Online Participation

2nd

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL UNIVERSITY

BAUSMER

2 BANU AUS BANU - ITSC'21

INTERNATIONAL Conference on Intelligent Transportation Systems

BANU-ITSC'21

22-24 OCTOBER 2021

Bandırma - Türkiye



Contact

itsc.bandirma.edu.tr

itsc@bandirma.edu.tr

TAM METİN KİTABI

FULL TEXT BOOK

ISBN: 978-605-74234-3-6

22-24 EKİM 2021

2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS

2. ULUSLARARASI AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ KONFERANSI

Editör

Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

Bandırma, Ekim, 2021

Not: 2 Haziran 2018'de yürürlüğe giren akademik teşvik yönetmeliği kriterlerine uygundur.





BANDIRMA
ONYEDİ EYLÜL
UNIVERSITY

Konferans Düzenleme Kurulu

Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

Doç. Dr. Necla TEKTAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN

Dr. Öğr. Üyesi Cemil KÖZKURT

Dr. Öğr. Üyesi Selahattin KOŞUNALP

Arş. Gör. Umut AYDIN

Arş. Gör. Şerife Gülsüm DEMİR

Arş. Gör. Caner PENSE

Arş. Gör. Üstün ATAK

Arş. Gör. Fatih ERGEZER

Öğr. Gör. Ömer İNAN

Bilim Kurulu

Prof. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ	Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Abdulsamet HAŞILOĞLU	Atatürk Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Alpaslan SEREL	Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. David Grace	University of York, İngiltere
Prof. Dr. Fevzi BABA	Marmara Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Fırat KAÇAR	İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Halim YANIKÖMEROĞLU	Carleton Üniversitesi, Kanada
Prof. Dr. Hasan ERDAL	Marmara Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN	Tuvasaş Manager, Türkiye
Prof. Dr. Jose HOLGUIN-VERAS	Rensselaer Politeknik Enstitüsü, ABD
Prof. Dr. Mehmet TEKİN	Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ	Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Miroslav SVITEK	Prag Çek Teknik Üniversitesi, Çek Cumhuriyeti
Prof. Dr. Mustafa GÖK	Çukurova Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Mustafa KURT	Marmara Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Paul D. MITCHELL	York Üniversitesi, İngiltere
Prof. Dr. Serap İNCAZ	Nişantaşı Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Sıddık YARMAN	İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Hediye Tüydeş YAMAN	Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Nevzat ONAT	Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Abdullah YEŞİL	Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Cemal HANILÇI	Bursa Teknik Üniversitesi, Türkiye
Doç.Dr. Müjdat SOYTÜRK	Marmara Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Ufuk ÇELİK	Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Emre ARSLAN	Marmara Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Erkan ATMACA	İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Evangelos MITSAKIS	Helenik Ulaşım Enstitüsü, Yunanistan
Doç. Dr. Mehmet Barış TABAKCIOĞLU	Bursa Teknik Üniversitesi, Türkiye
Doç.Dr. Müjdat SOYTÜRK	Marmara Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Necla TEKTAŞ	Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Abdullah YEŞIL	Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim AKGÜNDOĞDU	İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Erdem DOĞAN	Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Gökay BAYRAK	Bursa Teknik Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Gültekin BASMACI	Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Halil YETGİN	Bitlis Eren Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Hasan TİRYAKİ	İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim GÜNEŞ	İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet ARUCU	Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Nilgün CAMKESEN	Istanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Özer YILMAZ	Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Selahattin KOŞUNALP	Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ATIŞ	Marmara Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Süreyya KOCABEY	Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Ufuk ÇELİK	Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Yakup GENÇ	Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Yasin ÖZÇELEP	İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Ziya ÇAKICI	Bayburt Üniversitesi, Türkiye
Dr. Kadir KORKMAZ	TÜBİTAK, Türkiye
Dr. Kubilay DEMİR	Darmstadt Teknik Üniversitesi, Almanya
Dr. Tahsin TEZDOĞAN	Strathclyde Üniversitesi, Glasgow, İskoçya
Dr. Yiğit Kemal DEMİREL	Strathclyde Üniversitesi, Glasgow, İskoçya
Dr. Angelos AMDITIS	İletişim ve Bilgisayar Enstitüsü, Yunanistan

İçindekiler Tablosu

Konferans Düzenleme Kurulu I

Bilim Kurulu II

İçindekiler Tablosu IV

Elektrikli Taşıtları için Akıllı Sinyalize Kavşaklarda Kablosuz Şarj İstasyonOptimizasyonu ve Analizi 1

Otomotiv Sistemlerinde Algılayıcı Teknolojileri 10

In-Vehicle Network for Conventional and Next-Generation Vehicles 31

Akıllı Ulaşım Araçlarında Siber Saldırılar Açısından Çok Katmanlı Güvenlik Sisteminin Analizi 53

Derin Öğrenme ve YOLO Algoritmaları ile Nesne Tespiti ve Şerit Belirleme 68

Traffic violation detection systems: A survey 80

Gerçek Zamanlı Yönetilen Kavşaklarda Devre ve Kırmızı Sürelerinin Kuyruk Boşaltım Oranına Etkisinin İncelenmesi 92

Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Optimal Konumlandırması ve Bir Uygulama 100

Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Yangın Anında İtfaiye Araçları için Erişilebilirlik Analizi. Isparta İli Örneği 112

Mükemmel/İdeal Şehiriçi Ulaşım Sistemi İçin Araba Tasarlama Esasları / Bulaşıcı Hastalık Durumları – Kovit 19 Hakkında Yorumlar 123

Bisiklet Paylaşım Sistemi Kullanıcıların Mevsimsel FarklılıklarınınİncelenmesI: Bisim İzmir Örneği 129

Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Öğrenme Mekanizmasına Sahip Akıllı Olay Algılama Sisteminin Gelişimi 141

Akıllı Ulaşım Sistemleri İçin Kısa Vadeli Trafik Akış Tahmini için Ağırlıklı Hareketli-Ortalama Tabanlı Yaklaşımların Performans Analizi 148

Elektrikli Araçlarda Enerji Yönetimleri ve Akıllı Rezervasyon Sistemleri 154

Dengeli Ulaştırma Probleminin Genetik Algoritma ile Çözümü 164

Türkiye'de Akıllı Duraklar 176

SVD Algoritması ile Araç Türlerinin Sınıflandırılması 194

Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemlerinde Kullanılan Robot Türleri 203

Engelsiz Kentler Üzerine Bir Araştırma 216

Akıllı Sistem Teknolojilerini Kullanarak Ticari Taksilerin Pandemik Hastalıklarda Çalışma Devamlılığının Sağlanabilmesine Yönelik Bir Öneri 229

Akıllı Ulaşım Sistemlerinde LoRaWAN Teknolojisi ve Akıllı Parklar 234

2015 Mersin Ulaşım Ana Planı'nın Akıllı Ulaşım Stratejileri Kapsamında Değerlendirilmesi 245
Hazırlanmakta Olan Adana Ulaşım Ana Planı'nın Akıllı Ulaşım Sistemi Stratejileri'nin Belirlenmesi 259
Blok Zincir ve Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Uygulama Alanları 272

Elektrikli Taşıtları için Akıllı Sinyalize Kavşaklarda Kablosuz Şarj İstasyon Optimizasyonu ve Analizi

Erdem DOĞAN[1]

[1] Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mim. Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

*edogan@kku.edu.tr

Orcid (0000-0001-7802-641X)

Özet

Yakın gelecekte bataryalı elektrikli taşıt sayısı ciddi ölçüde artacak ve ulaşımın ayrılmaz parçası haline gelecektir. Fakat günümüzde kullanılan batarya kapasitelerinin sınırlı olması ve sürücülerde menzil endişesi yaratması, halen aşılması gereken önemli bir problemdir. Kablosuz Enerji Transferi (KET) teknolojisinin yol ağlarına ve özellikle kavşak bölgelerine uygulanması, yani kablosuz şarj istasyonları, bu sorun için potansiyelbir çözüm olarak ciddiyetle ele alınıyor. KET istasyonları yol kaplamasına yerleştirilen plaklar vasıtasıyla enerji transferi yapmakta ve kavşağın özellerine uygun yerleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, sinyalize kavşaklar için akıllı kontrol sistemlerinin yaygınlaşmaktadır. Bu iki sisteminin birlikte ele alınması da yapılacak çalışmaları daha anlamlı hale getirecektir. Bu çalışmada, bu plakların pozisyon ve boyutları, Gri Kurt Algoritması (GKA) ve Balina Optimizasyonu Algoritması (BOA) kullanılarak en yüksek enerji transferi gerçekleştirecek biçimde optimize edilmiştir. Analizler mikroskobik benzetim programında oluşturulan gecikme tabanlı çalışan akıllı sinyal kontrolüne sahipbir izole kavşak için yapılmıştır. GKA ve BOA'nın farklı akım/kapasite oranı ve toplam plakboyu kısıtlarına verdikleri tepkilerin de testi ve analizi yapılmıştır. Sonuç olarak toplam transfer edilen enerji miktarının, kavşaktaki akım/kapasite oranının 0.7 ye kadar hızla arttığı, fakat daha sonra değişmediği veya bir miktar azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, ,toplamplak boyu ile toplam transfer edilen enerji arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür. Diğer bir önemli sonuç ise GKA'nın daha fazla sayıdaki taşıtı daha az miktarda; BOA ise az sayıdaki taşıtı daha fazla şarj etme özelliğine sahip plak planları önerdiğidir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz şarj istasyonu; akıllı kavşak kontrolü; elektrikli taşıtlar; optimizasyon.

1. Giriş

Artan petrol fiyatları, çevre bilinci, küresel ısınma gibi faktörler Bataryalı Elektrikli Taşıtlara (BET) yönelimi önemli derecede arttırmaya başladı. Ancak, bir lityum pil bataryası, kg başına 90-100 Wh enerji içerirken, aynı ağırlıktaki benzin 12000 Wh enerji barındırmaktadır (Etacheri et al., 2011). Aradaki bu farktan kaynaklanan kısıtlı menzil sorunu, kullanıcıların BET kullanımına yönelmesini önündeki en önemli faktördür. Pil kapasitesini arttırmak ve teknolojisini geliştirmek, bu sorunu ortadan kaldırmak için yapılan araştırmalar bazı çözümler sunabilir, fakat bu çözümler maliyetli ve zaman alıcı olması yönünden çeşitli dezavantajları beraberinde getirmektedir.

Kablosuz Enerji Transferi (KET) teknolojisi kısıtlı menzil probleminin farklı bir bakış açısıyla ele alan bir çözümdür. KET yollara yerleştirilen bobinler (Bu sistem yazının devamında Kablosuz enerji Transfer Plağı (KTP) olarak anılacaktır.) yardımıyla uygun donanıma sahip BET'leri kablosuz olarak şarj etme imkânı sunmaktadır. Böylece araç sürücüsünün, seyahat sırasında herhangi bir istasyonda durması gerekmemekte ve menzil endişesi de azalmaktadır. Diğer bir avantajı ise yol koridorlarında yeterli şarj imkânı sunulduğunda, üreticilerine pil boyutlarını küçülterek birim BET maliyetini düşürme olanağını da vermesidir (Yilmaz & Krein, 2012).

KET, BET'in hareketli olup olmamasına bağlı olarak Hareketli Elektrik Transferi (H-KET) ve Sabit KET (S-KET) olarak iki gruba ayrılabilir. KET verimliliği BET hızının artmasıyla azalmaktadır, yani S-KET birim enerji miktarını, H-KET'e kıyasla daha kısa sürede iletebilmektedir. Diğer taraftan H-KET, hareket halinde şarj olanağı sunmaktadır. Sinyalize kavşaklar, trafik akış hızının, kesintiye uğratıldığı yani zaman zaman sıfır olduğunu noktalardır. Bu kesimler hızların sıfıra yaklaşması sebebiyle yüksek verimli S- KET istasyonlarının kurulmasına uygun kesimler olarak ön plana çıkar (Mohrehkesh & Nadeem, 2011).

KET istasyonları için yeni teknolojiler içerdiğinden pahalı yatırımlardır. Bu istasyonların doğru planlanmasıyla S-KET den alınacak verim, maliyet kısıtları altında maksimize edilebilir. Bu planlama adımı tesisin kurulacağı bölgeye bağlı olarak literatürde 3 grupta incelenmektedir. Bunlar: makro, mikro model ve sinyalize kavşaklara KET istasyonlarının kurulması biçimindedir (ElGhanam et al., 2020). Makro modelleme bütün bir şehri veya alanı konu alırken (Chen et al., 2016; Li et al., 2016; Riemann et al., 2015); mikro modelleme önemli yol koridorları ile ilgilenmektedir (He et al., 2018; Jang et al., 2015; Z. Liu & Song, 2017). Sinyalize kavşakları konu alan KET çalışmalarında kavşakta oluşan gecikmeleri dikkate alan (Q. Liu et al., 2019) ve hücre transfer yöntemiyle kavşağı simüle eden çalışmalar yapılmıştır (Wang et al., 2019). Mikro ve makro modelleme konularındaoldukça fazla çalışma yapılmasına rağmen sinyalize kavşakların konu olduğu çalışmalar sınırlı kalmıştır. Hâlbuki sinyalize kavşakların her biri farklı geometrik ve trafik özelliklerine sahiptir ve kendine özel problemlerinin çözümüne ihtiyaç duyar. Bu çalışmada, trafik akışı ile ilişkili bu probleme, KTP'lerın Boyut ve Pozisyon Belirlenme Problemi (BPBP) ismi verilmiş ve çözümü ele alınmıştır.

Bu çalışmada, sık karşılaşılan bir dört kollu izole sinyalize kavşağın BPBP farklı trafik akış koşulları için çözülmüş ve sonuçlar analiz edilmiştir. Bu kavşakta kullanılan sinyal sistemini, akıllı kontrol sistemi olarak tasarlanmış böylece yakın gelecekte daha sık uygulanacak bu iki sistemin etkileşimi de göz önüne alınmıştır. İlave olarak, maliyet kısıt etkisini değerlendirmek için farklı KTP boyutlarının etkisi de incelenmiştir. Dahası, BPBP çözümü için iki güncel algoritma, Gri Kurt Algoritması (GKA) ve Balina Algoritması Optimizasyonu (BAO), çözümlerde kullanılmış ve performansları tartışılmıştır. Böylece, sinyalize kavşaklarda konumlandırılması planlanan S-KET tipindeki istasyonlar için literatüre katkıda bulunulurken, son dönemde ortaya atılan optimizasyon algoritmalarının bu konu için performansları test edilmiştir.

Makalenin ilerleyen bölümlerinde öncelikle BPBP probleminin tanıtılmış ve kullanılan algoritmalardan kısaca bahsedilmiştir. Ardından, simülasyon ortamına kullanılan parametreler ve testlerin kurgulanması hakkında bilgiler sunulmuştur. Son olarak, test sonuçları tablo ve şekiller yardımıyla paylaşılarak tartışılmıştır.

2. BPBP ve Kullanılan Optimizasyon Algoritmaları

2.1 BPBP tanımı

S-KET istasyonundan en yüksek verimi elde etmek için istasyona ait KTP'ler şeritlere doğru pozisyon ve boyutlarda yerleştirilmelidir. Bir sinyalize kavşakta bu karar değişkenlerini kavşak geometrisi, sinyal kontrolünün özellikleri, trafik akış hızı, dönüş oranları gibi çok çeşitli değişkenler etkiler. Ayrıca istasyonun verimi ve gücü, analiz peridonun uzunluğu gibi faktörlerde mevcuttur.

BPBP çözümü *i.* kavşak kolu ve *j.* şeridine bir KTP'nin yerleşilmesi/yerleştirilmemesi kararı (p_{ij}) ve yerleştirilmesi halinde boyutunun belirlenmesini kapsar. Bir kavşak için kullanılacak bir KTP'nin genişliği sabit olmak üzere uzunlamasına boyutu (s_{ij}), diğer değişkenler ise ω ile ifade edilsin. Bu durumda, kaşağın *i* kolu ve *j* şeridinde bulunan bir KTP'nin transfer edeceği enerji miktarı Denklem (1) verilmiştir.

$$e_{ij} = f(s_{ij}, \omega) \tag{1}$$

Bu durumda, bir kavşağa kurulacak KEP istasyonunun BET'lere ileteceği enerji miktarını maksimize etmek için BPBP problemi, ω'nın T analiz periyodu boyunca değişmediği varsayılacak olursa, Denklem (2) de verilen amaç ve kısıt denklemleriyle ifade edilir.

$$\begin{aligned} &\underset{e,p}{\text{maks}} \quad TE = \textstyle\sum_i \sum_j (p_{ij}.\, e_{ij}) \\ &\text{k.s} \quad \textstyle\sum_i \sum_j s_{ij} \le makTU \\ &\qquad \textstyle\sum_i \sum_j s_{ij} \ge minTU \\ &minU \le s_{ij} \le \text{makU} \\ &i \le \text{N},\ j \le \text{M} \quad ve\ i, j \in \mathbb{Z}^+ \\ &e \in \mathbb{R}^+, p \in \mathbb{Z}_2,\ s \in \mathbb{Z}^+ \end{aligned} \tag{2}$$

Burada, sistemin ileteceği Toplam Enerji (TE) ile ifade edilmektedir. Bir kavşağa kurulacak istasyonda kullanılacak KTP'lerin toplam uzunluğunun maksimumu *makTU*, minimumu ise *minTU* ile sembolize edilmiştir. Birim KPT'nin olabileceği en kısa boyut *minU*, en uzun boyut ise *makU* ile ifade edilmiştir. Kavşağın yaklaşım kolu sayısı ve ilgilikola ait şerit sayısı ise sırasıyla *N* ve *M* sembolleriyle gösterilmiştir. Sistemde kullanılan toplam KPT uzunluğu (TU), optimizasyon algoritmasının popülasyon tabanlı olması sebebiyle minTU ve makTU ile ifade edilen bir aralık içinde ele alınmıştır ve bu değerler Denklem (2) ile belirlenmiştir. Δ kullanıcı tarafından belirlenen aralık değeridir.

$$minTU, maxTU = TU \pm \Delta \tag{3}$$

2.2. Gri Kurt ve Balina Optimizasyonu Algoritmaları

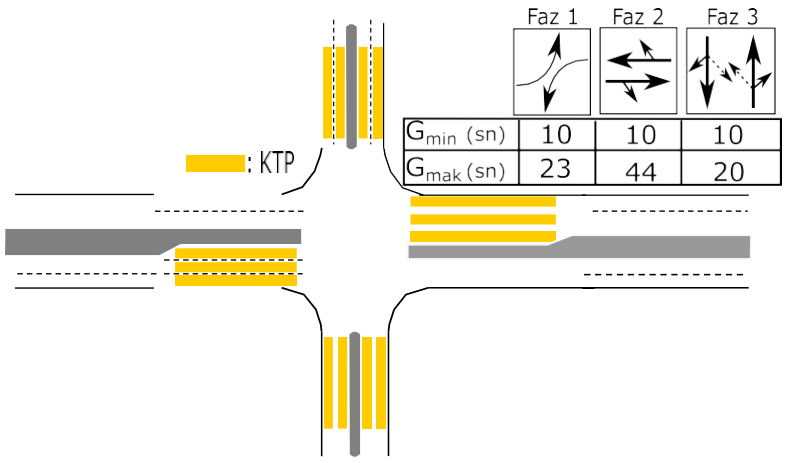
GKA ve BOA son yıllarda geliştirilmiş ve bir çok çalışmada performansları araştırılan sürü tabanlı optimizasyon algoritmalarıdır. Bu çalışmada BPBP problemin çözümü için bu algoritmalar kullanılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Bu bölümde kısaca GKA ve BOA hakkında bilgililer verilmektedir.

KA, son zamanlarda ilgi gören sürü tabanlı bir algoritmadır. Bazı araştırmacılar, GKA (Jiang & Zhen, 2019; Pal et al., 2019; Shukla et al., 2019) kullanarak BEV'lerin şarj edilmesiüzerine çalışmalar sunmuşlardır. GKA, gri kurtların hiyerarşik yapısını ve avlanma taktiklerini taklit ederek bir problem çözümü arar. Gri kurtların hiyerarşik yapısı alfa (α), beta (β), delta (δ) ve omega (ω) ile tanımlanır ve α kurt hiyerarşinin en üstündedir. Gri kurt sürüsünün avlanma süreci üç ana adımdan oluşur. Bunlar: avın peşinde koşmak, kuşatmak ve saldırıdır. Görsellerle zenginleştirilmiş GKA'nın ayrıntılı açıklaması orijinal çalışmada bulunabilir (Mirjalili et al., 2014).

BOA ise kambur balinaların özel avlanma davranışlarından esinlenerek geliştirilmiştir. Kambur balinalar kabarcık ağıyla besleme isimli benzersiz bir avlanma davranışı sergiler (Watkins & Schevill, 1979). Bu teknikte balinalar önce avın altına dalar. Daha sonra hava kabarcıkları oluşturarak yukarı doğru spiral şeklinde yüzmeye başlarlar. Mirjalili veLewis, orijinal çalışmalarında BOA'nın matematiksel modelini üç adımda açıklalar: avın çevrelenmesi, sarmal balon-ağ besleme manevrası yapılması ve avın aranması (Mirjalili & Lewis, 2016) . Avı çevrelemek için öncelikle avın yeri belirlenmelidir. BOA, çözümler içeren bir popülasyon yaratır. Daha sonra, BOA, en iyi aday çözümün hedefe en yakın olduğunu varsayar ve avın yeri varsayımsal olarak belirlenir.

3. Simülasyon Kurulumu

Bu çalışmada Şekil 1 de verilen izole sinyalize kavşak için BPBP araştırılmıştır. Kavşak dört kollu bir kavşak olup, her bir yaklaşım kolu ikişer adet şeride sahiptir. Ayrıca, doğu-batı istikametinde sol dönüş cepleri mevcuttur. Bu kavşak geometrisi bir anayol ile tali yolun kesişmesi sonucu oluşan ve sıklıkla rastlanan bir kavşak tipidir.



Şekil 1. Kavşak geometrisi ve sinyal kontrol sistemi özellikleri.

Belirli bir KTP planı oluşan TE değerlerini tespit etmek için SUMO trafik simülasyonu kullanılmıştır. SUMO için Python dilinde kodlanmış programlar, simülasyona anlık müdahalelerde bulunmayı mümkün kılmaktadır (Lopez et al., 2018). Böylece trafik akışları ve KTP planları kolayca uygulanabilmektedir. Sinyal sistemlerinde yaşanan hızlı gelişmelerde göz önüne alınarak, sinyal kontrolü için ön zamanlı kontrol yerine SUMO'nun sağladığı gecikme tabanlı akıllı sinyal kontrol sistemi kullanılmıştır (Oertel & Wagner, 2011). Bu sistemde faz içinde taşıtlar kolları gören kameralar yardımıyla taşıtların gecikmelerini izlemektedir. Geçerli faz içindeki taşıtların gecikmeleri belirlenen değere (Bu çalışma için 1 sn./taşıt) veya fazın alabileceği en büyük yeşil ışık süresine (G_{mak}) a ulaşıncaya kadar da faza geçiş hakkı vermektedir. G_{mak} ve fazın alabileceği en küçük yeşil ışık süresi (G_{min}) değerleri ve faz düzeni, zirve saat trafik akış değerleri göz önüne alınarak uyarmalı sistem yaklaşımıyla hesaplanmıştır (Roess et al., 2011). Sisteminperformansı ana kolun farklı akım/kapasite (v/c) oranlarında (v/c = { 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 1.2}) test edilmiştir. Böylece farklı v/c değerleri için sisteminin duyarlılığı gözlenmiştir.

KTP kurulum planın performansı, şarj istasyonunun ve BET'lerin özelliklerinde bağlıdır. Simülasyonlarda kullanılan istasyon ve BET'lere ait özellikler ise Tablo 1 sunulmuştur. BPBP'nin çözümü için N=4 ve ana kollar için N=3; tali kollar N=2 kavşak geometrisinden elde edilmiştir. TU 250, 500, 750 ve 1000m ve Δ=50 m için denemeler yapılmıştır. Bu durumda, örneğin TU=500m için, minTU=500-50 ve makTU=500+50 olarak kullanılmıştır. minU ve makU sırasıyla 20 m ve 100 m ayarlanmıştır. Böylece optimizasyon algoritmalarının arama uzay sınırları belirlenmiştir.

Tablo 1. BET özellikleri

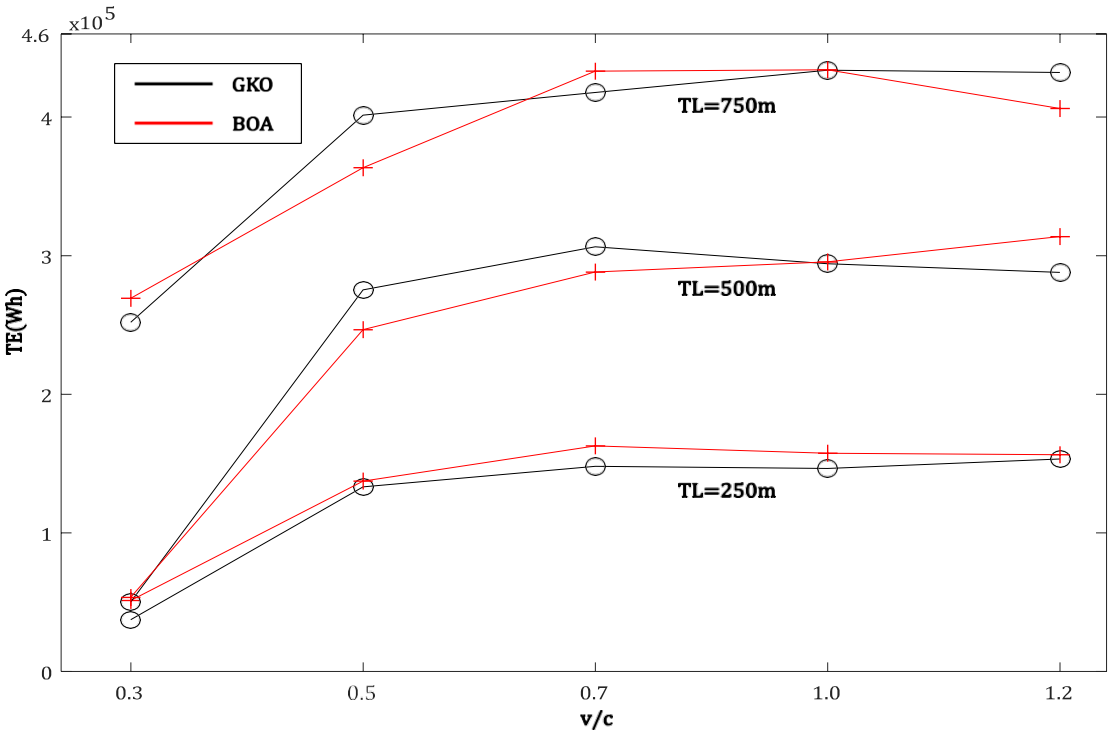
Parametre	Değer(Birim)
Şarj istasyonların gücü	20 kW
Şarj istasyonların verimliliği	0,95
Batarya başlangıç kapasitesi	20 Wh
Maksimum batarya kapasitesi	2000 Wh
Taşıtın Ağırlığı	1000 kg
Ortalama hız	50 km/sa
Ön yüzey alanı	0,6 m2

Trafik akışında taşıt geliş aralıklarının rastgele olması sebebiyle simülasyonlar, aynı parametreler ile 5 defa tekrarlanmış ve elde edilen sonuçların ortalaması ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu değerin arttırılması doğruluğu arttırsa da yapılan gözlemlerde bu değerden daha fazla tekrar yapmanın ortalamayı ciddi anlamda değiştirmediği kararına varılmıştır.

4. Optimizasyon Sonuçları ve Tartışma

Trafik akış oranı ve TL kısıtı sistemin performansını etkileyen önemli değişkenlerdir. Bu bölümde bu değişkenlerin farklı değerlerine karşın GKA ve BOA'nın önerdiği KTP yerleşim planlarının performansları incelenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır. Şekil 2' dealgoritmalar tarafından, değişen akım/kapasite ve TL değerlerine karşın ilgili şarj istasyonlarının BET'lere ilettiği enerji miktarı Wh cinsinden sunulmuştur.

GKA ve BOA sonuçlarına genel olarak bakıldığında, v/c=0.7'nin öncesi ve sonrasının grafiğin iki bölgeye ayırdığı görülüyor. Şöyle ki v/c=0.7' ye kadar TE değerleri artış eğilimdeyken, v/c=0.7'den sonra TE azalma veya sabit kalma eğilimi gösteriyor. Bu gözlem trafik akış talebinin belirli bir değerden fazla olmasının, beklenenin aksine sistemin performansını arttırmayacağını ortaya koymaktadır. Trafik sinyal kontrol dizaynı yapılırken bu önemli sonucun değerlendirmesi sistemden alınacak verimi arttıracaktır. Şekil 2' deki diğer bir ilginç durum ise v/c=0.3, TL=500m ve TL=250 m de TE değerlerinin birbirine çok yakın olmasıdır. Diğer v/c oranlarında TE, TL' nin artmasıyla doğrusal artış göstermektedir. Bu durum optimizasyon algoritmalarının bu noktada lokal bir optimuma yakalanma eğilimi göstermesiyle açıklanabilir. Genel ortalamaya hesaplandığında, GKA ve BOA'nın TE değerlerinin (yaklaşık 2,51x10^5 Wh) hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. GKO ve BOA'nın önerdikleri KPT planlarına ait toplam enerji transfer miktarı.

