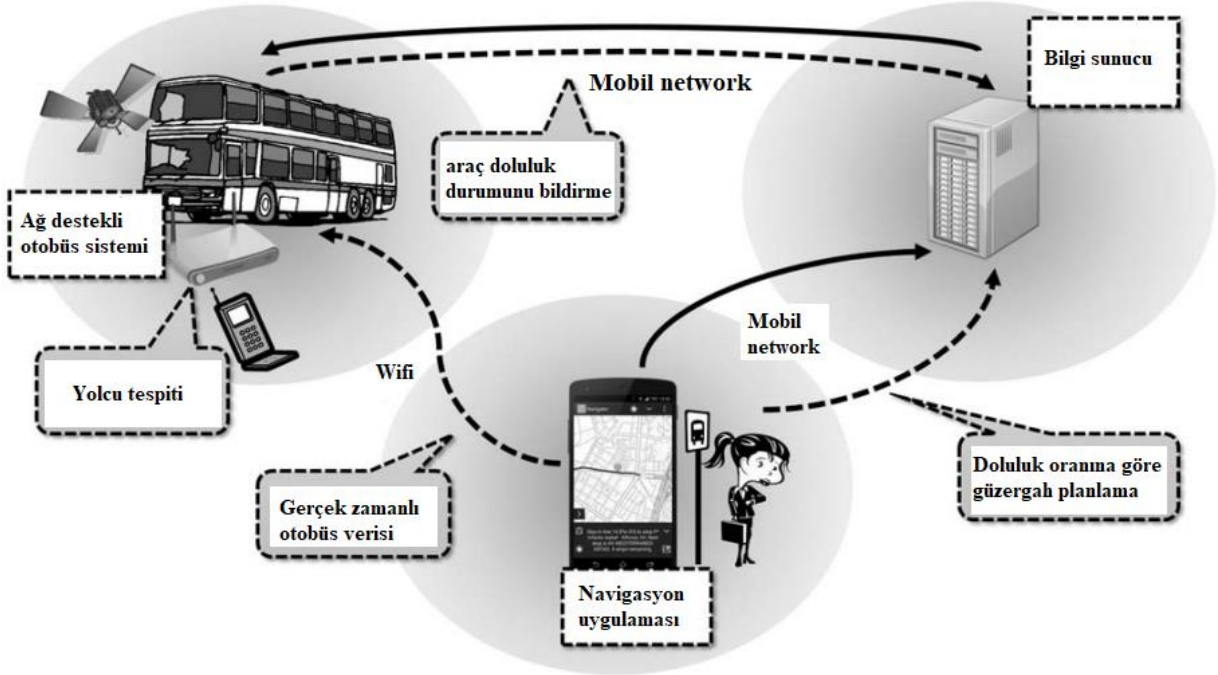
AUS'un kullanıldığı alanlardan biri olan yük ve filo yönetimi sistemlerinde de IoT teknolojisinden faydalanılmaktadır. Araçlara yerleştirilen çeşitli sensörlerle toplanan veriler sayesinde yükün müşteriye teslim edilmesine kadar geçen sürecin gerçek zamanlı olarak izlenmesi, yönetilmesi ve gerektiğinde müdahalede bulunulması sağlanmaktadır. Bu sayede taşınan kargo veya malların durumu ve konumu gerçek zamanlı olarak takip edilebilmekte,

araç kapasite durumu ve uygun güzergâhın belirlenmesiyle verimlilik arttırılmaktadır. Taşınan ürünlerin bozulması, hasar görmesi veya teslimatının gecikmesinin önüne geçilmektedir. Ayrıca filodaki araçların yakıt maliyetleri ve araç bakım giderleri azaltılmaktadır (Şekil 4.13).



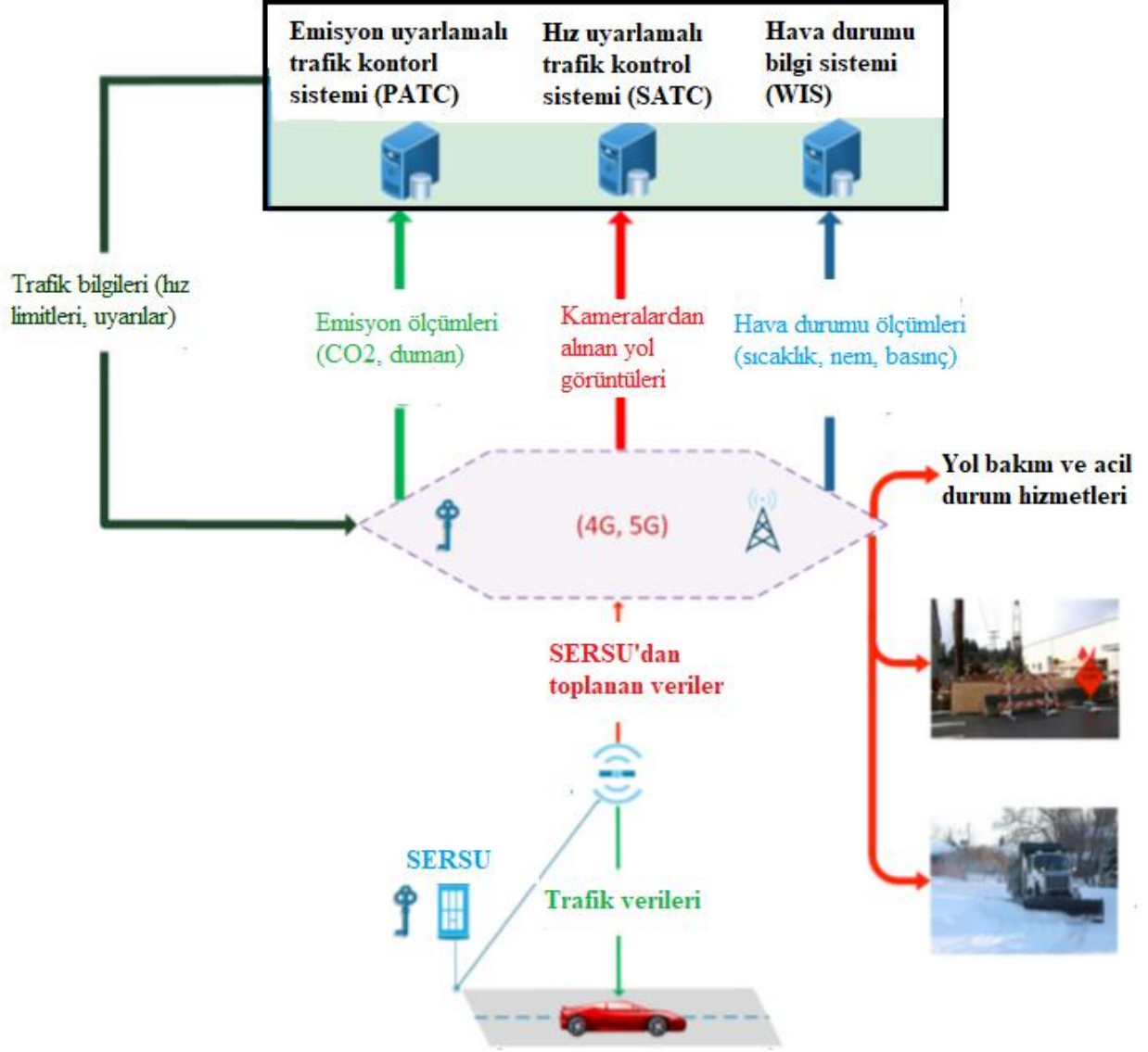
Şekil 4. 13. Yük ve filo yönetimde kullanılan IoT teknolojisinin sağladığı faydalar (Flair, 2018)

Handte ve diğ. (2016) çalışmalarında Madrid’deki toplu taşımada kullanılan Urban Bus Navigator (UBN) isimli şehir içi otobüs navigasyon sisteminin IoT tabanlı işleyişinden bahsetmiştir. Şekil 4.14’te görüldüğü üzere sistem, otobüslerdeki yolcuların varlığının tespiti ve otobüs yolcuğu boyunca gerçek zamanlı olarak navigasyon sağlanması amacıyla içerisinde gömülü bir bilgisayar sistemi, IoT teknolojisi ve mobil telefon uygulamasından oluşmaktadır. Çalışma kapsamında yapılan incelemeler sonucunda, IoT ile bütünleştirilmiş ulaşım sistemlerinin kentsel anlamda kullanıcıların seyahat deneyimlerindeki konforu ve toplu taşımadaki erişilebilirliği arttırdığına ulaşılmıştır.



Şekil 4. 14. Urban Bus Navigator (UBN) sisteminin işleyişi (Handte ve diğ., 2016)

Al-Dweik ve diğ. (2017) çalışmalarında akıllı ulaşım sistemlerinin bir parçası olarak kullanılmak üzere IoT tabanlı modüler bir tasarım geliştirmiştir. SERSU olarak adlandırdıkları ölçeklendirilebilir gelişmiş yol kenarı ünitesi anlamına gelen bu sistem, çeşitli sensörler ve yol kenarına yerleştirilmiş kameralar kullanılarak trafik ve hava durumuyla ilgili bilgileri toplamak üzere tasarlanmıştır. Şekil 4.15'te gösterilen sistem ile elde edilen bilgiler sayesinde hız sınır kontrolü, araç sıkışıklıkları, emisyon ölçümlerinin kontrolü ve hava durumu uyarıları yapılmaktadır. Akıllı ulaşım sistemlerinin etkinliği, bilinçli kararlar almak için gereken bilgileri toplayabilme kabiliyetine bağlıdır. Aşağıda verilen Şekil 4.15'te görüldüğü üzere toplanan bilgilerin anlık olarak ilgili birim veya merkezlere iletiminde IoT görev almaktadır.



Şekil 4. 15. Önerilen SERSU için sistem içeriği (Al-Dweik ve diğ., 2017)

5. YÖNTEM

Dünya genelinde yer alan şehir içi trafik kontrol sistemleri ve otoyol yönetim sistemleri her gün büyük miktarda trafik verisi toplamaktadır. Toplanan bu veriler, trafik bileşenleri yani trafik akımı, hızı ve yoğunluğu hakkında bilgiler içermektedir. Daha önce de bahsedildiği üzere toplanan bu verileri trafiğin anlık kontrolü ve yönetimi için kullanan sistemlere akıllı ulaşım sistemleri denilmektedir. Trafik akımının doğru ve gerçek zamanlı tahmin edilmesi AUS'un operasyonel etkinliği için oldukça kritik bir ihtiyaç olarak tanımlanmıştır (Smith ve Demetsky, 1997). Elde edilen trafik bileşenlerine ait verilerin tarihsel olarak güvenilir bir şekilde analiz edilmesi, trafik yönetim ve kontrol merkezileri için önemli girdiler olarak kabul edilmektedir. Doğru tahmin edilen trafik akım bileşenleri, dinamik olarak trafik ataması yapılmasında etkili olmakta ve gerçek zamanlı trafik yönetiminin işleyişi için oldukça önemli sayılmaktadır (Williams ve Hoel, 1999).

Bu tez çalışmasında, gelecekteki trafik durumlarının, geçmiş trafik verilerindeki benzer durumlara göre tahmin edilmesine yönelik parametrik olmayan yöntemlerden yapay sinir ağları (YSA) ve destek vektör makineleri (DVM) kullanılarak kısa dönemli trafik hız ve akım değeri tahmini yapılmıştır. Ayrıca trafik hız ve akım değerinin tahmin ve gerçek verilerine ait saçılma grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler üzerinden üç rejimli hız-akım değeri modeli temel alınarak trafiğin tıkanıklık durumu belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu bölümde öncelikle trafik bileşenleri hakkında genel bilgilere yer verilmiştir. Hız ve akım değeri arasındaki ilişki anlatılmıştır. Bu iki bileşen için yapılacak trafik tahminlerine yönelik kullanılan yöntemler ve daha önce yapılmış çalışmalara yer verilmiştir. Kullanılacak olan yöntemlerden kısaca bahsedilmiş ve veri setinin oluşturulması anlatılmıştır. Son olarak verilerin test ve eğitim işlemleri yapılmıştır.

5.1. Trafik bileşenleri

Trafik akımı ile ilgili modellemelerde veya yapılacak olan tahminlerde hız (u), yoğunluk (k) ve akım değeri (q) gibi bileşenler kullanılmaktadır (Greenberg, 1959; Greenshields, 1935; Underwood, 1960). Bunlar trafiğin karakteristiğini oluşturan temel bileşenler olarak bilinmektedir. Bu bileşenler tek başlarına trafik akımının açıklanması için yeterli bilgi

sağlayamazlar. Trafik akım bileşenlerinin arasındaki ilişkiyi açıklayan ana bağıntı Denklem (1)'de yer almaktadır (May, 1990).

$$q = k * u \quad (1)$$

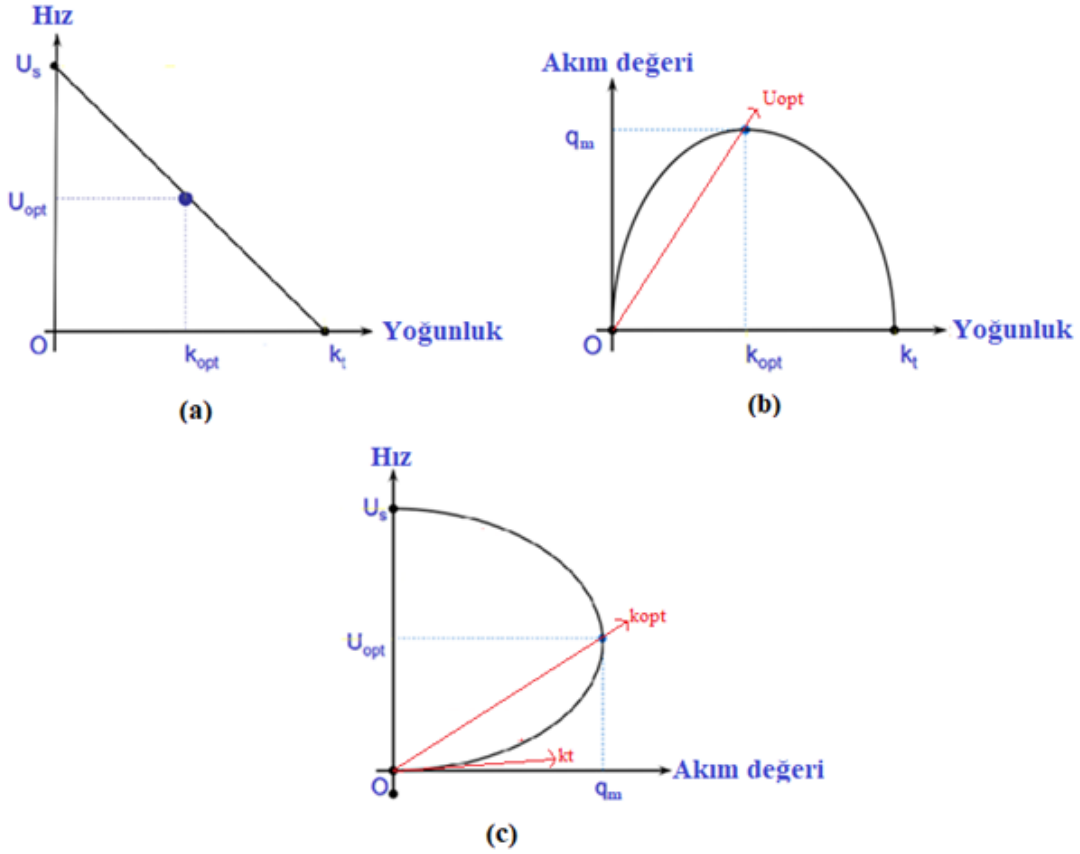
Yukarıdaki bağıntıda görüldüğü üzere hız ve yoğunluğun çarpılması ile akım değeri (q) elde edilmektedir. Akım değeri ve hacim kavramları, belirli bir yol kesiminden birim sürede geçen taşıt sayısı olarak tanımlanmaktadır. Belirli bir sürede geçen taşıt sayısı olan hacim, zaman birimi olarak dakika, saat, gün veya yıl olarak ifade edilebilmektedir. Akım değeri ise genellikle 15 dakika gibi daha kısa süreli ölçümlerin saatlik değeridir ve birimi taşıt/saat şeklinde gösterilmektedir. Örneğin 15 dakikalık süre boyunca bir yol kesiminden geçen taşıt sayısının 150 olarak ölçülmesi sonucunda bu yolun hacmi 150 taşıt/15 dakika şeklinde, akım değeri ise 600 taşıt/saat şeklinde olmaktadır. Yer alan bazı kaynaklarda bu iki terim arasında gözlem süresine bağlı bir farkın olduğu belirtilmiştir (May, 1990). Trafik hacmi teriminin kafa karışıklığına sebebiyet vermemesi amacıyla çalışmalarda akım veya akım değeri gibi ifadelerin kullanıldığı görülmektedir (HCM, 2000). Birim uzunluktaki bir trafik şeridi boyunca seyreden taşıt sayısı trafik yoğunluğunu ifade etmektedir. Birimi taşıt/km şeklinde olup yol kesiminin doluluk oranını belirtmek amacıyla kullanılmaktadır. Yer değiştirmenin ortalama değeri olarak tanımlanan hızın ise birimi km/saat şeklindedir (Yayla, 2011).

Trafik akım bağıntısında yer alan bu üç bileşen arasındaki ilişkiler trafik akım modelleri olarak adlandırılmıştır (Georlough ve Huber, 1975). Trafik akımına ait bileşenler arasındaki ilişkinin belirlenmesine yönelik ilk çalışmalar hız-yoğunluk arasındaki ilişki üzerine olmuştur. Greenshields (1935) tarafından hız-yoğunluk ilişkisinin ifade edilmesine yönelik yapılan çalışma, ilk trafik akım modellerinden sayılmaktadır. Bu bakıma Greenshields (1935), hız ve yoğunluk arasındaki ilişkiyi Denklem (2)'de verilen eşitlik ile açıklamıştır.

$$U = U_s(1 - \frac{k}{k_t}) \quad (2)$$

Burada ‘‘U’’ akım hızı, ‘‘U_s’’ serbest akım hızı, ‘‘k’’ yoğunluk ve ‘‘k_t’’ tıkanıklık yoğunluğunu ifade etmektedir.

Denklem (2)'de verilen bu hız-yoğunluk ilişkisi ve Denklem (1)'de verilen bağıntı kullanılarak akım-hız-yoğunluk ilişkileri aşağıdaki Şekil 5.1'de gösterildiği gibi açıklanmaya çalışılmıştır.