Ana kollarda ki sol dönüş ceplerine için algoritmaların önerdikleri KTP uzunlukları ayrıca incelendiğinde, GKO trafik akımının sol dönüş oranlarına adapte olduğu görülmüştür. Bütün durumlar göz önüne alındığında, GKO'nun ortalama %10 civarında sol ceplere daha kısa KTP önerdiği; BOA'nın ise tam aksine sol dönüş ceplerine yaklaşık %5 fazla KPT uzunluğu önerdiği görülmektedir.

GKO'nun trafik akışına daha uygun bir KTP yerleşim planı önermesine rağmen BOA'dan belirgin daha iyi bir performans gösterememe nedeni GKO'nun fazla sayıdaki BET'i düşük miktarda şarj edecek bir plan sunarken; BOA'nun nispeten daha az sayıdaki taşıtı daha uzun süre şarj edecek bir KPT yerleşim planı önermesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü BOA faz süresi daha kısa olan yani trafik akışı düşük, daha fazla kavşak içinde bekleyen taşıtlara öncelik vermesi olarak da açıklanabilir. Bu durumda, karar verici daha fazla

sayıdaki BET'i daha kısa süre şarj etme tercihi için GKO; az miktardakini daha fazla şarj etme tercihi için ise BOA algoritmasını kullanabilir.

Tablo 2. GKO ve BOA tarafından önerilen KTP pozisyon ve boyutları.

Gri Kurt Optimizasyonu							Balina Optimizasyonu Algoritması				
TL	v/c	Güney	Kuzey	Doğu	Batı	Standart Sapma	Güney	Kuzey	Doğu	Batı	Standart Sapma
250 m	0,3	56	18	71	136	42,6	50	50	75	75	12,5
	0,5	0	117	65	117	48,1	58	58	87	87	14,5
	0,7	38	114	52	67	28,6	50	63	75	97	17,3
	1,0	58	0	135	97	49,9	50	50	103	89	23,5
	1,2	0	36	94	170	64,3	51	52	110	78	24,1
	Ort.	30	57	83	117	46,7	52	55	90	85	18,4
500 m	0,3	91	108	168	144	30,1	94	90	178	106	35,7
	0,5	105	65	133	220	56,9	123	61	101	203	51,8
	0,7	89	32	195	211	74,3	57	171	108	165	46,4
	1,0	48	41	219	228	89,6	82	113	142	200	43,5
	1,2	122	46	186	185	57,4	50	51	221	150	72,0
	Ort.	91	58	180	198	61,7	81	97	150	165	49,9
750 m	0,3	132	173	295	183	60,4	185	139	193	233	33,4
	0,5	153	139	254	211	46,1	187	170	181	228	21,9
	0,7	143	170	280	194	51,3	133	146	160	287	61,7
	1,0	179	135	221	262	47,3	133	126	242	241	56,1
	1,2	140	155	229	276	55,3	156	89	256	298	82,2
	Ort.	149	154	256	225	52,1	159	134	206	257	51,0

5. Sonuç

Bataryalı elektrikli taşıtlar yakın gelecekte kişisel ve toplu ulaşımın ayrılmaz bir parçası olacaktır. Fakat kısıtlı batarya kapasite problemi yaygın kullanımın artmasının önünde önemli bir engel oluşturuyor. Bu çalışmada, bu probleme potansiyel bir çözüm olan kablosuz enerji transfer teknolojisinin kavşaklara uygulanması bilgisayar benzetim ortamında gerçekleştirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir. Ayrıca, GKO ve BOA algoritmalarının bu probleme verebileceği katkılarda tartışılmıştır.

Sonuç olarak, KET teknolojinin trafiğin kesintiye uğradığı noktalar olan kavşakların sinyal kontrol sistemi ve trafik akış karakteristiğini dikkate alarak performansının arttırılabileceği anlaşılmıştır. Bu amaçla kullanılan GKO ve BOA algoritmalarınınprobleme farklı açılardan yaklaştığı tespit edilmiş ve karar vericilere yardımcı olabilecek önemli sonuçlar sunulmuştur. Çalışmada, şarj istasyonunun elektrik altyapınsa bağlı farklılık gösterebilecek birçok parametre olması muhtemeldir. Bu nedenle, etki edebilecek diğer parametreleri de analizler içinde barındıran gelecek çalışmalarda daha çarpıcı sonuçlar alınabilecektir.

6. Kaynaklar

Chen, Z., He, F., & Yin, Y. (2016). Optimal deployment of charging lanes for electric vehicles in transportation networks. Transportation Research Part B: Methodological, 91, 344– 365.

ElGhanam, E. A., Hassan, M. S., & Osman, A. H. (2020). Deployment Optimization of Dynamic Wireless Electric Vehicle Charging Systems: A Review. 2020 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS), 1–7.

Etacheri, V., Marom, R., Elazari, R., Salitra, G., & Aurbach, D. (2011). Challenges in the development of advanced Li-ion batteries: a review. Energy & Environmental Science, 4(9), 3243–3262.

He, J., Yang, H., Tang, T.-Q., & Huang, H.-J. (2018). An optimal charging station location model with the consideration of electric vehicle's driving range. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 86, 641–654. https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.11.026

Jang, Y. J., Jeong, S., & Ko, Y. D. (2015). System optimization of the On-Line Electric Vehicle operating in a closed environment. Computers & Industrial Engineering, 80, 222–235.

Jiang, W., & Zhen, Y. (2019). A real-time EV charging scheduling for parking lots with PV system and energy store system. IEEE Access, 7, 86184–86193.

Li, S., Huang, Y., & Mason, S. J. (2016). A multi-period optimization model for the deployment of public electric vehicle charging stations on network. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 65, 128–143.

Liu, Q., Hu, S., Angeloudis, P., Wang, Y., Zhang, L., Yang, Q., & Li, Y. (2019). Simulation and Evaluation of CAVs Behavior in an Isolated Signalized Intersection Equipped with Dynamic Wireless Power Transfer System. 2019 IEEE Intelligent Transportation SystemsConference (ITSC), 2207–2212. https://doi.org/10.1109/ITSC.2019.8917399

Liu, Z., & Song, Z. (2017). Robust planning of dynamic wireless charging infrastructure for battery electric buses. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 83, 77–103.

Lopez, P. A., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y.-P., Hilbrich, R., Lücken, L., Rummel, J., Wagner, P., & Wießner, E. (2018). Microscopic traffic simulation using sumo. 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2575–2582.

Mirjalili, S., & Lewis, A. (2016). The whale optimization algorithm. Advances in Engineering Software, 95, 51–67.

Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. Advances in Engineering Software, 69, 46–61. https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007

Mohrehkesh, S., & Nadeem, T. (2011). Toward a wireless charging for battery electric vehicles at traffic intersections. 2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 113–118.

Oertel, R., & Wagner, P. (2011). Delay-time actuated traffic signal control for an isolated intersection. Proceedings 90th Annual Meeting Transportation Research Board (TRB).

Pal, A., Bhattacharya, A., & Chakraborty, A. K. (2019). Allocation of EV fast charging station with V2G facility in distribution network. 2019 8th International Conference on Power

Systems (ICPS), 1–6.

Riemann, R., Wang, D. Z. W., & Busch, F. (2015). Optimal location of wireless charging facilities for electric vehicles: flow-capturing location model with stochastic user equilibrium. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 58, 1–12.

Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2011). Traffic Engineering (4th Edition). https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Shukla, A., Verma, K., & Kumar, R. (2019). Multi-objective synergistic planning of EV fast-charging stations in the distribution system coupled with the transportation network. IET Generation, Transmission & Distribution, 13(15), 3421–3432.

Wang, T., Yang, B., Chen, C., & Guan, X. (2019). Wireless Charging Lane Deployment in Urban Areas Considering Traffic Light and Regional Energy Supply-Demand Balance. 2019 IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring), 1–5. https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2019.8746492

Watkins, W. A., & Schevill, W. E. (1979). Aerial observation of feeding behavior in four baleen whales: Eubalaena glacialis, Balaenoptera borealis, Megaptera novaeangliae, and Balaenoptera physalus. Journal of Mammalogy, 60(1), 155–163.

Yilmaz, M., & Krein, P. T. (2012). Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. IEEE Transactions on Power Electronics, 28(5), 2151–2169.

Otomotiv Sistemlerinde Algılayıcı Teknolojileri

Okan KARA[1], Habib KAYMAZ[2]

[1]Milli Savunma Üniversitesi, Deniz Astsubay MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Yalova, Türkiye

[2]Mercedes Benz Türk AŞ, İstanbul, Türkiye

[1]okara2@msu.edu.tr, [2]habib.kaymaz@daimler.com

ORCID-Yazar1 0000-0001-3388-6920, ORCID-Yazar2 0000-0002-8338-004X

Özet

Dünya genelinde giderek artan mobilite ihtiyacı ve otonom araçlar gibi yeni teknolojilerinin ortaya çıkması, otomotiv sektöründe sensör pazarının büyümesini sağlayan temel faktörlerdir. Günümüzde özellikle otonom araç geliştirme çalışmaları yeni nesil sensör sistemlerinin kullanımında büyük oranda artış sağlamıştır. Yeni nesil araçların artmasıyla daha fazla gündelik hayatımıza girecek olan bu sensörler, farklı tip sensörler olmalarının yanında otomotiv sensörlerine olan mevcut bakış açımızı değiştirecek niteliktedirler. Bu çalışmada, otomotiv uygulamalarında kullanılan sensörlerinin geliştirilmesinde kaydedilen ilerlemeler incelenmektedir. Çalışmada, otomotiv sektöründe fiziksel büyüklükleri algılayan sıcaklık, basınç, akışkanlık ve hava kütle akış sensörleri gibi geleneksel sensörlerin yanında yeni nesil otomotiv sensör sistemleri olan LIDAR, RADAR ve kamera gibi sistemler de incelenmektedir. Bu sistemlerin çalışma prensipleri, özellikleri ve görevleri gibi konulara değinilmiştir. Ayrıca geleneksel sensör sistemlerinin çalışma prensipleri, sensör malzemesi, hassasiyet, doğruluk, çalışma şartları, sensör üretici firmaları gibi bilgiler ayrıntılarıyla sunulmuştur. Geleneksel sensörler kendi aralarında gruplandırılarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, otomotiv dünyasında, maliyet azaltılması, daha fazla güvenlik sağlanması ve daha fazla konfor istenilmesi gibi beklentilerden dolayı mevcut otomotiv sensör sistemlerinin bu beklentiler yönünde daha da geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca otonom araçların varlığı büyük oranda yeni nesil sensör sistemlerinin gelişmesine bağlı olduğundan, bu sensör sistemlerinin de yenilenerek daha yetenekli, daha ucuz ve daha uygulanabilir hale gelmesi gerektiği öngörülmüştür.

Anahtar kelimeler: Akıllı Sensörler, Geleneksel Sensörler; Otomotiv Sektörü, LIDAR, Duman Sensörü, Nefes Sensörü

Sensing Technologies of Automotive Systems

Abstract

Increasing worldwide automobile sales and the emergence of new automobile technologies such as autonomous vehicles are the main factors driving the growth of the sensor market in the automotive industry. Today, especially with the development of autonomous vehicles, the use of new generation sensor systems has increased significantly. These sensors, which will enter our daily lives more and more with the increase of new generation vehicles, are different types of sensors, and they will change our current perspective on automotive sensors. This paper examines the progress made in the development of automotive sensors for various automotive applications.

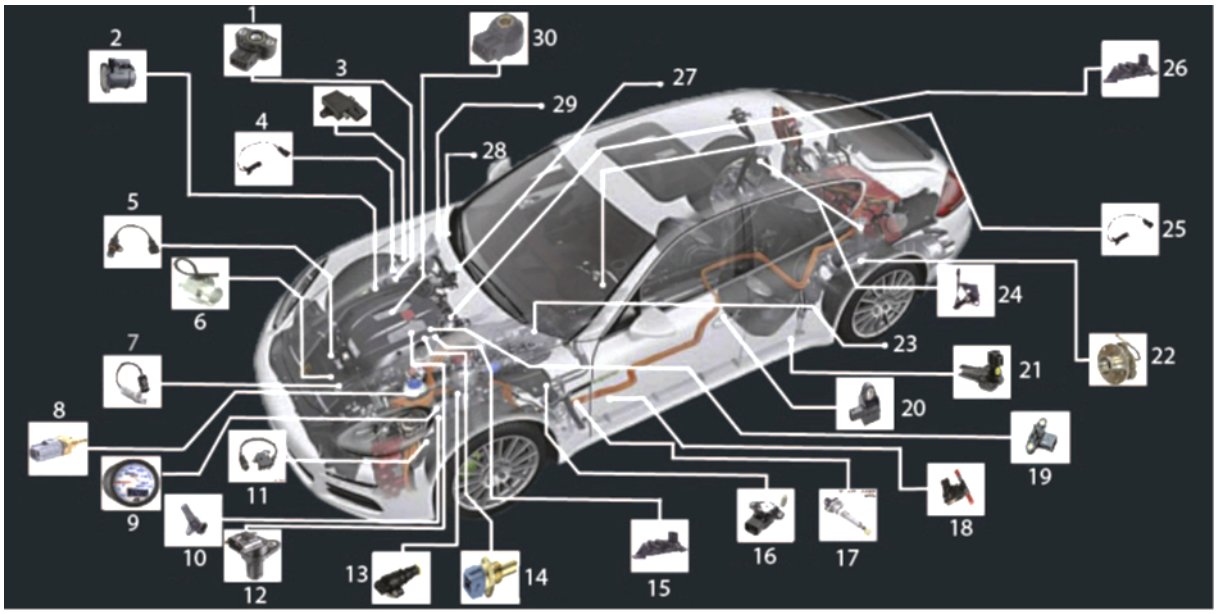
In the study, in addition to traditional sensors such as temperature, pressure, fluidity and air mass flow sensors that detect traditional sizes in the automotive industry, systems such as

LIDAR, RADAR and camera, which are new generation automotive sensor systems, are also examined. The working principles, features and tasks of these systems are mentioned.
In addition, information such as the working principles of traditional sensor systems, sensor material, sensitivity, accuracy, working conditions, sensor manufacturers are presented in detail. Conventional sensors were grouped among themselves according to some features and the comparison process was carried out. As a result, in this study; It has been concluded that the existing automotive sensor systems should be developed further due to the increasing expectations in terms of criteria such as comfort, safety and low-cost in the automotive world. In addition, since the existence of autonomous vehicles largely depends on the development of new generation sensor systems, it has been seen that these sensor systems should be renewed and become more capable, cheaper and more applicable.

Keywords: Smart Sensors; Conventional Sensors; Automotive industry; LIDAR; Smoke Sensor; Breath Sensor

1. Giriş

2020 yılında dünya çapında 77 milyonu bulan otomobil satış rakamının önümüzdeki yıllarda % 9 civarında artacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca 2016 yılı verilerine göre, küresel otomotiv sensör pazarında yaklaşık 25 milyar dolarlık sensör satışı rapor edilmiştir. Bu gelişmeler göz önünde bulundurulduğunda küresel otomotiv sensör pazarının önümüzdeki 5 yıl içinde % 10 civarında büyümesi beklenmektedir [1, 2]. Otomobilde bulunması gereken güvenlik, konfor ve kontrol sistemlerindeki geniş kullanımı nedeniyle sensör maliyeti, otomotiv elektronik sistemlerinin toplam maliyetinin %20'sini oluşturmaktadır [3]. Otomotiv sensör sektörünün geleceği, otomobil alıcılarının giderek artan güvenlik ve konfor talepleri nedeniyle parlak görünmektedir. Buna rağmen sensör tasarımı, güvenlik, konfor, kalite, güvenilirlik, çevrenin korunması ve düşük maliyet gibi konularda sürekli gelişim sağlanması gerekmektedir [4, 5]. Günümüz otomotiv sistemlerinde, güvenlik ve konfor gibi kriterleri sağlamak için çok sayıda elektronik ve kontrol sistemi kullandığından, otomotiv mühendisleri gerekli elektroniği bir otomotiv sistemine entegre etmede birçok zorlukla karşılaşmaktadır [6, 7]. Güç tüketimi, sinyal bütünlüğü ve paketleme otomotiv sistemleri için elektronik sistemi tasarımında göz önünde bulundurulması gereken temel faktörlerdir. Otomotiv sensörleri, yakıt verimliliği, konfor, güvenlik, ve emisyon dostluğu gibi konularda sağladıkları avantajlardan dolayı, kullanımları büyük önem taşımaktadır [8, 9]. Otomotiv sensörleri araçta; hız, emisyon, güç aktarma sistemleri, süspansiyon, iklim kontrolü, çevre kontrolü, mal güvenliği, arıza kontrolü, can güvenliği, insan sağlığı, konfor ve diğer birçok konu üzerinde etkinlik sağlayarak hayati bir rol oynamaktadır [10]. Otomotiv sensörlerine genel bir bakış sağlayan görüntü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Otomotiv sensörleri [11]

Şekil 1'de numaralarla gösterilmiş otomotiv sensörleri şunlardır; 1: Gaz kelebeği konum sensörü, 2: Kütle hava akış sensörü, 3: Barometrik basınç sensörü, 4: Hava filtresi sıcaklık sensörü, 5: Krank mili konum sensörü, 6: Soğutucu seviye sensörü, 7: Oksijen sensörü, 8: Yağ sıcaklık sensörü, 9: Şanzıman sıcaklık sensörü, 10: Şanzıman giriş hız sensörü, 11: Şanzıman vites değiştirme konum sensörü, 12: Eksantrik mili konum sensörü, 13: Araç hız sensörü, 14: Soğutucu sıcaklık sensörü, 15: EGR basınç geri besleme sensörü, 16: Gaz pedalı konum sensörü, 17: Şanzıman çıkış hızı sensörü, 18: Metanol yakıt sensörü, 19: Turbo güçlendirme sensörü, 20: İvme sensörü, 21: Fren hidroliği seviyesi sensörü, 22: ABS tekerlek hız sensörü, 23: Silecek sıvısı sensörü, 24: Araç yükseklik sensörü, 25: Hava sıcaklık sensörü, 26: EGR valfi konum sensörü, 27: Manifold mutlak basınç sensörü, 28: Isıtıcı iç sıcaklık sensörü, 29: Araç içi sıcaklık sensörü, 30: Vuruntu sensörü şeklindedir.

Otomotiv sensörleri, aracın hızı, emisyonu, güç aktarma sistemi, süspansiyon, iklim kontrolü, çevre kontrolü gibi birçok konu üzerinde hayati bir rol oynamaktadır. Şekil 1'den anlaşılacağı üzere otomotiv sensörleri farklı birçok işlemi gerçekleştirmek üzere kullanılırlar. Bu bağlamda otomotiv sektörü için sensör üreten birçok firma vardır. Küresel pazarda, Valeo GmBH, Analog Devices Inc., Broadcom limited, ST Microelectronics, Bosch sensor Tech., Allegro Microsystems, Continental, Delphi Automotive, Elmos Instruments, Gentex, Hella, Hyundai Mobis, Panasonic Corporation, Infineon Technologies, Magna International, NXP Semiconductors, Renesas Electronics, Sensata, Sony Semiconductor Solutions Corporation, Texas Instruments, Denso Company, TRW Automotive, olmak üzere otomotiv sensörü üreticileri bulunmaktadır [12, 13, 14].

Bu çalışmada otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan veya yakın gelecekte kullanımının yaygınlaşması beklenen sensörler incelenmiştir. Bu kapsamda bu çalışmanın ikinci bölümü olan Geleneksel otomotiv sensörleri bölümünde sırayla; gaz, sıcaklık, basınç, hava kütle akış, atalet, konum ve hız, akışkanlık (viskozite), su (yağmur) sensörleri, duman, ışık sensörleri incelenmiştir. Üçüncü bölüm olan yeni nesil otomotiv sensörleri bölümünde ise sırayla RADAR, LIDAR, kamera gibi sensör sistemleri incelenerek ayrıntılı bilgi verilmiştir.

2. Geleneksel Otomotiv Sensörleri

Geleneksel otomotiv sensörleri, otomotiv sektöründe klasik olarak kullanılan sensörlerdir. Bu sensörler çalışma prensiplerine göre sınıflandırılabilir. Sensörler ölçüm gerçekleştirilmesi için dış bir besleme kaynağı gerekliliğine göre aktif ve pasif sensör olarak sınıflandırılabilir. Pasif sensörler besleme kaynağına ihtiyaç duymadan çalışan sensörlerdir. Örneğin; piezoelektrik sensörler besleme gerilimine ihtiyaç duymaksızın mekanik bir basınç altında elektrik sinyali üretirler. Foto diyot ve termoçiftler de pasif sensörlere örnektir. Tam aksine aktif sensörler ölçüm yapabilmek için besleme kaynağına ihtiyaç duyarlar. Örneğin hall effect sensörler aktif sensörlerdir. Bir besleme kaynağı tarafından beslendiği sürece çıkış üretirler. Besleme gerilimi verilen Hall Effect sensörler, ortamdaki manyetik alan yoğunluğuna göre oransal olarak gerilim sinyali üretirler. Ayrıca sensörler, sensör yapısındaki algılayıcı element ile analit arasında fiziksel temas olup olmamasına göre temaslı ve temassız olarak sınıflandırılırlar. Örneğin gaz ve kimyasal sensörler temaslı sensörlerdir. Nesne algılama gerçekleştiren RADAR sensörleri ise temassız çalışan sensörlerdir. Ayrıca sensörler çıkış büyüklüklerine göre dijital ve analog olarak da sınıflandırılırlar. Bir sensörün dijital veya analog çıkış vermesi istenen amaca göre biri seçilerek gerçekleştirilebilir. Örneğin; Hall Effect sensörler hem analog hem de dijital olarak üretilmektedir. Manyetik alan yoğunluğuna göre oransal çıkış istendiğinde analog, var yok (1-0) bilgisi gibi bir çıkış istendiğinde dijital hall effect sensör kullanılır. Diğer sensörlerin birçoğu bu prensip üzerinden analog veya dijital olarak üretilir. Geleneksel otomotiv sensörlerinin genel bir özeti tablo 1'de gösterilmiştir.

Otomotiv sensörü geliştirme süreçleri derinlemesine bir şartnamenin oluşturulması ile başlar. ASIC (Application Specific Integrated Circuit) kapsamında, otomotiv uygulamaları sensör modüllerinin geliştirildiği bir platform oluşturulmuştur. ASIC kalite özellikleri, uluslararası bir standart olan AEC Q-100 (Automotive Electronics Council standard) tarafından belirlenmektedir [15]. AEC Q-100 kapsamında sensörlerin belirli standart gereksinimlerini sağlamaları gerekmektedir. Tüm otomotiv sensörleri AEC Q-100 standardı kapsamında 12-18 hafta arası süren testlere tabi tutulmaktadır. Otomotiv sensörleri bu süre içerisinde, Elektrostatik deşarj, Elektromanyetik uyumluluk, Araç diagnostik düzeni, Batarya ters polarlanması, GPL tespiti ve Lot-to-die konumu gibi sağlanması gereken gereksinimler üzerinden test edilmektedir [16].

Otomotiv sensörlerinin diğer sensörlere göre, çalışma ortamına uyumluluk, güç tüketimi, paketleme ve maliyet açısından iyi özelliklere sahip olması gerekmektedir. Otomotiv uygulamalarında, sıcaklık sensörlerinin -40 ile +1500 derece aralığında ölçüm yapmasına ihtiyaç duyulur ve bu yüzden sensörün fiziksel yapısının, sensörün yüksek sıcaklıklarda çalışabilir şekilde tasarlanmış olması gerekmektedir [11]. Ayrıca otomotiv sensörleri, 5 ile 30 g arasında maksimum titreşim ivmelenmesine maruz kalabilmektedir. Bu titreşim ivmelenmesine uygun olarak tasarım ve montaj işlemlerinin gerçekleştirilmesi sensörlerin çalışma sürecini doğrudan etkilemektedir. Otomotiv sensörlerinin sorunsuz çalışabilmeleri ve tipik olarak 5 ile 10 yıl arasında doğruluklarını korumaları gerekmektedir [17].

Tablo 1. Otomotiv sektörü sensörlerine genel bir bakış

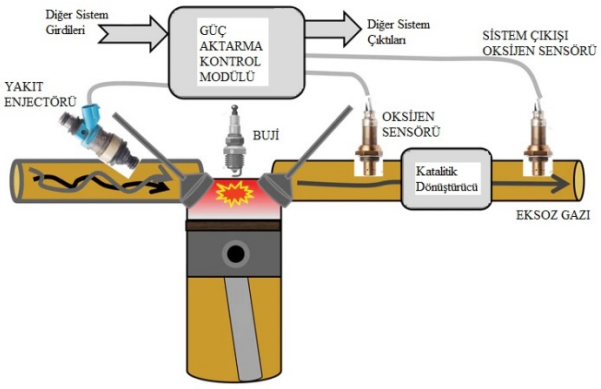
Algılanan Büyüklük	Amaç	Teknoloji	Örnek Kullanım Yeri (Sistem)
Sıcaklık	Motor su, yağ ve gövde sıcaklıkları ölçümleri Motor Silindir kapağı sıcaklığı ölçümü Şanzıman sisteminin sıcaklığı ölçümü Eksoz gazların sıcaklıklarının ölçümü ECU devre sıcaklıklarının belirlenmesi Klima ve Çevre sıcaklıkları ölçümü Akü sıcaklığı ölçümü Lastik iç sıcaklığı ölçümü	Termistör RTD Termoçift Silikon IC	Motor Kontrol Modülü (MCM) İklimlendirme Modülü (ACM) Şanzıman Kontrol Modülü (TCM) Isıtma, Havalandırma ve Klima (HVAC) Sistemleri Akıllı Batarya Sistemleri (IBS) Lastik Basıncı İzleme Sistemi (TPMS)
Basınç	Fren sistemi pnömatik ve hidrolik basınç ölçümü Yakıt enjeksiyon basıncı ölçümü Atmosferik basıncın ölçülmesi Lastik basıncı ölçümü Motor parçaları üzerindeki basınç ölçümü Motor manifoldu basıncı ölçümü Sızıntı yakıt buharı basıncının ölçülmesi Klima kompresörü basıncının ölçülmesi	Piezoelektrik Kapasitif Rezistif Strain gauge	Fren Sistemi Motor Kontrol Modülü (MCM) Lastik Basıncı İzleme Sistemi Şasi Kontrol Sistemi Adaptif Süspansiyon Ateşleme ve yakıt kontrol Sistemi Isıtma, Havalandırma ve Klima (HVAC) Sistemleri
Gaz	Yanma işlemi için oksijen miktarının ölçülmesi Emisyon gazları ölçümü Araç içi hava kalitesi ölçümü Sürücü nefesi alkol oranı tespiti	Kimyasal Rezistif	Egzoz Gazı Emisyon Kontrol Sistemi Yakıt Enjeksiyon Sistemi Sürücü Sarhoşluk Tespit Sistemi
Işık	Dış ortam aydınlık seviyesi ölçümü	Optik Rezistif	Aydınlatma Sistemleri
Su	Yağmur algılama	Kapasitif Optik	Yağmur Algılama Sistemi
Hız	Araç Tekerlek hızı ölçümü Motor krank mili hız ölçümü Eksantrik mili hız ölçümü Motor krank mili ters dönmesinin algılanması	Hall Effect GMR AMR	Araç Denge Sistemleri Fren Sistemleri Çekiş Kontrol Sistemleri Güvenlik Sistemleri
Atalet	Araç hareketinin kontrolü ve acil müdahale Araç üzerinde oluşan kuvvetlerin ölçümü	İvmemetre Jiroskop	Elektronik Denge Kontrol Sistemi Çekiş kontrol Sistemi Çapraz rüzgâr stabilizasyonu
Kütle Akış	Hava kütle akışının ölçülmesi	Termorezistif	Motor Yanma İşlemi
Konum	Motor valf, piston vb konumu ölçümü Direksiyon açı ölçümü Yakıt seviyesi ölçümü Fren pedalı konum ölçümü Vites seçici konum ölçümü Şanzıman vites konumu ölçümü Debriyaj pozisyonu tespiti Şasi yüksekliği bağlantı çubuğu açısı ölçümü	Hall Effect GMR AMR Potansiyometrik Optik	Motor Konum Kontrol Sistemi Şanzıman Konum Kontrol Sistemi Yakıt Seviye Ölçüm Sistemi Fren Sistemleri
Akışkanlık (Viskozite)	Motor yağı özelliklerinin ölçümü	Piezoelektrik Kapasitif Ultrasonik Rezistif	Motor Yağı Akışkanlık Ölçüm Sistemi
Duman	Yolcu araçlarında yangın tespiti	Optik İyonlaşma	Duman Algılama Sistemi
Vuruntu	Motorda vuruntu tespiti	Piezoelektrik	Vuruntu Tespit Sistemi

2.1 Gaz Sensörleri

Otomotiv sektöründe gaz sensörlerinin önemli işlevleri bulunmaktadır. Gaz sensörleri; oksijen, hava kalite, emisyon gazları ve nefes sensörleri gibi ana başlıklar altında incelenebilir. Pewatron AG Dexter Research Center, Management Services Ltd., Electro Optical Components, Euro-Gas InfraTec GmbH gibi otomotiv sektörüne gaz sensörleri üreten şirketler bulunmaktadır.