Şekil 5. 1. Trafik akım bileşenleri arasındaki ilişkiler (Georlough ve Huber, 1975; HCM, 2000; May, 1990)

Şekil 5.5 (a)'da hız ile yoğunluk arasındaki ilişki görülmektedir. Yol kesimindeki yoğunluk arttıkça hız azaltmakta ve bu azalış tıkanıklık yoğunluğu k_t olana kadar devam etmektedir. k_t noktası araçların durma durumuna geldiğini ifade etmektedir. Eğer yolda çok az taşıt varsa ya da hızın azalmasına engel bir durum yoksa akım hızı, U_s serbest akım hızı olarak tanımlanmaktadır. Trafik akımının kapasiteye ulaştığı (k_{opt} noktasında) andaki hız, optimum hız (U_{opt}) olarak tanımlanmaktadır. Gerçekte yoğunluk-hız eğrisinin başlangıç ve son kısımlarında tam bir doğrusallık yoktur. Uygulamada kolaylık sağladığından böyle kabul edilmektedir.

Şekil 5.5 (b)'de anlaşılabacağı üzere bir yoldaki trafik yoğunluğu arttıkça akım değeri de

artmaktadır. Ancak bu artma yolun kapasite değerine kadar yani k_{opt} noktasına kadar devam eder. Bu noktadan sonra yoğunluğun artmaya devam etmesiyle akım değeri de azalmaya başlar. Trafik akımında sıkışıklıklar söz konusu olur. Akım değerindeki azalma k_t noktası yani tıkanıklık yoğunluğuna kadar devam eder.

Şekil 5.5 (c)'de hız ile akım değeri arasındaki ilişki görülmektedir. Bekleneceği üzere yoldaki trafik arttıkça hız azalacaktır. Azalma q_m noktasına, yani kapasite değerine ulaşıncaya kadar devam eder. Bu noktadan sonra trafik değeri arttıkça zorlamalı akım oluşmaktadır. Zorlamalı akımda trafik akımı dur-kalklar ile sık sık kesintiye uğramakta ve uzun kuyruklar meydana gelmektedir.

5.1.1. Hız ile akım değeri arasındaki ilişki

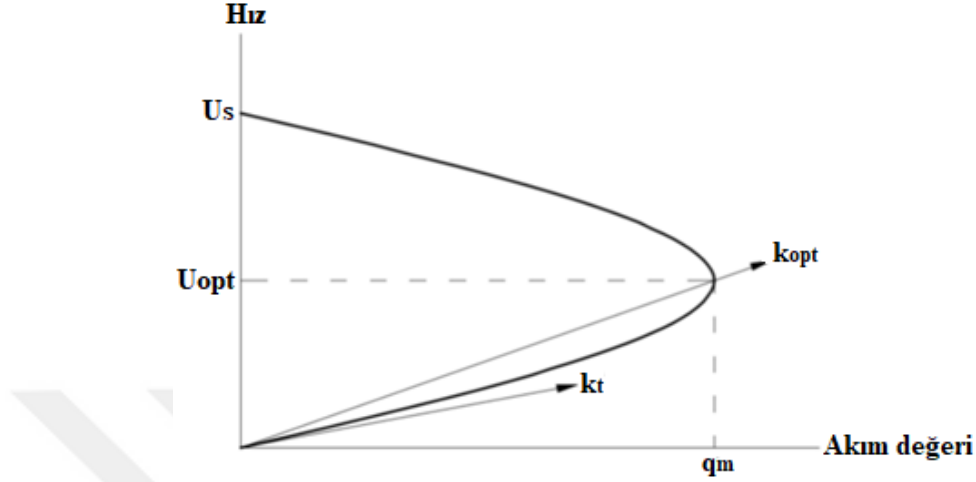
Literatür incelendiğinde, hız-akım değeri arasındaki ilişkiye ait en eski ve önemli çalışmanın Greenshields (1935) tarafından yapıldığı görülmektedir. Greenshields (1935), trafik akım parametreleri arasındaki ($q=k*u$) bağıntısı ile kendi önerdiği hız-yoğunluk arasındaki ilişkiden [$U = U_s(1-k/k_t)$] hız-akım değerini veren aşağıdaki Denklem (3)'ü türetmiştir.

$$q = k_t \left(U - \frac{U^2}{U_s} \right) \quad (3)$$

Yukarıda verilen bağıntıdan hareketle tek rejimli hız-akım değeri modeli üretilmiştir (Şekil 5.2). Şekilde görüldüğü üzere trafik akım değeri arttıkça hız azalmaya başlayacak ve bu azalma U_{opt} değerine ulaşana kadar devam edecektir. Hız U_{opt} değerine ulaştığı anda akım değeri q_m yani maksimum olmaktadır. Bu noktada kapasite değerine ulaşılır ve kapasite değerinin bir miktar altında ve üstünde trafik akımında kararsızlık mevcuttur. Trafik akımının artmaya devam etmesi durumunda ilgili yol kesimindeki kapasitenin üzerine çıkılır ve bu durumda zorlamalı akım görülmeye başlanır. Yani yol kesiminde tıkanıklıklar meydana gelmeye başlar ve uzun kuyruklar oluşur.

Her bir akım değeri iki farklı hız değerine karşılık geldiğinden akım değeri hızın bir fonksiyonu olarak ($q:f(u)$) gösterilebilmektedir. Trafığın yoğunluğuna yönelik, hız-akım değeri grafiğinde başlangıçtan çizilecek doğruların eğimleri kullanılmaktadır. Şekil 5.2'de görülen başlangıçtan çizilen teğetin eğimi (k_t) tıkanıklık yoğunluğunu gösterir. Başlangıçtan

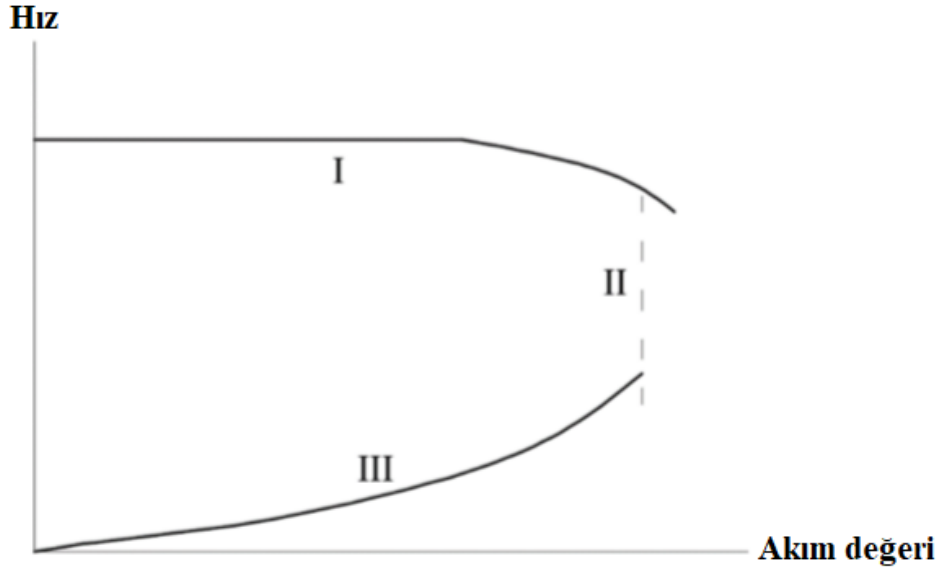
akım değerinin maksimum olduğu noktaya (q_m/U_{opt}) çizilen doğrunun eğimi ise optimum yoğunluğu ifade etmektedir.



Şekil 5. 2. Tek rejimli hız-akım değeri modeli (Gartner ve diğ., 2002; Greenshields, 1935)

Verilen bu model uzun bir dönem boyunca trafik akım teorisi üzerine yapılan çalışmalarda kullanılmış ve ABD’de kullanılan Karayolları Kapasite El Kitabı (Highway Capacity Manual- HCM) HCM-1965 ile HCM-1985’te farklı şekilleriyle yer almıştır. Ancak daha sonraki yıllarda araştırmacılar, tek rejimli modelin bazı sorunlar doğurduğu ve sahadan alınan verilere uygun olmadığı konusunda çeşitli söylemlerde bulunmuştur. Bu nedenle tek rejimli trafik akımı modellerinin yanında araştırmacılar çok rejimli farklı modellerin bulunması kullanılması amacıyla farklı çalışmalar yürütmeye başlamıştır. Bulunan çok rejimli model sonuçlarının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Drake ve Schofer, 1966).

Greenshields modellerinde kullanılan veri setinin yetersiz kaldığı ve otoyollardaki trafik akımının açıklanması için uygun olmadığı Hall, Hurdle ve Banks (1992) tarafından belirtilmiştir. Buna çözüm olarak trafik akım modellerinin tek rejimli olarak değil de parçalı olacak şekilde, yani birden fazla rejim bölgesine ayrılmasının daha doğru sonuçlar vereceğini ifade etmiş ve üç rejimli trafik akım modelini önermişlerdir. Bu model daha sonra Karayolları Kapasite El Kitabı’nın HCM-2000 ve HCM-2010 ait baskılarında da yer almıştır (HCM, 2000, 2010). Aşağıda Şekil 5.3’te önerilen model yer almaktadır. Görüleceği üzere trafik akımı doygun olmayan, kuyruk dağılma ve aşırı doygun akım şeklinde üç rejimli olarak incelenmektedir.



Şekil 5.3. Üç rejimli hız-akım değeri modeli (Hall ve diğ., 1992)

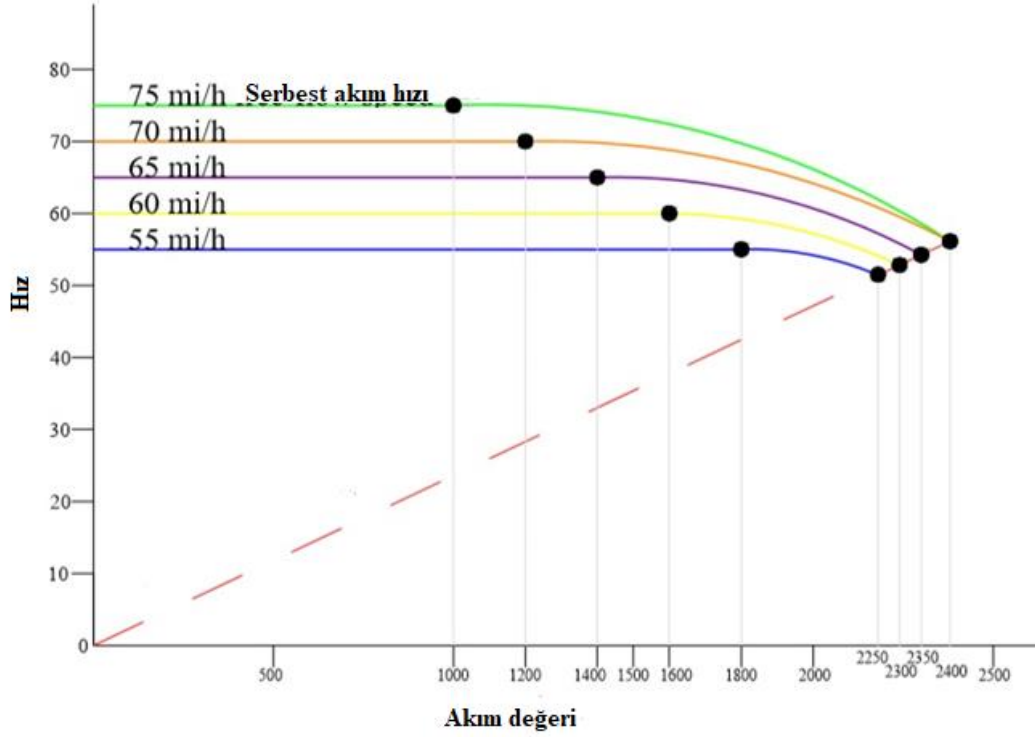
I. bölge doymuş olmayan akım olarak isimlendirilmiş olsa da serbest akım bölgesi veya tıkanık olmayan akım bölgesi olarak da isimlendirilmektedir (Banks, 1989; Hall ve diğ., 1992; Schoen ve diğ., 1995). Şekilden de görüleceği üzere bu bölge doğru ve eğri özelliğinde olup yaklaşan ve uzaklaşan akım yönündeki akım koşullarından etkilenmeyen trafik akımı ifade etmektedir. (Tanış, 2013).

II. bölge kuyruk dağılma akımı olarak isimlendirilmektedir ve görüldüğü üzere doğru özelliğindedir. Bu akım otoyoldaki şişe boynu kesiminden yeni kurtulmuş ve serbest akım hızına ulaşmak için hızlanmaya geçmiş akımı temsil etmektedir (Aksoy, 2018).

III. bölge aşırı doymuş akım bölgesi olup zorlamalı akım veya tıkalı akım bölgesi olarak da adlandırılabilir (Banks, 1989; Schoen ve diğ., 1995). Şekil 5.3'te görüldüğü üzere eğri özelliğindedir. Tıkalı trafik akımında akım değerleri ve hızlar şişe boynu kesiminin durumuna göre geniş bir aralıkta değişebilen hız-akım değerleri verebilmektedir (HCM, 2000).

Bu üç rejimli trafik hız-akım değeri ilişkisinden yola çıkarak ABD'de farklı otoyol kesimlerinden toplanan veriler temel alınarak farklı serbest akım hızı değerleri için Şekil 5.4'te verilen hız-akım değeri ilişkisi önerilmiştir (HCM, 2000). Şekil 5.4'te görüldüğü gibi trafik hacmi yol kesiminin kapasitesine ulaşana kadar hız-akım değeri ilişkisi farklı serbest

akım hızları için tanımlanmıştır. Araştırmalarda, akımın düşük ve orta değerleri için otoyol hızlarının akım değerinden etkilenmediği görülmüştür. Aşağıdaki şekilde serbest akım hızının 75 mil/saat olduğu bir otoyol için akım değerinin 1000 taşıt/saat değerine kadar hızın sabit olduğu görülmektedir. Daha düşük serbest akım hızları (70,65 ve 60 mil/saat) için ise akım değerlerinin (1200, 1400 ve 1600 taşıt/saat) daha da fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 4. Farklı serbest akım hızları için ABD'deki temel otoyol kesimlerinde hız-akım değeri ilişkisi

Literatürde yer alan çeşitli çalışmalarda, otoyol kesimlerinin kapasite değerlerinin incelemesi yapılırken, ilgili yol kesimine ait trafik verileri kullanılarak çizilen hız-akım değeri grafikleri üzerinden de değerlendirmeler yapıldığı görülmüştür. Bazı çalışmalarda ise trafik verilerinin dağılımları saçılma grafikleri şeklinde verilmiş ve bu grafikler üzerinden üç rejimli hız-akım değeri modeli temel alınarak yaklaşımlarda bulunulduğu görülmüştür (Aksoy, 2018; Tanış, 2013). Bu tez çalışmasında, sensörlerden toplanan ve tahmin edilen trafik verilerine ait hız-akım değeri ilişkisi saçılma grafiği şeklinde oluşturulmuştur. Hız-akım değerine ait ilişkilerin yorumlanmasında üç rejimli hız-akım değeri modeli yaklaşımı yöntem olarak kullanılarak, gerçek ve tahmin edilen trafik verilerinin tıkanıklık durumunu belirlenmiştir.

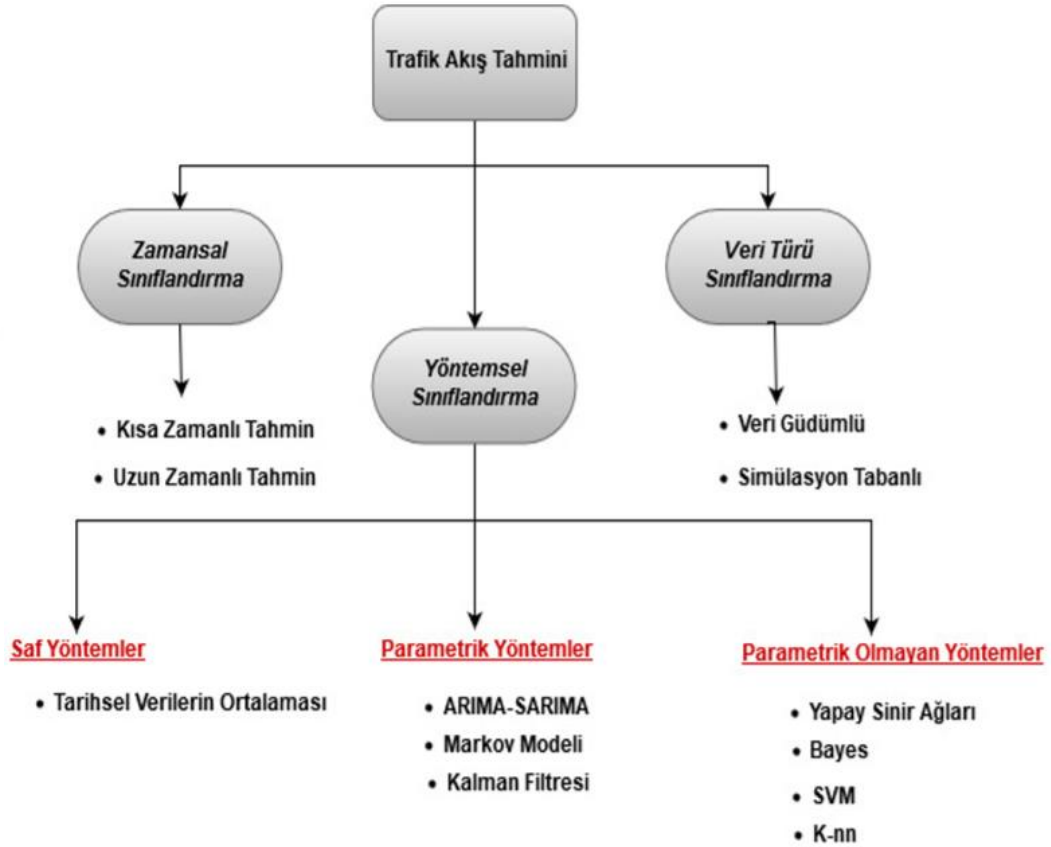
5.2. Trafik bileşenlerinin tahmin edilmesinde kullanılan yöntemler

Trafiğin izlenmesiyle elde edilen verilerin, matematiksel modellerde girdi olarak kullanılmasıyla kısa dönemli trafik tahmin algoritmaları geliştirilebilmektedir. Tahmin modelleri genellikle çeşitli kaynaklardan (sensörler, kameralar, radarlar, detektörler, GPS vb.) toplanan geçmiş ve gerçek zamanlı trafik verileri üzerine kurulmaktadır (Lana ve diğ., 2018). Genellikle 5, 15 veya 60 dakika sonrasına yönelik nispeten kısa bir süre için trafik koşullarının tahmin edilmesi kısa dönemli tahmin sayılmaktadır. Gerçeğe yakın bir tahminin sağlanması, gerçek zamanlı kontrol stratejilerinin geliştirilmesine ve acil durumlar için önceden uyarı yapılmasına imkân vermektedir. Aynı zamanda tıkanıklık, gecikme ve enerji tüketiminin azaltılmasına böylece ulaşım sistemlerinin işlevlerinin iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır. Trafik yönetiminde aktif stratejilerin geliştirilmesine yönelik trafik tahminlerine son yıllarda daha fazla yer verilmektedir. Kısa dönemli trafik tahminleri, otuz yılı aşkın bir süredir ulaştırma alanında yapılan araştırmalarda oldukça önemli bir husus sayılmaktadır. Çünkü hem kullanıcıların hem de sistem yöneticilerinin doğrudan veya dolaylı olarak maliyetlerin azaltılmasına yardımcı kararlar almasında etkili olarak, ulaşım sisteminin verimliliğini arttırmaktadır (Qi ve Ishak, 2014; Vlahogianni ve diğ., 2014).