2.1.1 Oksijen Sensörleri

Oksijen sensörü lambda sensörü olarak da bilinmektedir. Oksijen sensörü, egzoz gazındaki artık karışım oranını ölçerek motora yanma için gönderilen yakıt-hava karışımına ait oksijen payının en iyi seviyede olmasına imkan sağlar. Sensörün, oksijen miktarına bağlı olarak Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU)'ya gönderdiği sinyale göre, yakıt-hava karışımın zengin veya fakir olduğu belirlenir. Bu işleme göre enjektörlerin açık kalma süreleri ECU tarafından hesaplanır. Bu bahsedilen işlem saniyede 5 defa gerçekleştirilir. Tüm bu işlemler egzoz gazlarının iyi şekilde yanmış olarak dışarı atılması ve katalizöre gelen gazların içerisinde yanmamış gaz oranının en düşük seviyede kalmasını sağlama amacını taşımaktadır [11, 18]. Bahsedilen sistemin genel yapısı Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir. Otomotiv sektöründe kullanılan örnek oksijen sensörü Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Motor yanma işlemi [19]



Şekil 1. Otomotiv için O_2 sensörü [20]

2.1.2 Hava Kalite Sensörü

Otomobillerde yolcu ve sürücü konforu açısından önemli bir sensör de hava kalite sensörüdür. Klima sisteminin giriş havasındaki CO ve NO gibi gazların konsantrasyonu tespit edilerek yolcular ve sürücü için en uygun hava kalitesi elde edilir [21].

2.1.3 Emisyon Gazları Sensörleri

Gaz sensörlerinin otomobillerde en önemli kullanım nedenlerinden birisi de CO, NOX, H2, NH3, C3H6 gibi yanma sonucu ortaya çıkan egzoz gazlarının ve türevlerinin konsantrasyonunu belirlemektir [11]. Bu işlem sonucu emisyon gazlarının kontrolü sağlanır.

2.1.4 Nefes sensörü

Araç sürücüsünün nefesindeki mevcut alkol konsantrasyonunu ölçer. Nefes sensörü bir gas sensörüdür ve çeşitli teknolojilere dayanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Örnek yapılan çalışmada [38] MQ-3 sensorü nefeste alkol oranı tespit etmek için kullanılmıştır. Bu sensörün SnO_2 algılayıcı elementi bulunmaktadır. Bu sensöre alkol gazı nüfuz ettiğinde alkol konsantrasyonu boyunca iletkenlik artmaktadır. Bu çalışma prensibine göre sürücü

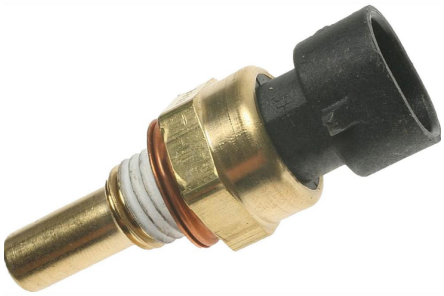
nefesindeki alkol oranı tespit edilmektedir. Ayrıca yapılan çalışmada [38] bu sensör araç elektronik sistemine gömülü sistem olarak kurulmuştur. Sistem, sürücü alkollü ise aracı çalıştırmasına müsaade etmemektedir. Bu sayede güvenlikli bir sürüş gerçekleştirilerek alkol yüzünden gerçekleşen kazaların önüne geçilebilir.

2.2 Sıcaklık Sensörleri

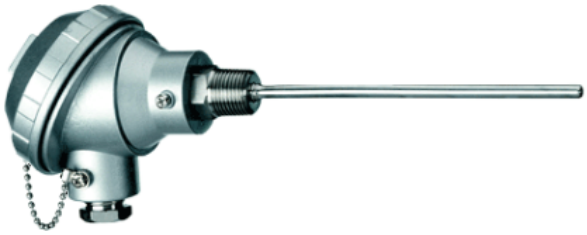
Otomotiv uygulamalarında, sıcaklık sensörlerinin -40 ile +1500 derece aralığında ölçüm yapmasına ihtiyaç duyulur [11]. Sıcaklık sensörlerinin, otomotiv sektöründe araçların güvenli ve verimli şekilde çalışması için kullanılması zorunluluktur. Termistörler (NTC, PTC), Rezistive (Dirence göre değişen) Sıcaklık Sensörleri (RTD), Silicon integrated circuit (IC) tabanlı Sıcaklık Sensörleri, Termoçiftler (Termocouples) gibi çeşitli sıcaklık sensörleri bulunmaktadır. Kullanım şartlarına göre en uygun olan sıcaklık sensörü kullanılmalıdır. Temperature Specialists, Inc., C-Temp International, Kelvin Technologies, Inc., Minco, ZESTA gibi şirketler otmotiv sektörü için sıcaklık sensörü üreticileri arasında geçmektedir.

2.2.1 Termistörler

Termistör teknolojisi; direnci sıcaklığa göre azalan veya artan (NTC, PTC) seramik oksit kompozit materyalden oluşmaktadır. Termistörler doğrusal değildir. -40 ile +250 derece arası kullanılırlar.



Şekil 4. NTC termistör [22]



Şekil 5. RTD sensörü [23]

Termistörler, otomotiv sektöründe, motor soğutma suyu sıcaklık ölçümü, dizel yakıtı sıcaklık ölçümü, otomobil içi ortam sıcaklık ölçümü, motor silindir kapağı sıcaklık ölçümü gibi çeşitli görevleri gerçekleştirmede kullanılmaktadır [18]. Motor soğutma suyu için tasarlanmış NTC termistör Şekil 4'de gösterilmiştir.

2.2.2 Rezistans Termometreler (RTD) Sıcaklık Sensörleri

Sıcaklığa göre direnci değişen sensör tipidir. -240 ile +1000 derece arasında ölçüm yapılabilir. Diğer sıcaklık sensörlerine göre daha maliyetlidir. RTD sensörleri Al2O3 ana katman, platinyum metal direnç ve cam plaka olmak üzere 3 bölümden oluşur. RTD sensörleri; filtre rejenerasyon işlemi sırasında dizel egzoz partikül filtresi sıcaklık kontrolü, buji ile ateşlemeli motorlarda NOx gazı filtre-katalizör performansını arttırmak için egzoz sıcaklık kontrolü, üre enjeksiyonlu dizel motorların egzoz sıcaklığı kontrol sistemi düzenlenmesi gibi işlemleri gerçekleştirmek için otomotiv uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır [10]. Otomotiv uygulamalarında kullanılan örnek RTD Şekil 5'de gösterilmiştir.

2.2.3 Termoçiftler (Thermocouples)

Doğada bulunan tüm iletkenler ısıya maruz bırakıldıklarında yapılarında bulunan elektronlarda bir hareketlenme oluşur. Ancak bu hareketlenme farklı iletkenler arasında farklılık gösterir. İletkenlerin bu farklarından yararlanarak sıcaklık ölçümü yapılması termoçiftlerin çalışma prensibini açıklar. Bir termoçift, iki farklı metal elementin belirli oranlarda birleştirilmesiyle oluşturulan alaşımlardan üretilmektedir [18]. Termoçift, en geniş ölçüm aralığına sahip sıcaklık sensörüdür. -200 ile +2320 derece arası ölçüm yapmak mümkün olabilir. Çok hassas olmamaları dezavantajlarıdır. Otomotiv sektöründe özellikle dizel eksoz gazı sıcaklık ölçümünde kullanılırlar [17]. Şekil 6'da otomotiv uygulamalarında kullanılan örnek termoçift gösterilmiştir.



Şekil 6. Otomotiv uygulamalarında kullanılan örnek termoçift sensörü [24]

Termoçift sensörü teknolojisinde birleştirilecek olan metallerin değişmesi termoçift sensörünün, tipini değiştirmektedir. Farklı çeşitde metaller ile farklı tiplerde termoçiftler elde edilir. Termoçiftin tip numarasına göre, hassasiyet, ölçüm aralığı gibi parametreler değişmektedir. Tablo 2'de çeşitli metal alaşımlarından oluşan termoçift verileri gösterilmektedir.

Tablo 2. Termoçift alaşımı tipleri ve özellikleri [27]

Tip	1. metal	2. metal	20°C'de Hassasiyet (µV/°C)	Ölçüm Aralığı (°C)
E	Kromel (nikel 10% krom)	Konstantan (nikel 45% bakır)	58.7	−270 - 1000
G	Tungsten	Tungsten 26% renyum	19.7	0 - 2320
C	Tungsten 5% renyum	Tungsten 26% renyum	19.7	0 - 2320
D	Tungsten 3% renyum	Tungsten 26% renyum	19.7	0 - 2320
J	Demir	Konstantan (nikel 45% bakır)	50.4	−210 - 760
K	Kromel (nikel 10% krom)	Alumel (nikel 5% Aliminyum ve silikon)	39.4	−270 - 1372

N(AWG 14)	Nikrosil (84.3% Ni, 14% Cr, 1.4% Si, 0.1% Mg)	Nisil (95.5% Ni, 4.4% Si, 0.1% Mg)	39	−270 - 400
N(AWG 28)	Nikrosil (84.3% Ni, 14% Cr, 1.4% Si, 0.1% Mg)	Nisil (95.5% Ni, 4.4% Si, 0.1% Mg)	26.2	0 - 1300
B	Platin 6% Rodyum	Platin 30% Rodyum	1.2	0 - 1820
R	Platin 13% Rodyum	Platin	5.8	−50 - 1768
S	Platin 10% Rodyum	Platin	5.9	−50 - 1768
T	Bakır	Konstantan	38.7	−270 - 400

2.2.4 Silikon Integrated Circuit (IC) Sıcaklık Sensörleri

Bu sensörler -55 ile +150 derece sıcaklık aralığında; yüksek derecede güvenilirlik, doğruluk, iyi kararlılık, doğrusallık gibi önemli avantajlara sahiptir [25]. Otomotiv sektöründe çeşitli motor bölmelerinin sıcaklıklarını ölçmede kullanılır. Bu sensörler; sıcaklık algılayıcı birimi, analog dijital dönüştürücü, dijital arayüz devreleri, silikon IC işlemlerini kontrol etmek için oluşturulmuş register'lardan oluşur. Bu sensörün kalbi; Emiter-Beyz arası gerilimi sıcaklık düzeyine göre değişen bir transistördür. Bu transistör yapısında ortam sıcaklığına duyarlı termal diyot vardır. Termal diyot, üzerinden akan akımın sıcaklığa göre oransal olarak değişmesi prensibine dayanan yarı iletken teknolojiye sahiptir [26]. Bu sayede sıcaklık ölçümü gerçekleştirilir.

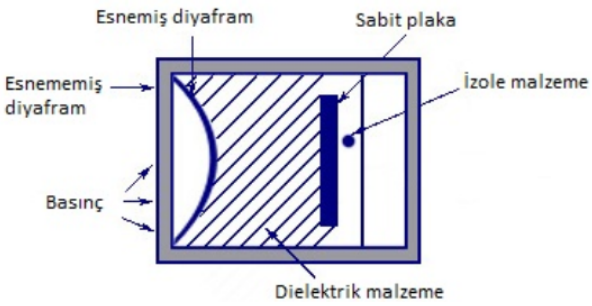
Sıcaklık sensörlerinin bazı kriterler açısından karşılaştırılması Tablo 3' de gösterilmiştir.

2.3 Basınç Sensörleri

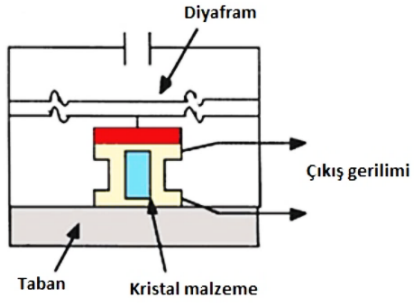
Basınç sensörleri otomotiv uygulamalarında; yakıt enjeksiyonu, hava emme sistemi ve eksoz manifoldu, benzin deposu, fren hidrolik sıvısı, klima kompresörü, şasi, adaptif süspansiyon, lastik basıncı ölçümü gibi yerlerde kullanılır. Ateşleme ve yakıt kontrol sistemi, basınç sensörlerinin hayati rol oynadığı sistemlerdir [17]. Basınç ölçme işlemi, rezistif, kapasitif, piezoelektrik ve strain gauge (Şekil Değişikliği - Gerilme) teknolojilerinden yararlanılarak gerçekleştirilir. Infineon, NXP, Robert Bosch, Continental, and Analog Devices gibi otomobil sektörü için basınç sensör üreticileri bulunmaktadır.

2.3.1 Kapasitif Basınç Sensörleri

Kapasitif basınç sensörlerinde; kapasitans değişimine göre oransal olarak basınç değeri elde edilir. Sensörün yapısında bulunan kapasitif özellikli diyafram, üzerine uygulanan basınç ile esneme hareketi yapar. Bir diğer kapasitif sabit plaka ise diyaframın alt tarafında yer alır. Diyafram esneme hareketi yaptığında iki kapasitif özellikli plaka arasındaki mesafe değişir. Değişen mesafeye bağlı olarak da kapasitans değişimi oluşmaktadır. Kapasitif basınç sensörü yapısı şematik olarak Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Kapasitif sensör



Şekil 8. Piezoelektrik basınç sensörü

Tablo 3. Sıcaklık sensörleri karşılaştırılması

Kriterler	Termoçift (E tipi)	RTD	Termistör	Silikon IC
Ölçüm aralığı (°C)	0 - 2320	-240 - 1000	-100 - 300	-55 - 150
Maliyet	Düşük	Yüksek	Az-Orta	Düşük
Süreklilik	Düşük	Yüksek	Orta	Yüksek
Sensör Boyutu	Orta	Küçük	Küçük	Çok küçük
Tepki Verme Hızı	Hızlı	Yavaş	Orta	Hızlı
Doğrusallık	Düşük	Orta	Orta	Yüksek
Doğruluk (°C)	>1	0.03	0.1	0.05

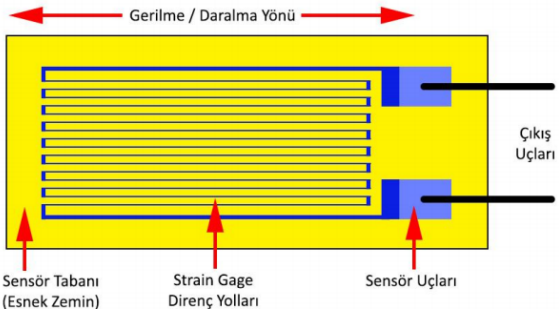
2.3.2 Piezoelektrik Basınç Sensörleri

Piezoelektrik etkisi [28], belirli maddelere uygulanan basınç veya kuvvet (mekanik güç) malzeme üzerinde düşük mertebelerde gerilim indüklenmesi olarak tanımlanabilir. Piezoelektrik basınç sensörleri dinamik ölçüm noktalarında daha çok tercih edilir. Çünkü hızlı basınç değişimlerini algılayabilecek yapıdadırlar. Yapılarında bulunan kristal türü malzemeye uygulanan basınç sonucu, basıncın miktarına doğru orantılı olarak gerilim indüklenir. Oluşan milivolt mertebesindeki gerilim gerekli dönüştürücü cihazlar kullanılarak basınç değerleri gerilime dönüştürülür. Başlıca piezoelektrik malzemeler; Zirkonyum-titanyum, Kuartz, Çinko Oksit, Turmalin Baryum Titanat (BaTiO3), Poli-Vinidilin-Klorür olarak geçmektedir [29]. Piezoelektrik basınç sensörleri otomotiv uygulamalarında motor parçalarındaki hataları ve küçük deformasyonları bulmak için kullanılır. Piezoelektrik basınç sensörü şematik gösterimi Şekil 8'de gösterilmiştir.

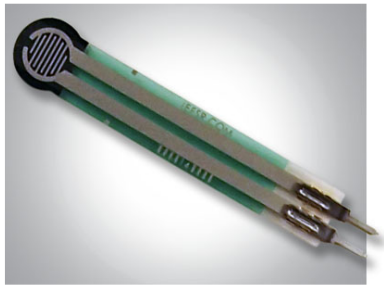
2.3.3 Gerinim Ölçer (Strain Gauge) Basınç Sensörleri

Bir gerinim ölçer bir cisim üzerindeki gerinimi ölçmek için kullanılır. Edward E. Simmons ve Arthur C. Ruge tarafından 1938'de icat edilen gerinim ölçer, en yaygın olarak, metalik bir folyo desenini destekleyen yalıtkan esnek bir yardımcı destekten oluşmaktadır. Gerinim ölçer kurulumunda strain gauge malzemesi ilgili nesneye siyanoakrilat gibi bir yapıştırıcı ile yapıştırılır. Nesneye basınç uygulandığında, folyo değişime uğrar ve elektrik direncinin

değişmesi meydana gelir. Bu direnç değişimine bağlı olarak uygulanan kuvvetin miktarı tespit edilecektir. Gerinim ölçer basınç sensörü şematik diyagramı Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Gerinim ölçer basınç sensörü



Şekil 10. Rezistif basınç sensörü [30]

Strain Gauge sensörler, otomobillerin çarpma testlerinde, aracın metal gövdesinin çarpışma anında içe doğru ne kadar bükületeceğinin tespit edilmesinde kullanılmaktadır.

2.3.4 Rezistif Basınç Sensörleri (FSR)

Rezistif basınç sensörleri, yüzeyine kuvvet uygulanmasına karşılık direnci öngörülebilir bir şekilde değişen iletken bir polimerden oluşmaktadır. Yapısında bulunan algılama filmi, elektriksel iletken ve iletken olmayan parçacıklardan oluşur. Algılama filminin yüzeyine bir kuvvet uygulanması, parçacıkların iletken elektrotlara dokunmasına ve filmin direncinin değişmesiyle sonuçlanır. Diğer direnç esaslı teknolojilere sahip sensörlerde olduğu gibi, basınç algılama sensörleri basit arayüz gerektirir ve normal şartlarda istikrarlı şekilde çalışabilir. Boyutlarının küçük olması (0,5 mm'den az) ve düşük maliyet oluşturması gibi avantajları bulunmaktadır. Dezavantajları düşük hassasiyetleridir, ölçüm sonuçları % 10 ve daha fazla farklılık gösterebilir Şekil 10'da rezistif basınç sensörünün fiziksel görünümü gösterilmiştir.

2.4 Hava Kütle Akış Sensörleri (Debimetre)

Yanma işlemi için motora girmesi gereken havanın hacmini ve yoğunluğunu ölçer. Motorun hava emiş hattı üzerinde konumlandırılırlar. Böylece ECU, motor performansını iyileştirmek için en ideal hava/yakıt karışımını hesaplar. Motora giren havanın kütlesine göre enjektörlere gönderilecek yakıt miktarı hesaplanarak enjektörlerin açılıp/kapanma zamanlaması ayarlanır. Hava girişi arttıkça enjektörlerin açık kalma süreleri de artacaktır. Bu hassas hesaplama sayesinde en ideal hava/yakıt karışımı ayarlanır ve motor performansı artar [11].

Bu sensörün çalışma prensibi şu şekildedir; Bir platin tel (sıcak tel) veya nikel folyo (sıcak film) olan ızgara algılama elemanı, gelen havanın kütlesini ölçmek için belli bir dereceye kadar ısıtılır. Hava kütle akışı, sıcak film üzerinden aktarılan sıcaklığın belirlenmesi ile tespit edilir. Akan hava kütlesindeki değişimler sıcak filmin sıcaklığının değişmesine ve dolayısıyla direncinin değişmesine neden olur. Bu değişen direnç direnç gerilim bölücüler ile gerilime dönüştürülerek ECU' ya gönderilir ve sonuç olarak havanın akış kütlesine göre, yakıt oranı belirlenir. Film direncinin soğuması, motora giren havanın sıcaklığı, yoğunluğu ve nemi, ısıtılması; havanın kütlesi ile doğru orantılıdır. Motor devri arttıkça içeri alınan havanın miktarı da artar. Değişen parametreler sonucu, motora giren havanın kütlesi sürekli olarak hesaplanır [17, 18]. Şekil 11'de otomotiv uygulamalarında kullanılan hava kütle akış sensörü fiziksel görünümü gösterilmiştir.

Bosch, Continental, Delphi, Sensata Technologies, DENSO, Hitachi gibi otomotiv sektörü için hava kütle akış sensörü üreticileri bulunmaktadır.



Şekil 11. Hava kütle akışı sensörü görünümü [31]



Şekil 12. Jiroskop görüntüsü [32]

2.5 Atalet (inertial) Sensörleri

Güvenlikli araç sistemlerinde, araçtaki yolcuları tehlikeye atabilecek araç hareketlenmeleri algılanarak engellenmelidir. Atalet sensörleri, otomobillerin hareket durumuna göre çıktılar vererek fiziksel açıdan yapılamaz hareketleri önleyerek güvenlik ve şasi kontrol sistemlerinde çok önemli rol oynamaktadır. Otomotiv uygulamalarında MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) teknolojisi ile oluşturulmuş jiroskoplar ve ivmeölçerler birlikte kullanılarak atalet sensör sistemi oluşturulur. Otomotiv uygulamalarında kullanılan MEMS teknolojisi ile oluşturulmuş jiroskop örnek görüntüsü Şekil 12'de gösterilmiştir.

Jiroskoplar algılama teknikleri olarak; kapasitif, endüktif ve piezoelektrik etkileri kullanır. Jiroskoplar araçların sabit momentum ile ilerlemesini sağlarlar.

Otomotiv uygulamaları için; Silicon Sensing, Systron Donner, Robert Bosch, Panasonic ve Analog devices gibi şirketler jiroskop üretmektedirler [11].

İvmeölçer ise aracın üzerindeki coriolis etkisini [10] ölçer. Coriolis etkisi aracın hızına, kütlesine ve açısal oranına göre değişecektir. İvmeölçer ile coriolis etkisi ölçülerek bu etki sonucu araç üzerinde oluşabilecek zararlar önlenir. İvmeölçer üreticileri arasında Honeywell, KVH, Crossbow, Gladiator ve Xsens şirketleri bulunmaktadır [33].

2.7 Konum ve Hız Sensörleri

Konum Sensörleri; şanzıman vites konumu ölçümü, motor gaz kelebeği açı ölçümü, direksiyon açı ölçümü, yakıt ve diğer sıvıların seviye ölçümü, fren pedalı konum ölçümü, koltuk konum ölçümü, motor pozisyon ölçümü, vites seçici konum ölçümü, değişken valf konumu ölçümü, debriyaj pozisyonu tespiti gibi işlemleri gerçekleştirmek için otomotiv uygulamalarında kullanılmaktadır.

Konum sensörleri farklı teknolojilere dayanabilmektedir. Rezistif tabanlı veya potansiyometrik, optik, hall effect tabanlı manyetik, kapasitif, endüktif teknolojilere dayanan konum sensörleri bulunmaktadır. Ayrıca hassasiyeti gayet yüksek olan anisotropic magneto rezistive (AMR) ve Giant magneto rezistive (GMR) sensörleri gibi konum sensörleri de bulunmaktadır.

Potansiyometrik konum sensörü; en ucuz konum sensörüdür, fakat temaslı çalışması en büyük dezavantajıdır. Hall effect sensör ise ucuzdur, manyetik alan yoğunluğuna göre on veya off çıktısı (0-1) verir. Motorun konumu hakkında ayrıntılı bilgi vermez. AMR sensör; üzerine uygulanan manyetik alan yoğunluğuna göre direnci değişen bir sensördür. GMR sensör; AMR sensör ile benzer mantıkta çalışır fakat çok daha hassastır. Optik konum sensörü ise esas olarak iki farklı prensibe dayanarak gerçekleştirilebilir. İlk tipte; bir uçtan iletilen optik sinyal diğer uçtan alınır ve ışığın yoğunluğu, polarizasyon veya ışığın dalga boyu/frekansı gibi özelliklerden birinde değişiklik olup olmadığı tespit edilir. İkinci tipte ise; optik kaynaktan nesneye gönderilen ve nesneden yansıyan ve sonuç olarak optik kaynağa geri dönen ışık, yoğunluk, polarizasyon ve dalga boyu/frekans gibi ışık sinyali özelliklerindeki değişimler izlenerek konum belirlenir. Optik konum sensörü, direksiyon açısı tespit işlemi için otomotiv uygulamalarında kullanılmaktadır. Micronas GmbH, HELLA KGaA Hueck & Co, Contelec AG, Bourns, Inc., Bourns Sensors GmbH gibi şirketler konum sensörleri üreten şirketlerden bazılarıdır.

Hız sensörleri; eksantrik mili, motor krank mili ve tekerlek hızını ölçmek için otomotiv uygulamalarında kullanım alanı bulmaktadır. Hız sensörü verileri, araç fren, denge sistemleri, ve çekiş kontrol sistemlerine giriş sinyalleri sağlamak için kullanılması hız sensörlerinin kullanılmasının en önemli sebeplerindendir. GMR sensörü hız ölçmede çok yüksek hassasiyete sahiptir. Robert Bosch GmbH, Delco Electronics Corporation, Microelectronics and Microsystems gibi şirketler hız sensörleri üreticileri arasında geçmektedir.

2.8 Akışkanlık (Viskozite) Sensörleri

Motor yağı özelliklerinin ölçümü, araç performansını iyileştireceğinden, otomotiv endüstrisinde viskozite sensörleri öne çıkmaktadır. Viskozite sensörleri piezoelektrik teknolojisine dayanmaktadır [28]. Akışkanlık sensöründe esneyen sarkaç yapısı kullanılır. Sensör esneme yayı vasıtasıyla taban plakasına bağlanmıştır. Baş kısmındaki piezo elemanı sarkacı burulma rezonansı frekansında harekete geçirirken diğer piezo elemanı da sarkacın baş kısmının hareketini algılamak için kullanılmaktadır. Düşük viskoziteli akışkanların rezonans frekansı 1600 Hz civarındadır. Yüksek viskoziteli akışkanlar için sarkacın kafa kısmının hareketi sıvı tarafından bastırılarak rezonans frekansı daha düşük bir frekansa doğru azalır ve rezonans dalga boyu ise artar, böylelikle akışkanlık ölçülmüş olur [34]. Otomotiv uygulamalarında kullanılan örnek akışkanlık sensörü Şekil 13'de gösterilmiştir. FUTEK Advanced Sensor Technology, Inc, S. Himmelstein and Company, Waycon Positionsmesstechnik GmbH, ViscoTec Pumpen- u. Dosiertechnik GmbH, gibi otomotiv sektörü için akışkanlık sensörü üreten firmalar bulunmaktadır.



Şekil 13. Akışkanlık sensörü [35]

2.9 Vuruntu Sensörü

Motorun çalışması bahsedildiği gibi uygun hava/yakıt karışımının elde edilmesi ile patlamalar ve yanma işlemi sonucu gerçekleşiyor. Yakıtın zamansız bir şekilde, belirlenmiş zamanından önce patlamasına vuruntu denilmektedir. Bu zamansız patlama, motora en çok zarar veren olaylardan biridir. Bu olayın gerçekleştiği zamanlarda motor üzerinde yüksek frekanslı sesler oluşmaktadır. Vuruntu sensörü, piezo kristallerin titreşimi sonucu olarak sürekli gerilim üretir. Motorun çalışması ile vuruntu sensörü motoru sürekli dinler ve çıktıları ECU'ya gönderir. ECU bu verileri değerlendirerek uyarı verir. Otomotiv uygulamalarında kullanılan örnek vuruntu sensörü görüntüsü Şekil 14'de gösterilmiştir.



Şekil 14. Vuruntu sensörü [36]



Şekil 15. Ön cama monte edilmiş yağmur sensörü [37]

2.10 Su (Yağmur) Sensörleri

Optik sensörler bu alanda kullanılan sensör tiplerinden biridir. Optik yağmur sensörü çalışma mantığında kızıl ötesi ışınlar çevreye gönderilir. Ayrıca gelen ışınları algılayan bir foto diyot vardır. Yağmur yağdığında yağmur damlacıklarına çarpan ışınlar foto diyoda geri yansıyarak diyodu iletime geçirecektir. Yağmur yağmadığında ise foto diyoda yansıyan ışın olamayacağından diyot iletime geçmeyecektir. Yağmur sensörü teknolojisinde ikinci bir teknik de rezistiv yağmur sensörleridir. Bu sensör tipinde, yağmur miktarının artmasına göre oransal olarak sensör aktif bölgesinin direnci değişmektedir. Dolayısıyla direncin değişme oranına göre yağmur hızı belirlenerek sileceklerin hızı ayarlanır. Yağmur sensörü teknolojisinde bir diğer teknik de yağmurun yağmasına göre cam sıcaklığının değişmesidir. Bu değişim algılanarak ECU'ya bildirilir. Araç sileceklerinin hızı da bu değişim oranına göre ayarlanır. Araç üzerine monte edilmiş örnek yağmur sensörü Şekil 15'de gösterilmektedir.

2.11 Duman (Yangın) Sensörleri

Otomobil üreticileri yangın yaralanmalarını önlemek için sürekli olarak üretim tekniklerini ve hizmetlerini tanımlamakta ve geliştirmektedir. Bununla birlikte, yakıt verimliliği, üretim maliyetlerinin düşürülmesi, konfor, güvenlik ve estetiğe kadar çeşitli nedenlerden ötürü, motorlu taşıtlar üzerinde yangın çıkma riski gittikçe artmıştır [39]. Genel olarak yangın algılama işlemi duman sensörleri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Duman sensörleri, optik ve iyonize olmak üzere iki prensibe dayalı olarak gerçekleştirilebilmektedir.

2.11.1 Optik Duman Sensörleri

Optik duman dedektörünün çalışması ışın yayma ve geri yansıma prensibine dayanmaktadır. Normal durumda, infrared LED kızılötesi ışık demetleri yayar. Optik bölmede, kızıl ötesi ışınların fotodiyoda ulaşmasını önleyen bir bariyer vardır. Ortamda duman mevcut değilken bu ışınlar duman sensörüne ulaşamayacaktır. Yangın durumunda ise, duman gazları havada bir tabaka oluşturacağından, infrared LED'den gelen kızıl ötesi ışınlar bu tabakadan yansıyarak fotodiyot üzerine kırılır ve dağılır. Bu ışınlar fotodiyodu tetikleyerek, optik duman dedektörü yangın alarm kontrol paneline yangın alarm sinyali gönderir ve alarm aktif hale gelir [40].

2.11.2 İyonize Duman Sensörü

İyonize tipi duman sensörleri, iki adet elektrik yüklü plaka arasında havayı iyonize eden ve plakalar arasında akım akmasına neden olan az miktarda radyoaktif maddeyi içinde barındıran sensörlerdir. Ortamda duman oluştuğunda, duman gazının ortama difüzyonu sonucu havadaki iyonların akışı bozulacağından akım akışı azalır ve böylece duman algılanır [41].

2.12 Işık Sensörleri

Işık sensörleri otomotiv uygulamalarında çevre aydınlanmasının algılanarak otomatik far aydınlatması ve araç içi aydınlatmanın sağlanmasında kullanılmaktadır. Optik ve rezistif ışık sensörleri bulunmaktadır. Optik sensörler, üzerine düşen ışık şiddetine göre oransal olarak gerilim üreten ışık sensörleridir. Bu sensörler piyasada foto diyot olarak bilinir. Rezistif ışık sensörleri ise üzerine düşen ışık şiddetine göre oransal olarak direnci değişen sensörlerdir. Bu sensörler piyasada foto direnç olarak isimlendirilmektedir [42].

2.13 Yaklaşım/Park Sensörleri

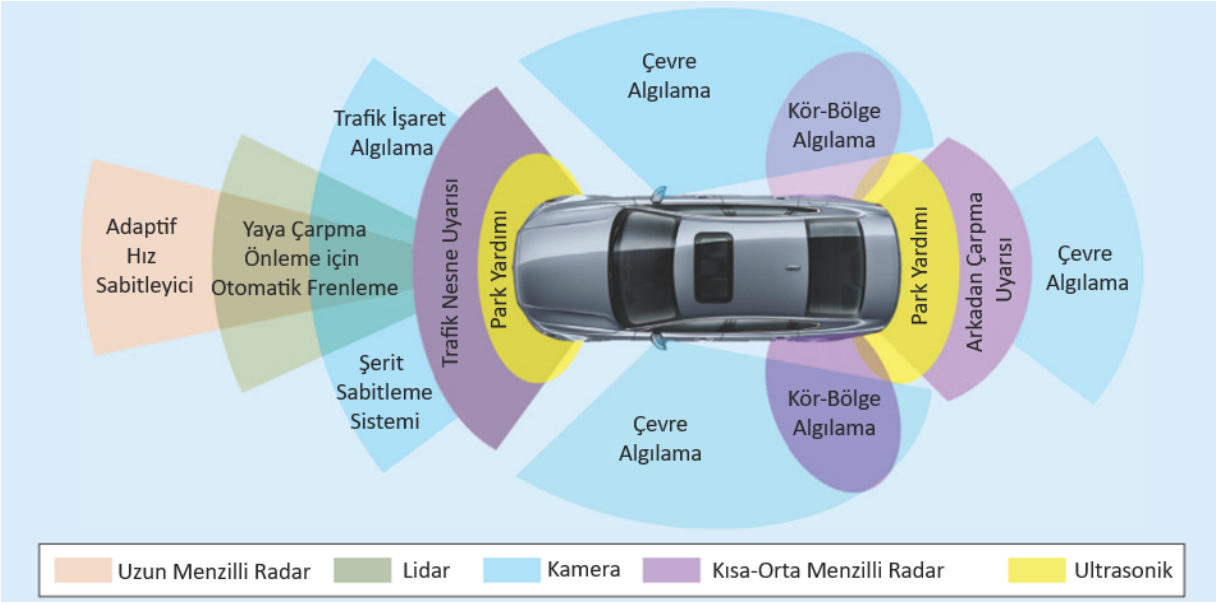
Yaklaşım/Park sensörleri ultrasonik ses dalgalarını kullanarak ölçüm yaparlar. Gönderilen ses dalgalarının nesneye çarparak geri dönmesine kadar geçen süreye bakılarak mesafe algılama işlemi gerçekleştirilir. Bu sensörler temassız sensörlerdir. Algılanan nesne ile herhangi bir temas olmadan mesafe ölçümleri yapılabilmektedir. Otomotiv uygulamalarında aracın ön ve arkasında kullanılarak park asistanlığı işlemi için kullanılmaktadır [43].

Otomotiv sektöründe geleneksel sensör sistemlerinin, konfor ve güvenlik gibi kriterler açısından büyük bir önemi vardır. Ancak teknolojinin gelişmesiyle ortaya çıkan yarı otonom, otonom, otomatik araçlar ve müşteri beklentilerinin giderek artması yeni nesil otomotiv sensör sistemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır.

3. Yeni Nesil Otomotiv Sensörleri

Yeni nesil otomotiv sensörleri, otomotiv sektöründe otonom araç teknolojisine geçmede büyük önem taşımaktadır. Bu teknolojiler geliştikçe trafikte tam otonom araçların ortaya çıkması sağlanabilecektir. Yeni nesil otomotiv sensörleri, LIDAR, RADAR, kamera gibi sensör

sistemlerinden oluşur. Şekil 16 yeni nesil otomotiv sensörlerinin görevlerini özetleyen bir görüntü olarak sunulmuştur.



Şekil 16. Yeni Nesil Otomotiv Sensör Sistemleri Görevleri [44]

3.1 RADAR (Radio Detection and Ranging) sensörü

RADAR, elektromanyetik dalgaları kullanarak, nesnenin ve aracın karşılıklı hızını tahmin edebilen sistemdir. RADAR sensörleri, ölçüm sırasında geri gönderilinceye kadar beklediği bir sinyali gönderir. Geri gelen sinyalin frekansı gönderilen sinyalin frekansına göre, karşılıklı hareketin biraz değişmesi durumunda değişmiş gibi algılanacaktır (Doppler etkisi) [45]. Bu nedenle öndeki aracın hızını anında hesaplamak mümkündür. RADAR, LIDAR teknolojisi ile karşılaştırıldığında, daha büyük bir dalga boyu ve daha düşük sinyal enerjisi kullanır. Ancak taranan alanın şeklini tanımlayamaz. Metal olmayan cisimler veya belirli bir şekle sahip nesneleri tespit etmede RADAR sensörleri sorunlu çalışabilmektedir [46].

RADAR sistemi, uzun menzilli ve kısa-orta menzilli olarak kullanılmaktadır. Adaptif hız sabitleme işlemi uzun menzilli RADAR sisteminin görevidir. RADAR sistemleri yaklaşan araçların hızlarının tespiti, adaptif sürüş kontrolü, otonom park etme, kör bölge algılama, engel tespiti, şerit değiştirme yardımı, çapraz trafik uyarısı gibi çok önemli işlevlerinden dolayı otomotiv uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır [47].

3.2 LIDAR (Light detection and Ranging) sensörleri

Bu teknoloji kaynak tarafından gönderilen ışık sinyallerinin geri dönüş zamanlarını hesaplayarak konumlandırma yapan sistemlerdir. Bu konumlandırma bilgilerini milyonlarca noktadan oluşan nokta bulutları haline dönüştürür. Böylelikle araç çevresindeki nesneler algılanmış olur [48].

Otomotiv endüstrisi, otonom araçları ve gelişmiş sürücü destekli teknolojileri beklemektedir. Otomotiv şirketleri, yeni ve uygun fiyatlı sensörler kullanarak Gelişmiş Sürücü Destek Sistemlerinde (ADAS) yenilikçi teknolojiler geliştirmektedir. Kapsayıcı araç

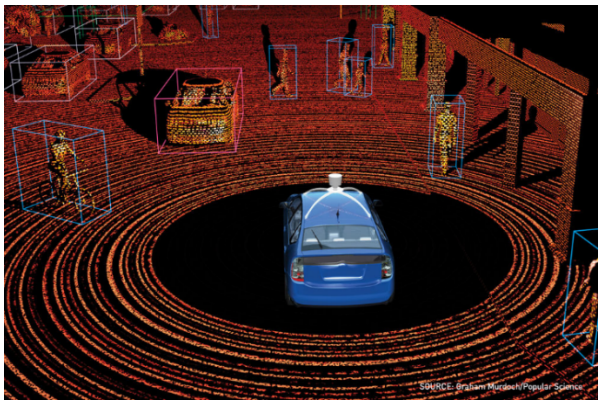
güvenliği çözümleri için ADAS sistemleri, kamera ve RADAR tabanlı sistemler yetersiz kalmaktadır. Gelişmiş sürücü yardımı için son derece hassas veriler sağlayabilen daha verimli sistemlere ihtiyaç vardır [49].

Kamera ve RADAR tabanlı sensörler araçlara yüksek düzeyde otomasyon sunarken, LIDAR tabanlı sensörler olmadan tam otomatik araç konsepti mümkün görülmemektedir. LIDAR sensörleri bulunan araçlar, tüm sürüş modlarında tam otomasyon sunar. LIDAR tabanlı Sürücü Destek Sistemleri, görüntü ve RADAR tabanlı sensörler ile birlikte, araç üzerinde tam kontrol sağlanarak hız ve direksiyon kontrolü gerçekleştirilir ve böylece oldukça güvenli tam otomatik bir sürüş deneyimi sağlanır [50]. LIDAR teknolojisinin algılama yeteneğini gösteren figür Şekil 18'de gösterilmiştir.

3.3 Kamera

Kamera sistemleri RADAR ve LIDAR sistemleri ile birlikte otonom araçların gerçekleştirilebilmesinde önemli rol oynamaktadır. Kamera sistemleri çevreden topladığı görüntüleri ECU'ya ileterek değerlendirilmesini sağlar [52]. Modern otomotiv uygulamalarında, kör bölge yardım sistemi, nesne tespit sistemi, yaya tespiti, şerit izleme, trafik lambası tanıma ve otomatik acil durum tespiti gibi konularda etkinliklerinden dolayı kamera sistemlerinin kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir [53].

Otomotiv uygulamaları için tasarlanan kamera sistemlerinin zorlu şartlara uyum sağlayabilecek sağlam ve güvenilir kameralar olması gerekmektedir. Nem, kir, titreşim, aşırı sıcak ve soğuk gibi şartların göz önünde bulundurulması zorunluluktur [54].



Şekil 18. LIDAR algılama teknolojisi örnek resim [51]

4. Sonuç

Otomotiv endüstrisinde sensörlerin kullanılmasını gerektiren en önemli faktörler; güvenlik, konfor ve sürdürülebilirlik gibi kriterlerdir. Çünkü sensörler, güç aktarma sistemleri, şasi sistemleri, güvenlik ve konfor gibi sistemlerde çok önemli görevler üstlenmektedirler. Bu çalışmada, araçlarda sıcaklık, basınç, gaz, atalet, hava kütle akış, konum ve hız, viskozite ölçümü için kullanılan otomotiv sensörleri incelenmiştir. Ayrıca LIDAR, RADAR, kamera gibi yeni nesil sensör sistemleri hakkında bilgiler sunulmuştur. Yeni nesil sensörlerin kullanılması yüksek düzeyde sürücü destek sistemlerinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Ayrıca tam otonom araçların üretilmesi konussunda yeni nesil sensörler çok büyük önem

taşımaktadır. Bu çalışmada sonuç olarak, otomotiv dünyasında konfor, güvenlik ve maliyet gibi kriterler açısından beklentilerin artması ve otonom araçların ortaya çıkması gibi nedenlerden dolayı otomotiv sensörleri teknolojilerinin daha da geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

5. Kaynaklar

[1] Fay, J.C.C., Lee, A., Liang, L.C. ve Neo, R., (2003). Material characterization of fluorosilicone gels for automotive application. IEEE Trans. Electron. Packag. Manuf. 26, 200–204.

[2] https://www.spglobal.com/ratings/en/research/articles/210511-global-auto-sales-forecasts-the-recovery-gears-up-11952032#:~:text=Related%20Research-,Key%20Takeaways,from%2077%20million%20in%202020, Global Auto Sales Forecasts: The Recovery Gears Up, Date of Access: 06.06.2021.

[3] Müller-Fiedler, R. ve Knoblauch, V., (2003). Reliability aspects of microsensors and micromechatronic actuators for automotive applications. Microelectron. Reliability, 43 1085–1097.

[4] Hammerschmidt, D., Katzmaier, E., Tatschi, D., Granig, W., Zimmer J., Vogelgesang, B. ve Rettig, R., (2005). Giant magneto resistors-sensor technology and automotive applications. SAE Technical Papers, 24–39.

[5] Boverie, S., (2002). A new class of intelligent sensors for the inner space monitoring of the vehicle of the future. Control Engineering Practice, 10, 1169–1178.

[6] Ergen, S.C., Sangiovanni-Vincentelli, A., Sun, X., Tebano, R., Alalusi, S., Audisio, G., Sabatani, M., (2009). The tire as an intelligent sensor. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 28 941–955.

[7] Albesa, J. ve Gasulla, M., (2012). Monitoring switch-type sensors via inductive coupling: application to occupancy and belt detection in removable vehicle seats. IEEE Transactions on Power Electronics, 27, 4472–4480.

[8] Velupillai, S. ve Guvenc, L., (2009). Laser scanners for driver-assistance systems in intelligent vehicles [applications of control]. IEEE Control Systems, 29, 17–19.

[9] Primiceri, P., De Fazio, R., Strafella, L., Carlucci, A. P.ve Visconti, P., (2017). Photo-induced ignition phenomenon of Carbon nanotubes by Xenon pulsed light: Ignition tests analysis, automotive and new potential applications, future developments. Journal of Applied Research and Technology, 15 609–623.

[10] J. Fleming, W., (2008). New Automotive Sensors—A Review. IEEE Sensors Journal, 8(11), 1900-1921.

[11] Mohankumar, P., Ajayan, J., Yasodharan, R., Devendran, P. ve Sambasivam, R., (2019). A review of micromachined sensors for automotive applications., Measurement, 140, 305–322.

[12] Traub, M., Maier, A. ve Barbehon, K., (2017). Future Automotive Architecture and the Impact of IT Trends. IEEE Software. 34. 27-32.

[13] Tille, T., (2010). Automotive requirements for sensors using air quality gas sensors as an example. Procedia Engineering, 5, 5–8.

[14] https://www.visiongain.com/report/top-20-automotive-sensor-companies-2018/, Top 20 Automotive Sensor Companies 2018, Date of Access: 19.04.2020.

[15] AEC Q-100, rev. F, Temmuz 18, 2003.

[16] Ohletz, M. ve Schulze, F., (2009). Design, qualification and production of integrated sensor interface circuits for high-quality automotive applications. Microelectronics Journal, 40. 1350-1357.

[17] Igarashi, I., (1986). New technology of sensors for automotive applications. Sensors and Actuators, 10, 181-193.

[18] J. Fleming, W., (2001). Overview of Automotive Sensors., IEEE Sensors Journal, 4

[19] https://www.electronicdesign.com/markets/automotive/article/21807918/build-in-automotive-insurance-with-supervisor-and-watchdog-policies, Build in Automotive Insurance with Supervisor and Watchdog Policies, Date of Access: 27.04.2020.

[20] https://www.my-cardictionary.com/exhaust-system/wideband-sensor.html, Wideband sensor, Date of Access: 26.04.2020.

[21] Tille, T,. (2010). Automotive Requirements for Sensors using Air Quality Gas Sensors as an Example. Procedia Engineering, 5. 5-8.

[22] https://www.homedepot.com/p/Engine-Coolant-Temperature-Sensor-TX89/307866028, Engine Coolant Temperature Sensor, Date of Access: 17.05.2020.

[23] https://www.ecefast.co.nz/product/temperature-sensor/, Temperature sensor large head, TS-12/14, Date of Access: 26.04.2020.

[24] https://www.hotset.com/es/componentes/hotcontrol-termopares-rtds/hotcontrol-automotive-temperature-sensors/, hotcontrol Automotive Thermocouples – RTDs, Date of Access: 26.04.2020.

[25] Reverter, F. ve Altet, J., (2013). MOSFET temperature sensors for on-chip thermal testing. Sensors and Actuators A: Physical. 203. 234-240.

[26] Mansoor, M., Haneef, I., Akhtar, S., De Luca, A. ve Udrea, F., (2015). Silicon diode temperature sensors - A review of applications. Sensors and Actuators A Physical, 232, 63-74.

[27] C. Hagart-Alexander., (2010). Instrumentation Reference Book. 4. Baskı.

[28] Mishra, R., Jain, S. ve Prasad, C., (2015). A review on piezoelectric material as a source of generating electricity and its possibility to fabricate devices for daily uses of army personnel. International Journal of Systems, Control and Communications, 6, 212.

[29] Rajabi, A., Jaffe, M. ve Arinzeh, T., (2015). Piezoelectric materials for tissue regeneration: A review. Acta Biomaterialia, 24, 12–23.

[30] https://www.interlinkelectronics.com/fsr-x-400, The New Standard in Force Sensing, Date of Access: 26.04.2020.

[31] http://www.opasauto.com/en/air-flow-meters-maf-sensors/35125-air-flow-meter-maf-sensor, 35125 Air Flow Meter (MAF Sensor), Date of Access: 14.04.2020.

[32] https://www.siliconsensing.com/technology/mems-gyroscopes/, MEMS Gyroscopes, Date of Access: 18.04.2020.

[33] Ahmed, H., Tahir M., (2017). Accurate attitude estimation of a moving land vehicle using low-cost MEMS IMU sensors. IEEE Transportation on Intelligent. Transportation Systems, 18, 1723–1739.

[34] Gautschi, G., (2002). Piezoelectric Sensorics, Springer.

[35] https://rheonics.com/, SOLUTIONS, Date of Access: 26.04.2020.

[36] https://www.boschautoparts.com/en/auto/engine-position-sensors/knock-sensors, Knock Sensors, Date of Access: 14.04.2020.

[37] https://autoglassexpress.com/windshield-rain-sensor/, How Does a Windshield Rain Sensor Work?, Date of Access: 26.04.2020.

[38] Gabriel, G., (2018). Driver Alcohol Detection System Based on Virtual Instrumentation. IFAC PapersOnLine, 51(6), 502–507.

[39] Robert, S., Kwame O. A., Abdul R. O., Koudjo K., Godfrey A. M. ve Joseph N., (2019). A Fire-Detection and Control System in Automobiles: Implementing a Design That Uses Fuzzy Logic to Anticipate and Respond. IEEE Industry Applications Magazine, 25(2), 57-67.

[40] Wolfgang K., Robert T., Ingolf W., Helmut E., Ve Nora, W. (2012), Early forest fire detection and verification using optical smoke, gas and microwave sensors. Procedia Engineering, 45, 584-594.

[41] Mokhtari, Z., Holle, S., Lewiner, J. (2015). Temperature and humidity behaviour of a corona based smoke sensor. Journal of Electrostatics, 76, 62-66.

[42] Kumar, D., Virdi, S. G., Singh, G., Channi, H. K. Ve Singh, L., (2017). Designing and Modeling of Arduino Based Light Sensor, IJSART, 3(11), 110-114.

[43] Bystrov, A., Hoare, E., Tran, T. Y., Clarke, N., Gashinov, M. ve Cherniakov, M., (2016). Road Surface Classification Using Automotive Ultrasonic Sensor. Procedia Engineering, 168, 19-22.

[44] Tunnell, J., Asher, Z., Pasricha, S., ve Bradley, T., (2018). Toward Improving Vehicle Fuel Economy with ADAS. SAE Int. J. of CAV, 1(2): 81–92.

[45] Doviak, R. J. ve Zrnić, D. S., 1993. Doppler RADAR and Weather Observations (Second Edition). 30-63.

[46] Gerstmair, M., Melzer, A., Onic, A. ve Huemer, M., (2019), On the Safe Road Toward Autonomous Driving Phase noise monitoring in RADAR sensors for functional safety compliance, IEEE Signal Processing Magazine, 36(5), 60–70.

[47] J, Ondruša, E, Kollab., P, Vertab ve Ž, Šarić., (2020), How Do Autonomous Cars Work?, Transportation Research Procedia 44, 226–233.

[48] Kim, T. H. ve Park, T. H., (2019). Placement Optimization of Multiple LIDAR Sensors for Autonomous Vehicles. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 1-7.

[49] http://www.ti.com/lit/wp/slyy150/slyy150.pdf, An Introduction to Automotive LIDAR, Date of Access: 12.04.2020.

[50] https://www.einfochips.com/blog/how-LIDAR-based-adas-work-for-autonomous-vehicles/, How LIDAR Based ADAS Works for Autonomous Vehicles, Date of Access: 11.04.2020.

[51] https://clearpathrobotics.com/blog/2017/01/3d-LIDAR-true-3d-sensing-spinning-2d-alternatives/, 3D LIDAR: TRUE 3D SENSING AND SPINNING 2D ALTERNATIVES, Date of Access: 12.04.2020.

[52] Hsiang, H., Chen, C. K., Li, Y. P. ve Chen Y. Y., (2020). Analysis of the Effect of Automotive Ethernet Camera Image Quality on Object Detection Models, International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication, 21-26.

[53] Dabral, S., Kamath, S., Appia, V., Mody, M., Zhang, B. ve Batur, U., (2014). Trends in camera based Automotive Driver Assistance Systems (ADAS), IEEE 57th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), 1110-1115.

[54] https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=14235, Camera Technology in Automotive Applications, Date of Access:10.05.2020.

In-Vehicle Network for Conventional and Next-Generation Vehicles

Hüseyin KURT[1], Habib KAYMAZ[2]

[1]İstanbul Aydın University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, İstanbul, Türkiye

[2]Mercedes Benz Türk A.Ş., Bus Development, Esenyurt, İstanbul, Türkiye

[1]huseyinkurt1@aydin.edu.tr, [2]habib.kaymaz@daimler.com
0000-0002-6502-5714, 0000-0002-8338-004X

Abstract

In recent years, there have been many developments and changes in vehicle technologies that transform vehicles from non-automated vehicles to fully autonomous vehicles. The main structure of this transformation is Electronic Control Unit (ECU) that controls the devices in the vehicle. Each ECU controls the dedicated system. Nevertheless, an ECU may need information from another ECU. Therefore, various protocols have been developed for the communication among ECUs. Some of these protocols have been developed to support other protocols, while some protocols have been developed as an alternative. Also, new protocols are developed according to the increasing need in vehicle communication network. In this study, control systems and communication protocols in vehicle are considered. In section2, structure of an ECU is mentioned and ECUs in vehicle are reviewed. In section 3, low layer communication protocols commonly used in vehicle such as Local Interconnect Network (LIN), Controller Area Network (CAN), CAN FD, FlexRay, MOST and Ethernet and high layer communication protocols links between inside and outside of a vehicle such as On-Board Diagnostic II (OBD2) and SAE J1939 are considered in detail. In addition, low layers communication protocols were compared with each other in this section.

Keywords: In-Vehicle Network; LIN Bus; CAN Bus; FlexRay; MOST; Ethernet

1. Introduction

Evolution of the technical communication is very important for future of vehicle. There is a strong relationship between technological developments of communication and improvement of vehicle. Because link cost why using wire and communication speed of module limits to improvement vehicle technology. Wire system comes after chassis and engine in terms of cost and weight (Pretz 2014). Digital transmission is robustness than the traditional point-to-point analogue wires (Anderson, 2008).

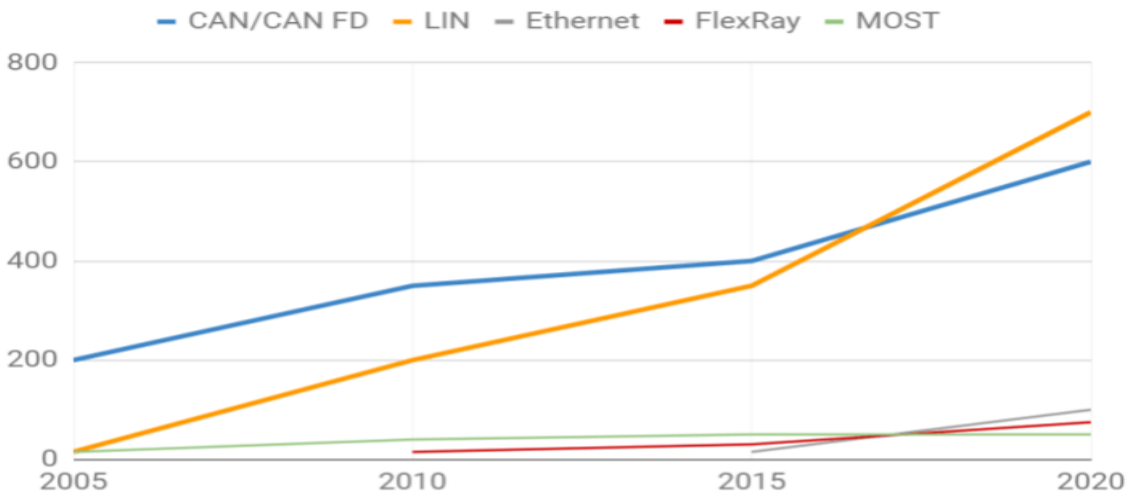


Figure 1. Node in Automotive (Automotives by Technology, 2020).

Because of In-Vehicle Network (IVN) development, link cost decreases a lot and communication speed are increasing continuously. Society of Automotive Engineers (SAE) foresees six level for evolution of vehicle to fully automation. In no automation vehicle, switches controlled mechanically actuators. But when vehicles are becoming automatic, modules known as Electronic Control Units (ECUs) are developed. These units process data which detected from sensors and transmit results to actuators (Guo et al, 2020). ECUs are between switch and actuators and link to them via wire electrically. The number of ECUs is increasing continuously according to increasing of technological innovation. Currently, vehicles, even not fully automatic, have nearly 70 ECUs (Kimm and Ham, 2010). But same information uses different ECUs. So, there is a lot of connection with wire. This situation causes more weight for vehicles. IVN was developed for avoiding the problem. IVN is a real-time distributed system consisting of multiple subsystems, each of which employs different communication protocols (Grimm, 2003). As using same bus for all ECUs, all of them can aware all data. For communication ECUs each other, communication protocols are developed. Most used protocol known as low-layer protocol in vehicle are LIN, CAN, CAN FD, FlexRay, Ethernet, MOST. LIN was developed as a low-cost protocol and complement of other buses like door, controlling seats, air-conditioning, lights (Elmenreich and Krywult, 2005). CAN is a field bus with good fault tolerance. CAN is used in a wide range of application areas like powertrain, body control systems of vehicle (Johansson and Martin, 2005). CAN has 8 bytes data frame. But the frame is not enough because of increasing ECUs in vehicle. So, CAN FD (CAN Flexible Data) is developed for large data transmission. CAN FD has 64 bytes data frame. FlexRay was developed as a high-speed, flexible and reliable communication protocol for IVN systems. FlexRay is used for real-time responsiveness, security and reliability (Park and Sunwoo, 2011). Ethernet is a flexible, highly scalable and open standard network technology (Liu et al, 2019). MOST was developed to meet requirements of multimedia systems in vehicle. MOST is used for navigation, televisions and other infotainment systems (Wolf et al, 2004). As shown in figure 1, the number of nodes of IVN are seeing a rise continuously.

Bus line in vehicle, a lot of data flows. But these data are unknown for outside of vehicle. For this reason, high-layer protocols are developed for all necessary data to monitor, control and diagnose. These protocols are OBD2, SAE J1939, etc. These protocols have shorter structure than low-layer protocols. On-Board Diagnostic II (OBD2) is a standard in cars which can discover and diagnose problems occurred in system and subsystem of car via ECUs (Sawant

and Mane, 2018). SAE J1939 standard interact with heavy duty vehicle like trucks and buses parts in communication and diagnosis (Prasad et al, 2019).

In this study, the most common used ECUs in vehicle are considered. High and low layer protocol structures are mentioned and compared each other.

2. Electronic Control Units (ECUs)

Automotive electronic systems are distributed systems that different part of vehicle like Engine, Transmission, Chassis, and Infotainment Control Unit etc. ECU is a controller in vehicle. It consists of embedded system that control one or more of the electrical system or subsystems in vehicle. It has inputs and outputs. Inputs are data from sensors placed at various parts and different components of the vehicle.

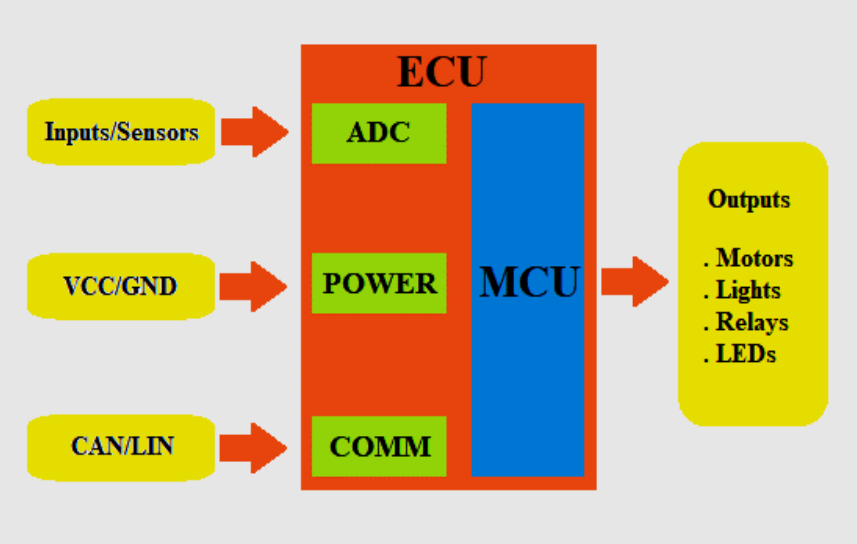


Figure 2. Structure of ECUs.