Trafik akımının dinamik doğası göz önüne alındığında, trafik tahminlerinin yapılması araştırmacılar için oldukça zorlayıcı olmaktadır. Yapılan araştırmalara bakıldığında çoğu tahmin modelinin otoyol veya çevre yolu trafiği gibi tek bir konuma ait trafik akımı üzerine kurulduğu, kentsel anayollardaki trafik akım tahminlerinin daha az ele alındığı görülmektedir. Çünkü kentsel trafikte sinyalizasyon sistemleri, bağlantı ve kesişimler gibi daha karmaşık durumlar olduğu için trafik akımının doğru tahmin edilmesi daha da zorlaşmaktadır (Stathopoulos ve Karlaftis, 2003). Bu sorunun çözümüne yönelik araştırmacılar halen daha sağlam ve doğru tahmin algoritmaları aramaya devam etmektedir. Literatür incelendiğinde trafik akım, hız ve yoğunluğunun kısa-uzun dönemli tahminlerine yönelik birçok yöntem denendiği ve birden fazla metot geliştirildiği görülmektedir.

Akın ve Sağıroğlu (2019) trafik tahminleri üzerine yapılan çalışmaları zamansal, yöntemsel ve veri türünün durumuna göre Şekil 5.5'teki gibi sınıflandırmıştır. Tahmin edilecek süre birkaç dakika veya birkaç saat sonrası için ise kısa dönemli, daha uzun süreler için ise uzun dönemli tahmin olarak adlandırılmaktadır (Vlahogianni ve diğ., 2014). Burada veri türleri, verinin elde edilmesine göre sınıflandırılmıştır. Veri güdümlü sınıflandırmada mobil veri,

sensör, detektör veya GPS bilgilerinden elde edilen veriler kullanılmaktadır (Oh ve diğ., 2015; Zhang ve diğ., 2011). Simülasyon tabanlı da ise, veriler çeşitli benzetim programları kullanılarak üretilen veriler üzerinden tahmin yapılmaktadır (Oh ve diğ., 2018).



Şekil 5. 5. Trafik akış tahmin yöntemlerinin sınıflandırılması (Akın ve Sağıroğlu, 2019)

Yöntemsel sınıflandırma kendi içerisinde saf, parametrik ve parametrik olmayan yöntemler olarak ayrılmaktadır. Saf yöntemler tarihsel trafik verilerinin ortalamasını almaya dayanmaktadır. Parametrik yöntemler ise trafiğin gelecekteki durumunu, belirlenmiş matematiksel ve istatistiksel denklemler ile tahmin edilmesini içermektedir. Parametrik olmayan denklemler ise trafik verilerinin analizine dayanan deneysel algoritmaları içermektedir.

5.3. Literatür taraması

Literatür incelendiğinde, trafik tahmini alanında yapılan çalışmaların 1970’lerden bu yana devam etmekte olduğu görülmektedir. Günümüzde bu alandaki mevcut tahmin modellerini

geliştirmeye yönelik veya yeni tahmin algoritmaları üretilmesi adına halen çok sayıda araştırma yapılmaktadır.

Trafik akım tahminlerine yönelik çalışmalar incelendiğinde, bazı araştırmacılar tek bir noktadan geçen trafik akımının tahminini bir zaman serisi problemi olarak tanımlamış ve bu doğrultuda zaman serisi modelleri (ARIMA, SARIMA ve B-J modeli vb.) ile trafik akımını tahmin etmeye odaklanmıştır (Ahmed ve Cook, 1979; Hamed ve diğ., 1995; Lee ve Fambro, 1999; Moorthy ve Ratcliffe, 1988; Williams ve diğ., 1998; Yeon ve diğ., 2008). Zaman serisi modelleri bazı çalışmalarda kısa dönemli trafik hızının tahmin edilmesinde de kullanılmıştır (Cetin ve Comert, 2006; Chandra ve Al-Deek, 2009). Araştırmacıların parametrik yöntemlerden olan Kalman filtresi (Okutani ve Stephanedes, 1984; Wang ve Papageorgiou, 2005; Zhou ve diğ., 2019) ve Markov modelini de (Qi ve Ishak, 2014; Yu ve diğ., 2003) trafik akım tahminlerinde sıklıkla kullandığı görülmektedir.

Trafik akım tahminlerinde kullanılan parametrik olmayan yöntemlere bakıldığında en yaygın kullanılanların YSA, DVM ve K-en yakın komşuluk (KNN) gibi makine öğrenmesi algoritmaları olduğu görülmektedir (Zhang ve Huang, 2018). Makine öğrenmesi yöntemleri ile trafik verilerindeki bilgilere yönelik daha iyi ve doğru tahminler elde edilebilmektedir (Zhang ve Haghani, 2015).

Sinir ağı modelleri, doğru tahminler sağlamada kanıtlanmış yeteneklerinin yanı sıra trafik veri setlerinin modellenmesinde genel performansları ve sağlamlıkları bakımından iyi sonuçlar vermektedir. Zhang ve diğ. (1998) sinir ağı modellerinin kullanılmasının sağladığı avantajları aşağıdaki gibi sıralamıştır:

- Daha az eforla doğru tahminler üretilebilmektedir.
- Birçok ulaşım veri setinde yer alan karmaşık zamansal ve uzamsal ilişkinin modellenmesi test edilerek önemli bir başarı elde edilmektedir.
- Çok değişkenli bir ortamda doğrusal olmayan ilişkileri modelleme özelliği bulunmaktadır.

Kısa dönemli trafik tahminlerine yönelik kullanılan Sinir ağı uygulamalarına bakıldığında basit çok katmanlı algılayıcı modelinden (Clark ve diğ., 1993; Kwon ve Stephanedes, 1994; Smith ve Demetsky, 1994; Zhang, 2000), dinamik sinir ağıları (Ishak ve Alecsandru, 2004),

zaman gecikmeli tekrarlayan sinir ağıları (Abdulhai ve diğ., 1999; Lingras ve Mountford, 2001; Yun ve diğ., 1998) ve spektral temel sinir ağı (Park ve diğ., 1999) gibi daha karmaşık yapıya sahip modellerin de kullanıldığı görülmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalarda trafik tahminine yönelik olarak genellikle modellerin karşılaştırılması ve daha iyi sonuç verebilecek yöntemlerin geliştirilmesi üzerinde durulmaktadır. Jeong ve diğ. (2013) kısa dönemli trafik akımının tahmini için kendi geliştirildikleri yeni bir tahmin modeli olan çevrimiçi öğrenme ağırlıklı destek vektör regresyonu ile yapay sinir ağıları, yerel ağırlıklı regresyon ve destek vektör regresyonu gibi çok bilinen tahmin modellerini karşılaştırmıştır. Bunun sonucunda kendi geliştirdikleri modelin, mevcut modellerin performansına kıyasla daha üstün olduğu gösterilmiştir.

Cai ve diğ. (2016) trafik akım hızının tahmin edilmesine yönelik KNN modeli ile tarihsel ortalama, en küçük kareler ile destek vektör makinesi ve sinir ağıları modellerini karşılaştırmış ve kısa dönemli trafik tahmini için KNN modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

Smith ve Demetsky (1997) çalışmalarında kullandıkları tarihsel ortalama, zaman serileri, sinir ağı ve parametrik olmayan regresyon modelleri ile 15 dakikalık trafik akım tahminleri yapmıştır. Bu çalışma ile parametrik olmayan regresyon modelinin diğer modellere göre daha iyi performans gösterdiği sonucunda varılmıştır.

Yin ve diğ. (2002) yaptıkları çalışmada Bulanık-Sinir Ağı modeli kullanılarak kent içi bölgede yer alan sokak ağındaki kısa dönemli trafik akımının tahmini yapılmıştır. Çalışma sonucunda Bulanık-Sinir Ağı modelinin geleneksel Sinir Ağı modeline göre çok daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur.

Xu ve diğ. (2013) kısa dönemli trafik hacminin tahmin edilmesinde sınıflandırma ve regresyon ağacı tabanlı bir yöntem ile KNN ve Kalman filtre yöntemlerinin karşılaştırılmasını yapmıştır. Sonuçlara bakıldığında sınıflandırma ve regresyon ağacı tabanlı tahmin yönteminin diğer yöntemlere göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Yıldırım ve Çataltepe (2008) çalışmalarında kısa dönemli trafik hız tahminine yönelik KNN

ve destek vektör makinesi yöntemlerini kullanarak sonuçları birbiri ile kıyaslamıştır. Bunun sonucunda destek vektör makinesi yönteminin KNN göre daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Sönmez (2017) tez çalışmasında İstanbul şehrinde trafik bakımından yoğun olan yol güzergâhı üzerinden toplanan veriler ile trafik akımını tahmin etmeye çalışmıştır. Bu bakıma ARIMA ve derin çok katmanlı algılayıcı modellerini kullanmış ve derin çok katmanlı algılayıcıların seçilen veri seti için daha doğru trafik akım tahmini yaptığı gözlemlenmiştir.

Yao ve diğ. (2017) mekânsal ve zamansal parametrelere sahip bir destek vektör makinesi modeli geliştirerek kısa dönemli trafik hızını tahmin etmeye çalışmıştır. Bunun sonucunda geliştirilen modelin başarılı sonuç verdiğini ayrıca, KNN ve yapay sinir ağları modelleriyle kıyaslandığında daha iyi performans sergilediğini belirtmişlerdir.

Ahn ve diğ. (2016) trafik akımının tahminine yönelik çoklu doğrusal regresyon ile destek vektör regresyonu kullanmış ve destek vektör regresyonu kullanılarak yapılan tahmin sonuçlarının daha iyi olduğu görülmüştür.

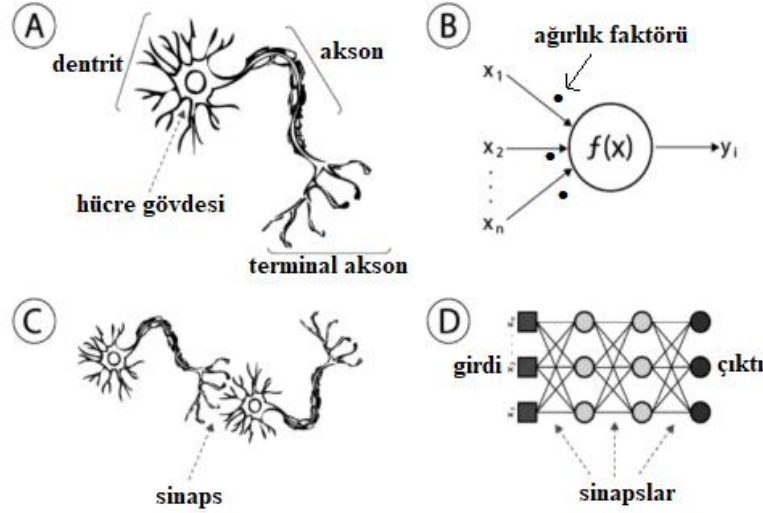
Gülaçar ve diğ. (2016) İstanbul D100 karayolunda bulunan 122 adet sensör noktasına ait trafik verilerinden trafik hızlarını tahmin etmeyi amaçlamıştır. KNN tabanlı regresyon algoritmasının karar ağacı algoritmasına göre daha iyi sonuçlar verdiği ve her bir sensörden gelen veri kümesi için tek bir KNN modelinin eğitilmesinin, tüm sensör verilerine ait genel bir modelin eğitiminden daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

5.3.1. Yapay sinir ağları (YSA)

İnsan beyninden ilham alınarak geliştirilmiş bilgi işlem teknolojisine sahip olan yapay sinir ağları, öğrenme ve genelleme yapma yetenekleri nedeniyle birçok alanda kullanılmakta ve karşılaşılan karmaşık problemler başarıyla çözülebilmektedir. Yapay sinir ağları, biyolojik sinir ağlarını taklit eden sentetik yapılar olarak ifade edilmektedir (Aladag ve diğ., 2009).

Aşağıdaki Şekil 5.6'da insan beyninin sinir hücresi yapısına karşılık gelen yapay sinir ağı sistemi görülmektedir. Yapay sinir ağlarının yapısını sinir hücreleri, girdiler, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılardan meydana gelmektedir. Tablo 5.1'de

biyolojik sinir sistemi yapısında yer alan temel elemanların yapay sinir ağı sistemindeki karşılıkları yer almaktadır.

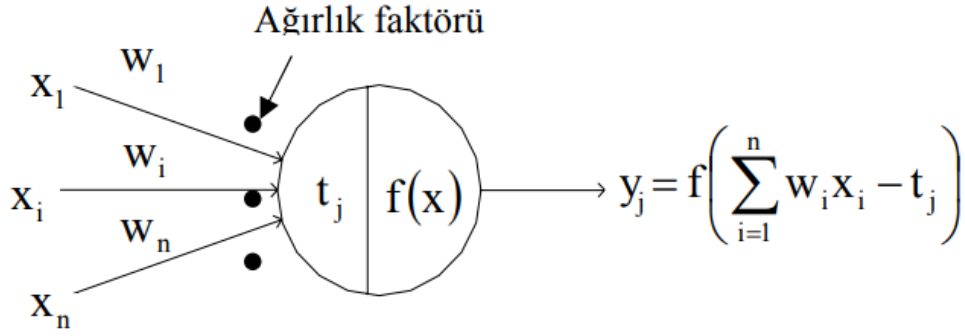


Şekil 5. 6. (A) insan sinir hücresi, (B) yapay sinir hücresi, (C) biyolojik sinaps, (D) YSA sinapsları (Matarollo ve diğ., 2013)

Tablo 5. 1. Biyolojik sinir yapısı ve yapay sinir ağı karşılıkları (Koç ve diğ., 2004)

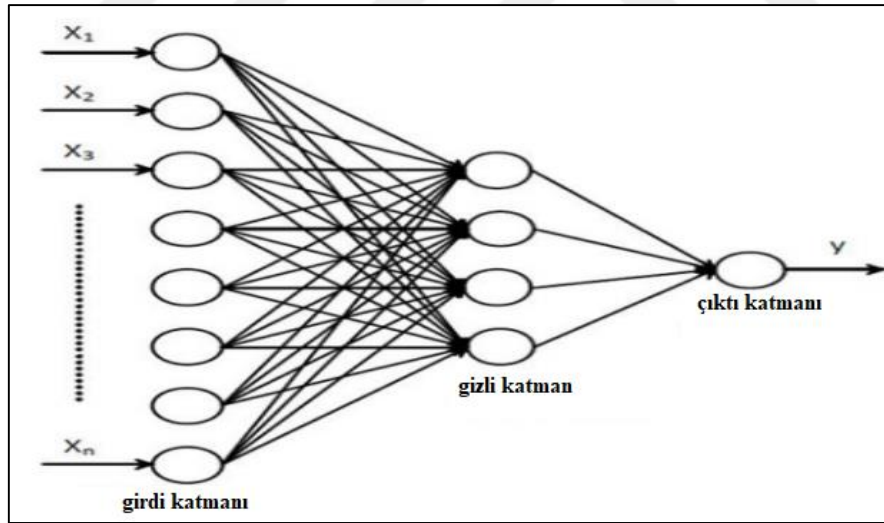
Biyolojik Sinir Sistemi	Yapay Sinir Ağı
Nöron	Hesaplama yapan düğüm
Dentrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Yapay nöron çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

Aşağıdaki Şekil 5.7’de geleneksel yapay sinir ağı hücresi görülmektedir. Ağırlıkların etkisine bağlı olarak (W_1, W_2, W_m) girdiler ($X_1, \dots, X_m$) sınır değeri (t_j) de göz önüne alınarak doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonu $f(\cdot)$ ile çıktı şeklinde uyarılara (y_j) dönüştürülmektedir. Aktivasyon fonksiyonu seçilirken tanımlanan problem, kullanılan algoritma ve veri setinin yapısına dikkat edilmektedir.



Şekil 5. 7. Yapay sinir hücresi (Koç ve diğ., 2004)

Yapay sinir ağ modelleri katmanlarına göre tek katmanlı algılayıcılar ve çok katmanlı algılayıcılar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Şekil 5.8’de görülen ağ modeli girdi, gizli ve çıktı olmak üzere üç katmanlı bir yapıdan oluşmaktadır. Ağ yapılarına göre ileri beslemeli ve geri beslemeli yapay sinir ağları; eğitime algoritmalarına göre ise denetimli ve denetimsiz yapay sinir ağları olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 5. 8. Çok katmanlı algılayıcı ağ modeli (Koç ve Onocak, 2018)

Yapay sinir ağı uygulamaları eğitime ve test olmak üzere iki kademedede oluşturulmaktadır. Eğitim kademesinde, bir eğitime algoritması kullanılarak katmanlar arasındaki ağırlık faktörlerinin ve sınır değerlerinin hata oranları kabul edilebilir bir seviyeye gelinceye kadar, tekrarlı olarak, düzeltilmesi yapılmaktadır. Ağırlık faktörlerindeki değişim öğrenme olarak ifade edilebilir. Test kademesinde eğitimde kullanılmayan girdi ve çıktılar kullanılarak ağıın performansı ölçülmektedir (Koç ve diğ., 2004). Yapay sinir ağları sınıflandırma, modelleme,

kümeleme ve tahmin gibi işlemlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Sağladıkları en büyük avantajlar; bilgiyi paralel olarak işleyebilme, doğrusal olmayan sistemlerin modelleyebilmesi ve uyum sağlayabilme yeteneğine sahip olmaları şeklindedir (Kalogirou, 1999).

5.3.2. Destek vektör makinesi (DVM)

Destek vektör makineleri ilk olarak sınıflandırma problemlerini çözmek üzere geliştirilmiştir. Bu yöntemde, iki farklı sınıfa ait veriler arasındaki sınır mesafesini maksimize eden bir sınıflandırıcı belirlenmesi amaçlanmıştır. İstatiksel öğrenme teorisine dayanan bu yöntem daha sonradan regresyon problemlerinin çözümünü de kapsayacak şekilde geliştirilmiştir. (Avşar, 2017).