Outputs control the vehicle actuators according to ECUs command. ECUs provides instructions for electrical system as instructing them on what to do and how to operate.

As shown in figure 2, ECUs is a device fed inputs and communication line and power. Input data is read and evaluated by ECU then the data is compared with data in memory. ECU decides what does to work properly the systems according to compared data. Then ECU commands to outputs. The outputs control the systems according for desired effect.

The Most known ECUs are Body Control Unit (BCU), Engine Control Unit (ECU), Antilock Braking Unit (ABS), Transmission Control Unit (TCU).

2.1. Body Control Unit

Body Control Unit (BCU) is an ECU that is used for controlling communication of ECUs. There are different protocols in vehicle. So, gateway is needed for communicating each protocol. BCU act as a gateway in vehicle. BCU also controls electronic component of vehicle like window, wiper, mirror, digital cluster, HVAC, interior lighter, door, seat, etc. And important point is that communication of vehicle between outside and inside is supported by BCU.

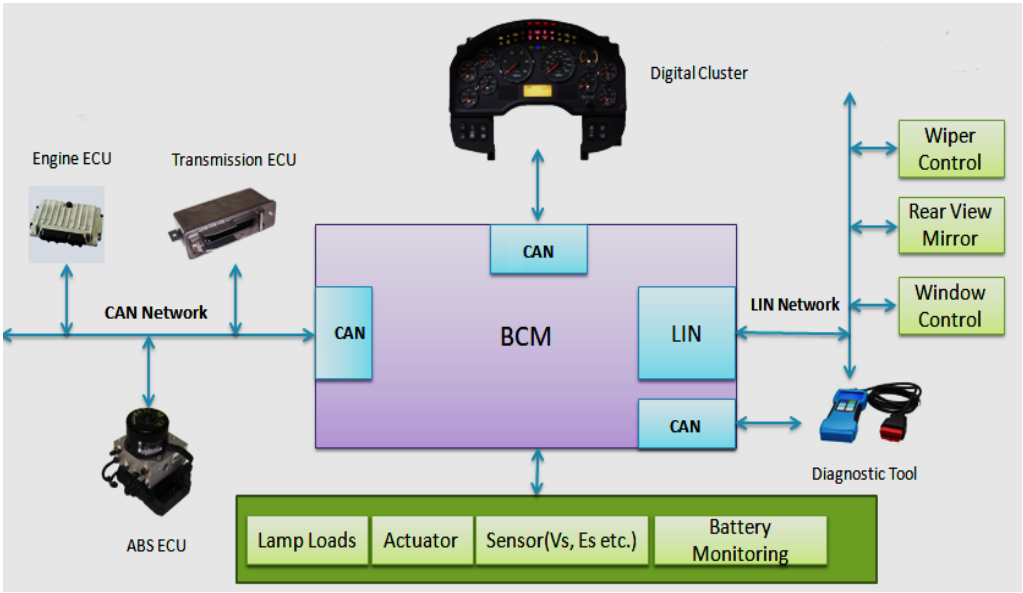


Figure 3. Link of Body Control Unit with other (Body Control Module, 2020).

In figure 3 shows how BCU connects to other ECUs and electronic component. BCU also controls power of vehicle.

2.2. Engine Control Unit

Engine Control Unit (ECU) controls all function of engine. It is important because of controlling energy transformation. ECU arranges combination ratio of fuel and oxygen to combust in quality by using sensors. Much fuel and little oxygen is wasteful. Little fuel and much oxygen is weak. So, ratio of fuel and oxygen is important for excellent power efficiency. ECU has knowledge about problems on engine. So, ECU is most important part of vehicle.

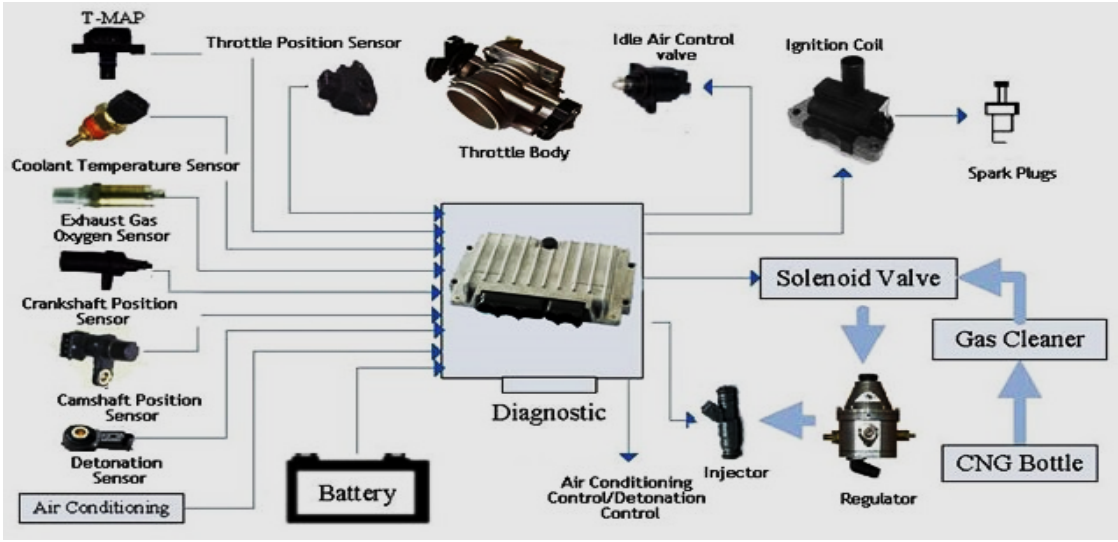


Figure 4. Engine Control Unit (ECU) Structure (ECU Engine Control Unit, 2020).

In figure 4 shows input and output of ECU. When fault codes are wanted to learn in vehicle by driver, user sends request to BCU. And BCU sends request to ECU then driver reaches the fault codes.

2.3. Transmission Control Unit

Transmission Control Unit (TCU) is used for power transfer to actuators. After development of automatic gear, TCU gains importance especially. TCU determines when gear shifts via input sensors that are gear position, throttle position, vehicle speed, turbine position, etc. So, TCU provides optimization of performance and fuel efficiency.

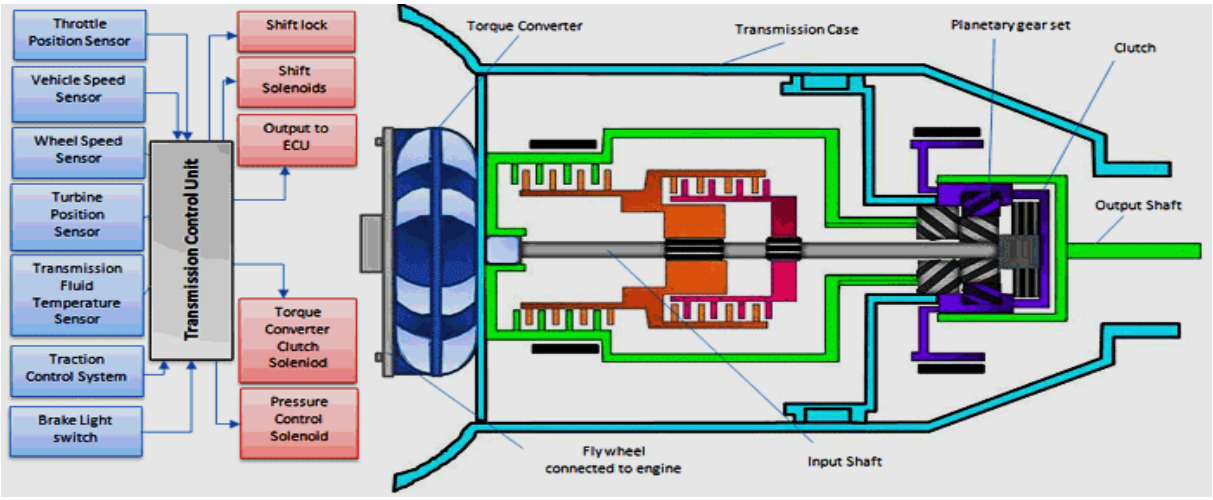


Figure 5. Component of Transmission Control Unit (Transmission Control, 2020).

On the left of figure 5 shows that input and output of TCU. On the right of figure 5 shows structure of components that transmitting of Torque producing by engine transmits to shaft according to gear status.

2.4. Anti-Lock Braking System (ABS) Control Unit

Anti-Lock Braking System (ABS) Control Unit was developed in 1980s and determines standard for all vehicle in 2012 (ABS Control Module, 2020). ABS prevents locking by slipping when braking. So, driver can't loss steering control.

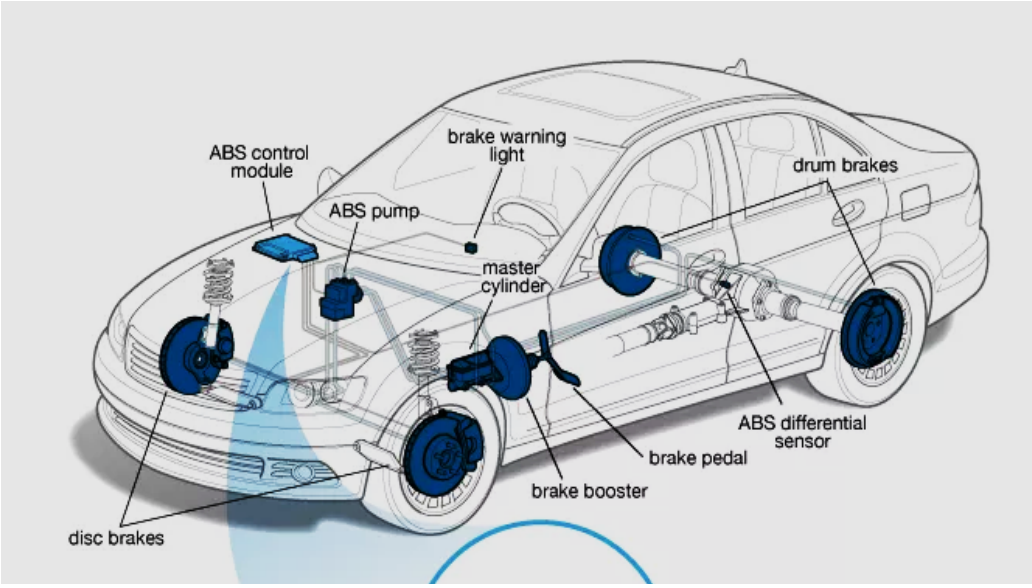


Figure 7. Anti-Lock Braking System (ABS Control Module, 2020).

Figure 7 shows place of ABS component and ABS control module. ABS control module controls hydraulic on shoe considering speed of all wheels and brake position.

3. Communication

Some reading data can be needed for other ECUs. Old system is point to point wire system. But this system is expensive and heavy because the number of nodes is increasing. So, communication bus line is developed because electronic device can reach data required. As all ECUs can reach regularly, communication protocols are defined. Open Systems Interconnection (OSI) model is a standard of communication functions of a telecommunication or computing system. Model of the standard divided communication system into abstraction layers (OSI model, 2020).

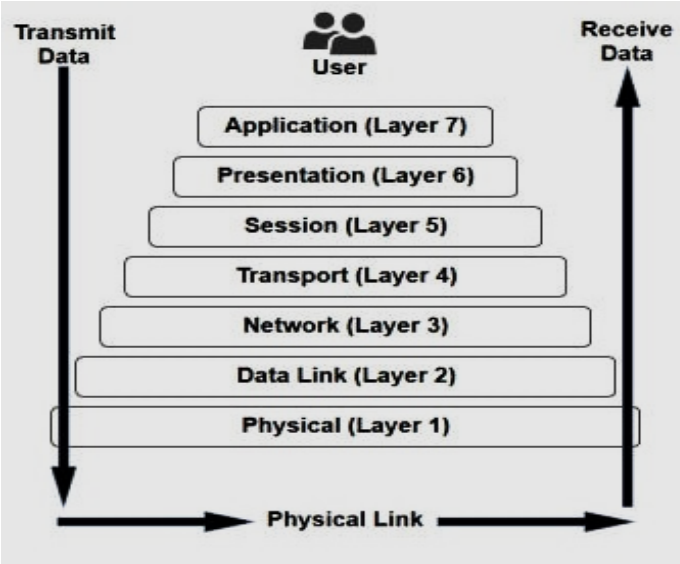


Figure 8. The layers of OSI model (OSI Layers, 2020).

As shown in figure 8, these layers are seven layers. In vehicle communication protocols known as low layer protocols use 2 layer that are physical layer and data link layer. In physical layer, transmission and reception become signal level. In data link layer, two nodes connected by physical layer communicate with data frames. Protocols defined as high layer protocols use both these two later and also network layer. In network layer, multi-nodes communicate with data packet via data link layer.

In figure 8, data flow is shown. Data transmission become on physical layer. So, data converts into signal from application layer to physical layer. After transmitted, signal reverses to data from physical layer to application layer.

3.1. Low Layer Protocols

Low layer protocols are basis of the communication in IVN. There are six the most common used protocols. These are LIN, CAN, CAN FD, FlexRay, Ethernet and MOST. Cost is important for producing vehicle. In vehicle, there is some emergency connection also there is general purpose connection. So, all protocols use in vehicle according to require as keeping balance between cost and need.

3.1.1. Local Interconnect Network (LIN)

Vehicle has a lot of nodes and needs communication each other. CAN is an alternative to communicate between nodes. But connecting of each node is occupancy of the bus. So, critical safety nodes cannot reach on time. Because of preventing the occupancy, cluster method is used. Cluster structure needs low speed because the number of nodes in cluster is a few. LIN protocol is developed for these needs by the LIN consortium which are Mercedes-Benz, Audi, Volvo, Automotive & Motorola, Volcano, BMW, VW in 1999. LIN network was developed as a low-cost, low-speed and easy to implement network system for connecting of automotive sensors, motors and switches such as window lift, wiper, mirrors rain sensors etc (Specks and Rajnák, 2000). LIN has single wire based on Universal Asynchronous Receive Transmitter (UART) communication system. Network architecture of LIN consists of single master and multiple slaves. Dominant bit is zero and recessive bit one. One master can control communication between up to 16 slaves. Max Bit Rate of LIN bus is 20 kpbs.

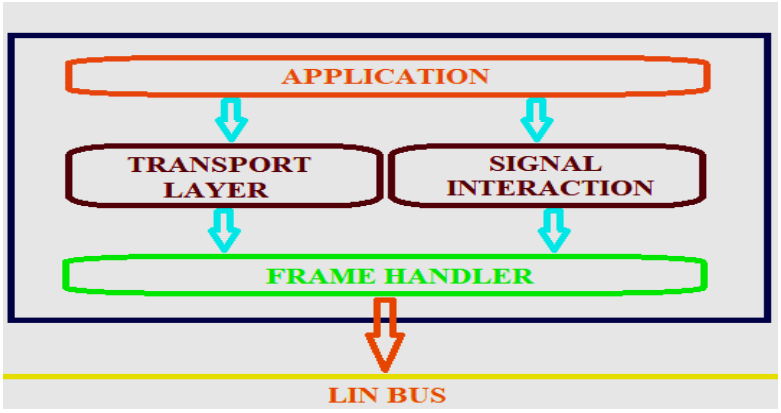


Figure 9. LIN module.

As shown in figure 9, Frames cannot be accessed directly by the application. Core of LIN includes serial network controller and transceiver converting logic level into $V_{Battery}$ level LIN bus wire using frame transceiver (Specks and Rajnák, 2000).

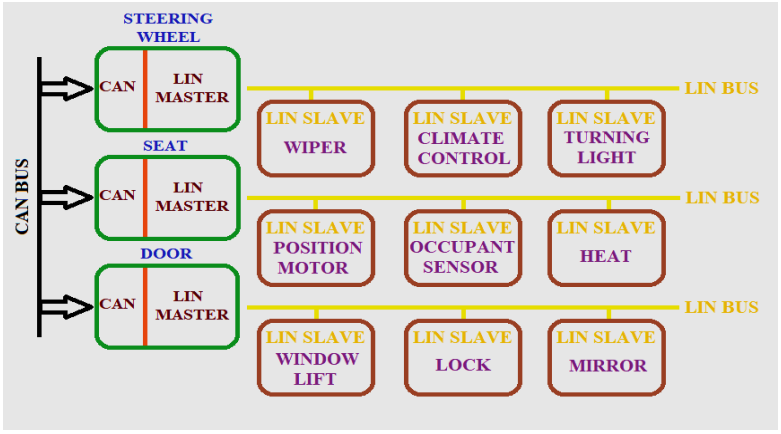


Figure 10. Example of CAN and LIN bus system.

LIN is subsystem and complement of CAN (Seo et al, 2008). In figure 10, example of Steering Wheel, Seat and Door is shown. As shown in figure 10, CAN is main bus system and LIN is a subsystem.

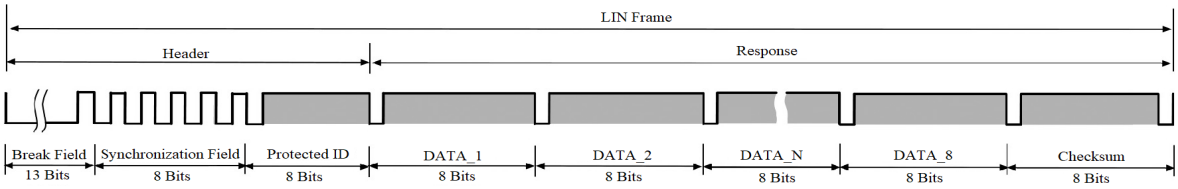


Figure 11. Frame of LIN (Zeng et al, 2016).

As shown in the figure 11, LIN frame has two parts header and response. Header is sent by Master and Response is replied by slave. As said single master multiple slaves, all slaves listen to master. Slaves are synchronized by master header message header. After master sends header, slave adds response data to master header after response space. Header consists of 3 parts. These are Break Field, Synchronous Field and Protected ID. Break Field supports synchronization of bus clock between slave nodes or starts LIN communication at any time. Break Field must be at least 13 bits but most often 18 bits. Value of Synchronization Field is 0x55 (0b01010101). This field provides to determine rising and falling edges by master. So, all nodes stay in synchronous. Protected Identifier (ID) is 8 bits. 6 bits of Protected ID is Identifier (ID) which nodes response to master and 2 bits are Parity Bits. Slaves react to the ID as ignore transmission data, listen the transmission data of another node or response to master. 6 bits can be defined 64 IDs. 0 to 62 are used for diagnostic (0 to 59 are for Unconditional Frame, Event Triggered Frame and Sporadic Frame, 60 to 61 are for Diagnostic, 62 is User Defined and 63 is Reserved). Response consists of 2 parts. These are Data and Checksum. Data Bytes are used by slaves. The number of Data Bytes are 2,4 or 8 (in LIN 2.0, this depends on ID range like 0 to 31 are 2 Bytes, 32 to 47 are 4 Bytes and 48 to 63 are 8 Bytes). In LIN 1.3, checksum sums data bytes only but ID is included to summation in LIN 2.0 (LIN Specification Package, 2010).

3.1.2. Controller Area Network (CAN)

CAN is one of the most common used protocols as seeing in figure 1. CAN developed by Robert Bosch Gmbh in 1980s (CAN Specification, 1991). After CAN developed, various network has been developed. But CAN still keeps the popularity in Automotive Sector. CAN Bus is a network like nervous network to enable communication of each organs in body. Organs in body are ECUs in vehicle. Point to point wiring system generate noise on other device because of switches on/off electrical power continuously. After CAN developed, this problem disappeared. Because data is transferred instead of electric power transmission. Because of CAN, vehicles have got rid of weight and excess wire for network. According to High-Speed ISO 11898 standard; maximum bit rate of CAN is 1 Mbps, maximum bus length is 40 mt, maximum number of nodes is 30 and wire is twisted pair with 120-ohm terminal impedance (Zeng et al, 2016).

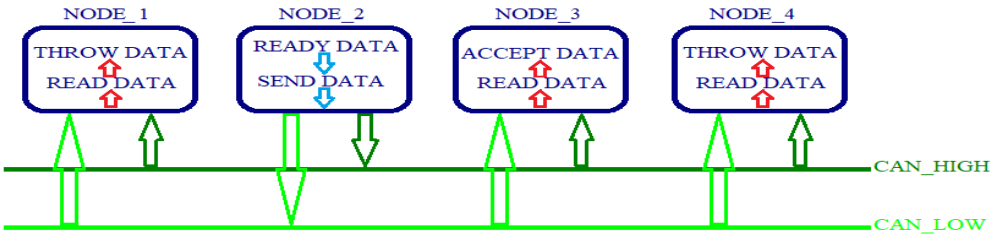


Figure 12. Data broadcasting of CAN.

Network architecture of CAN based on broadcasting. As shown in figure 12, node which has ready data send data to bus. All node read data. Node which needs the data accept to process data. Thus, more than one can use same data.

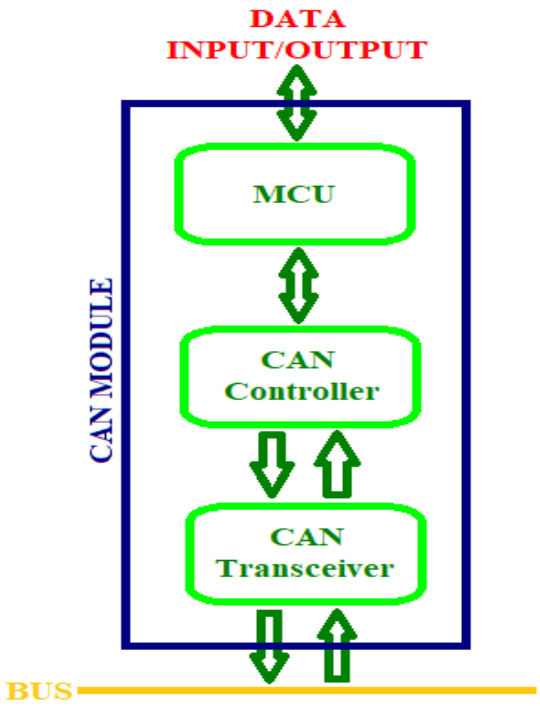


Figure 13. CAN module.

Applications have Microcontroller (MCU). As shown in figure 13, CAN module for applications has MCU, CAN controller and CAN transceiver. It is a brain like body. It prepares data to send and receive data to read. CAN controller converts data to CAN protocol. CAN Transceiver transmits the data converting CAN protocol via bus. CAN Bus uses inverted form of two logic states that are dominant and recessive.

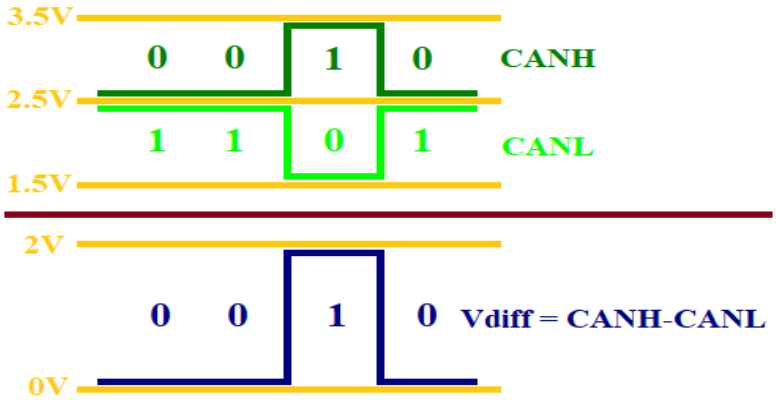


Figure 14. CAN signal voltage level.

There are two signal lines on bus. These are CAN High (CANH) and CAN Low (CANL). In figure 14, CANH, CANL and bus voltage value are shown. In CAN protocol, dominant bit is zero and recessive bit one like LIN. Recessive state are biased to 2.5 V. For dominant state, CANH is 1V higher than biased voltage and CANL is 1V lower than biased voltage. So, CANH is 3.5V and CANL is 1.5V. Thus, 2V differential signal is created.

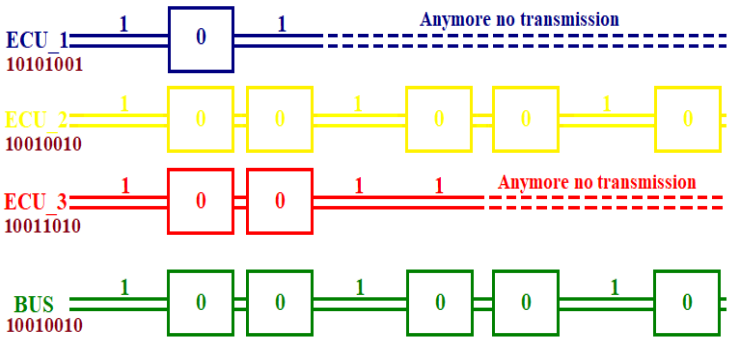


Figure 15. CAN bus arbitration.

But collision problem occurs because more than one ECUs sends data at the same time. For solving the problem, fundamental rule is that lower arbitration is higher priority because zero is dominant. As shown in the figure 15, three ECUs send simultaneously data via CAN bus. So, collusion occurs. First and second bits are same for all. Because third bit of ECU_1 is one, ECU_1 loses arbitration. Then, ECU_2 and ECU_3 continue to send to the bus. Fourth bit of ECU_2 and ECU_3 is again same. Both of them continue to send. Fifth bit of ECU_2 is one and ECU_3 is zero that is dominant, so ECU_3 wins arbitration. And only ECU_3 continues to send data on bus.



Figure 16. Frame of CAN Message.

In figure 16, parts of CAN message frame are shown. CAN message structure has 9 parts. First part is Start of Frame with abbreviation SOF. SOF is 1 bit and dominant (zero). It means to start new message. SOF used to synchronous for all nodes on the bus. Second part is Identifier (ID). ID is 11 bits in CAN 2.0 A (Standard version) and 29 bits in CAN 2.0 B (Extended version). ID indicates the priority of the message according to arbitration and represent which ECU sends data. RTR stands for Remote Transmission Request. RTR is used for requesting information from specific node and also the message is listened from all nodes on the bus. So, it means that RTR denotes whether the message has a data or a remote transmission request frame. If RTR is zero (dominant), the message has data frame. If RTR is one (recessive), the message has remote transmission request frame. Control Field is 6 bits. Control Field has three subfields. These are Identifier Extension (IDE), Reserved (r0) and Data Length Code (DLC). IDE is 1 bit. IDE denotes whether CAN is standard version or extended version. If IDE is zero (dominant), the message is CAN standard version that ID of the message is 11 bits. If IDE is one (recessive), the message is CAN extended version and 18 bits follow IDE before r0. r0 is 1 bit. r0 is reserved for later used. DLC is 4 bits. DLC includes number of data bytes for Data Frames The number can be 0 to 8 and the number of data bytes is always limited to 8 bytes even if DLC has value 9 to 15. Data Bytes have information to be transmitted in standard packet up to 8 bytes. Cyclic Redundancy Check (CRC) consists of 15 bits CRC and 1-bit CRC-Delimiter (CRC-D). 15 bits CRC is used for error detection. CRC-D must be one (recessive). Acknowledge (ACK) is 2 bits that are ACK and Acknowledge Delimiter (ACK-D) and means that Data Transmission is transmitted correctly. ACK is sent by receiver after CRC. First, transmitter sends one (recessive). Then, if receiver receives the message correctly, receiver override ACK bit to zero (dominant) for ACK. ACK-D must be one (recessive). So, Transmitter and receiver send recessive for ACK-D. End-of-Frame (EOF) is 7 bits. EOF denotes end of frame. All of 7 bits are one (recessive). Interframe spacing (IFS) is

3 bits. IFS provides to separate messages. After IFS, another message can be sent (CAN Specification, 1991).

SOF	BASE ID	SRR	IDE	EXTENDED ID	RTR	r1	r0	DLC	Data	CRC	CD	ACK	AD	EOF	IFS
1	11 Bits	1	1	18 Bits	1	1	1	4 Bits	0-8 Bytes	15 Bits	1	1	1	7 Bits	3
	Arbitration Field					Control Field			Data Field	CRC Field		AF			

Figure 17. Sample of CAN frame for extended version.

In figure 17, extended version parts of CAN message are showed in detail. There are four CAN Frame Types that are Data Frame, Remote Frame, Error Frame, Overload Frame. Data Frame sends data of nodes. Remote Frame requests transmission of specific node. Error Frame is sent by node that detects error. Overload Frame is used for requesting delay between data or remote frames.

3.1.3. CAN FD

After CAN was developed, CAN met all needs in Vehicles in that time. But vehicles have a lot of electronic systems today with development of electric cars, autonomous cars, Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) and Human Machine Interface (HMI). CAN is not able to meet speed and transmission large data needs because complexity and number of nodes is increasing. CAN Flexible Data (CAN FD) has been introduced officially to meet the needs in 2012. The first car which uses CAN FD is expected to introduce soon. And CAN FD will be expected to be replaced gradually with Classical CAN (Future of CAN Technology, 2016). CAN FD has some advantages to Classical CAN. CAN FD has 64 bytes although Classical CAN has 8 bytes. Bit rate of CAN FD is up to 5 Mbps although bit rate of Classical CAN is up to 1 Mbps. CAN FD is more reliability than Classical CAN because of Stuff Bit and improved Cyclic Redundancy Check (CRC).

Arbitration Phase up to 1 Mbps									Data Phase up to 5 Mbps						Arbitration Phase up to 1 Mbps				
SOF	BASE ID	SRR	IDE	EXTENDED ID	r1	EDL	r0	BRS	ESI	DLC	Data	ST	CRC	CD	ACK	AD	EOF	IFS	
1	11 Bits	1	1	18 Bits	1	1	1	1	1	4	0-64 Bytes	4	17/21	1	1	1	7	3	
	Arbitration Field					Control Field					Data Field	CRC Field			AF				

Figure 18. Extended format of CAN FD data frame.

In figure 18, extended version parts of CAN FD message are showed in detail. Start of Frame (SOF), BASED Identifier (ID), IDE, Substitute Remote Request (SRR), ID Extension (IDE), Extended ID, Reserved (r0), Cyclic redundancy Delimiter (CD), Acknowledge (ACK), Acknowledge Delimiter (AD) End of Frame (EOF) and Inter Frame Space (IFS) in CAN FD are same with in CAN. Message IDs (Base ID and Extended ID) are same in CAN and CAN FD. EDL is used for denoting to be CAN FD by setting to recessive. Reserved (r1) is reserved for the future uses. Bit Rate Switch (BRS) is used for denoting whether Data Phase bit rate is arbitration bit rate (1 Mbps) or high bit rate (5 Mbps). Error active nodes sets Error State Indicator (ESI) to 0 during transmitting. Error passive nodes sets Error State Indicator (ESI) to 1 during transmitting. DLC is used for denoting number of bytes in data field like CAN. But DLC can be higher than 8 in CAN FD. 9 value of DLC represents 12 bytes, 10 is 16 bytes, 11 is 20 bytes, 12 is 24 bytes, 13 is 32 bytes, 14 is 48 bytes and 15 is 64 bytes. Data Field can be up to 64 bytes. Stuff Bit is used for improving reliability. CRC is 17 bits for 0 to 16 value of

DLC. CRC is 21 bits for 20 to 64 value of DLC. CRC is used for calculation of SOF, Arbitration Field, Control Field and Data Field (CAN with flexible data-rate, 2012). CAN FD can receive frame sent by CAN but CAN can't receive frame sent by CAN FD in new car which uses CAN FD.

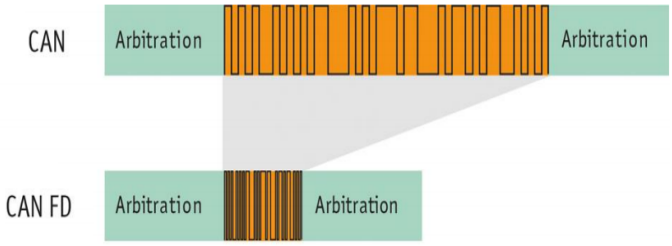


Figure 19. Comparing CAN and CAN FD (CAN FD, 2018).

As shown in figure 19, CAN FD and CAN compare each other with same data length. Reason of length difference is that bitrate of CAN FD is higher than CAN (about 5 times) in data field.

3.1.4. FlexRay

Recently, high transmission rate and delays for IVN systems have become importance to handle increasing driver concerns over the comfort and safety of their vehicles (Ryan et al, 2004). FlexRay protocol developed to solve the problem by FlexRay consortium, Freescale Semiconductor, R. Bosch GmbH, NXP Semiconductors, BMW AG, Volkswagen AG, Daimler AG, General Motors. FlexRay provides high speed, flexibility and fault-tolerance computing. FlexRay is commonly used for requiring safety and critical communication in vehicle like chassis control system, adaptive cruise control system and other important control system (Kim et al, 2015). FlexRay data rate is up to 10 Mbps that is approximately 20 times greater than that delivered by the CAN.

The FlexRay provides fault-tolerance clock synchronization with a global time base and collision-free bus access (Seo et al, 2008). The number bytes of data frames in FlexRay protocol is 0 to 250. FlexRay network can be designed according to several topologies that are single or dual channel bus network, single or dual channel star network or various hybrid combinations of star and bus network. FlexRay network has at most two channel, Channel A and Channel B. Each node can connect to either or both of the channels.

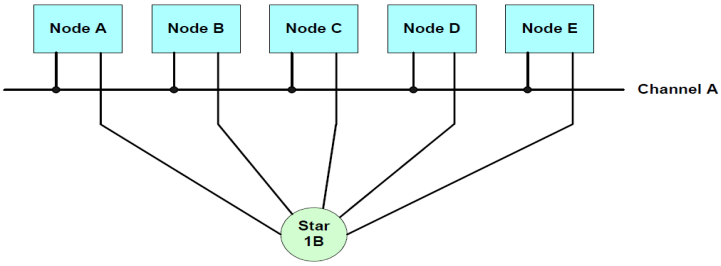


Figure 20. Hybrid topologies of FlexRay (FlexRay Protocol Specification, 2005).

In figure 20, the topology is example of dual channel hybrid network. It consists of dual channel, star topology and bus topology. FlexRay frame consists of three segment, header segment, payload segment and trailer segment. First segment is header segment then followed by payload and last segment is trailer segment.

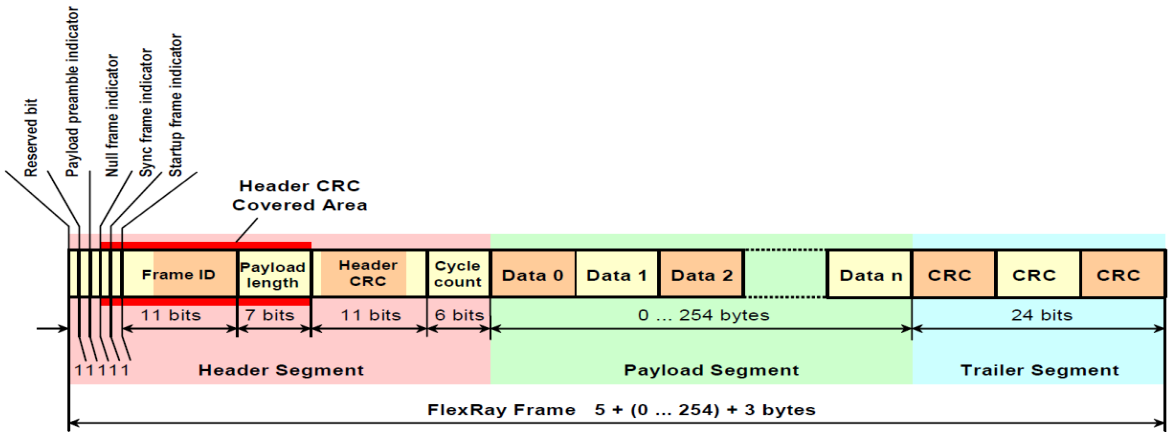


Figure 21. Structure of frame in FlexRay (FlexRay Protocol Specification, 2005).

In figure 21, parts of FlexRay message are showed in detail. Header segment includes reserved bit, payload preamble indicator, null frame indicator, sync frame indicator, startup frame indicator, frame identifier (ID), header cyclic redundancy check (CRC) and cycle count. Header segment totally consists of 5 bytes. Reserved bit is 1 bit and be reserved for using future protocol. Transmitter set the bit to logic '0' and receiver ignore it. Payload preamble indicator is 1 bit and indicates whether frame is transmitted in static segment or dynamic segment. Null frame indicator is 1 bit and indicates whether payload segment has useable data or not. Sync frame indicator is 1 bit and indicates whether frame is used for system wide synchronization of communication or not. Startup frame is 1 bit and indicates whether frame is startup frame or not. Frame ID is 11 bits and ranges 1 to 2047 that 0 is an invalid frame ID. Frame ID defines the frame which is transmitted. Payload length is 7 bits and indicates how much bytes are transmitted in payload segment. Header CRC is 11 bits and calculates from beginning of the frame to header CRC. Cycle count is 6 bits and indicates value of the cycle counter of transceiver.

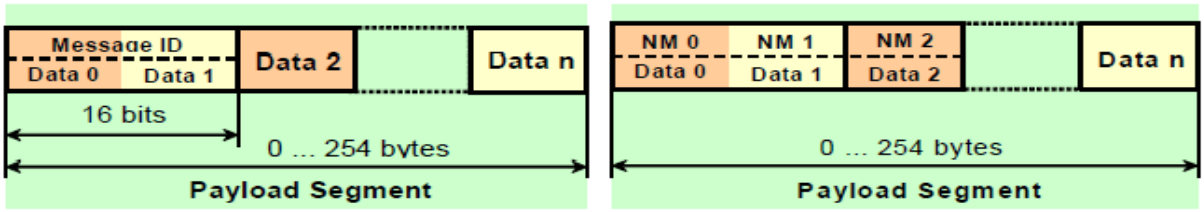


Figure 22. Static and Dynamic segment (FlexRay Protocol Specification, 2005).

Payload segment includes data up to 254 bytes. Payload segment starts normally Data_0. But, if frame is transmitted in static segment, first 0 to 12 bytes of the payload segment can be used optionally for network management vector as shown in figure 22 (b). If frame is transmitted in dynamic segment, first two bytes of the payload segment can be used optionally for message ID as shown in figure 22 (a).
Trailer segment includes 24 bits CRC that computes header segment and payload segment.

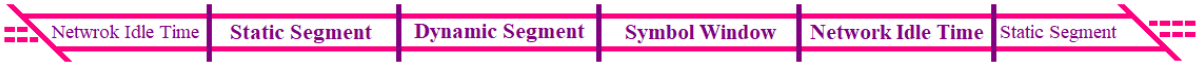


Figure 23. Communication cycle in FlexRay.

Media Access Control in FlexRay protocol takes place in periodic communication cycles as shown in figure 23. Communication cycles consist of static segment, dynamic segment, symbol window and network idle time. Static segment is used for transmission of

deterministic data that is transmitted with constant period. Dynamic segment is used for various event-based data not like deterministic data of static segment. A communication cycle has two media access schemes option, static time division multiple access scheme (TDMA) and dynamic mini-slotting based scheme. TDMA is used to arrange transmission in static segment. Dynamic mini-slotting based is used to arbitrate transmission in dynamic segment. Symbol Window is used for identification of special cycles. Network Idle Time (NIT) is used for maintaining of synchronization between nodes (FlexRay Protocol Specification, 2005).

3.1.5. MOST

MOST protocol developed by MOST Cooperation. MOST cooperation was founded for standardizing multimedia networking in 1998. Core partners of MOST cooperation consists of Microchip Technology, Daimler, Audi and Harman. MOST was developed for automotive infotainment which needs high bandwidth. Todays, it uses for brands of all media streaming (Lajmi et al, 2013). MOST can control at the most 64 nodes in the network and be able to easily attached and removed. MOST has developed, first version is MOST25 (optic), second version is MOST50 (electrical/optic) and last version is MOST150 (electrical with coaxial cable/optic). Electrical physical layer on coaxial cable is much cheaper than polymer optical fiber cable (Zeng et al, 2016). So, use of electrical physical layer on coaxial cable have reduced the cost considerably. MOST protocol handle two demand of infotainment system, transmission speed and data types. MOST protocol provides transmission of streaming data, control data and packet data. Maximum efficiency of MOST protocol is 96.88% (Lajmi et al, 2013). Baud rate of MOST protocol ranges nearly between 25 Mbps (MOST25) and 150 (MOST150).

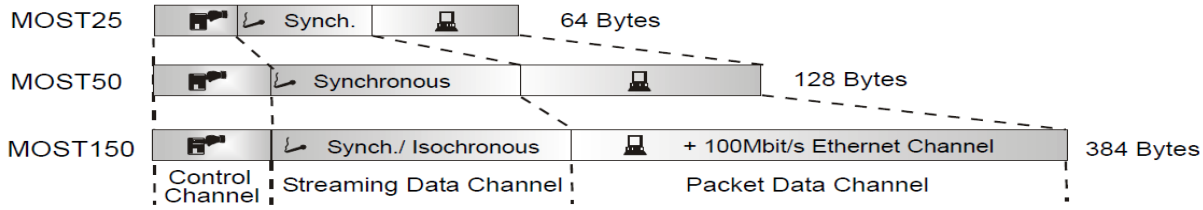


Figure 24. Comparing MOST versions (MOST Specification, 2005).

As shown figure 24, MOST25 has 64 bytes frame, MOST50 has 128 bytes frame and MOST150 has 384 bytes frame. Each distributed frame consists of three parts, Control Channel, Synchronous Channel and Asynchronous Channel. Control Channel has control data. Control Channel is used for event-oriented transmission with low speed (10 kbps) and short packet. Synchronous Channel has streamed data. Synchronous Channel is used for streaming data with high speed. Asynchronous Channel has packet distributed data. Asynchronous Channel is used for packet-oriented transmission with high speed and large packet.

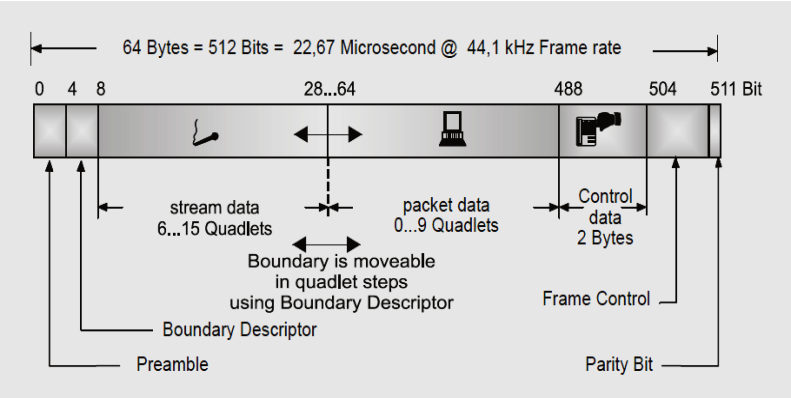


Figure 25. Frame of MOST25 (MOST Specification, 2005).

MOST25 has form of blocks that consist of 16 frames. Each frame of MOST25 consists of 512 bits or 64 bytes as shown in figure 25. 60 bytes of MOST25 are used for streaming and packet data. 2 bytes are used for control data. First and last bytes are used for control information. First four bits are preamble that is used for synchronization. Second four bits are boundary descriptor that is used for setting the moveable boundary between stream data and packet data in quadlet (4 bytes) steps. Frame control is used for controlling of frame. Parity bit is used for detecting error in frame.

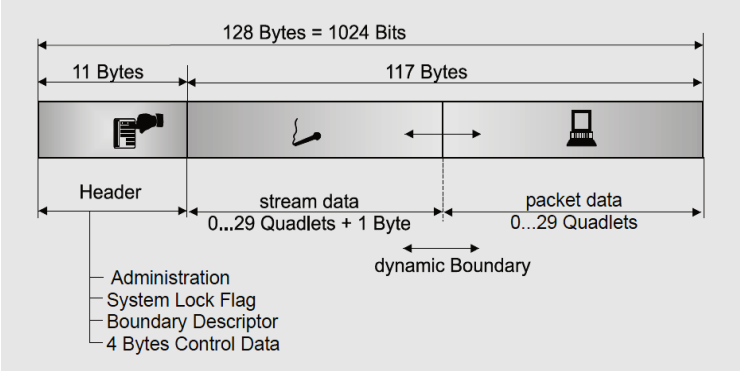


Figure 26. Frame of MOST50 (MOST Specification, 2005).

Each frame of MOST50 consists of 1024 bits or 128 bytes as shown in figure 26. Control data is 4 bytes and placed in header area which is 11 bytes. Width of stream data can range from 0 to 29 quadlets plus 1 byte. Width of packet data can range from 0 to 29 quadlets. Boundary descriptor can change dynamically.

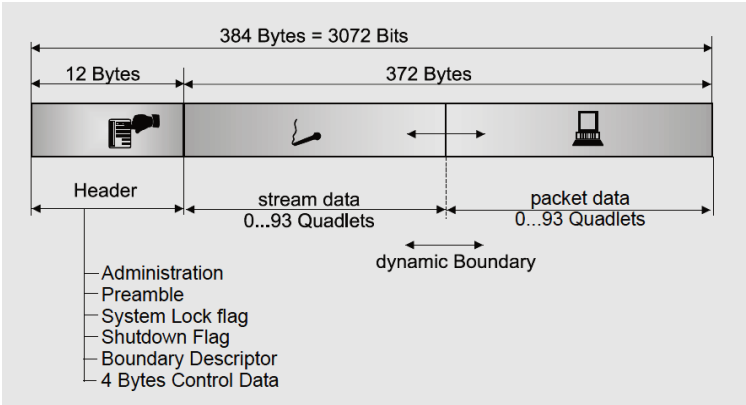


Figure 27. Frame of MOST150 (MOST Specification, 2005).

Each frame of MOST150 consists of 3072 bits or 384 bytes as shown in figure 27. Control data is 4 bytes and placed in header area which is 12 bytes. Width of stream data can range from 0 to 93 quadlets. Width of packet data can range from 0 to 93 quadlets.

3.1.6. Ethernet

Vehicle network bandwidth is required to expanded because of increasing new application like ADAS, multimedia etc. Ethernet is important candidate of network in newer vehicle beyond CAN or FlexRay. Nowadays, Ethernet is predicted to take place in new vehicle up to 40% (ABI Research, 2014). Ethernet supports full duplex bandwidth of 100 Mbps (Yoo et al, 2015). Several vehicle manufacturer and vehicular electronics corporations work on Ethernet to use in vehicle application. Ethernet has very wide payload and protocol efficiency according to the most common used communication protocol. Payload of Ethernet ranges between 46 to 1500 bytes that is very huge. Efficiency of Ethernet able to reach 97.53%. Ethernet in vehicle is suitable for time-critical message transmission (Zeng et al, 2016). This situation increases importance of Ethernet because autonomous vehicle needs very critical timing. And, Ethernet nodes increase very fast in future. In addition to increasing efficiency, decreasing cost and critical timing, Ethernet has a very important advantage to other protocol. Ethernet does not only use in vehicle. Ethernet used in daily life and has already infrastructure. So, adaptation of ethernet is easy for future vehicles that are autonomous vehicles.

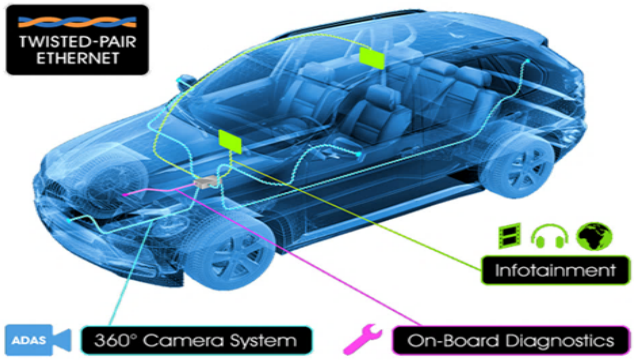


Figure 28. Ethernet network in vehicle (Automotive Ethernet Technology, 2017).

Ethernet is used especially for infotainment, camera system and diagnostic of engine, body, chassis ECU. Component of Ethernet network is showed in figure 28. Ethernet is used primarily protocols in LANs. It was developed in 1980s. It is IEEE 802.3 standard. Ethernet is separated two categories that are Classic Ethernet and Switched Ethernet. Classic Ethernet is simplest of Ethernet that has data rates between 3 to 10 Mbps. Network of Classic Ethernet is broadcast bus like CAN. Nodes connects to bus via Network Interface card. But in Switched Ethernet or Modern Internet architecture, nodes connect to switch. Its bit rate is up to 1 Gbps. TCP/IP is high layer protocol and uses physical layer of Ethernet.

Preamble	Destination Address	Source Address	Length	Data + Padding	CRC
7 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	2 Bytes	1500 Bytes	4 Bytes

Figure 29. Frame of Ethernet.

In figure 29, structure of Ethernet Frame is showed. Preamble is 7 Bytes and provides alert and timing pulse for transmission. Destination Address is 6 Bytes and contains physical address of destination node. Source Address is 6 Bytes and contains physical address of source node. Length is 2 Bytes and contains number of bytes in data field. Data is up to 1500 Bytes and contains transmitting data. Padding is minimum 46 Bytes. It is extra bytes added to data to bring its length. CRC is 4 Bytes and contains error detection acknowledge.

Table 1. Comparing Low-Layer Protocols

Features	LIN	CAN	CAN-FD	FlexRay	MOST	Ethernet
Max Bit Rate	20 kbps	1 Mbps	5 Mbps	10 Mbps	25-50-100 Mbps	100-1000 Mbps
Max Nodes	16	30	30	22	64	Number of Switch Ports
Max Payload	8 Bytes	8 Bytes	64 Bytes	254 Bytes	60 Bytes	1500 Bytes
Automotive Domain	Body	Powertrain, Chassis	Powertrain, Chassis	Powertrain, Chassis, Safety	Multimedia, Telematics	Infotainment
Topology	Bus	Bus, Star	Bus, Star	Bus, Star, Hybrid	Ring, Star	Bus, Star
Architecture	Single Master	Multi-master	Multi-Master	Multi-Master	Multi-Master	Multi-Bus Tool Chain
Cost	Low	Middle	Middle	Middle	High	Low
Transfer Mode	Synchronous	Asynchronous	Asynchronous	Synchronous	Synchronous	Synchronous
				Asynchronous	Asynchronous	Asynchronous
Physical Layer	Electrical-Single Wire, 12V	Electrical-Dual Wire, 5V	Electrical-Dual Wire, 5V	Dual Wire/Optical-Electrical	Fiber Optic/Coax	One or More Twisted Pair
Error Detection	8 Bits Checksum	15-Bit CRC	21-Bit CRC	24-Bit CRC	CRC	32-Bit CRC

As shown in table 1, comparing of low layer protocol is special for their domain. All of that have importance in their domain.

3.2. High Layer Protocols

High layer protocols are closer than low layer protocols to user. So, the protocols are simplified more. The most common used some of protocols are OBD2, SAE J1939, CAN Open. CAN Open is developed for industry. In this study, OBD2 and SAE J1939 are considered.

3.2.1. On-Board Diagnostic II (OBD2)

Car electronic systems are controlled by ECUs. There are a lot of ECUs in car. So, error detection is very difficult. OBD is introduced for reducing the air pollution by California Air Resources Board (CARB) in 1988. OBD is used for detecting actual fault and fault location. OBD1 first development is developed by Society of Automotive Engineering (SAE). Development of OBD2 made it mandatory in all cars (Sawant and Mane, 2018). OBD2 is a standard which runs on car as using CAN. Some manufacturer developed self-standard in 1980s. But after OBD standard was developed in USA, manufacturer joins to the standard.

OBD2 standard was developed to communicate with car in 1996. On-Board Diagnostic means error detection or diagnostic from car via OBD2 socket.

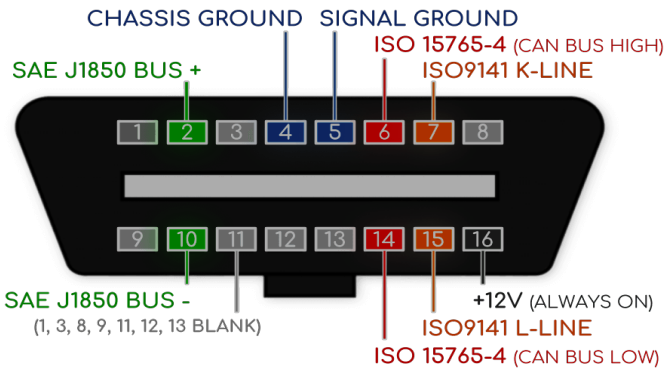


Figure 30. OBD2 Socket pinout (OBD2 Explained-A simple intro, 2020).

OBD2 standard has 16 pins socket as shown in figure 30. The socket standards by SAE J1962 as female connector. Sometimes, the connector referred to Data Link Connector (DLC). OBD2 has 5 types protocol. These are SAE J1850 VPW (Variable Pulse Width), SAE J1850 PWM (Pulse Width Modulation), ISO 9141-2 KWP2000 (Keyword Protocol 2000), ISO 14230 KWP2000 and ISO 15765-4 / SAE J2480 - CAN (the most known OBD2 protocol). SAE J1850 VPW is used by Ford. SAE J1850 PWM is common motors utilize this protocol. ISO 9141-2 KWP2000 is used by Asian, Chrysler and European cars. ISO 14230 KWP2000 is used by Asian cars. ISO 15765-4 / SAE J2480 - CAN is used by many cars made after 2008. Most of cars implement only one protocol. In this title, OBD2 protocol means ISO 15765-4 / SAE J2480 – CAN.



Figure 31. Frame of OBD2.

OBD2 message structure consists of two parts, Identifier (ID) and Data as shown in figure 31. ID is 11 bits. Data consists of 8 bytes. Data consists of Bytes, Mode, Parameter ID (PID), Data bytes and empty bytes. Bytes refers the number of Data bytes. Some response includes 1 Data bytes and some response includes 2 Data bytes. It ranges from 1 to 4. Mode is described in SAE J1979 OBD2 standard that gives information about response data like current data, freeze frame data etc. There are 10 modes in the standard. First hexadecimal digit of mode for request is 0 like 0x02,0x05. First hexadecimal digit of mode for response is 4 like 0x42,0x45. PID represents parameter of nodes in car. Each mode has PIDs according to OBD2 standard. Data includes value of node parameter. ID should be 7DF to read car value. When ID 7DF sends to car via OBD2, car responses ID 7E8 ID. And parameter value is calculated with response data.

3.2.2. SAE J1939

SAE J1939 is a standard for heavy-duty vehicles like OBD2. But OBD2 developed for automobile. SAE J1939 released in 1994 and top level of it was introduced. SAE J1939 standard is has extra enumerator like SAE J1939-12. First digit of enumerator represents layer of SAE J1939 protocol according to seven layers OSI model. SAE J1939-2X indicates

second layer which is data link layer, SAE J1939-7X indicates seventh layer which is application layer, etc. Example of heavy-duty vehicles are transport vehicles, trucks, tractors, ambulances, ships, tanks, bulldozers, cranes, etc. SAE J1939 uses on physical layer (J1939/11) and data link layer (J1939/21) via CAN2.0B which includes 29 bits extended identifier. SAE J1939 is designed for communication and diagnostic interaction among ECUs of heavy-duty vehicle. Data rate of SAE J1939 is up to 250 kbps.

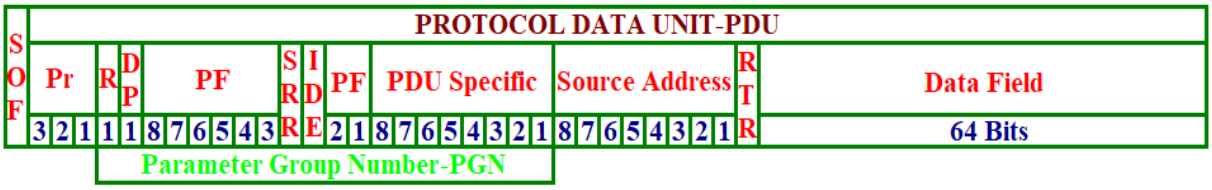


Figure 32. Frame of SAE J1939.

29 bits identifier (ID) of message consist of SOF, Priority (Pr), Reserved (R), Data Page (DP), Protocol Data Unit Format (PF), SRR, IDE, Protocol Data Unit Specific (PS), Source Address (SA). SOF, SRR, IDE, RTR are defined by CAN standard. RTR is always 0 in J1939. SAE J1939 message consists of two main part, Parameter Group Number (PGN) in 29 bits ID and Suspect Parameter Number (SPN) in Data Fields as shown in figure 32. PGN is 18 bits. PGN defines purpose of the message in SAE J1939. PGN is consists of Protocol Data Unit Format (PF), Protocol Data Unit Specific (PS), Reservation (R) and Data Page (DP) (Ding and Shen, 2010). PF is used for determining whether the message is transmitted with destination address or transmitted as a broadcast message. The message is addressable message (PDU1) for PF value of between 0 to 239. The message is broadcast message (PDU2) for PF value of between 240 to 255. PS changes according to PF value. PS has destination address for addressable message. PS has Group Extension for broadcast message. R is reserved for future us. R should be 0 for transmission message. DP is used for selection of page. Page 0 includes all message that is defined until today. Page 1 will be used after Page 0 is full. Rest Fields of 29 bits ID are Priority (Pr), Source Address (SA). Priority is used for controlling of message priority during arbitration. 0 is the highest priority that is used for high speed messages. Lower priority is used for less critical message. SA has address of node that sends message. Because SA is 8 bits, maximum 256 ECUs can use on network. SPN is 19 bits. SPN is used for identification of parameter, element or component related with ECU. SPN places in Data Field in SAE J1939. There are four message transport types in SAE J1939. These are Request Frame, Data Frame Overload Frame, Error Frame. Request Frame is used for request data from ECUs. Data Frame is used for send data to ECUs. Overload is used for warning of overload when occurs. Error Frame is used for warning of error when occurs.

4. Conclusion

IVN is a skeleton of digital systems in a vehicle. Technological needs force to transform for the skeleton. Technological transformation in vehicle sector changes rules, structure, demand in vehicle system. So, new concepts are introduced by vehicle manufacturer to meet demand and needs. Digital system of vehicle transforms hugely because of transformation of human life by digital systems. Autonomous cars are still being tested by several manufacturer. So, the responsibility of digital systems is very important. ECUs which form part of vehicle digital systems are developing and new ECUs are creating. To communicate between ECUs, low layer communication protocols are developing and new protocols are introduced. High layer protocols are updated and developed according to development of

low layer protocols because high layer protocols are based on low layer protocols. New technological development will be occurred according to demand in future of IVN.

5. References

ABI Research. (2014). Ethernet In-Vehicle Networking to Feature in 40% of Vehicles Shipping Globally by 2020, London, U.K. [Online]. Available: https://www.abiresearch.com/press/ethernet-in-vehiclenetworking-to-feature-in-40-of, accessed on Nov. 09, 2014.

ABS Control Module. (2020). "ABS Control Module", 2020, https://www.cars.com/auto-repair/glossary/abs-control-module/, Access Date: 28/04/2020.

Anderson. J. B. (2008) *Digital Transmission Engineering*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley.