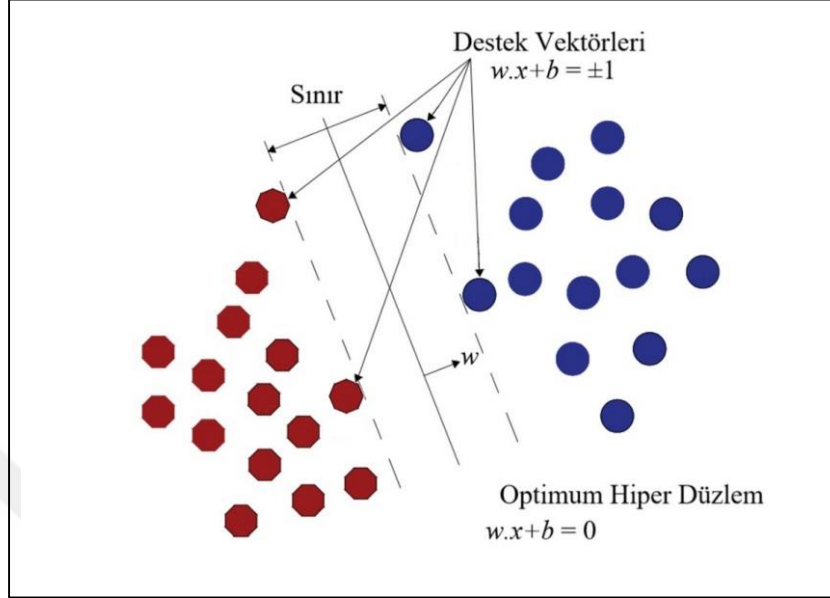
DVM yöntemi doğrusal olarak ayrılabilen verilere kolaylıkla uygulanabilir. Öte yandan, doğrusal olmayan sınıflandırıcıların elde edilebilmesi için çekirdek fonksiyonları kullanılarak verilerin daha yüksek boyutlu bir uzaya transfer edilmesi sağlanır. Benzer şekilde doğrusal olmayan fonksiyonların öğrenilmesine olanak sağlayacak şekilde regresyon problemlerine de uygulanabilir.

Doğrusal durumda, $\{-1, +1\}$ şeklinde sınıf etiketleriyle gösterilen iki sınıfa ait örneklerin, eğitim verisinden oluşturulan bir karar fonksiyonu ile birbirinden ayrılması amaçlanır. Karar fonksiyonu ile eğitim verisini optimum şekilde ayıran hiper düzlem bulunur. İki sınıflı verileri birbirinden ayırmak için birden çok hiper düzlem çizilebilmektedir. Fakat DVM'deki amaç kendine en yakın noktalar arasındaki uzaklığı maksimuma çıkaran bir hiper düzlem oluşturabilmektedir. Doğrusal olarak ayrılan iki sınıflı bir sınıflandırma problemi için DVM'nin eğitiminde n sayıda örnekten oluşan verinin $\{x_i, y_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$ olduğu varsayılırsa, optimum hiper düzleme ait eşitsizlikler aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$\begin{aligned} w \cdot x_i + b &\geq +1, & y = +1 \text{ ise} \\ w \cdot x_i + b &\leq -1, & y = -1 \text{ ise} \end{aligned}$$

En uygun hiper düzlemin tayin edilebilmesi için bu düzleme sınır oluşturan ve paralel olan iki hiper düzlemin belirlenmesi gerekir. Hiper düzlemleri oluşturan noktalar, Şekil 5.9'da görüldüğü gibi, destek vektörleri olarak tanımlanır ve $w \cdot x_i + b = \pm 1$ şeklinde ifade edilir. Burada b eğilim değerini, w ise ağırlık vektörünü göstermektedir. Aynı zamanda $x \in R^N$ olup

N -boyutlu bir uzayı ve $y \in \{-1, +1\}$ sınıf etiketlerini ifade etmektedir (Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010).



Şekil 5. 9. Doğrusal olarak ayrılabilen veriler için hiper düzlemin belirlenmesi

DVM'nin bu temel mantığı çerçevesinde, bir miktar hataya izin verilebilecek şekilde eklenti yapmak mümkündür. Bu sayede algoritmanın genelleştirme kabiliyeti artacak ve veriyi ezberleme riski azaltılmış olacaktır. Bunun dışında, verilerin doğrusal olarak ayrılamadığı durumda verileri daha yüksek boyutlu bir uzayda ifade etmek ve bu uzayda verileri doğrusal olarak sınıflandırma imkânını yakalamak mümkündür. Verileri daha yüksek boyutta ifade etmek için bazı çekirdek fonksiyonları kullanılarak işlemlerin yapılması gerekmektedir. Denklem (4) ile verilen Gaussian fonksiyonu DVM uygulamalarında en sık kullanılan çekirdek fonksiyonudur.

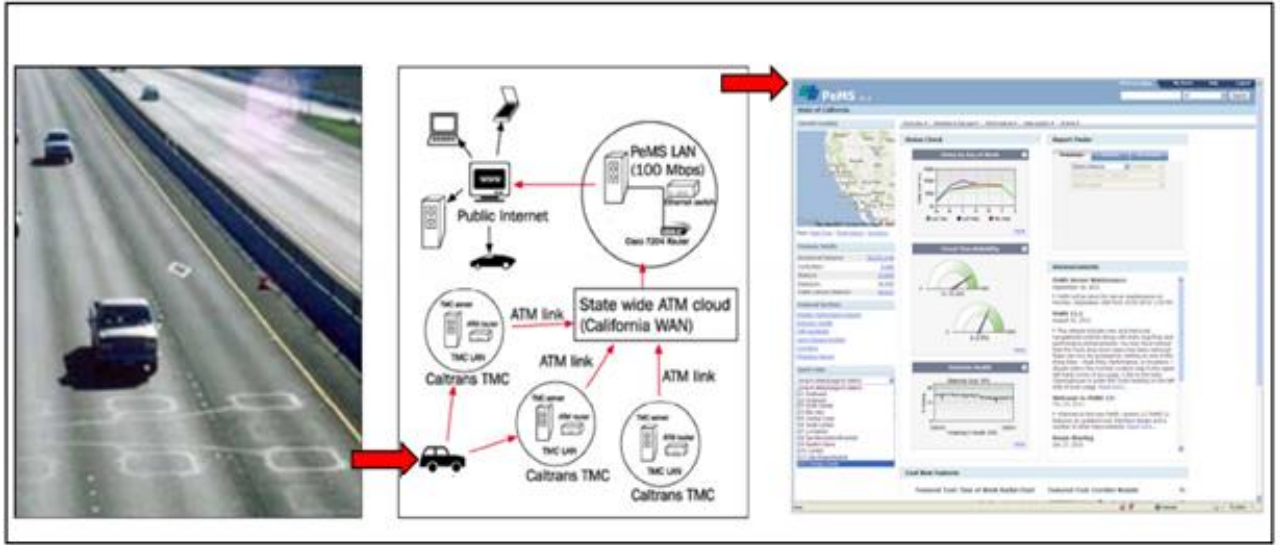
$$k(x_i, x_j) = \exp\left(-\sigma\|x_i - x_j\|^2\right) \quad (4)$$

5.4. Veri seti açıklaması

Bu tez çalışması kapsamında, Kaliforniya Ulaşım Daire Başkanlığı'na (Caltrans) ait Performans Ölçüm Sistemi'nde (PeMS) yer alan trafik veri tabanından faydalanılmıştır (PeMS, 2019). Veri setinin yapacağımız tez çalışmasında kullanılabilmesi için öncelikle PeMS yetkililerine çalışmanın içeriği ile ilgili bilgilerin yer aldığı e-posta gönderilmiştir. Veri setinin kullanımı için PeMS yetkililerinden onay alındıktan sonra sisteme giriş sağlanmış ve veriler elde edilmiştir.

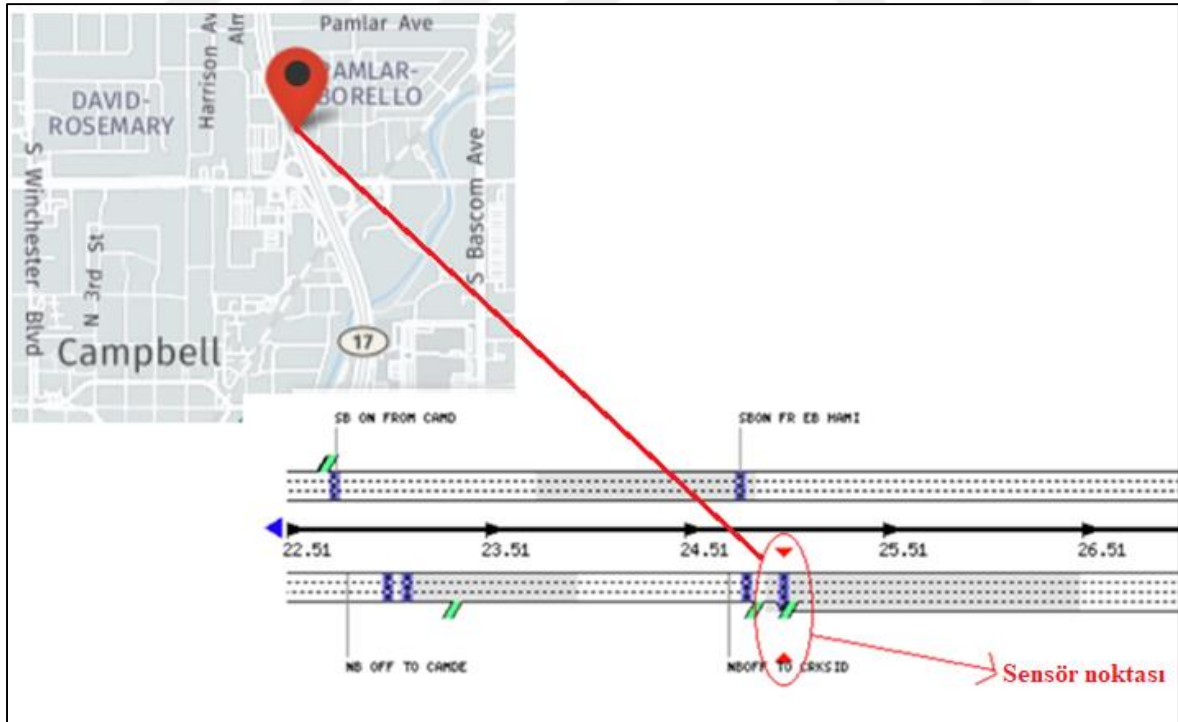
PeMS, Kaliforniya eyaleti genelindeki otoyollara yerleştirilen 35.000'den fazla sensör ile 30 saniyede bir trafik akımına ait verilerin toplandığı ve anlık olarak paylaşıldığı bir sistemdir. Toplanan veriler her bir sensör noktası için 5 dakikalık aralıklarla sistemde rapor edilmektedir. Ayrıca sistem içerisinde yer alan gerçek zamanlı trafik haritaları ile yol kullanıcılarının trafik durumunu anlık olarak görebilmesine imkân sağlamaktadır. Aşağıda sistemin çalışması ve ara yüzü gösterilmektedir (Şekil 5.10).

PeMS, nesnelerin interneti teknolojisi tabanlı bir trafik yönetim sistemi olup trafiğin hızlı akması ve uzun süreli gecikmelerin önüne geçilmesini amaçlayan bir sistem olarak çalışmaktadır. Bu sistem IoT tabanlı olarak yollara konulan çeşitli sensör teknolojilerinden faydalanarak trafiğin izlenmesi ve aktif olarak yönetilmesine yardımcı olmaktadır. Sistem içerisinde yer alan sensörler birbirleriyle ve merkezle iletişimde bulunurken, gelişmiş ağ teknolojilerine dayanan yüksek hızlı kablosuz veri aktarım standartlarını kullanmaktadır. Bu sayede yol kenarında bulunan sensörler yardımıyla toplanan veriler hızlı, güvenli ve hatasız bir şekilde PeMS sistemine aktarılmaktadır. Sensörlerden gelen çok miktardaki verinin IoT sayesinde hızlı ve insan müdahalesine gerek olmadan sisteme aktarımı gerçekleştirilmektedir. Ayrıca sensörlerin arızalanması durumunda IoT, arızalara hızlı bir şekilde yanıt verilmesine olanak vermektedir.



Şekil 5. 10. PeMS sistem görünümü (Caltrans, 2013)

Çalışma kapsamında Kaliforniya eyaletine bağlı Santa Clara bölgesinde bulunan Campbell şehrinden geçen SR17-N isimli otoyolundaki 404370 numaralı sensöre ait trafik verileri kullanılmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5. 11. Verilerin alındığı sensör noktası

5.5. Trafik hız ve akım değerin tahmin edilmesi çalışmaları

Bu tezde trafik hızı ve akım değeri bilgilerinin 15 dakika sonrası için tahmin çalışması yapılmış olup, bunu gerçekleştirmek için YSA ve DVM yöntemlerinin regresyon problemleri için geliştirilmiş türleri kullanılmıştır. Yapılmış çalışmalarda kısa dönemli trafik tahminlerinin genellikle 5 dakika ila 30 dakika arasında değişen zamanlar için yapıldığı görülmektedir. Operasyonel analizler için HCM (2000) 15 dakikalık zaman aralığının kullanılmasını önermektedir.

5.5.1. Veri setinin tarifi ve ön işleme adımı

2018 yılına ait 16 haftalık veri, bu amaçla PeMS veri tabanından indirilmiştir. Mevsimler arasındaki trafik farklılıklarını da görebilmek amacıyla dört farklı mevsimden dörder haftalık veriler alındığı için toplamda 16 haftalık bir veri seti oluşturulmuştur. Yıl içindeki farklı durumlara bağlı olarak günlük ve saatlik trafik yoğunluğunun değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Örneğin okulların kapalı olduğu yaz aylarında sabah saatlerindeki trafik yoğunluğu okulların açık olduğu zamana göre daha azdır. Yılın farklı zamanlarındaki bu tip değişikliklerin de analiz edilmesine olanak sağlayabilmek amacıyla veri setine dört mevsimden eşit miktarda veri dâhil edilmiştir. Bununla birlikte, eğitim kümesine her mevsimden aynı oranda veri dâhil edilerek bu değişimlerin tahminlerin başarımı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak hedeflenmiştir. Verilere ait tam tarih aralıkları Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5. 2. Kullanılan verilerin mevsimlere göre zaman aralıkları

Mevsim	Veri Başlangıç	Veri Bitiş
Kış	15 Ocak 2018	11 Şubat 2018
İlkbahar	12 Mart 2018	8 Nisan 2018
Yaz	4 Haziran 2018	1 Temmuz 2018
Sonbahar	17 Eylül 2018	14 Ekim 2018

PeMS sisteminde veriler 5 dakika aralıklarla sağlanmaktadır, fakat bu çalışmada 15 dakika sonrası için tahmin yapılması hedeflenmiştir. Bu yüzden sistemden alınan ham verilerin 15 dakikalık zaman aralıklarını kapsayacak şekilde birleştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Buna göre, alınan ham verilerden ardışık olan 3 tanesinin uygun şekilde birleştirilmesiyle 15 dakikalık

zaman dilimi için veriler oluşturulmuştur. Orijinal veri setindeki ardışık üç satır birleştirilerek 15 dakikalık veriler oluşturulduğu ve tahminlerin bu birleştirilmiş veriler kullanılarak gerçekleştirildiği için yapılan tahminler sonraki 15 dakikanın tamamına ait olarak değerlendirilebilir. Başka bir ifadeyle, akım tahmini için sonraki 15 dakikada yol kesiminden geçecek olan toplam araç sayısı, hız tahmini için ise yine sonraki 15 dakikada yol kesiminden geçecek olan araçların ortalama hızı tahmin edilmiştir.

Akım verisi toplam araç sayısını ifade ettiğinden, ardışık verilerin direkt olarak toplanmasıyla 15 dakikalık akım verisi elde edilmiştir. Öte yandan hız verisi araç başına düşen ortalama hızı temsil ettiği için, belirli bir zaman aralığındaki hız verisi aynı zaman aralığındaki akım verisi ile ağırlıklandırılarak işleme dâhil edilmiştir. Örneğin, Tablo 5.3'te 5 dakikalık 3 adet ardışık zaman aralığına ait veriler ve bu verilerin birleştirilerek 15 dakikalık zaman aralığına çevrilmiş hali gösterilmiştir. Hız birimi olarak ABD'de kullanılan resmi birim mph (miles per hour- mil bölü saat) kullanılmıştır. Bu 1 saatte alınan mil cinsinden hız birimini ifade etmektedir.

Tablo 5. 3. 15 dakikalık verilerin oluşturulması örneği

Saat	Hız (mph)	Akım (araç/5dak)	Ortalama Toplam Hız (mph)	Toplam Akım (araç/15dak)
00:00	68.0	37	68.71	113
00:05	69.4	47		
00:10	68.5	29		

5.5.2. Veri setinin oluşturulması

Genel olarak bir makine öğrenmesi probleminde, probleme ait çeşitli ölçümler birçok örnek için toplanır. Bu ölçümlerin her birinin tahmin edilmeye çalışılan hedef değeri etkileyen değişkenler olması beklenir ve bu ölçümler “öznitelik” olarak adlandırılır. Problemi doğru şekilde tarif edebilen özniteliklerin çeşitli örnekler için toplanması ve bir arada tutulması ile bir öznitelik matrisi oluşturulur. Tipik bir öznitelik matrisinde satırlar örnekleri, sütunlar ise öznitelikleri gösterir. Öznitelik matrisinin son sütunu ise tahmin edilmesi hedeflenen değere ait gerçek ölçümleri içerir. Bu çalışmada hız ve akım tahminine yönelik iki farklı problem çözümü yapıldığından dolayı iki farklı öznitelik matrisi oluşturulmuştur. Hız ve akım

değerlerinin benzer faktörlerden etkilenmesi sebebiyle iki problem için de aynı öznitelikler kullanılmıştır. Başka bir deyişle, iki problem için oluşturulmuş olan öznitelik matrislerinde sadece en son sütundaki hedef değerler farklıdır.

Problemin çözümü için kullanılan öznitelikleri, “zaman bilgisine ait olanlar” ve “ölçüm bilgilerine ait olanlar” olarak iki sınıfta gruplandırmak mümkündür. Zaman bilgisine ait olan öznitelikler, tahmin edilecek olan verinin günün hangi saatine ve haftanın hangi gününe ait olduğunu belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Anlaşılacağı üzere bu bilgiler kategorik verilerdir. Başka bir deyişle, saat bilgisi için “0”, “1”, “2”, ..., “23” ve gün bilgisi için “pazartesi”, “salı”, ..., “pazar” değerlerinden başka bir değer alması mümkün değildir. Bu bağlamda, günün saati için de 24 elemanlı bir binary vektör (v_s), haftanın günü için 7 elemanlı bir binary vektör (v_h) tanımlanmıştır. Verinin alındığı gün ve saat bilgisine göre bu vektörlerin sadece ilgili elemanı 1 yapılmış, diğer elemanları ise 0 olarak bırakılmıştır. Örneğin, salı günü saat 8:15’te alınmış bir örnek için, $v_s = [0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]$ ve $v_h = [0,1,0,0,0,0,0]$ olarak belirlenmiştir.

Ölçüm bilgilerine ait olan öznitelikler ise 3 tanesi hız, 3 tanesi de akım ile ilgili olmak üzere toplamda 6 tanedir. Bu ölçümler ise ölçümün yapıldığı ana ait veriler, tahminin yapılacağı andan tam bir gün öncesine ait olan veriler ve tahminin yapılacağı andan tam bir yıl öncesine ait olan verilerdir. Bu üç veri hız ve akım değerleri için ayrı ayrı alınmıştır ve birlikte ölçüm bilgilerine ait olan öznitelikler oluşturulmuştur.

Bir ölçüme ait tüm öznitelikler birleştirilerek 37 (24+7+6) boyutlu bir öznitelik vektörü elde edilmiştir. Tüm ölçümler için oluşturulan öznitelik vektörlerinin alt alta eklenmesi ile öznitelik vektörü oluşturulmuş ve makine öğrenmesi yöntemlerinde kullanılmaya hazır hale getirilmiştir. Hız ve akım tahmini için oluşturulmuş öznitelik matrislerinin 10 satırlık ekran görüntüleri Şekil 5.12’de gösterilmiştir.

hour0	hour1	hour2	hour3	hour4	hour5	hour6	hour7	hour8	hour9	hour10	hour11	hour12	hour13	hour14	hour15	hour16	hour17	hour18	hour19	hour20	hour21	hour22	hour23	day1	day2	day3	day4	day5	day6	day7	flow-current	speed-current	flow-yeş	speed-yeş	flow-year	speed-year	speed-target
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	416	69.17	599	70.15	410	68.33	69.07
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	410	69.07	588	69.08	329	69.26	68.94	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	322	68.94	584	69.46	298	69.2	68.97		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	288	68.97	504	69.37	236	69.1	68.8		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	245	68.8	562	69.34	228	68.95	69.32		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	209	69.32	464	68.85	188	69.48	69.17		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	160	69.17	442	68.16	168	69.5	69.44		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	175	69.44	377	68.46	170	69.74	69.98		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	136	69.98	325	68.33	80	68.59	68.58		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	92	68.58	267	69	75	69.16	69.2	

(a)

hour0	hour1	hour2	hour3	hour4	hour5	hour6	hour7	hour8	hour9	hour10	hour11	hour12	hour13	hour14	hour15	hour16	hour17	hour18	hour19	hour20	hour21	hour22	hour23	day1	day2	day3	day4	day5	day6	day7	flow-current	speed-current	flow-yeş	speed-yeş	flow-year	speed-year	flow-target
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	416	69.17	599	70.15	410	68.33	410
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	410	69.07	588	69.08	329	69.26	322	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	322	68.94	584	69.46	298	69.2	288	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	288	68.97	504	69.37	236	69.1	245	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	245	68.8	562	69.34	228	68.95	209	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	209	69.32	464	68.85	188	69.48	160	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	160	69.17	442	68.16	168	69.5	175	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	175	69.44	377	68.46	170	69.74	136	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	136	69.98	325	68.33	80	68.59	92	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	92	68.58	267	69	75	69.16	81	

(b)

Şekil 5. 12. Hız (a) ve akım (b) tahmini için oluşturulmuş öznitelik matrisleri

5.5.3. Eğitim ve test işlemleri

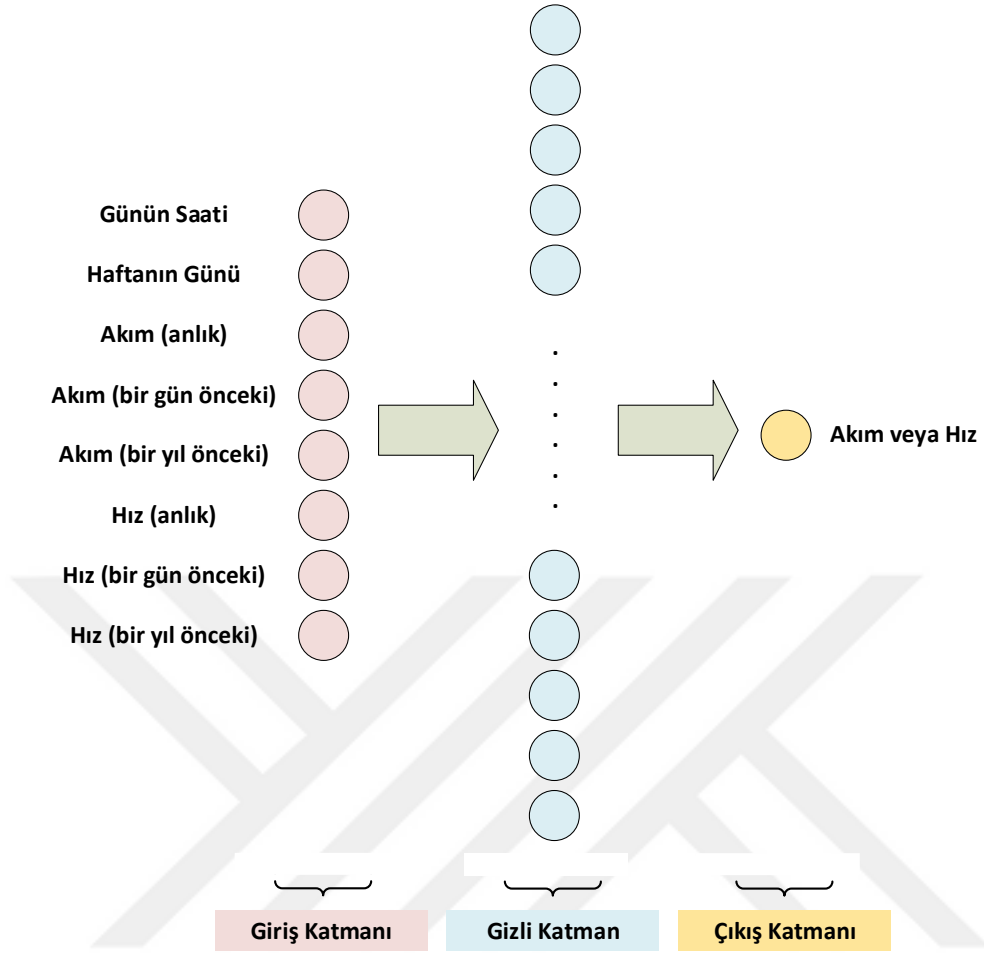
Makine öğrenmesi yöntemlerinin öğrenme adımı en genel anlamda, bazı katsayıların optimize edilmesi olarak tarif edilebilir. Bu optimizasyon işlemi için ise belirli özniteliklere sahip ölçümlerin ve bu ölçümlere karşılık gelen gerçek hedef değerlerin yönteme dahil edilmesi gerekir. Katsayıların bu şekilde optimize edilmesi işlemine “eğitim”, optimizasyon için kullanılan verilere ise “eğitim kümesi” denir. Eğitim kümesi üzerinde optimize edilen katsayılar kullanılarak yeni tahminlerde bulunmak mümkündür ve bu tahminlerin gerçeğe yakın sonuçlar vermesi beklenir. Sonuçların gerçeğe ne kadar yakın olduğunu anlamak için ise “test kümesi” verileri kullanılır. Test kümesi, eğitim kümesi ile ortak elemanı bulunmayan ve yine belirli ölçümlere karşılık gelen gerçek hedef değerlerinin bulunduğu bir kümedir. Test kümesindeki ölçümlere ait hedef değerler, eğitim sonucunda optimize edilmiş olan katsayılarla tahmin edilir ve bu tahminlerin gerçek hedef değerlerle ne kadar tutarlı olduğu gözlemlenir.

Hız ve akım tahmini problemlerinde, her bir mevsim için ayrı oluşturulmuş olan öznitelik matrislerinin ilk 3 haftalık verileri birleştirilerek eğitim kümesi elde edilmiştir. Geriye kalan bir haftalık veriler ise tahmin için kullanılan yöntemin performansını test etmek için ayrılmıştır. Başka bir ifadeyle, tüm verilerin %75’ini oluşturan toplamda 12 haftalık veri eğitim için, geriye kalan %25’ini oluşturan 4 haftalık veri ise test için kullanılmıştır.

Makine öğrenmesi yöntemlerinde, özniteliklerin farklı birimlere sahip olmasının öğrenme sürecini olumsuz etkilediği bilinen bir gerçektir. Bu yüzden eğitim işleminden önce eğitim ve test kümesindeki öznitelikler z-skor normalizasyon işlemi ile standart hale getirilmiştir. Öznitelik matrisindeki ilk 31 öznitelik, kategorik veri olmalarından dolayı, normalizasyon işlemine tabi tutulmamıştır. Ölçüm bilgilerine ait olan 6 öznitelik ise z-skor işlemi ile ortalaması 0, standart sapması 1 olacak şekilde normalize edilmiştir. Bu normalizasyon işlemine ait bağıntı Denklem (5)’te verilmiştir.

$$x_z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (5)$$

Burada μ ve σ , özniteliğe ait olan ortalama ve standart sapma değerlerini, x normalize edilecek özniteliğe ait olan verileri ve x_z ise normalize edilmiş öznitelik verilerini temsil etmektedir.



Şekil 5. 13. Tahmin için kullanılan YSA mimarisi

Yukarıda tahmin için kullanılan YSA mimarisi yer almaktadır (Şekil 5.13). Tahmin için eğitilmiş olan YSA modelindeki gizli katman 40 adet düğüm noktasından oluşmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu olarak yaygın kullanılan sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Gizli katmanda bulunan düğüm noktası sayısına göre akım ve hız tahminlerindeki performans ölçütlerinin değişimi Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'te verilmiştir. Performans ölçütlerinin nasıl hesaplandığına dair bilgiler bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

Tablo 5. 4. Akım tahminine dair düğüm nokta sayısı seçimi

	Düğüm Noktası Sayısı					
	20	25	30	35	40	45
OMH	40.186875	39.48614	39.70116	39.68014	39.64721	39.85795
OMYH	2.71884362	2.722619	2.724919	2.72504	2.723413	2.724337
OKH	3409.623	3398.0231	3346.45962	3393.44583	3328.296	3359.100
KOKH	58.391983	58.292553	57.84859	58.25329	57.69138	57.957743
R²	0.985898	0.985359	0.986159	0.98537	0.986235	0.986107

Tablo 5. 5. Hız tahminine dair düğüm nokta sayısı seçimi

	Düğüm Noktası Sayısı					
	20	25	30	35	40	45
OMH	0.8310757	0.8367997	0.834055	0.83186359	0.829825	0.83477454
OMYH	0.0526709	0.05319645	0.0527502	0.0528766	0.052506	0.0528451
OKH	2.2903575	2.25171341	2.248261	2.245020	2.236759	2.2136236
KOKH	1.513392	1.5005710	1.499420	1.498339	1.49558	1.487825
R²	0.855351	0.855411	0.8556330	0.85584	0.856372	0.8565414

R^2 haricindeki ölçütler tahmin edilen büyüklüğün birimine bağlı olduğundan dolayı sadece R^2 değeri dikkate alınarak iki durum için de uygun düğüm noktası sayısı belirlenmiştir. Buna göre, her ne kadar 45 adet düğüm noktası olması durumunda hız tahmini daha iyi sonuç veriyor olsa da, 40 adet düğüm noktası olması durumu ile arasındaki fark çok küçüktür. Ayrıca, 40 değerinin akım tahminindeki birçok ölçüt için en iyi değeri verdiği görülmektedir. Bu sebepten YSA yönteminde gizli katmandaki düğüm noktası sayısı 40 olarak verilmiştir. DVM yönteminde ise $C = 100$ ve $\gamma = 0.027$ parametreleri ile bir Gaussian çekirdek fonksiyonuna sahip model oluşturulmuştur.

6. BULGULAR

Bu bölümde test kümesindeki hedef değerlerinin gerçeğe ne kadar yakın bir şekilde tahmin edildiğine dair bilgilere yer verilmiştir. Öncelikle, performans ölçütü olarak kullanılan değerlerin nasıl hesaplandığına dair bilgiler verilmiştir. Ardından da YSA ve DVM yöntemleri için bu ölçütler karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Son olarak da, hem gerçek hem de tahmin edilen trafik hız ve akım değerlerine ait saçılma grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler üzerinden trafiğin tıkanıklık durumu değerlendirmeye çalışılmıştır.

6.1. Performans ölçütleri

Regresyon problemleri için sayısal bir yakınlık ölçütü hesaplamak amacıyla çeşitli performans kıstasları bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan performans ölçütleri aşağıda listelenerek açıklanmıştır.

- **Ortalama mutlak hata (OMH):**

Bu değer hesaplanırken gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farkın mutlak değeri kullanılır. Bu mutlak değer büyüklüklerinin tüm örnekler için ortalamasının alınmasıyla hesaplanır ve küçük olması daha başarılı tahmin anlamına gelmektedir. n örnek sayısını, y gerçek değeri, $\hat{y}$ ise tahmin edilen değeri temsil etmek üzere, Denklem (6) ile hesaplanır.

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (6)$$

- **Ortalama mutlak yüzde hata (OMHY):**

Hatanın mutlak değerinin gerçek değerine bölünmesi ile bir yüzde hesabı yaparak elde edilen bir performans ölçütüdür (Denklem 7). Sıfıra yakın olması daha yüksek bir başarı demektir.

$$OMHY = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{|y_i|} \quad (7)$$

- **Ortalama kare hata (OKH):**

Yapılan tahminlerin gerçek değere ortalama olarak ne kadar yakın olduğunun bir ölçütüdür. Her zaman pozitif değer alır ve düşük olması yüksek performans anlamına gelir (Denklem 8).

$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (8)$$

- **Kök ortalama kare hata (KOKH):**

OKH hesabında her bir tahmin için hatanın karesinin alınması, özellikle hatanın yüksek olduğu örnekler için, hesaplanan hatanın çok artmasına ve hata birimi ile tahmin biriminin aynı olarak elde edilememesine sebep olur. Bu yüzden OKH değerinin karekökü alınarak hesaplanan hata ile tahmin edilen büyüklüğün aynı birimde olması sağlanır (Denklem 9).

$$KOKH = \sqrt{OKH} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (9)$$

- **Belirleme katsayısı (R^2):**

Tahmin edilen verilerin gerçek veriler ile ne kadar uyumlu olduğunu gösteren bir ölçüt olarak düşünülebilir. En fazla 1 değerini alabilir ve 1'e yakın olması daha yüksek performans anlamına gelir. Listelenmiş olan diğer hata ölçütlerinden farklı olarak bir üst sınırının bulunmasından dolayı tahmini yapılan verinin biriminden bağımsız olarak karşılaştırma yapabilme olanağı sağlar. $\bar{y}$ gerçek değerlerin ortalamasını göstermek üzere, Denklem (10) ile hesaplanır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (10)$$

Eğitilmiş olan modellere test kümesindeki veriler girdi olarak verildiğinde gözlemlenen tahmin değerleri ile gerçek değerler kullanılarak yukarıda listelenen ölçütler YSA ve DVM yöntemleri için hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonuçları akım verisinin tahmini için Tablo 6.1'de, hız verisinin tahmini için de Tablo 6.2'de verilmiştir.

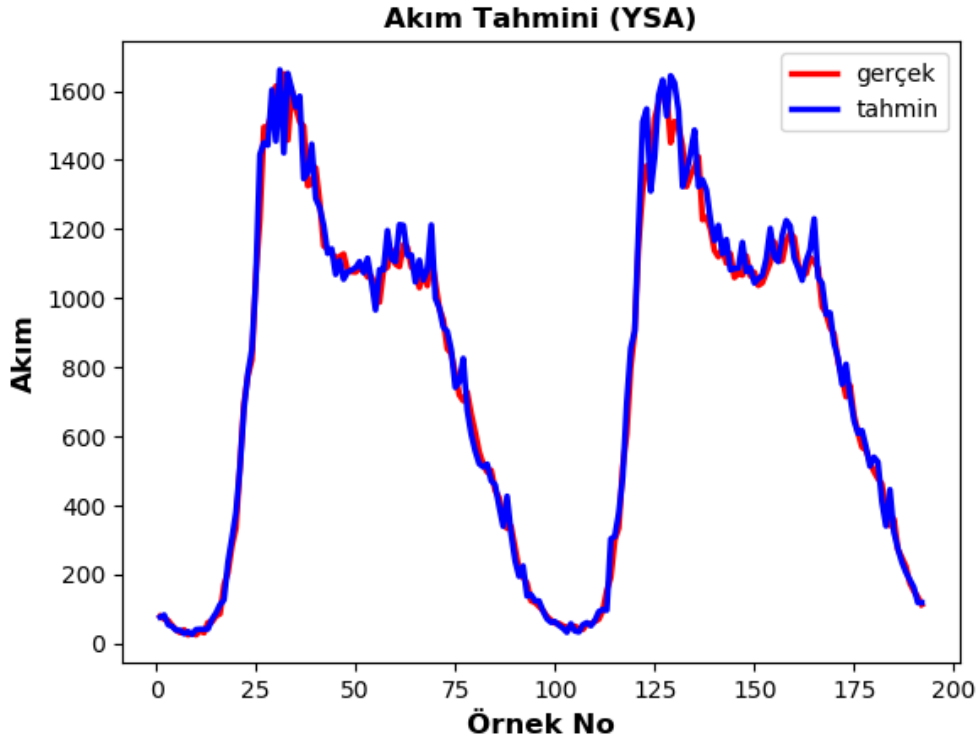
Tablo 6. 1. Akım tahminine dair tahmin sonuçları

	YSA	DVM
OMH	39.64721	40.89138518
OMHY	2.723413	2.714700221
OKH	3328.296	3623.810029
KOKH	57.69138	60.19808991
R²	0.986235	0.985012587

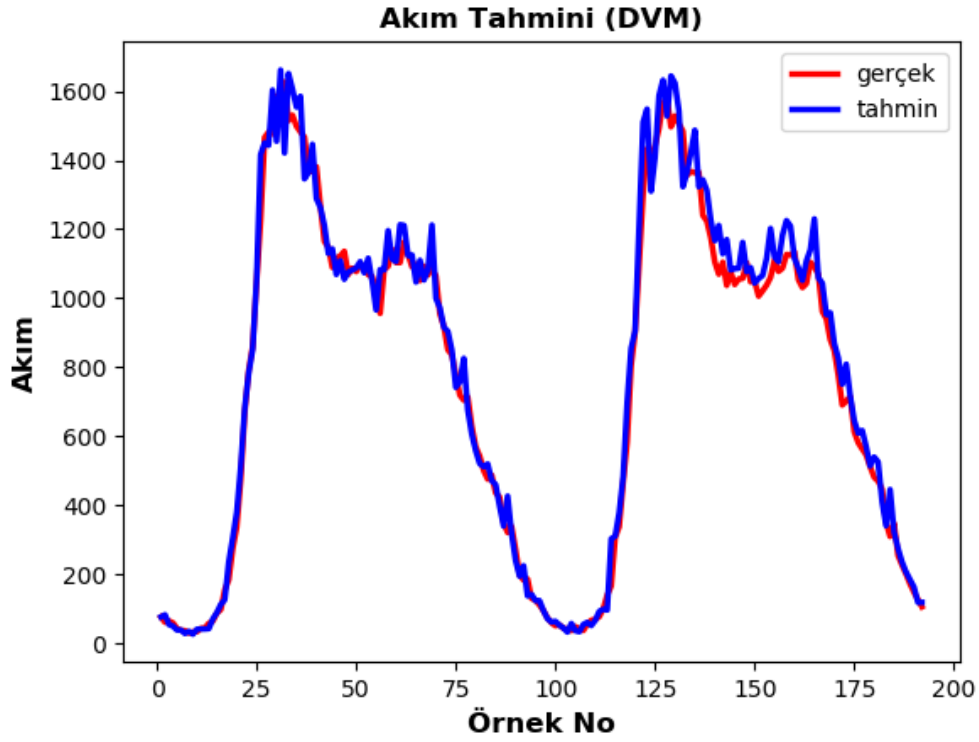
Tablo 6. 2. Hız tahminine dair tahmin sonuçları