Automotive Ethernet Technology. (2017). Technical Source, "Automotive Ethernet Technology", 2017, https://www.opensig.org/about/about-open/, Access Date: 28/04/2020.

Automotives by Technology. (2020). Technical Source, "Nodes in Automotives by Technology (2005-2020)", United States, 2020, https://www.strategyanalytics.com/, Access Date: 19/04/2020.

Body Control Module. (2020). "How Body Control Module (BCM) Works in an Automobile", 2020, https://www.embitel.com/automotive-insights/understanding-body-control-module-the-brain-of-body-electronics-in-automotive Access Date: 28/04/2020.

CAN FD. (2018)., "CAN FD", October 11, 2018, v1.02, https://assets.vector.com/cms/content/knowhow/can/Slides/CAN_FD_Introduction_EN.pdf, Access Date: 28/04/2020.

CAN Specification. (1991). R. Bosch GmbH, CAN Specification, Version 2, Sept. 1991.

CAN with flexible data-rate. (2012). R. B. Gmbh, "CAN with flexible data-rate," Vector CANtech, Inc, Novi, Mi, USA, Specification Version 1.0, 2012.

Ding, L., and Shen, Y. (2010). "Performance Analysis and Simulation of SAE J1939 Protocol with DSPN Model," *2010 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery*, Huangshan, 2010, pp. 390-395.

ECU Engine Control Unit. (2020). "ECU (Engine Control Unit), Cars, ECM, Parts, Functioning", 2020, https://aermech.com/ecu-engine-control-unit-carsecmpartsfunctioning/ , Access Date: 28/04/2020.

Elmenreich, W., Krywult, S. (2005). A comparison of fieldbus protocols: LIN 1.3, LIN 2.0, and TTP/A. In: 2005 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, pp. 747–753.

FlexRay Protocol Specification. (2005). FlexRay Protocol Specification V2.1 Rev. A, 2005, http://www.flexray.com

Future of CAN Technology. (2016). Technical Source, "CAN 2020 : The future of CAN technology", March 21, 2016, https://www.can-cia.org/news/cia-in-action/view/can-2020-the-future-of-can-technology/2016/3/21/, Access Date: 28/04/2020.

Grimm, K. (2003). Software technology in an automotive company –major challenges. In: 25th International Conference on Software Engineering, 2003. Proceedings., 6, pp. 498–503.

Guo, X., Lin, H., and Aoki, T. (2020). “Model checking of in-vehicle networking systems with CAN and FlexRay,” ELSEVIER, The Journal of Systems and Software, March, Volume 161, 110461.

Johansson, K.H., Martin, T. (2005). Vehicle applications of controller area network. In: Handbook of Networked and Embedded Control Systems. Birkhäuser Boston, pp. 741–765.

Kim, M.-H., Lee, S., Lee, K.-C. (2015). Performance evaluation of node-mapping-based FlexRay-CAN Gateway for in-vehicle networking system. Intell. Autom. Soft Com- put. 21 (2), 251–263.

Kimm, H., and Ham, H. (2010). “Integrated fault tolerant system for automotive bus networks,” in Proc. IEEE 2nd Int. Conf. Comput. Eng. Appl., pp. 486–490.

Lajmi, H., Alimi, A. M., and Ajili, S. (2013). "Using Ethernet Technology for In-Vehicle's Network Analysis," *2013 Fifth International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks*, Madrid, pp. 353-358.

LIN Specification Package. (2010). LIN Consortium, “LIN Specification Package, Revision 2.2A”, https://www.lin-cia.org/en/standards/, December 31, 2010.

Liu, X., Nie, Z., Li, D., and Yu., H. (2019). "Design of An Improved Ethernet AVB Model for Real-time Communication in In-Vehicle Network," *2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC),* Chengdu, China, pp. 6-10.

MOST Specification. (2005). MOST Specification Rev. 2.4, MOST Cooperation, May 2005. https://www.mostcooperation.com/

OBD2 Explained-A simple intro. (2020). “OBD2 Explained-A simple intro (2020)”, 2020, https://www.csselectronics.com/screen/page/simple-intro-obd2-explained/language/en, Access Date: 28/04/2020.

OSI Layers. (2020). “The Seven Layers of the OSI Model”, 2020, https://www.webopedia.com/quick_ref/OSI_Layers.asp, Access Date: 28/04/2020.

OSI model. (2020). “OSI model”, 2020, https://en.wikipedia.org/wiki/OSI_model, Access Date: 28/04/2020.

Park, I., Sunwoo, M. (2011). FlexRay network parameter optimization method for automotive applications. IEEE Trans. Ind. Electron. 58 (4), 1449–1459.

Prasad, B. V. P., Tang, J., and Luo, S. (2019). "Design and Implementation of Data Collection and Driving Behaviour Analysis Based on SAE J1939," *2019 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*, Taipei, Taiwan, pp. 1-2.

Pretz. K. (2014). “Fewer wires, lighter cars,” IEEE—The Institute, Piscataway, NJ, USA, Apr. 12, 2013 [Online]. Available: http://theinstitute.ieee.org/benefits/standards/fewer-wires lighter cars, accessed on Nov. 07.

Ryan, C., Heffeman, D., and Leen, G. (2004). “Clock synchronization on multiple TTCAN network channels,” Microprocessors and Microsystems, vol. 28, no. 3, pp. 135-146.

SAE International. (2014). SAE International: Taxonomy and definitions for terms related to on road motor vehicle automated driving systems, SAE J3016, January 2018, http://standards.sae.org.

Sawant, P. R., and Mane, Y. B. (2018). "Design and Development of On-Board Diagnostic (OBD) Device for Cars," *2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*, Pune, India, pp. 1-4.

Seo, S.H., Kim, J.H., Moon, T.Y., Hwang, S.H., Kwon, K.H., Jeon, J.W. (2008). A Reliable Gateway for In-vehicle Networks, IFAC Proceedings Volumes, Volume 41, Issue 2, 2008, Pages 12081-12086.

Specks, W., Rajnák, A. (2000). "LIN-Protocol, Development Tools, and Software Interfaces for Local Interconnect Networks in Vehicles", 9th International Conference on Electronic Systems for Vehicles, Baden-Baden, Oct. 5/6.

Transmission Control. (2020). "Transmission Control", 2020, https://cecas.clemson.edu/cvel/auto/systems/transmission_control.html, Access Date: 28/04/2020.

Wolf, M., Weimerskirch, A., Christof, P. (2004). Security in automotive bus systems. In: Proceedings of the Workshop on Embedded Security in Cars (ESCAR)'04, pp. 1–13.

Yoo, I., Hwang, M., Jung, J., Kim, S., and Park, I. (2015)."Unidirectional ring ethernet for low-complexity in-vehicle control network," *2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, Seville, pp. 1951-1955.

Zeng, W., Khalid, M. A. S. And Chowdhury, S. (2016). "In-Vehicle Networks Outlook: Achievements and Challenges," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 3, pp. 1552-1571, thirdquarter 2016

Akıllı Ulaşım Araçlarında Siber Saldırılar Açısından Çok Katmanlı Güvenlik Sisteminin Analizi

İsa Avcı[1*], Cevat Özarpa[2], Muammer Özdemir[1], Bahadır Furkan Kınacı[3], Seyit Ali Kara[2]

[1]Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Karabük, Türkiye

[2]Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Karabük, Türkiye

[3]Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Raylı Sistemler Mühendisliği, Karabük, Türkiye

*isaavci@karabuk.edu.tr

ORCID-0000-0001-7032-8018, ORCID-0000-0002-1195-2344, ORCID-0000-0002-3866-7041, ORCID- 0000-0001-6872-2630, ORCID-0000-0003-1275-1242

Özet

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmelerle günümüzde kullanımı hızlı artan akıllı ulaşım araçları, artan talep ve sağladıkları kolaylıklar sebebiyle kısa zamanda dünya çapında önemli bir yere sahip olacaktır. Akıllı ve otonom ulaşım araçları alanındaki teknolojik gelişmeler söz konusu olduğunda hızlı bir ivme kazanıldığı göz ardı edilemez. Gelişmiş makine öğrenimi ve yapay zekâ tekniklerinden yararlanan yarı otonom ve otonom arabaların ortaya çıkmasıyla birlikte potansiyel riskler ve siber güvenlik zorlukları artmaktadır. Dahası, akıllı ulaşım sistemlerinin ve otonom araçların konuşlandırılması için gerekli Araçtan Araca (V2V) ve Araçtan Altyapıya (V2I) ara yüzler, potansiyel saldırı yüzeyini ve saldırı vektörlerini büyük ölçüde genişlettikleri için güvenlik risklerini daha da artırmaktadır. Yapay zekâ ve yazılımla çalışan bu araçlar her ne kadar sürücü güvenliği ve konforunu artırsa da dışarıdan gelebilecek siber saldırılardan dolayı büyük ölçekte can ve mal kaybına da sebep olabilmektedir. Bu nedenle, akıllı ulaşım araçları ile ilgili tehditleri ve siber güvenlik risklerini analiz etmek ve bu son derece karmaşık, heterojen ve değişken ortamın özelliklerini dikkate alarak bu riskleri ele almak için güvenlik önlemleri ortaya koymak son derece önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada akıllı ulaşım araçlarına yapılan siber güvenlik saldırıları, doğabilecek sonuçlar ve alınabilecek güvenlik önlemleri açıklanmaya ve analiz edilmeye çalışılacaktır. Ayrıca bu sistemlerde kullanılan çok katmanlı savunma sistemi incelenerek değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Akıllı ulaşım araçları, Siber saldırı, Siber güvenlik önlemleri, Çok Katmanlı Savunma Teknolojisi

Analysis of Multi-Layer Security System in terms of Cyber Attacks in Intelligent Transportation Vehicles

Abstract

With the rapid developments in technology, smart vehicles, the use of which is increasing rapidly today, will soon have an important place in the world due to the increasing demand and the convenience they provide. When it comes to technological developments in the field of smart and autonomous vehicles, it cannot be ignored that rapid acceleration has been gained. With the advent of semi-autonomous and autonomous cars that leverage advanced machine learning and artificial intelligence techniques, the potential risks and cybersecurity challenges are increasing. Moreover, the Vehicle-to-Vehicle (V2V) and Vehicle-to-Infrastructure (V2I) interfaces required for the deployment of intelligent transportation

systems and autonomous vehicles further increase security risks as they greatly expand the potential attack surface and attack vectors. Although these vehicles, working with artificial intelligence and software, increase driver safety and comfort, they can also cause large-scale loss of life and property due to cyber attacks that may come from outside. Therefore, it becomes extremely important to analyze the threats and cybersecurity risks related to smart vehicles and to put forward security measures to address these risks by taking into account the characteristics of this highly complex, heterogeneous, and variable environment. This study will be tried to explain and analyze the cybersecurity attacks on smart vehicles, the consequences that may arise, and the security measures that can be taken. In addition, the Multi-Layer Defense System used in these systems was examined and evaluated.

Keywords: Intelligent vehicles, Cyberattack, Cybersecurity measures, Multi-Layer Defense Technology

1. Giriş

Günümüzde akıllı ulaşım araçlarının sayısı hızla artmakta ve yaşamımızda önemli bir yer edinmeye başlamıştır. Akıllı ulaşım araçları konfor ve güvenlik alanında önemli ölçüde etkisini göstermektedir. Bu araçlar, Wi-Fi erişim noktaları ve Bluetooth cihazlarıyla güvenli ve keyifli bağlantılı sürüşü hâlihazırda bizlere sunuyor. Bu avantajları ile beraber kullanımı daha da artan akıllı ulaşım araçları kötü amaçlı saldırganlar tarafından birer hedef haline gelmektedir. Araçlarda artan özerklik ve bağlanabilirlik, işlevsellik ve rahatlık açısından birçok iyileştirmeyi beraberinde getirirken, beraberinde yeni bir siber tehdidi de getiriyor (Eiza and Ni 2017). Akıllı ulaşım araçlarını hedef alan saldırılar, aracın hareketsiz kalmasına, yol kazalarına, mali kayıplara, hassas ve / veya kişisel verilerin ifşasına yol açabilir ve hatta otoyoldaki kullanıcıların güvenliğini tehlikeye atabilir.

Son yıllarda akıllı ulaşım araçlarına yapılan siber saldırılar ve önlemleri konusunda hazırlanan çalışmalarda akıllı ulaşım araçlarının genel yapısı ele alınmış ve çeşitli saldırı önleme yöntemleri önerilmiştir. Eiza ve Ni 2017 yılında yayınlanan "Köpek Balıkları ile Sürüş" adlı makalelerinde karşılaşılan siber tehditler ve OTA (Over The Air), Bulut Tabanlı Çözüm, Tek Katmanlı Çözüm gibi saldırı önleme yöntemleri önermişlerdir. Mollah ve arkadaşları tarafından hazırlanan başka bir makalede; heterojen bir Akıllı Ulaşım Sistemi ağı için blok zincir destekli bir güvenlik çerçevesi önerilmiştir (Mollah et al. 2021). Gupta ve arkadaşları da 2020 yılında yayınladıkları çalışmada; doğrudan uçtan uca iletişim yerine ayrıt altyapıları kullanarak güvenli ve güvenilir bir V2V ve V2I iletişim yaklaşımı sunuyor (Gupta et al. 2020).

Bu çalışmada, akıllı ulaşım araçlarından kısaca bahsedilmiş, ikinci bölümde akıllı ulaşım ve akıllı ulaşım araçlarının yapısı anlatılmış ve yapılan siber saldırılar türlerinden örnekler verilmiştir. Yine ikinci bölümde siber saldırılara karşı tasarlanan çok katmanlı güvenlik modeli tanıtılmış ve son bölümde akıllı ulaşım araçlarında siber saldırıların sonuçları ve önerilere yer verilmiştir.

2. Akıllı Ulaşım

Akıllı ulaşım, Bilgi ve İletişim Teknolojileri destekli ve entegre ulaşım sistemleridir. Bir noktadan bir noktaya gitmeye çalışan insanların 360 derece tüm ihtiyaçlarını gideren daha kolay, daha verimli, daha konforlu ulaşımlarını sağlayan her türlü alt yapının bütününe akıllı

ulaşım diyebiliriz. Seyahat sürelerinin azaltılması, trafik güvenliğinin arttırılması, mevcut yol kapasitelerinin optimum kullanımı, mobilitenin arttırılması, enerji verimliliği sağlanarak ülke ekonomisine katkısı ve çevreye verilen zararın azaltılması gibi amaçlar doğrultusunda geliştirilen, kullanıcı, araç, altyapı ve yolcu arasında çok yönlü veri alışverişi ile, izleme, ölçme, analiz ve kontrol içeren sistemler olarak tanımlanan Akıllı Ulaşım Araçları otomotiv sektöründen ulaştırma sektörüne, sağlıktan çevreye ve haberleşmeden bilişim, yazılım sektörüne dek pek çok sektörü ilgilendiren ve bu sektör ya da sektörlere katkı sağlayan yapısıyla disiplinler arası bir kavram olarak karşımıza çıkıyor (Tektaş and Tektaş 2019).

2.1 Akıllı Ulaşım Araçlarını Tanımı ve Çeşitleri

İnternet ile bir şekilde iletişim kuran ve veri alışverişi yapan, yapay zeka ile görüntü tanımlama yapan, diğer araç veya nesnelerle iletişim kuran bağlantılı araçlara akıllı ulaşım aracı diyebiliriz. Akıllı Ulaşım Araçlarını; Araçtan Araca Bağlantı (V2V), Araçtan Altyapıya (V2I), Araçtan Her Şeye (V2X), Araçtan Ağa (V2N), Araçtan Şebekeye (V2G) ve Platooning (Konvoylama) sınıflarına ayrılmaktadır.

2.1.1 Araçtan Araca Bağlantı (V2V)

Araçtan araca iletişim teknolojisi genellikle V2V olarak tanımlanır. Araç verilerinin bir araçtan diğerine değiş tokuşunu sağlayan akıllı bir teknolojidir. V2V teknolojisi için iletişim, özel kısa menzilli iletişimle (DSRC) dayanmaktadır. Bu tam olarak yeni bir teknoloji değil, onlarca yıl önce de vardı, ancak V2V sistemleri yaygın olarak kullanıldığında, araç güvenliği uygulamaları üzerinde en büyük etkiye sahip olacak, örneğin çarpışmadan kaçınma uygulamalarını ilerletmek gibi. V2V iletişimi, motorlu araçların Wi-Fi'ye benzer bir kablosuz iletişim protokolü kullanarak çevresindeki diğer V2V özellikli araçların hızı ve konumu hakkındaki bilgilere erişmesini sağlar. Bu veriler daha sonra sürücüleri olası tehlikelere karşı uyarmak için kullanılır. Kazaların ve trafik sıkışıklığının azaltılmasına yardımcı olur. V2V, tehlikeli trafik ve yol koşullarını, arazi sorunlarını ve hava muhalefetlerini 300 metrelik bir mesafede algılayabilir. V2V, sürüşü yoldaki herkes için daha öngörülebilir ve güvenli bir aktivite haline getirme imkanı sunar.

2.1.2 Araçtan Altyapıya Bağlantı (V2I)

V2I veya araç-altyapı teknolojisi, trafik sıkışıklığı, hava durumu uyarıları, köprü açıklık seviyeleri, trafik ışıklarının durumu gibi verileri yakalar ve ardından sürücülerin güvenli ve hızlı sürüş gerçekleştirmeleri için koşullar hakkında bilgilendirmeyi kablosuz olarak iletir. V2I tarafından desteklenen akıllı trafik sinyalleri, sürücülerin trafik koşullarını daha iyi anlamalarına yardımcı olarak, sürücüler ve toplu ulaşım aracı kullanan insanlar arasındaki iletişimi iyileştirebilecek doğru varış sürelerini de tahmin etmeye yardımcı olur.

2.1.3 Araçtan Her Şeye Bağlantı(V2X)

Araçtan her şeye olarak da bilinen V2X, hem V2V hem de V2I teknolojisini kapsar. V2X teknolojisi, diğer arabalar ve altyapı dahil olmak üzere trafik sistemiyle “iletişim kurma” gücü vererek yoldaki her otomobili daha akıllı ve daha güvenli hale getirir. V2X, sürücüleri tehlikeli hava koşulları, yakınlardaki kazalar ve trafik sıkışıklığı ve yakın mesafede meydana gelen diğer tehlikeli davranışlar hakkında bilgilendirebilir. V2X, kullanıcı olarak bizim için mevcut olan birçok bilgiyi doğrudan arabaya veya araca sağlar ve sürücünün yanıt vermesi

için gereken tepki süresini azaltır. V2X ayrıca geçiş ücretleri ve park etme ödemelerini otomatikleştirerek sürüş sürecini kolaylaştırır. V2X iletişimi, otonom sürüşün geleceği olarak görülmekte, ancak V2X pazarının hala uzun bir yolu bulunuyor. V2I ve V2V teknolojisine benzer şekilde, her kamyon, otobüs, araba, motosiklet ve hatta bisikletin bu bağlantılı araç teknolojisiyle beraber bir standart olarak gelmesi halinde V2X bu alanda en etkili teknoloji olacaktır.

2.1.4 Araçtan Ağa Bağlantı (V2N)

Araçtan Ağa (V2N) - LTE gibi kablosuz ağlar üzerinden araçtan araca iletişimi sağlar. V2N araçlar ile V2X yönetim sistemi ve ayrıca V2X AS (Uygulama Sunucusu) arasında hem yayın hem de tek noktaya yayın iletişiminin gerçekleşmesini sağlar. Bu, LTE ağ altyapısından ve E-UTRA'dan yararlanılarak elde edilir. Araçlar, yolun ilerisindeki kazalarla ilgili yayınlanmış uyarıları veya planlanan rotadaki tıkanıklık veya kuyruk uyarılarını alabilir.

2.1.5 Araçtan Şebekeye Bağlantı(V2G)

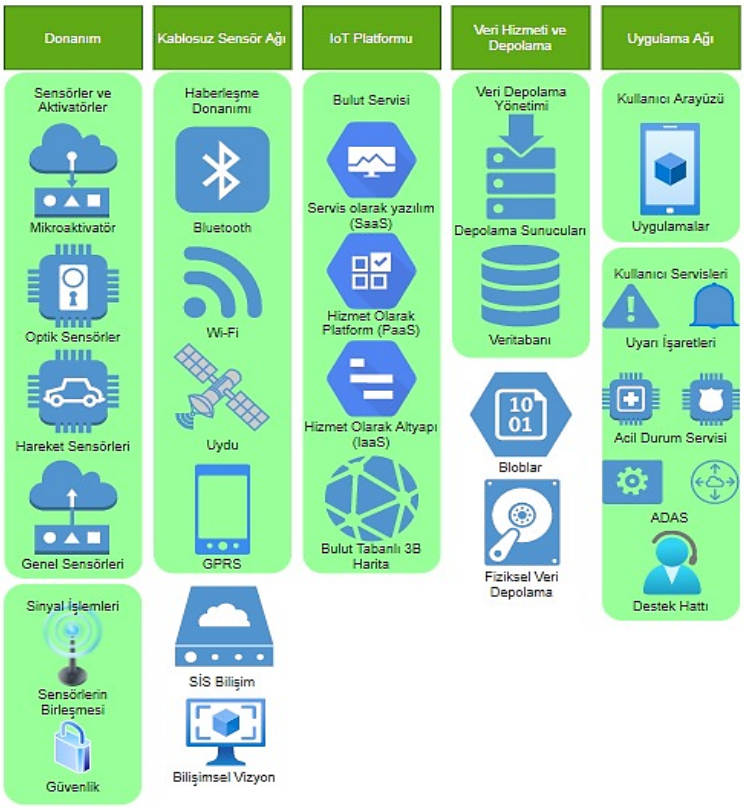
V2G teknolojisi hala geliştirilmektedir, elektrikli otomobillerde ve kamyonlarda akülerin (pillerin), güç için gerçek zamanlı taleplere dayalı elektrik şebekelerinde, bir güç kaynağı olarak kullanılması fikrine odaklanmaktadır.

2.1.6 Platooning (Konvoylama)

Bir konvoy, birlikte güvenli bir şekilde seyahat eden bir grup araçtır. Her araç en az iki şerit içi araçla iletişim kurabilir ve takımdaki araçlardan biri lider olarak hareket eder ve takımın hızını ve yönünü kontrol eder. Konvoy fikri, katılan araçların uyumlu olduğu alt sistemler aracılığıyla bir kooperatif sistemi oluşturmaktır. Bağlı araçların takım oluşturması, trafik akış verimliliğini artırabilir ve diğerlerinin yanı sıra daha güvenli sürüşe, gelişmiş otoyol kullanımına ve verimli yakıt tüketimine katkıda bulunabilir (Zeadally, Guerrero, and Contreras 2020).

2.2 Akıllı Ulaşım Araçlarının Yapısı

Akıllı ulaşım araçları, iletişimin sürekli kontrol altında olması ve iletişimin bağlı olması gereken akıllı araçlardır. Bu sebeple, birden fazla yöntemle bağlantı noktası oluşturabilirler. Akıllı ulaşım araçları, içerik akışından konum tabanlı yardıma ve akıllı acil durum desteğinden elektronik kontrol birimlerinin (ECU'lar) uzaktan yazılım güncellemelerine kadar uzanan bağlantılı hizmetlerini kullanırlar. Her ne kadar sadece kullanıcısı ile etkileşim halinde olduğu düşünülse de trafikte olan diğer bütün akıllı ulaşım araçları ile de iletişim halindedirler. Akıllı ulaşım araçlarına ait istatistiklerde yer alan bir bilgide, küçük işletmelerin %55'inin önümüzdeki yirmi yıl içinde tamamen otonom bir filoya sahip olacağına inanıyor (Alex 2021). Bu açıdan gelecekte saldırıya açık daha fazla akıllı aracın olacağı anlamına da geliyor. Ticari açıdan bakıldığında, bir filoya yapılan saldırının maddi olarak kayıplarının fazla olması kaçınılmazdır. Bir akıllı aracın kullandığı servisler ve genel IoT(Internet of Things) yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Akıllı araçların sayıları arttıkça, ağda olan otomobiller, siber saldırganların genişleyen isabet listesine potansiyel hedef olarak eklenebilir (Okul 2018).



Şekil 1. Akıllı araç genel IoT yapısı

2.3 Akıllı Araçlarda Siber Saldırı Türleri

Bir saldırgan, kablosuz arabirimlerdeki zayıflığından yararlanarak çarpışma veya kontrol kaybına neden olarak bir otomobilin ECU'larına saldırabilir. Gizlilik istilasına neden olan Telematik Kontrol Birimindeki (TCU) güvenlik açıklarını sömürerek bir arabanın özel görüşmelerini engelliyor olabilir. Çoğunlukla sürücüleri yönlendirmek ve yönetmek için kullanılan ve gizlilik ihlallerine neden olan GPS navigasyon sisteminden istifade ederek bir arabayı izleyebilir. Bir saldırgan, düşman başka bir ülke tarafından da büyük çaplı çarpışmalara ve kritik yaralanmalara neden olan tam uzaktan kumandayla zayıf otomobillerden ödün vermek suretiyle ulusal ulaşım yollarına ve banliyölerine karşı bir siber savaş başlatabilir (Eisenbarth et al. 2009).

Bir arabaya başarılı bir şekilde saldırmak için bir saldırganın dahili ağa fiziksel olarak, OBD-II bağlantı noktası, medya oynatıcısı veya USB bağlantı noktaları yoluyla veya kablosuz olarak Bluetooth veya hücresel arabirimler aracılığıyla erişmesi gerekir. Bir saldırganın aracın dahili ağına girmesi saldırı için gerekli imkânı verecektir. Araçları etkileyen saldırıların sınıflandırılması örnekler ile aşağıda açıklanmaktadır.

2.3.1 DoS Saldırısı

Aracın V2V (Vehicle To Vehicle) bağlantısı aracılığıyla diğer araçlara iletişim halinde bulunması saldırganın bu araca çok sayıda veri ve istek göndererek aracın cevap verebilirliğini engelleyerek, diğer araçlar ile olan iletişimin aksamasına sebep olacak kesintiyi sağlamasıdır (Abdollahi Biron, Dey, and Pisu 2018). Ayrıca aracın gerekli hız limitlerine uyamamasından kaynaklı can ve mal kayıplarına sebep olabilmektedir. Flooding saldırıları ise, bant genişliği, CPU, güç ve diğer benzer araçlar gibi ağ kaynaklarını tüketmek

için trafik oluşturur. Flooding saldırıları iki gruba ayrılabilir; veri taşması ve yönlendirme kontrol paketlerinin taşması (Sakiz and Sen 2017).

2.3.2 Yalancı Veri Enjeksiyonu (FDI)

Bir FDI saldırısında, saldırgan, kapalı döngü kontrol sistemini tehlikeye atmak için normal sensör çıktılarını değiştirmek için kötü niyetli ölçümler enjekte eder. Otonom sürüş uygulamalarında, konum ölçümü, FDI enjekte edilmiş veriler tarafından başka bir şeride yönlendirilebilir (Wang et al. 2021). Bu saldırının bir örneği hız göstergesinde hatalı bir hız göstermek olabilir. Bir saldırgan ilk önce akıllı araca gönderilen gerçek hız güncelleme paketini kesip sonra sahte hız sahip olan değiştirilmiş bir paket gönderebilir. Buna ek olarak, bir saldırgan hava yastığı sisteminin gerçek durumunu, hava yastığı arızalı veya çıkarılmış olsa bile sorunsuz görünmesi için veriyi değiştirebilir.

2.3.3 Gizlilik İstilası

Saldırgan, TCU'daki hücresel ara yüze erişilerek araç içerisi dinlenebilir veya gönderilen ve alınan verileri kopyalayabilir. Saldırgan, seçilen kurban düğümlerinden gelen ve bu düğümlere giden trafiği ele geçirmek için yönlendirme bilgilerini değiştirir. Bu, trafik analizi yapmak için kullanılabilir ve paketlerin seçici filtrelenmesiyle birleştirilebilir ve bu da, seçilen yönlendiricilerin "kaybolmasını" sağlamak için kullanılabilir (Jakobsson, Wetzel, and Yener 2003).

2.3.4 Bluetooth Üzerinden Zararlı Yazılım Enjeksiyonu

Saldırgan, aracın Bluetooth ağına zararlı truva atı göndererek aracın sistemini ele geçirebilir. Ele geçirilen araçta ABS sistemi gibi güvenlik açısından kritik ECU'lar ile iletişim kurabilir. Araştırmacılar, Bluetooth kontrol kodunun, eşleştirilmiş herhangi bir Bluetooth cihazından kodun yürütülmesine izin veren potansiyel bir bellek istismarı içerdiğini belirlediler (Parkinson et al. 2017).

2.3.5 CAN Bus Protokolüne Erişme ve Bu Protokolden Yararlanma

Bir otomobildeki CAN (Controller Area Network) veri yolu, aracın sensörleri ile çeşitli elektronik kontrol üniteleri (ECU'lar) arasındaki iletişimi sağlayan ağdır. Modern araçlar, motoru, hava yastıklarını, kilitlenme önleyici fren sistemini, arka lambaları, eğlence sistemini ve daha fazlasını kontrol eden 70 veya daha fazla ECU'ya) sahip olabilir (Payne 2019). CAN'ın kendisi, çok uluslu elektronik ve mühendislik şirketi Bosch tarafından 1991'de CAN spesifikasyonu 2.0 olarak standartlaştırılan mesaj tabanlı bir protokoldür. Araçlar, dahili veri yolu üzerinde güvensiz bir şekilde iletişim kuran bir bilgisayar ağına benzer. Bu, bilgisayar korsanlarının CAN veri yolu üzerinde çok sayıda denetleyici alan ağı paketini (hem normal paketler hem de tanılama paketleri) dahili bileşenlere göndererek bir aracı ele geçirebileceği anlamına gelir. Kötü niyetli paketler olağan paketlerden önce ECU'lara ulaşırsa, bu bileşenler onları geçerli kabul eder. Saldırgan kabul edilen bu paketlerle araç ağına sızmış olur.