	YSA	DVM
OMH	0.829825	0.775202
OMHY	0.052506	0.051369
OKH	2.236759	2.283401
KOKH	1.49558	1.511093
R²	0.856372	0.853377

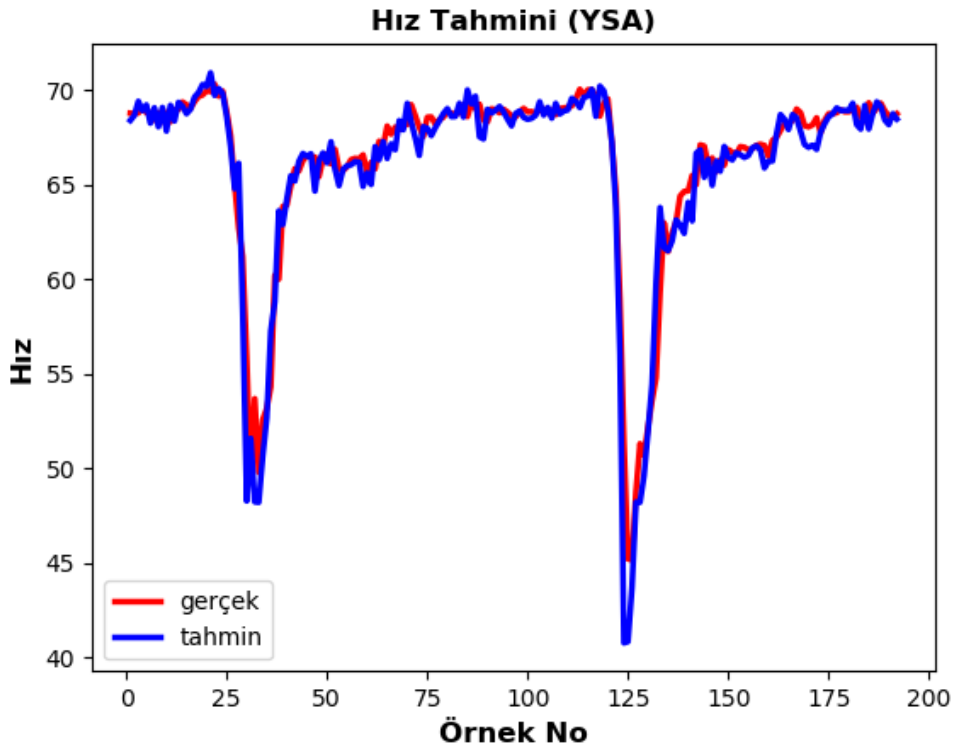
Görüldüğü üzere YSA yönteminin performansı genel olarak DVM yöntemine göre daha yüksektir. Fakat iki yöntem arasındaki performans farkının çok yüksek olmadığı noktasına da dikkat çekmek gereklidir. Özellikle R^2 değerleri için aradaki fark 0.001 mertebesinde ki bu fark bir yöntemin diğerine göre kesin olarak üstün olduğu sonucuna varabilmek için yeterli değildir. Öte yandan, akım ve hız tahminlerindeki R^2 değerleri karşılaştırıldığında akım tahminlerinin hız tahminine göre daha başarılı bir şekilde yapıldığı anlaşılmaktadır. Bu durumun görsel ifadesi, gerçek ve tahmin edilen değerlerin aynı grafik üzerinde çizildiği aşağıdaki şekillerde yer almaktadır (Şekil 6.1-6.4). Bu şekillerde yatay eksen test kümesindeki ölçümlere ait olan örnek numarasını, dikey eksen ise tahmini yapılan veriyi göstermektedir.



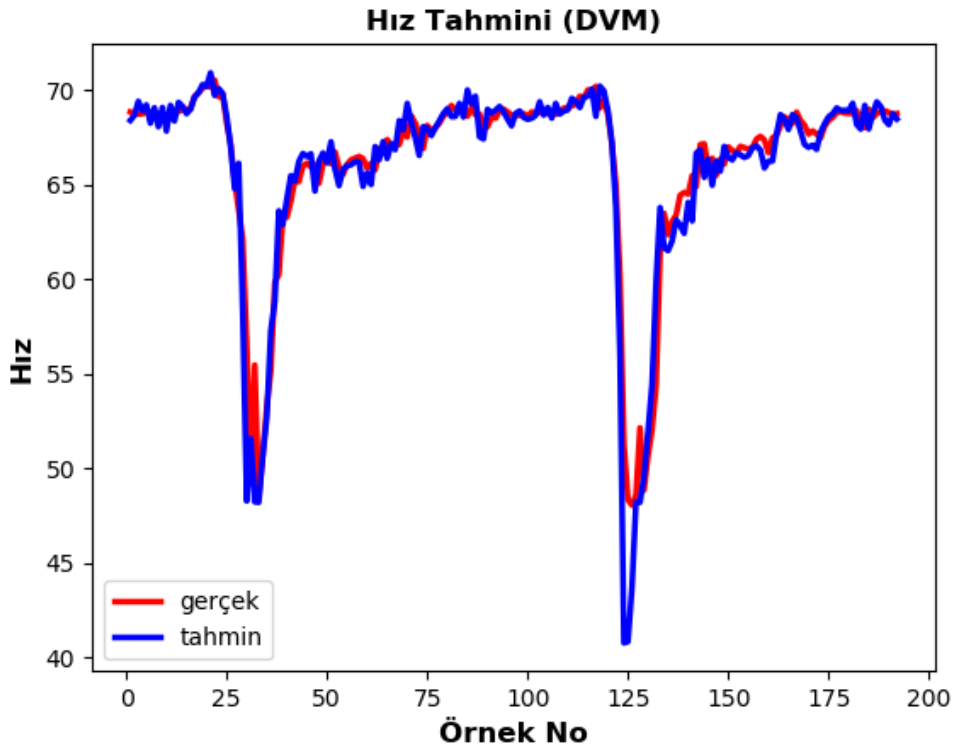
Şekil 6. 1. Gerçek akım değerinin YSA ile tahmin edilmiş veriler ile birlikte gösterilmesi



Şekil 6. 2. Gerçek akım değerinin DVM ile tahmin edilmiş veriler ile birlikte gösterilmesi

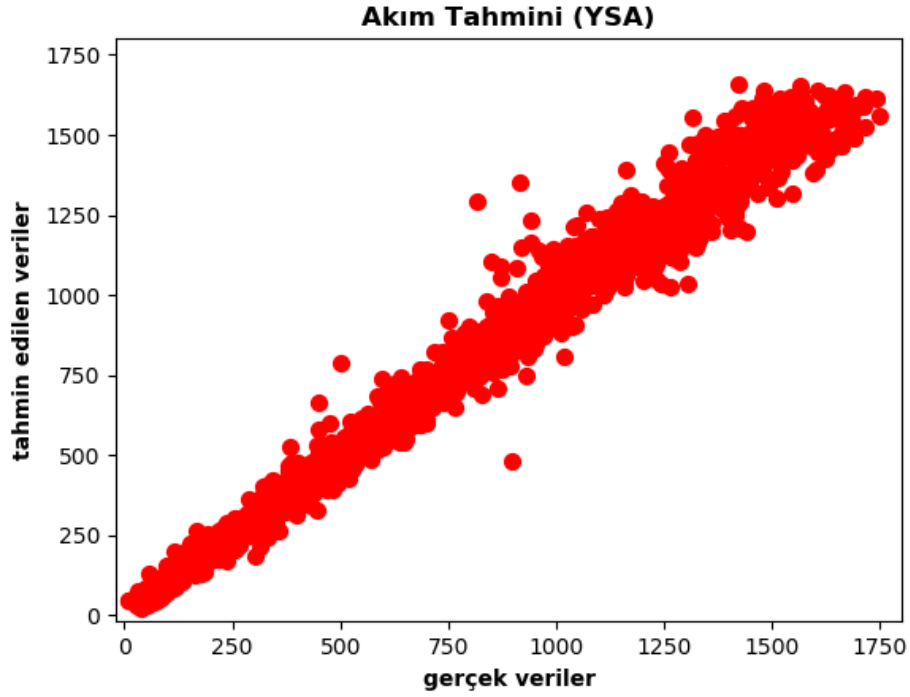


Şekil 6. 3. Gerçek hız değerinin YSA ile tahmin edilmiş veriler ile birlikte gösterilmesi

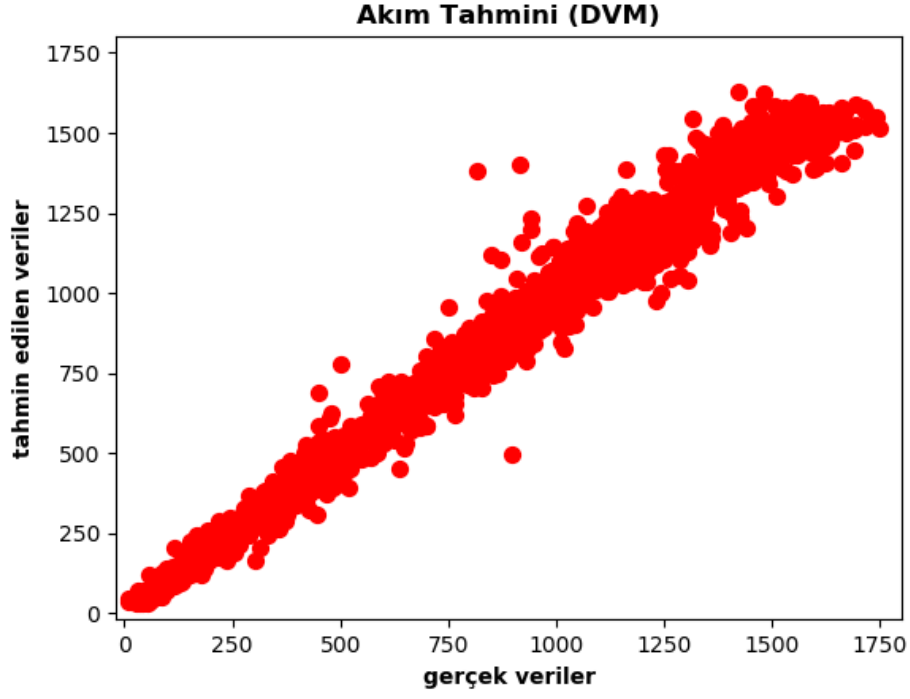


Şekil 6. 4. Gerçek hız değerinin DVM ile tahmin edilmiş veriler ile birlikte gösterilmesi

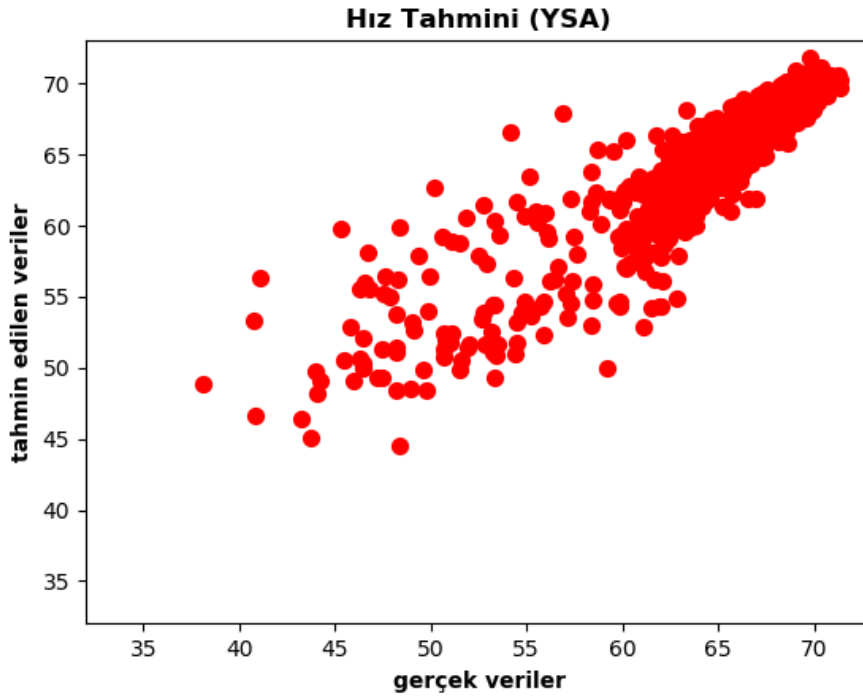
Ayrıca, gerçek veriler ile onlara karşılık gelen tahmin edilmiş akım ve hız değerleri YSA ve DVM yöntemleri için saçılım grafiklerinde gösterilmiştir (Şekil 6.5-6.8). Bu grafikler R^2 değerleri ile ilintili olup, saçılımın doğrusala yakın olması R^2 değerinin 1'e yakın olduğu anlamına gelmektedir.



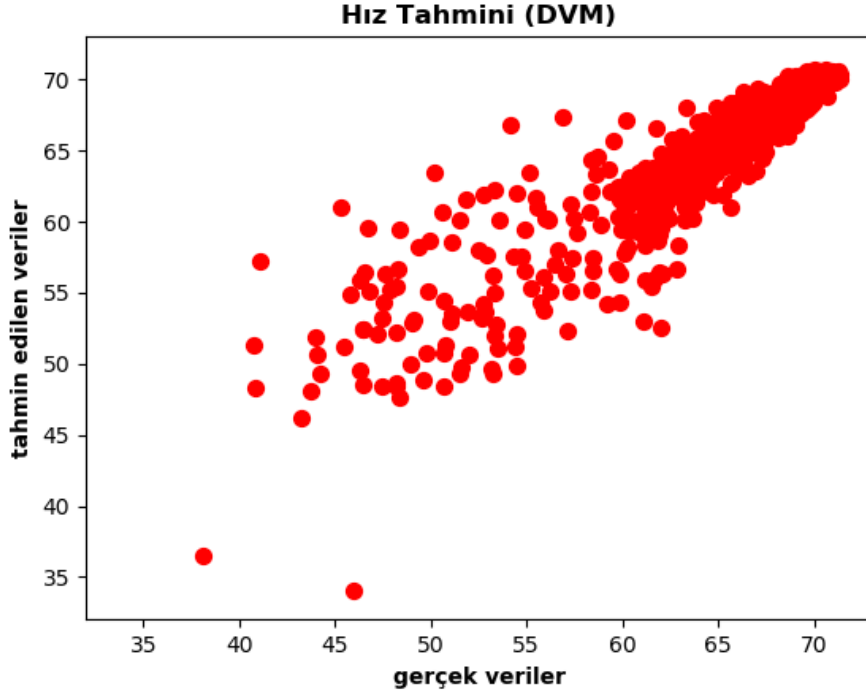
Şekil 6. 5. Gerçek verilerin ve YSA ile tahmin edilmiş akım verilerinin saçılım grafiği



Şekil 6. 6. Gerçek verilerin ve DVM ile tahmin edilmiş akım verilerinin saçılım grafiği



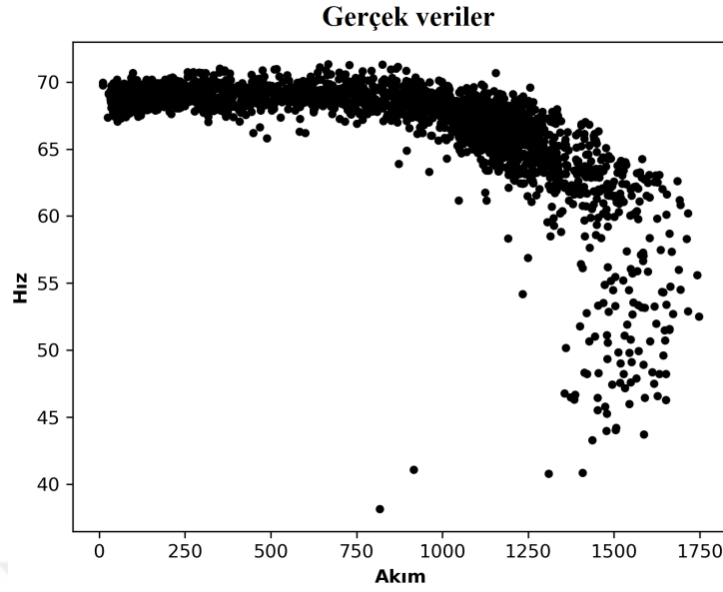
Şekil 6. 7. Gerçek verilerin ve YSA ile tahmin edilmiş hız verilerinin saçılım grafiği



Şekil 6. 8. Gerçek verilerin ve DVM ile tahmin edilmiş hız verilerinin saçılım grafiği

6.2. Hız-akım değeri saçılma grafikleri

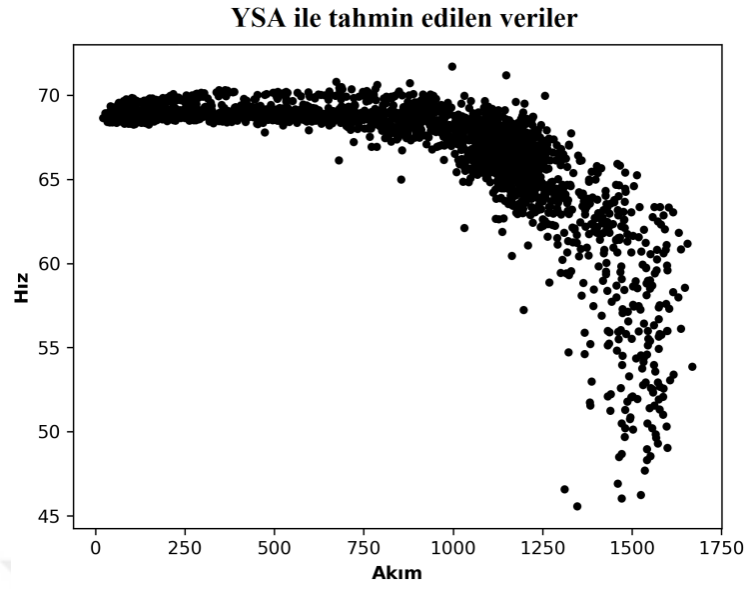
Trafik verileri kullanılarak çizilen hız-akım değeri saçılma grafikleri üzerinden, üç rejimli hız-akım değeri modeli temel alınarak, çeşitli değerlendirmelerin yapılabileceğinden daha önceki bölümde bahsedilmişti. Bu saçılma grafikleri üzerinden trafiğin hangi akım (serbest, tıkalı veya kuyruk dağılıma akımı) bölgesinde olduğu belirlenebilmektedir. Bu bakıma ilgili yol kesimine ait gerçek hız-akım değeri verilerinin saçılma grafiği verilmiştir (Şekil 6.9).



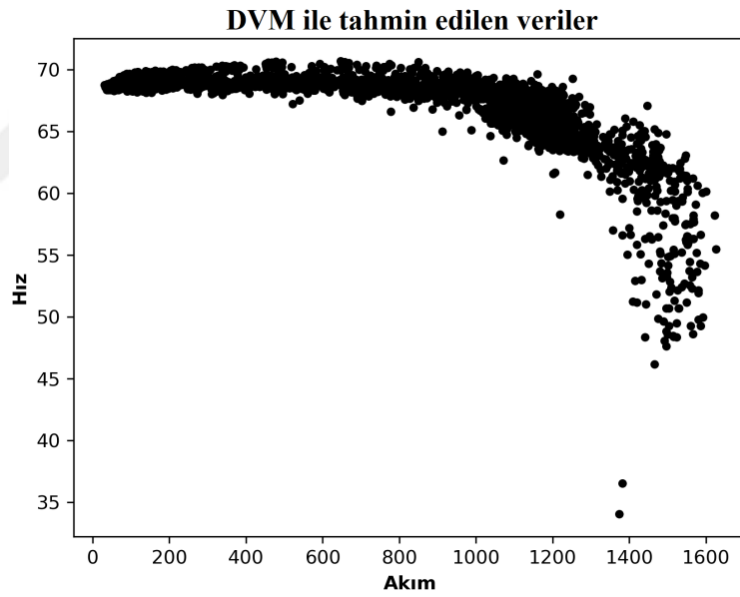
Şekil 6. 9. Hız-akım değeri saçılma grafiği

Yukarıdaki saçılma grafiği incelendiğinde hız-akım değeri veri çiftlerinin iki farklı dağılım gösterdiği söylenebilmektedir. Bu dağılımlar üç rejimli hız-akım modelinde yer alan I. ve II. bölge özelliği göstermektedir. Yani ilgili yol kesimindeki trafik için serbest akım ve kuyruk dağılıma akım koşulları gözlenmiştir. Grafikte dağılımın genel özelliği dışında seyreden ve henüz yüksek akım değerine ulaşmadan hızı ani düşen iki aykırı veri çifti görülmektedir. Bunun yol kesiminde bulunan bir cisim, arızalı taşıt veya trafiği aksatacak herhangi bir münferit olaydan dolayı oluştuğu düşünülmektedir.

Aşağıdaki Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de sırasıyla YSA ve DVM ile yapılan tahminler sonucunda oluşturulmuş hız-akım değeri saçılma grafikleri verilmiştir. Bu şekillerden ilgili yol kesiminde tahmin edilen trafik için serbest akım ve kuyruk dağılıma akım koşullarının hâkim olduğu çıkarımı yapılabilmektedir.



Şekil 6. 10. YSA ile tahmin edilen hız-akım değeri saçılma grafikleri



Şekil 6. 11. DVM ile tahmin edilen hız-akım değeri saçılma grafikleri

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Akıllı ulaşım sistemlerinde yer alan çeşitli teknolojiler (sensör, kablosuz iletişim, veri işleme ve ağ gibi) ulaşım sistemlerinin gerçek zamanlı, doğru ve verimli bir şekilde yönetilmesi ve kontrol edilmesi için kullanılmaktadır. Nesnelerin interneti teknolojisi çeşitli alt sistemleri içinde barındırarak, ulaşım sistemlerinin daha akıllı, güvenli, uyumlu ve enerji tasarruflu olmasına katkı sağlamaktadır. Bu alt sistemler içerisinde yer alan algılama, bilgi aktarım ve veri işleme teknolojileri akıllı ulaşım sistemleri için kritik öneme sahip niteliktedir. Algılama teknolojisi ile çeşitli sensörlerden gerçek zamanlı olarak veri toplanması mümkün olmaktadır. Bilgi aktarım teknolojisi ile telekomünikasyon altyapısı ve internet ağı arasındaki bütünleşme kullanılarak, nesnelere ait olan bu veriler efektif bir şekilde uzak sunuculara aktarılabilmektedir. Veri işleme teknolojisiyle büyük miktarda veri analiz edilerek akıllı karar mekanizmaları oluşturulabilmektedir. Böylelikle, çeşitli trafik verileri anlık olarak ölçülebilmekte, depolanabilmekte ve analiz edilebilmektedir. Toplanan bu trafik verileri analiz edilerek trafiğin gelecekteki durumuna yönelik tahminler yapmak mümkündür. Geçmiş trafik verilerine dayanarak yakın gelecekteki trafik durumunun tahmin edilmesi, seyahatlerin daha iyi planlanmasına, uygun seyahat rotasının kullanıcıya önerilmesine ve sonuç olarak trafiğin daha etkin bir şekilde yönetilmesine imkân sağlamaktadır. Ayrıca ışık devre sürelerinin anlık olarak atamasının yapılmasında kısa dönemli trafik tahminleri oldukça önemlidir. Bu sayede trafikteki gecikmeler minimuma indirilebilmekte ve trafik sinyalizasyonunun kontrolü anlık olarak yapılabilmektedir. Trafik tahminleri, trafik yönetim sistemleri ve yolcu bilgilendirme sistemlerinde oldukça kritik rol oynamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında nesnelerin interneti teknolojisine sahip PeMS sistemindeki sensörlerden alınan veriler ile makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak kısa dönemli trafik tahmini yapılmıştır. Sistemin sahip olduğu nesnelerin interneti teknolojisi sensör noktalarındaki veri alışverişinin hızlı, hatasız ve gerçek zamanlı olarak yapılmasına imkân tanımaktadır. Trafiğin analizi ve yorumlanmasında verilerin gerçek zamanlı olarak elde edilmesinin kritik bir öneme sahip olduğu bilinmektedir. Gerçek zamanlı olarak sistemin topladığı veriler ile geleceğe yönelik yapılan trafik tahminlerinin doğruluk oranı artmaktadır. Bu tez çalışmasında yapılan kısa dönemli trafik tahminlerinin elde ettiği başarımın bunu

destekler nitelikte olduğu görülmüştür. Tahminler yapılırken makine öğrenmesi algoritmalarından yapay sinir ağları (YSA) ve destek vektör makinesi (DVM) yöntemleri kullanılmıştır. Sonuç olarak YSA yönteminin performansının genel olarak DVM yöntemine göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. YSA modellerinin doğru tahminler sağlamada kanıtlanmış yeteneklerinin yanı sıra trafik veri setlerinin modellenmesinde genel performansları ve sağlamlıkları bakımından iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bu çalışmada da beklenildiği gibi YSA daha iyi performans sağlamıştır. Ancak iki yöntem arasındaki performans farkının çok yüksek olmadığı noktasına da dikkat çekmek gerekmektedir. Çünkü R^2 değerleri için aradaki fark 0.001 mertebesinde ki bu fark bir yöntemin diğerine göre kesin olarak üstün olduğu sonucuna varabilmek için yeterli sayılmamaktadır. Öte yandan, akım ve hız tahminlerindeki R^2 değerleri karşılaştırıldığında akım tahminlerinin hız tahminine göre daha başarılı bir şekilde yapıldığı görülmektedir.

İlave olarak, trafik verileri kullanılarak çizilen hız-akım değeri saçılma grafikleri üzerinden, üç rejimli hız-akım değeri modeli temel alınarak, trafiğin hangi akım bölgesi koşullarında olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Yol kesimine ait gerçek veriler ile çizilen hız-akım değeri saçılma grafiğinden, trafiğin serbest akım ve kuyruk dağılma akım koşulları altında olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca YSA ve DVM yöntemleri ile tahmin edilen hız-akım değeri saçılma grafikleri de oluşturulmuştur. Bu iki yönteme ait grafiklerde de trafiğin serbest akım ve kuyruk dağılma akım koşulları altında olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında, kısa dönemli trafik tahminine yönelik yalnızca parametrik olmayan yöntemlerden YSA ve DVM kullanılmıştır. Bu bakıma verileri daha farklı şekilde analize eden çeşitli tahmin yöntemleri de kullanılabilir. Çalışmada ilgili yol kesiminde bulunan tek bir sensör noktasına ait veriler üzerinden tahminler yapılmıştır. Sensör sayısı artırılarak birbirine yakın sensör noktalarından toplanan verilerin analiz edilmesiyle daha geniş bir yol ağını kapsayan tahminler yapılabilir. Böylelikle bir yoldaki trafik verilerinin çevredeki diğer yolları nasıl etkilediği üzerine çalışma yapmak mümkün olabilir. Ayrıca, çıkarılan özniteliklerden hangisinin veya hangilerinin tahmin yapmada daha etkili olduğunu anlamak için çalışmalar gerçekleştirilebilir. Bu sayede daha az öznitelik kullanılarak başarılı tahmin yapılmasına imkân sağlanır.

KAYNAKLAR

Abdulhai, B., Porwal, H., & Recker, W. (1999). Short term freeway traffic flow prediction using genetically-optimized time-delay-based neural networks.

Ahmed, M. S., & Cook, A. R. (1979). *Analysis of freeway traffic time-series data by using Box-Jenkins techniques*.

Ahn, J., Ko, E., & Kim, E. Y. (2016). Highway traffic flow prediction using support vector regression and Bayesian classifier. *International Conference on Big Data and Smart Computing*.

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.

AkıllıKentler. (2020). İnternete Bağlı Cihazların Gelişimi Erişim adresi: <http://www.akillikentler.org/>

Akın, M., & Sağıroğlu, Ş. (2019). Büyük Veri Perspektifinden Trafik Tahmini Traffic Prediction Based on Big Data Perspective. *1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK)*.

Aksoy, G. (2018). *Kent İçi kesintisiz trafik akım koşullarında yağışın serbest akım hızı ve kapasiteye etkisinin modellenmesi* Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Al-Dweik, A., Muresan, R., Mayhew, M., & Lieberman, M. (2017). IoT-based multifunctional scalable real-time enhanced road side unit for intelligent transportation systems. *IEEE 30th Canadian conference on electrical and computer engineering (CCECE)*.

Aladag, C. H., Basaran, M. A., Egrioglu, E., Yolcu, U., & Uslu, V. R. (2009). Forecasting in high order fuzzy times series by using neural networks to define fuzzy relations. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 4228-4231.

Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. *RFID journal*, 22(7), 97-114.

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787-2805.

Auer, A., Feese, S., Lockwood, S., & Hamilton, B. A. (2016). *History of intelligent transportation systems*.

AUSDER. (2017) Akıllı Ulaşım Otomasyonunda Yasal Çerçeve ve Düzenleyici Politikalar. *AB ve Türkiye’de Durum*.

Australia, P. o. (2002). *Moving on Intelligent Transport Systems*.

Authority, L. T. (2014a). Electronic Road Pricing. Erişim adresi: <http://www.lta.gov.sg/content/ltaweb/en/roads-and-motoring/managing-traffic-and-congestion/electronic-road-pricing-erp.html>

Authority, L. T. (2014b). Expressway Monitoring Advisory System (EMAS). Erişim adresi: http://www.onemotoring.com.sg/publish/onemotoring/en/on_the_roads/traffic_management/intelligent_transport_systems/emasys.html

Authority, L. T. (2014c). Green Link Determining (GLIDE). Erişim adresi: http://www.onemotoring.com.sg/publish/onemotoring/en/on_the_roads/traffic_management/intelligent_transport_systems/glide.html

Authority, L. T. (2014d). Green Man. Erişim adresi: http://www.onemotoring.com.sg/publish/onemotoring/en/on_the_roads/traffic_management/green_man_plus.html

Authority, L. T. (2014e). Intelligent Transport Systems. Erişim adresi: <http://www.lta.gov.sg/content/ltaweb/en/roads-andmotoring/managing-traffic-and-congestion/intelligent-transport-systems.html>

Authority, L. T. (2014f). Junction Electronic Eyes (J-Eyes). Erişim adresi: http://www.onemotoring.com.sg/publish/onemotoring/en/on_the_roads/traffic_management/intelligent_transport_systems/junction_eyes.html

Avşar, E. (2017). Dimensionality reduction for predicting CO conversion in water gas shift reaction over Pt-based catalysts using support vector regression models. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(36), 23326-23333.

Banks, J. H. (1989). Freeway speed-flow-concentration relationships: more evidence and interpretations (with discussion and closure). *Transportation Research Record*(1225).

Barr, J., Danaher, A., Freeman, D., Gonsalves, J., Koziol, B., Rathwell, S., Roberts, D., & Vallée, J. (2010). Implementing BRT Intelligent Transportation Systems. *American Public Transportation Association, APTA standards development program*, 1-32.

BELBİM. (2014). İstanbulkart Broşürü. Erişim adresi: http://www.belbim.com.tr/Documents/belbim_brosur.pdf

Business, C. (2012). China looks to lead the Internet of Things. Erişim adresi: <https://edition.cnn.com/2012/11/28/business/china-internet-of-things>

Cai, P., Wang, Y., Lu, G., Chen, P., Ding, C., & Sun, J. (2016). A spatiotemporal correlative k-nearest neighbor model for short-term traffic multistep forecasting. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 62, 21-34.

Caltrans. (2013). *PeMS user guide*.

Center, C. (2014). Kentkart YKB Dr. Mazhar Basmacı ile Ropörtaj. Erişim adresi: http://www.cgscenter.org/doc/Mazhar%20Basmac%C4%B1_R%C3%B6port_aGMD.pdf

Center, N. T. I. (2014). MOLIT National Transport Information Center. Erişim adresi: <http://www.its.go.kr/Eng/opIntroduction/organization.jsp>

Cetin, M., & Comert, G. (2006). Short-term traffic flow prediction with regime switching models. *Transportation Research Record*, 1965(1), 23-31.

Chandra, S. R., & Al-Deek, H. (2009). Predictions of freeway traffic speeds and volumes using vector autoregressive models. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 13(2), 53-72.

Chaqfeh, M. A., & Mohamed, N. (2012). Challenges in middleware solutions for the internet of things. *International conference on collaboration technologies and systems (CTS)*, Denver, CO, USA.

Chen, C. P., & Zhang, C.-Y. (2014). Data-intensive applications, challenges, techniques and technologies: A survey on Big Data. *Information sciences*, 275, 314-347.

Chunli, L. (2012). Intelligent transportation based on the Internet of Things. *2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*.

Cihan, İ. (2019). Ulusal AUS mimarisi ve standartları *AUS Türkiye Bilgilendirme Bülteni*.

Cities, C. (2014). City Climate Leadership Awards.

Clark, S. D., Dougherty, M. S., & Kirby, H. R. (1993). The use of neural networks and time series models for short term traffic forecasting: a comparative study. *Highways And Planning 21st Summer Annual Meeting*.

Cloud, H. (2018). Smart parking. Erişim adresi: <https://www.huaweicloud.com/en-us/product/iot/mb5.html>

Council, N. R. (1995). *The global positioning system: A shared national asset*: National Academies Press.

DATEL. (1999). Bolu Dağı Geçiş Yol ve Trafik Bilgilendirme Sistemi (TBS) Veri İletişimi Altyapısı.

De Fabritiis, C., Ragona, R., & Valenti, G. (2008). Traffic estimation and prediction based on real time floating car data. *11th international IEEE conference on intelligent transportation systems*.

Diebold, J. (1995). *Transportation infrastructures: the development of intelligent transportation systems*: Greenwood Publishing Group.

Dokic, J., Müller, B., & Meyer, G. (2015). *European Roadmap Smart Systems for Automated Driving*.

- Dragon1. (2020). Digital Transformation Solution. Erişim adresi: <https://www.dragon1.com/solutions/digital-transformation>
- Drake, J., & Schofer, J. L. (1966). A statistical analysis of speed-density hypotheses. *Highway Research Record* 154, 53-87.
- Environment, M. o. I. a. (2011). *ITS in the Netherlands*. Amsterdam.
- Ezell, S. (2010). *Intelligent Transportation Systems*.
- Figueiredo, L., Jesus, I., Machado, J. T., Ferreira, J. R., & De Carvalho, J. M. (2001). Towards the development of intelligent transportation systems. *IEEE Intelligent Transportation Systems*, Oakland, USA.
- Flair, D. (2018). 4 Significant Applications of IoT in Transportation. Erişim adresi: <https://data-flair.training/blogs/applications-of-iot-in-transportation/>
- FTC. (2015). *Internet of Things: Privacy & Security in a Connected World*.
- Gartner, N. H., Messer, C. J., & Rathi, A. (2002). Traffic flow theory-A state-of-the-art report: revised monograph on traffic flow theory.
- Georlough, D., & Huber, M. (1975). Traffic flow theory: A monograph, special report 165. *Transportation Research Board*.
- Gökaşar, I., & Aydın, Ö. F. (2013). Dünya'da ve İstanbul'da Trafik İzleme Sistemleri. 4. *Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyumu* Ankara.
- Gökrem, L., & Bozuklu, M. (2016). Nesnelerin interneti: Yapılan çalışmalar ve ülkemizdeki mevcut durum. *Gaziosmanpařa Bilimsel Araştırma Dergisi*(13), 47-68.
- Greenberg, H. (1959). An analysis of traffic flow. *Operations research*, 7(1), 79-85.
- Greenshields, B. D. (1935). A study in highway capacity. *Highway Research Board Proc.*, 1935, 448-477.

Guerrero-Ibanez, J. A., Zeadally, S., & Contreras-Castillo, J. (2015). Integration challenges of intelligent transportation systems with connected vehicle, cloud computing, and internet of things technologies. *IEEE Wireless Communications*, 22(6), 122-128.

Gülaçar, H., Yaslan, Y., & Oktuğ, S. F. (2016). Short term traffic speed prediction using different feature sets and sensor clusters. *NOMS 2016-2016 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*.

Gündüz, M. Z., & Daş, R. (2018). Nesnelerin interneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 327-335.

Hall, F. L., Hurdle, V., & Banks, J. H. (1992). Synthesis of recent work on the nature of speed-flow and flow-occupancy (or density) relationships on freeways.

Hamed, M. M., Al-Masaeid, H. R., & Said, Z. M. B. (1995). Short-term prediction of traffic volume in urban arterials. *Journal of transportation engineering*, 121(3), 249-254.

Hanai, T. (2013). Intelligent Transport Systems. *Society of Automotive Engineers of Japan*.

Handte, M., Foell, S., Wagner, S., Kortuem, G., & Marrón, P. J. (2016). An internet-of-things enabled connected navigation system for urban bus riders. *IEEE internet of things journal*, 3(5), 735-744.

HCM. (2000). *Highway Capacity Manual*. Washington D.C.: National Research Council.

HCM. (2010). *Highway Capacity Manual*. Washington, DC: Transportation Research Board.

HEREmobility. (2020). IoT in Transportation: Benefits, Challenges, and Uses. Erişim adresi: <https://mobility.here.com/iot-transportation-benefits-challenges-and-uses>

Holborn, S. (2002). *Intelligent Transportation Systems in Japan*. Tokyo.

İBB. (2011). *İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı (UAP)*.

İETT. (2014). Mobiett ile artık her durak akıllı. Erişim adresi: <http://www.iett.gov.tr/tr/main/news/mobiitt-ile-artik-her-durak-akilli/1397>

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

İlıcılı, M., Toprak, T., Özen, H., Tapkın, S., Öngel, A., Camkesen, N., & Kantarcı, M. (2016). Akıcı-Güvenli Trafik için Akıllı Ulaşım Sistemleri.

Ioannou, P. (2013). *Automated Highway Systems*: Springer Science & Business Media.

IoT, & Türkiye, v. (2018). Brüksel’de Ulaşım IoT Çözümü. Erişim adresi: <https://ioturkiye.com/2018/01/brukselde-ulasima-iot-cozumu/>

IoT Timeline. (2018). Erişim adresi: <http://www.tiki-toki.com/timeline/entry/438056/Internet-of-Things-Timeline/>

IRF. (2020). International Road Federation Erişim adresi: <https://irfnet.ch/>

İSBAK. Adaptif Trafik Yönetim Sistemi (ATAK). Erişim adresi: <https://www.isbak.istanbul/akilli-ulasim-cozumleri/adaptif-trafik-yonetim-sistemi-atak/>

İSBAK. (2014). Trafik Kontrol Merkezi. Erişim adresi: http://www.isbak.com.tr/sites/default/files/dokumanlar/03-trafik_kontrol_merkezi-tr-revize.pdf

İSBAK. (2016a). Araç Takip ve Filo Yönetim Sistemi. Akıllı Ulaşım Sistemleri

İSBAK. (2016b). Innovation 2 Integration Electronic Detection Systems (EDS).

İSBAK. (2020). Mobil Uygulamalar. Erişim adresi: <https://www.isbak.istanbul/akilli-ulasim-cozumleri/mobil-uygulamalar/>

Ishak, S., & Alecsandru, C. (2004). Optimizing traffic prediction performance of neural networks under various topological, input, and traffic condition settings. *Journal of transportation engineering*, 130(4), 452-465.

Iteris, I. (2019). Key Concepts of the National ITS Architecture: The National ITS Architecture Version 8.3. Erişim adresi: <https://local.iteris.com/arc-it/>

İzgöl, K. (2016). GPS Nedir? Konum Tespiti Nasıl Yapılır? Erişim adresi: <https://maker.robotistan.com/gps-nedir/>

Jeong, Y.-S., Byon, Y.-J., Castro-Neto, M. M., & Easa, S. M. (2013). Supervised weighting-online learning algorithm for short-term traffic flow prediction. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 14(4), 1700-1707.

Kalogirou, S. A. (1999). Applications of artificial neural networks in energy systems. *Energy Conversion and Management*, 40(10), 1073-1087.

KAREL. (2018). CCTV Nedir? CCTV Açılımı Nedir? Erişim adresi: <https://www.karel.com.tr/bilgi/cctv-nedir-cctv-acilimi-nedir>

Katanalp, B., Yıldırım, Z. B., Eren, E., & Uz, V. E. (2018). Akıllı Ulaşım Sistemleri Üzerine Bir değerlendirme. *2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*.

Kavzoğlu, T., & Çölkesen, İ. (2010). Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi. *Harita Dergisi*, 144(7), 73-82.

Kenanoğlu, M. E. (2018). *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Dışsallık: Çanakkale Örneği*. Yüksek Lisans, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.

Kentkart. (2014). Tarihçe. Erişim adresi: <http://www.kentkart.com/TR/kurumsal/2/tarihce>

KGM. (2017). *Karayolları Genel Müdürlüğü Stratejik Planı 2017-2021*.

Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., & Khan, S. (2012). Future internet: the internet of things architecture, possible applications and key challenges. *2012 10th international conference on frontiers of information technology*.

Koç, M. L., Balas, C., & Arslan, A. (2004). Taş dolgu dalgakıranların yapay sinir ağları ile ön tasarımı. *Teknik Dergi*, 15(74).

Koç, S., & Onocak, D. (2018). Yapay sinir ağları ile emeklilik yatırım fonu hisse senedi fiyatlarının tahmini *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 3(3).

Kurt, Y., Öztürk, S., Dilek, E., Erşahin, M., Özcan, Ö., & Ünal, A. (2017). İBB Yol Gösteren ile Akıllı Hareketlilik. *Transist 2017 Bildiri Kitabı*, 160-169.

Küçükçınar, A. (1998). *Akıllı Ulaşım Sistemleri Çalışma Belgesi*.

Kwon, E., & Stephanedes, Y. J. (1994). Comparative evaluation of adaptive and neural-network exit demand prediction for freeway control. *Transportation Research Record*, 66-66.

Lana, I., Del Ser, J., Velez, M., & Vlahogianni, E. I. (2018). Road traffic forecasting: Recent advances and new challenges. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 10(2), 93-109.

Lee, S., & Fambro, D. B. (1999). Application of subset autoregressive integrated moving average model for short-term freeway traffic volume forecasting. *Transportation Research Record*, 1678(1), 179-188.

Lee, S. K., Kwon, H. R., Cho, H., Kim, J., & Lee, D. (2016). International Case Studies of Smart Cities: Anyang, Republic of Korea. *Inter-American Development Bank*, No IDB-DP-458.

Lieu, H. C. (2000). *Traffic estimation and prediction system*.

Lingras, P., & Mountford, P. (2001). Time delay neural networks designed using genetic algorithms for short term inter-city traffic forecasting. *International conference on industrial, engineering and other applications of applied intelligent systems*.

López-de-Armentia, J., Casado-Mansilla, D., & López-de-Ipina, D. (2012). Fighting against vampire appliances through eco-aware things. *2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*.

Macioszek, E. (2014). Architecture of intelligent transportation systems in the world and in Poland. *Archives of Transport System Telematics*, 7.

Maltarollo, V. G., Honório, K. M., & da Silva, A. B. F. (2013). Applications of artificial neural networks in chemical problems. *Artificial neural networks-architectures and applications*, 203-223.

Masek, P., Masek, J., Frantik, P., Fujdiak, R., Ometov, A., Hosek, J., Andreev, S., Mlynek, P., & Misurec, J. (2016). A harmonized perspective on transportation management in smart cities: The novel IoT-driven environment for road traffic modeling. *Sensors*, 16(11), 1872.

May, A. D. (1990). *Traffic flow fundamentals*.

Moorthy, C., & Ratcliffe, B. (1988). Short term traffic forecasting using time series methods. *Transportation planning and technology*, 12(1), 45-56.

Nairat, R. (2015). *Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Filistin- Ramallah'ta Uygulanabilirliği Yüksek Lisans*, T.C. POLİS AKADEMİSİ Ankara.

Nowacki, G. (2012). Development and standardization of intelligent transport systems. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 6(3), 403-411.

Noyes, P. (2013). ITS ePrimer Module 1: Introduction to ITS. In *ITS Professional Capacity Building Program: USDOT*

Oh, S., Byon, Y.-J., Jang, K., & Yeo, H. (2015). Short-term travel-time prediction on highway: a review of the data-driven approach. *Transport Reviews*, 35(1), 4-32.

Oh, S., Byon, Y.-J., Jang, K., & Yeo, H. (2018). Short-term travel-time prediction on highway: A review on model-based approach. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(1), 298-310.

Okutani, I., & Stephanedes, Y. J. (1984). Dynamic prediction of traffic volume through Kalman filtering theory. *Transportation Research Part B: Methodological*, 18(1), 1-11.

Oral, O., & Çakır, M. (2017). Nesnelerin interneti kavramı ve örnek bir prototipin oluşturulması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1, 172-177.

Park, D., Rilett, L. R., & Han, G. (1999). Spectral basis neural networks for real-time travel time forecasting. *Journal of transportation engineering*, 125(6), 515-523.

PeMS. (2019). Performance Measurement System. PeMS 19.0. Erişim adresi: <http://pems.dot.ca.gov/>

Peña-López, I. (2005). ITU Internet report 2005: the internet of things.

Piccialli, F. (2016). The Internet of Things supporting the Cultural Heritage domain: analysis, design and implementation of a smart framework enhancing the smartness of cultural spaces. *Universita degli Studi di Napoli Federico II*.

Qi, Y., & Ishak, S. (2014). A Hidden Markov Model for short term prediction of traffic conditions on freeways. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 43, 95-111.

Ramos, A. L., Ferreira, J. V., & Barceló, J. (2012). Modeling & simulation for intelligent transportation systems. *International Journal of Modeling and Optimization*, 2(3), 274.

Regan, M. A., Mitsopoulos, E., Haworth, N., & Young, K. (2002). *Acceptability of in-vehicle Intelligent Transportation Systems to Victorian Car Drivers*.

RITA, U. (2014). National ITS Architecture 7.0. Institutional Layer. Erişim adresi: <http://www.iteris.com/itsarch/html/archlayers/institutionallayer.htm>

Roads, P. (1997). Demo '97: Proving AHS Works. In: July.

Samadi, S. (2013). Applications and opportunities for Radio Frequency Identification (RFID) technology in intelligent transportation systems: A case study. *International Journal of Information and Electronics Engineering*, 3(3), 341-345.

Schoen, J., May, A., Reilly, W., & Urbanik, T. (1995). Speed-Flow Relationships for Basic Freeway Segments. *Final Report, NCHRP Project 3*, 45.

Schweiger, C. L. (2014). ITS ePrimer Module7: Public Transportation. ITS Professional Capacity Building Program. Erişim adresi: <http://www.pcb.its.dot.gov/eprimer/documents/module7.pdf>

Sethi, P., & Sarangi, S. R. (2017). Internet of things: architectures, protocols, and applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2017.

Smith, B. L., & Demetsky, M. J. (1994). Short-term traffic flow prediction models-a comparison of neural network and nonparametric regression approaches. *Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*.

Smith, B. L., & Demetsky, M. J. (1997). Traffic flow forecasting: comparison of modeling approaches. *Journal of transportation engineering*, 123(4), 261-266.

Sönmez, N. (2017). *Trafik sensör verileri kullanılarak trafik akış tahmini: İstanbul şehri için bir uygulama*. Yüksek Lisans, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Ankara.

Stathopoulos, A., & Karlaftis, M. G. (2003). A multivariate state space approach for urban traffic flow modeling and prediction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 11(2), 121-135.

Sundmaeker, H., Guillemin, P., Friess, P., & Woelfflé, S. (2010). Vision and challenges for realising the Internet of Things. *Cluster of European Research Projects on the Internet of Things, European Commision*, 3(3), 34-36.

Sussman, J. S. (2008). *Perspectives on intelligent transportation systems (ITS)*: Springer Science & Business Media.

Şeker, Ü. (2020). *Nesnelerin interneti yöntemiyle e-vizite uygulaması*. Yüksek Lisans, Necmettin Erbakan Üniversitesi Konya.

Tan, L., & Wang, N. (2010). Future internet: The internet of things. *2010 3rd international conference on advanced computer theory and engineering (ICACTE)*.

Tanış, M. (2013). *Kent içi otoyolların kavşaksız kesimlerinde serbest akım hızı ve kapasiteyi etkileyen faktörlerin incelenmesi*. Doktora, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Tektaş, M., Korkmaz, K., & Erdal, H. (2016). Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Geleceği Ekonomik ve Çevresel Faydaları. *Balkan Journal of Social Sciences*, 561-577.

Tewolde, G. S. (2012). Sensor and network technology for intelligent transportation systems. *2012 IEEE International Conference on Electro/Information Technology*.

Transport, D. f. (2012). *Intelligent Transport Systems in the United Kingdom*. London.

TRB. (1991). Advanced Vehicle and Highway Technologies. *Conference Name*], *Conference Location*].

Tufan, H. (2014). *Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları ve Türkiye için bir AUS Mimarisi Önerisi*. Uzmanlık Tezi, TC Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara.

UDHB. (2013a). *Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Şurası*.

UDHB. (2013b). *Ulusal AUS Strateji Belgesi (2013-2023) ve Eylem Planı (2013-2015) (2.Taslak)*.

UDHB. (2014). *Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eki Eylem Planı (2014-2016)*. In S. G. Başkanlığı (Ed.). Ankara: Ankara.

UDHB. (2016). *Ulusal AUS Strateji Belgesi Eki Eylem Planı (2014/2016) Gelişme Raporu*.

Underwood, R. T. (1960). Speed, volume, and density relationships.

Vermesan, O., Friess, P., Guillemin, P., Gusmeroli, S., Sundmaeker, H., Bassi, A., Jubert, I. S., Mazura, M., Harrison, M., & Eisenhauer, M. (2011). Internet of things strategic research roadmap. *Internet of things-global technological and societal trends*, 1(2011), 9-52.

Vlahogianni, E. I. (2015). Computational intelligence and optimization for transportation big data: challenges and opportunities. In *Engineering and Applied Sciences Optimization* (pp. 107-128): Springer.

Vlahogianni, E. I., Golias, J. C., & Karlaftis, M. G. (2004). Short-term traffic forecasting: Overview of objectives and methods. *Transport Reviews*, 24(5), 533-557.

Vlahogianni, E. I., Karlaftis, M. G., & Golias, J. C. (2014). Short-term traffic forecasting: Where we are and where we're going. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 43, 3-19.

Wang, Y., & Papageorgiou, M. (2005). Real-time freeway traffic state estimation based on extended Kalman filter: a general approach. *Transportation Research Part B: Methodological*, 39(2), 141-167.

Williams, B. M., Durvasula, P. K., & Brown, D. E. (1998). Urban freeway traffic flow prediction: application of seasonal autoregressive integrated moving average and exponential smoothing models. *Transportation Research Record*, 1644(1), 132-141.

Williams, B. M., & Hoel, L. A. (1999). *Modeling and forecasting vehicular traffic flow as a seasonal stochastic time series process*.

Wu, M., Lu, T.-J., Ling, F.-Y., Sun, J., & Du, H.-Y. (2010). Research on the architecture of Internet of Things. *2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*.

Xiong, Z., Sheng, H., Rong, W., & Cooper, D. E. (2012). Intelligent transportation systems for smart cities: a progress review. *Science China Information Sciences*, 55(12), 2908-2914.

Xu, Y., Kong, Q.-J., & Liu, Y. (2013). Short-term traffic volume prediction using classification and regression trees. *2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*.

Yalçın, E. G., & Büyük, M. (2014). Otomatik kaza bildirim sistemlerinin trafik çarpışmalarının sonuçları üzerindeki yeri ve önemi. *Conference Name*], Conference Location].

Yan, X., Zhang, H., & Wu, C. (2012). Research and development of intelligent transportation systems. *2012 11th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering & Science*.

Yang, Z., Yue, Y., Yang, Y., Peng, Y., Wang, X., & Liu, W. (2011). Study and application on the architecture and key technologies for IOT. *International Conference on Multimedia Technology*.

Yao, B., Chen, C., Cao, Q., Jin, L., Zhang, M., Zhu, H., & Yu, B. (2017). Short-term traffic speed prediction for an urban corridor. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 32(2), 154-169.

Yardım, M. S., & Akyıldız, G. (2005). Akıllı ulaştırma sistemleri ve Türkiye'deki uygulamalar. *6. Ulaştırma Kongresi İstanbul*.

Yayla, N. (2011). *Karayolu mühendisliği*: Birsen Yayınevi.

Yeon, J., Elefteriadou, L., & Lawphongpanich, S. (2008). Travel time estimation on a freeway using Discrete Time Markov Chains. *Transportation Research Part B: Methodological*, 42(4), 325-338.

Yıldırım, Ü., & Çataltepe, Z. (2008). Örüntü tanıma ve öznitelik seçme yöntemleri kullanarak kısa zaman sonraki yol trafik hız öngörüsü. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 3(1), 21-28.

Yılmaz, Ö. (2012). *Karayolu ulaşımında akıllı ulaştırma sistemleri: Uzmanlık tezi*: Kalkınma Bakanlığı.

Yin, H., Wong, S. C., Xu, J., & Wong, C. (2002). Urban traffic flow prediction using a fuzzy-neural approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 10(2), 85-98.

Yokota, T. (2004). ITS for developing countries. *Technical Note*.

Yu, G., Hu, J., Zhang, C., Zhuang, L., & Song, J. (2003). Short-term traffic flow forecasting based on Markov chain model. *IEEE IV2003 Intelligent Vehicles Symposium. Proceedings (Cat. No. 03TH8683)*.

Yuan, Y., Van Lint, J., Wilson, R. E., van Wageningen-Kessels, F., & Hoogendoorn, S. P. (2012). Real-time Lagrangian traffic state estimator for freeways. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 13(1), 59-70.

Yun, S.-Y., Namkoong, S., Rho, J.-H., Shin, S.-W., & Choi, J.-U. (1998). A performance evaluation of neural network models in traffic volume forecasting. *Mathematical and Computer Modelling*, 27(9-11), 293-310.

Zhang, G., Patuwo, B. E., & Hu, M. Y. (1998). Forecasting with artificial neural networks:: The state of the art. *International Journal of Forecasting*, 14(1), 35-62.

Zhang, H. (2000). Recursive prediction of traffic conditions with neural network models. *Journal of transportation engineering*, 126(6), 472-481.

Zhang, H., & Zhu, L. (2011). Internet of Things: Key technology, architecture and challenging problems. *2011 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering*.

Zhang, J., Wang, F.-Y., Wang, K., Lin, W.-H., Xu, X., & Chen, C. (2011). Data-driven intelligent transportation systems: A survey. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 12(4), 1624-1639.

Zhang, Y., & Haghani, A. (2015). A gradient boosting method to improve travel time prediction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 308-324.

Zhang, Y., & Huang, G. (2018). Traffic flow prediction model based on deep belief network and genetic algorithm. *IET Intelligent Transport Systems*, 12(6), 533-541.

Zhongying, Z. (2010). Progress and trends of sensor network and internet of things [J]. *Microcomputer Applications*, 1.

Zhou, H., Liu, B., & Wang, D. (2012). Design and research of urban intelligent transportation system based on the internet of things. In *Internet of Things* (pp. 572-580): Springer.

Zhou, T., Jiang, D., Lin, Z., Han, G., Xu, X., & Qin, J. (2019). Hybrid dual Kalman filtering model for short-term traffic flow forecasting. *IET Intelligent Transport Systems*, 13(6), 1023-1032.

ÖZGEÇMİŞ

1995 yılında Adana’da doğdu. 2017 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2017 yılında yüksek lisans öğrenimine Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde başladı. 2018 yılında Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı.