2.3.6 Tersine Mühendislik Saldırısı

Bir tersine mühendislik saldırısında, saldırganlar, yeniden yürütme ve aktarma saldırıları gibi gelecekteki saldırıları gerçekleştirmek için güvenlik açıklarını bulmak için araç sistemlerini bozabilir ve araç donanım yazılımını çıkarma ve değiştirme yoluyla tersine mühendislik yapabilir (El-Rewini et al. 2020).

2.3.7 Jamming (Karıştırma) Saldırısı

Bu saldırı türü, lazerle aynı frekans bandını kullanan araçtaki tarayıcı ünitesine doğrudan ışık yayar. Bir aracın LiDAR sensörünü sıkıştırmak için bir Raspberry Pi ve düşük güçlü bir lazere sahip düşük maliyetli, kullanıma hazır bir sistem kullanabilir saldırgan. En sık kullanılan sensörlerin (hız, sıcaklık, vites konum bilgileri, hız sabitleyici ayarı ve pil durumu) Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU) ile iletişim kurmasını ve ayrıca EV (Electric Vehicle) araçlarında da bu bilgileri sunucuya göndermesini önlemek için karıştırma saldırısı başlatılabilir (Fraiji et al. 2018). Saldırı ile sürücü araç koşullarını tahmin edemeyecek ve araç sürücünün kontrolünden çıkacaktır.

2.3.8 Sybil Saldırısı

Sybil saldırısı, araç ağlarındaki en tehlikeli saldırılardan biri olarak sınıflandırılıyor. Saldırı, ağın normal işleyişini bozmak için aracın/kullanıcının kimliğinin tahrif edilmesini içerir (Nanda et al. 2019). Saldırı, ya yanlış bilgi sağlamak için birden fazla kimliği kullanır ve bilginin birden fazla cihazdan geliyormuş gibi görünmesini sağlayarak ya da başkasının kimliğini taklit ederek ve yanlış bilgi vererek iki şekilde gerçekleştirilebilir. Saldırı, ağın sürekli değişen topolojisinden ve hareketliliğinden yararlanır ve aracın konumu hakkında yanlış bilgi sağlayabilir; bunu kullanarak, bu konumlardaki olaylar hakkında da yanlış bilgi verebilir.

2.3.9 Tekrar Saldırısı

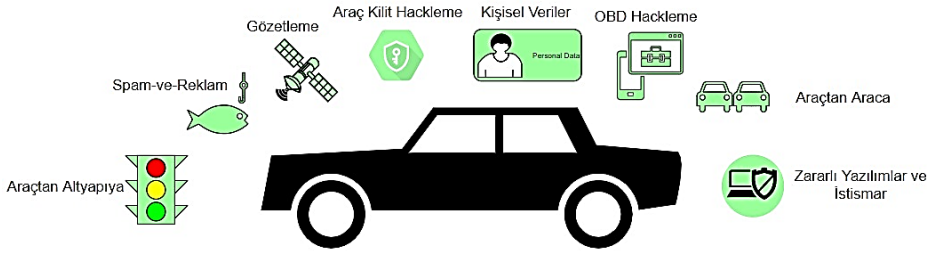
Saldırgan, önceki bir mesajı yeniden yayınlayabilir ve tekrar saldırısında bir olay ortaya çıkarabilir. Bu tepki, saldırganın bilgi sistemini savunmasız bir duruma (örneğin, bir sistem sıfırlaması) zorlamasına veya daha fazla saldırıya izin vermek için bilgi toplamasına (şifreli paketler gibi) izin verebilir. Tekrarlar en başta bütünlükten taviz verir, ancak kimlik doğrulama, erişim kontrolü ve inkar edilemezliği de tehlikeye atabilirler (Yağdereli, Gemci, and Aktaş 2015). Seçilen tekrar saldırıları ayrıca kullanılabilirliği ve gizliliği de etkileyebilir.

2.3.10 Anahtarlıkla ve Anahtarsız Aracı Ele Geçirme

Araca girmek için, anahtarlıkla veya anahtarsız giriş olmak üzere iki yol vardır. Saldırgan, sürücü aracını kilitlemeye çalıştığında anahtarlığın sinyallerini engelleyebilir. Bu cihazlar çalılıklara gizlendikten ve uzun süreler boyunca etkin kaldıktan sonra, anahtarlığın sinyalleri otoparkların veya caddelerin tüm alanlarında engellenecektir. Saldırgan, anahtarsız girişe sahip bir aracın sinyalini engelleyemez. Fakat bu değişmeyen sinyal, bir araca erişmek için yakalanabilir ve çoğaltılabilir. Araçların çalıştırılmasına ve çalınmasına izin vermek için alarm ve immobilizer devre dışı bırakılabilir (Sun, Yu, and Zhang 2021).

2.3.11 Fiziksel Müdahale

Başka bir saldırı türü, üretim düzeyinde kötü niyetli içeriden veya gözetimsiz bir araçta dışarıdan biri tarafından (örneğin, belirli araç sensörlerini başka sensör ile değiştirerek veya bozarak) araç donanımı veya yazılımı ile oynamadır (Amoozadeh et al. 2015). İletişim kanalı güvenli olsa ve CAV'da son teknoloji güvenlik mimarisi kullanılmış olsa bile, yerleşik donanım/yazılım kurcalanmış veya hatalıysa, sisteme giriş bilgileri doğru olmayacaktır.



Şekil 2. Akıllı araç saldırı türleri (Processors tackle cybersecurity in connected cars - Electronic Products n.d.)

2.4 Akıllı Araçlarda Siber Saldırılara Karşı Alınacak Önlemler

Araçların güvenli ve başarılı bir şekilde sürüşe devam edebilmesi için dinamik ve tehditlere duyarlı olması gerekir. Güvenliğe yönelik tehditler mümkün olduğu kadar savunulabilir olmalıdır; başka bir deyişle, tehditlere karşı erken önlem alan bir yaklaşım, karşılanması gereken temel bir gereklilik olmalıdır. Bununla birlikte, ağa yönelik tüm olası tehditleri tahmin etmek imkansız olduğundan, cevap veren yaklaşımlar etkili olmalı ve hızlı ve verimli bir şekilde devreye alınmalıdır. Kullanıcıların bir saldırı sonucunda olabildiğince az kesinti yaşaması önemlidir (Dibaei et al. 2019).

İşbirlikçi teknoloji V2X, konum, hız ve yön gibi bilgileri ortaya çıkaran işaretlerin yayınlanmasına olanak sağladığından, doğası gereği kısa vadeli konum takibine olanak tanır. Yolcuların uzun vadeli mahremiyetini korumak için, bir takma ad yönetim sistemi uygulamak, saldırıyı hafifletme tekniğidir. Bu nedenle araç, yeterli düzeyde güvenlik ve mahremiyet sağlayan gizlilik politikalarına göre takma adları değiştirecektir. Otonom sürüş görevi üzerinde doğrudan bir sonuç olmadığı için bu, otomasyon sistemini kendi başına etkilemez. Bu nedenle, bu tehdit ortalama bir saldırı olarak kabul edilir, ancak yine de kullanıcının dikkatini çekmek için ele alınmalıdır (Petit and Shladover 2015).

Araç içi ağ saldırılarını savunmak için bu saldırıların türlerine göre farklı stratejiler vardır; Uzaktan sensör saldırılarını savunmak için, kimlik doğrulama, tutarlılık kontrolü, sensör birleştirme ve Mekân-zamansal sorgulama-tepki dahil olmak üzere birkaç etkili çözüm vardır. Ultrasonik sensörlerin güvenliğini artırmak için, Xu, fiziksel düzeyde sinyalleri doğrulamak için kullanılan tek sensör tabanlı fiziksel kaydırma doğrulaması ve sistem düzeyinde sinyalleri doğrulamak için birden çok sensörün kullanıldığı çoklu sensör tutarlılık kontrolleri olmak üzere iki savunma stratejisi önerdi (Xu et al. 2018).

GPS yanıltma saldırılarını savunmak için, önyargı tahmini menzil kontrolü, hızlar tutarlılık kontrolü, istatistiksel test, en az mutlak küçülme ve seçim operatörü ve küresel navigasyon uydu sistemi büyütme dahil olmak üzere çeşitli stratejiler vardır. Konum izleme saldırılarını savunmak için k-anonymity, mix-zone, yazılım tanımlı ağlar, lokasyon perturbation ve perturbation-hidden yöntemleri bulunuyor. En yakın güvenlik açıklarını savunmak için, şifreleme ve kriptografik sağlama toplamı dahil olmak üzere çeşitli stratejiler vardır.

Bluetooth için; kriptografik tekniklerle birkaç güvenli Bluetooth protokolü geliştirilmiştir. Ancak, çoğu ticari ürün, kullanılabilirlik üzerinde olumsuz etkileri olan bu güvenli protokolleri benimsememektedir. Bu güvenlik protokolleri, güven oluşturmak için kriptografik algoritmayı kullanır. Bluesniff gibi bazı açık kaynaklı araçları kullanarak saldırı savunulmaktadır. Ne yazık ki, kötü niyetli düğümlerin bellek istismarı ile yürütülmesini önlemek için önlem almamakta. Lastik Basıncı İzleme Sistemi için; TPMS'nin güvenilirliğini ve güvenliğini artırabilecek birkaç yöntem vardır. İlk olarak, TPMS üzerinde çalışan yazılım, temel güvenilir tasarım ilkelerine uymalıdır. İkinci olarak, TPMS paketleri basit bir kriptografik algoritma ile şifrelenmelidir. Ayrıca paketin güncelliğini sağlamak için pakete fazladan bir sıra numarası alanı eklenmelidir. Ayrıca, mesaj sahteciliğini önlemek için, Döngüsel Artıklık Kontrolü sağlama toplamından önce ekstra bir şifreleme sağlama toplamı eklenmelidir.

Anahtar ve Anahtarsız ele geçirmeler için; anahtarlık etkinleştirildiğinde, sürücünün aracın sinyali aldığını gösteren ışıkların yanıp söndüğünden emin olması gerekir. Ardından sürücü, bir kapı kolunu kaldırarak aracın kilitli olup olmadığını kontrol eder. Premium Audi RS4 araçlarında, saldırgan araçlara fiziksel erişim sağlarsa sisteme yeni bir anahtar eklenebilmektedir. Ağ Bölümlenmesi, CAN veri yolu için güvenlik sağlamanın kolay bir yoludur. Daha sonra kritik ve kritik olmayan ECU'lar ayrılır. Düşman kritik ECU'lara kolayca erişemez. Ağlar arasındaki bağlantı, bir ağ geçidi ECU'suna dayanır. Ancak, ağ geçidi ECU'su manipüle edilebilir. Ağ geçidi ECU'su ilgili kimlikleri alt ağa iletmek üzere programlanmışsa, alt ağa ait bir düğümün kimliğine sahip kötü niyetli bir CAN çerçevesi geçirilerek kandırılabilir. Dezavantaj ise, ağ bölümlenmesinde bakım zorluğu artmasıdır.

DoS saldırılarının tespit edilebilmesine rağmen düzeltilmesi zordur. Erken tespit, saldırıları önlemeye veya sürücüyü bazı etkili önlemler alması için uyarmaya yardımcı olacaktır. DoS saldırılarına karşı koymak için, kayan mod ve uyarlanabilir tahmin, bant genişliği ve entropi ve kayan pencerelerin benzerliği dahil olmak üzere bazı stratejiler vardır. Ohira ve arkadaşları, DoS saldırılarını önlemek için kullanılabilecek bir paket algılama algoritması önerdiler. Sürgülü pencerelerin benzerliğine dayalı olarak, her bir DoS saldırısını tespit etmek için geliştirilmiş bir DoS saldırı tespit stratejisi tasarlanmıştır (Ohira et al. 2020).

Khateeb, Bayes tahmin teknikleri aracılığıyla davranış analizi kavramlarını kullanarak siber tehdit önleme için proaktif anomali tespiti için bir yaklaşım sunmuş, bu çalışma esnekliğin önemli ölçüde arttığını ve yeni kötü niyetli amaçları tahmin etmek için denetimli makine öğreniminin gerektirdiği zaman maliyetini azalttığını göstermiştir (Al-Khateeb et al. 2018).

Altyapı saldırılarını savunmak için ise; siber güvenlik mimarisi, güvenli toplama, yazılım tanımlı güvenlik ve kimlik doğrulama dahil olmak üzere birkaç strateji vardır. Bulut tabanlı yöntem, CAV (Connected and Autonomous Vehicles)'lerin altyapısındaki siber saldırıları tespit etmek ve azaltmak için kullanılır. İslam, araçtan altyapıya uygulamalara yönelik siber saldırıları tespit edip önleyebilen yeni bir araçtan altyapıya siber güvenlik mimarisi tasarladı (Islam et al. 2018). CAV'lerin altyapısı için yeterli düzeyde koruma sağlamak için, güvenlik mekanizmalarını donanım katmanından bir yazılım katmanına soyutlayarak yazılım tanımlı güvenlik kullanılabilir.

Kritik birimler de dahil olmak üzere ağın geri kalanına erişmek için bir bileşendeki güvenlik açıklarından yararlanan tehdit aktörlerinden kaçınmak için ağ bölümlendirilmesi uygulanabilir. CAN veri yolu aracılığıyla bağlanan herhangi bir bileşen için kimlik doğrulama veya yetkilendirme uygulanmalı. CAN veri yolundaki trafiğin şifrelenmesi büyük önem arz etmektedir. Güvenlik çalışmaları ayrıca siber saldırıları önlemek için anormallik algılama mekanizmalarının uygulanmasını önermektedir. Bir anormallik algılama mekanizması,

araçtaki herhangi bir bileşen için "normal" davranış kalıplarından yararlanabilir. Bu taban çizgisinden herhangi bir sapma analiz edilmeli ve karşı önlemler potansiyel olarak etkinleştirilebilir.

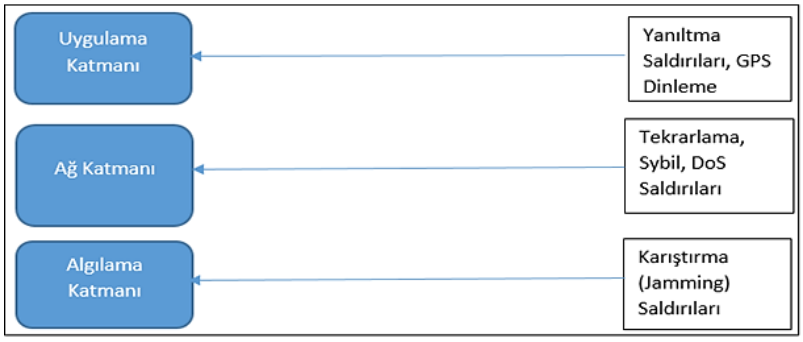
Antivirüs yazılımı, kötü amaçlı yazılımları tespit etmek, engellemek ve sistemden kaldırmak için dosyaları tarayan bir güvenlik çözümüdür. Kötü amaçlı yazılımdan koruma, bilinen ve bilinmeyen kötü amaçlı yazılımları algılamak için buluşsal yöntemler, genel ve özel imzalar kullanır (Huq, Gibson, and Vosseler 2020). Kaspersky firmasının sadece bağlı akıllı araçlar için ürettiği güvenlik çözümleri; güvenli yazılımın yürütülmesini sağlar ve siber saldırı ile kötü amaçlı yazılımın yanı sıra rastgele yazılım hatalarına karşı koruma sağlamakta ayrıca araçlara ilişkin siber güvenlikle ilgili eksiklikleri ortaya çıkarmaya, analiz etmeye ve gidermeye yardımcı olmaktadır.

2.5 Çok Katmanlı Savunma Sistemi

Bağlantılı araç ve bilgisayar korsanlarının varlığı artık hayatın bir parçası bu nedenle güvenlik, akıllı araç tasarımının ayrılmaz bir parçası olmaktadır. Araç güvenliği büyük bir konu ve bunu yönetilebilir parçalara (zaman ve elektrik ekseninde) ayırabiliriz (Birnie and van Roermund 2016). Çok katmanlı yapıya sahip olan savunma sistemi, farklı katmanlarda güvenlik sağlayarak asla aracın sürüş kontrolünün elde edilememesini ve sürekli kimliklendirme ve farklı katmansal korumalarla tam güvenliği hedefliyor. Günümüzde bu sistemin en önemli görevi, her koruma katmanının etkin olup olmadığını iki kez kontrol etmek olacaktır (Denman 2012).

2.5.1 Çok Katmanlı Savunma Sisteminin Yapısı

Akıllı Ulaşım Araç ağları, temel olarak, veri toplamak için çeşitli sensörlerle birlikte araçlar arası iletişim sistemlerinden oluşur. Herhangi bir ağda olduğu gibi, araç ağları da katmanlı bir mimariye sahiptir; ancak geleneksel ağ katmanlı yapıdan farklıdır. Birlikte çalışabilirlik, ölçeklenebilirlik, güvenilirlik ve modülerlik gibi özellikleri ele almak için açık ve esnek katmanlı bir yapıya ihtiyaç vardır. Çok Katmanlı Savunma Sistemi, üç katmandan oluşmaktadır; Algılama Katmanı, Ağ Katmanı ve Uygulama Katmanı.



Şekil 3. Çok katmanlı savunma sisteminde katmanlara göre saldırılar

2.5.1.1 Algılama Katmanı

Algılama katmanı, üç katmanlı mimaride en alttaki katmandır. Bu sistemde, fiziksel ve veri bağlantı katmanları birlikte algılama katmanını oluşturur. Bu katman, mevcut sensörler aracılığıyla çevre hakkında bilgi toplamaktan sorumludur. Toplanan veriler sürüş düzenleri, çevre koşulları, araç durumları ve çok daha fazlasıyla ilgili olabilir. Bu katman, RFID

etiketleri, kablosuz sensör ağları (WSN'ler) ve NFC gibi çok sayıda algılama teknolojisinden oluşur. Bu katmanda gerçekleştirilen ana görevler:

- Nesneler hakkında veri toplayarak çevredeki fiziksel nesneleri akıllı aracın bir parçası olarak benzersiz şekilde tanımlama.
- Algılanan verilerin dijital sinyallere dönüştürülmesi.
- Çevredeki nesnelerden toplanan verilerin ağ iletimi ve işlenmesi için üst katmanlara gönderilmesidir.

2.5.1.2 Ağ Katmanı

Alt katmandan alınan veriler işlenir ve uygulama katmanına iletilir. Bol miktarda veri, LAN, kablosuz/kablolu ağlar ve Wi-Fi, Bluetooth veya Zigbee gibi bir iletim ortamı gibi ağ teknolojileri kullanılarak işlenir. Bu katman, bağlantıyı sağlamaktan sorumlu olduğu için uygun bir şekilde iletişim katmanı olarak adlandırılır. Bu katman, araçtan diğer araçlara (V2V), altyapıya (V2I), yayaya (V2P) ve diğer sensörlere (V2S) kadar tüm iletişimi yönetir. Bu katman tarafından kullanılan iletişim ortamı, kesintisiz bağlantı sağlamak için Wi-Fi, Bluetooth, GSM, LTE vb. içerebilir. Bu katmanın görevleri:

- Algılama katmanı bilgileri ağ desteği tarafından işlenir.
- İşlenen sensör verileri alınır/üst katmana iletilir.
- Güvenli veri iletimi, fiziksel nesnelere IPV6 adreslemesi atar.

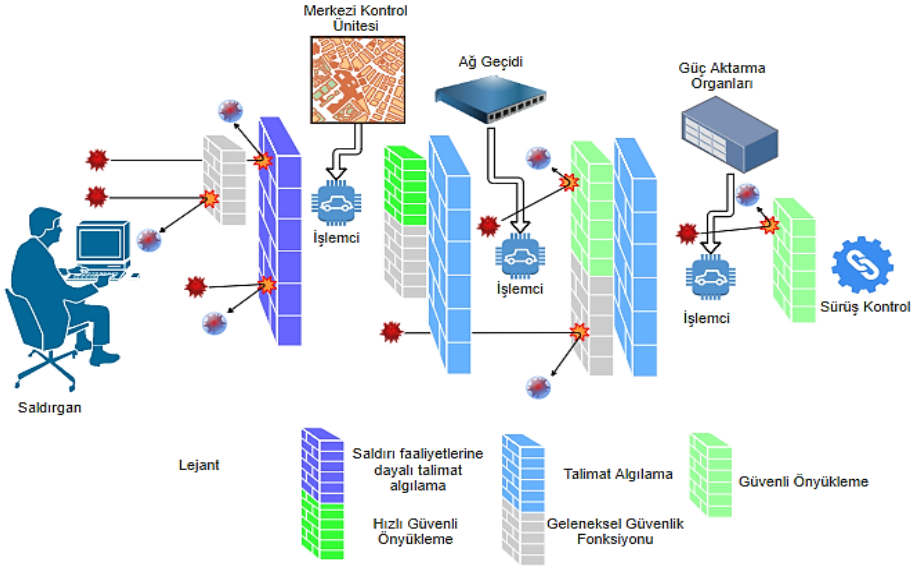
2.5.1.3 Uygulama Katmanı

Uygulama katmanı, veriler için hem depolama hem de işlemlere kaynak sağlayan güç merkezidir. Ana sorumluluklar veri yönetimi, depolama, işleme ve hatta karar vermeyi içerir. Katman ayrıca büyük veri analizi, WSN'ler, bulut bilişim vb. için destek sağlar. Bu katman ayrıca uygulama katmanı ve iş katmanına bölünebilir. Bu katman, tüm akıllı ulaşım araç platformu için bir ön uç görevi görür. Bu katmanın ana işlevi, farklı uygulamaların yönetimini kolaylaştırmaktır. Taşıt uygulaması dağıtım platformları, ulaşım, sağlık ve bankacılık gibi çeşitli uygulamalar arasında ayrım yapmak için kullanılır. Ayrıca, iş alt katmanı, son verileri yönetir ve veri güvenliği ile ilgilenir. Nihai işlenmiş veriler, çizelgeler, grafikler vb. dahil araçlar kullanılarak belgelenir.

2.6 Çok Katmanlı Güvenlik Sisteminin İncelenmesi

Çok katmanlı savunma sistemi, otomotiv ana ünitesini ve bu ünitenin araç üzerinde tam kontrole sahip olup olmadığını izleyerek siber saldırıları tespit ediyor. Öncelikle, otomotiv ana ünitesi, aracın internete olan ana bağlantısıdır. Buna dikkat etmek, aracı siber saldırılardan korumanın anahtarıdır. Ayrıca, arka planda sürekli çalışan bilgisayar güvenlik programlarının aksine, bu teknoloji yalnızca kötü niyetli siber saldırı mevcut olduğunda aktif hale gelerek sistem işlem yükünü azaltır. Ayrıca, Fast Secure Boot teknolojisi sayesinde sistem yüzde 90 daha hızlı açılıyor ve otomobilin otomotiv ana ünitesine gömülü yazılımının bütünlüğünü doğrulamak için daha hızlı ve daha güvenli önyüklemelere izin veriyor. Çok katmanlı savunma teknolojisi, halihazırda mevcut olan güvenlik işlevlerini güçlendirerek bağlantılı araçlar için güvenlik önlemlerini artırmayı amaçlıyor. Daha önce geliştirilen endüstriyel teknolojilerden uyarlanan sistemin dikkat çeken özellikleri ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Aracın kontrolünü ve konsolunu ele geçirme odaklı siber saldırıları tespit ediyor ve bunu sisteme mümkün olduğunca az yük bindirerek yapmayı amaçlar.
- Standart bir başlama (boot) sürecine sadece %10'dan az bir süre ekleyerek sistem çalışmaya başlıyor. Sistem açılışına etkisinin kısa olması teknolojiyi kullanılabilir yapan detaylardan belki de en önemlisi.
- Aracın internet ve diğer bağlantılarını da kontrol ederek olası bir atağı başlamadan engellemeyi amaçlar.
- Çok katmanlı savunma teknolojisi, aracın internet ile ana bağlantısı olan otomotiv ana ünitesinin güvenlik işlevlerini güçlendirerek aracın güvenliğinin artırılmasını sağlar. Geliştirilen teknoloji, sınırlı makine kaynaklarına ihtiyaç duyan elektrik gücü, doğalgaz, su, kimyasallar ve petrol sistemleri gibi kritik altyapılar için geliştirilmiş çok katmanlı savunma teknolojilerinden ilham alınarak uyarlanmıştır.

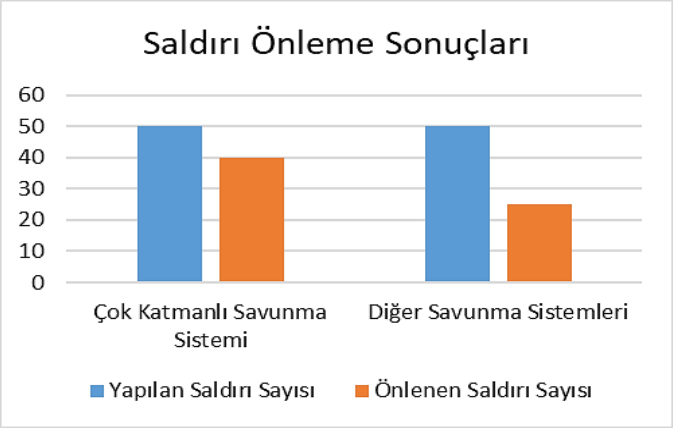


Şekil 4. Çok katmanlı savunma sistemi görseli

Bu sistemde her katmanda gerçekleştirilen saldırı tespit edildiği anda katman olarak veya sistem kendini yeniden başlatma sürecine girer. Çok katmanlı savunma teknolojisinde katmanın yeniden başlaması bütün sistemin başlatılması engellenerek daha hızlı bir başlatma gerçekleştirilir.

3. Bulgular ve Değerlendirme

Çok Katmanlı Savunma Teknolojisi; güvenli önyükleme özelliği, önyükleme işlemi sırasında yazılımın bütünlüğünün doğrulanmasını sağlıyor. Geleneksel bir güvenli önyükleme, işlem için nispeten zaman dezavantajına sahiptir, çünkü tüm yazılımların yüklenmesi ve doğrulanması gerekir. Çok katmanlı savunma sistemi, sorunu çözmek için yazılımın temel parçalarına odaklanarak doğrulama gerektiren veri miktarını azaltmaktadır.



Şekil 5. Çok katmanlı savunma sistemi ve diğer savunma sistemlerinin grafiği

Bu yeni teknoloji, normal bir önyükleme dizisi için zamanın %10'undan daha azına ihtiyaç duymaktadır. Çok katmanlı Savunma Sistemini kullanan 50 adet akıllı ve bağlantılı araca gerçekleştirilen saldırıların %80'ni başarılı şekilde önlendiği gözlemlendi farklı siber saldırı önleme sistemine sahip araçlara yapılan saldırıların ancak %50'si önlenebilmiştir.

4. Sonuç

Akıllı ulaşım araçlarında son yıllarda gelişen teknolojilere bağlı olarak güvenlik sorunları ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Bu araçlarda güvenlik sağlanmadığı durumlarda ortaya can ve mal güvenliği sorunları beraberinde gelmektedir. Akıllı ulaşım sistemlerinin ve otonom araçların konuşlandırılması için gerekli Araçtan Araca (V2V) ve Araçtan Altyapıya (V2I) ara yüzler, potansiyel saldırı yüzeyini ve saldırı vektörlerini büyük ölçüde genişlettikleri için güvenlik risklerini daha da artırmaktadır. Sonuç olarak, çok katmanlı savunma sistemi her ne kadar yeniden başlatma ile %10'luk bir zaman maliyetine sahip olsa da yapılan siber saldırıları önleme konusunda diğer savunma sistemleri veya siber saldırı önleme teknolojilerinden daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Bu kapsamda, gelişmekte olan akıllı ve bağlantılı ulaşım araçlarında bu yeni siber saldırı önleme teknolojisinin araştırılması ve geliştirilmesi için daha fazla bütçe ayrılması planlanmakta ve yapılan saldırılardan doğabilecek her türlü zararın da minimum seviyeye çekilmesi hedeflenmektedir. Artan akıllı ulaşım aracı pazarı ile birçok araç üretici firma bu konu üzerinde AR-GE çalışmaları yapmakta ve büyük ölçekli bütçeler ayırmaktadır. Son olarak bu araç üretici firmalarının güvenliğin sağlanması amacı ile AR-GE çalışmalarında ayıracakları yatırım bütçeleri yıl bazında arttırılması gerekmektedir. Bu artışlara ilave olarak bu alanda yetkin personellerin sayısının arttırılması ayrıca önem kazanmış durumdadır ve bu konuda yapılacak yatırımlar için devlet politikaları mutlaka bu yönde yatırımcıları desteklemelidir.

5. Kaynaklar

Abdollahi Biron, Zoleikha, Satadru Dey, and Pierluigi Pisu. 2018. "Real-Time Detection and Estimation of Denial of Service Attack in Connected Vehicle Systems." IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 19(12): 3893–3902.

Al-Khateeb, Haider et al. 2018. "Proactive Threat Detection for Connected Cars Using Recursive Bayesian Estimation." IEEE Sensors Journal 18(12): 4822–31.

Alex, Kopestinsky. 2021. "Self Driving Car Statistics for 2021| Policy Advice." https://policyadvice.net/insurance/insights/self-driving-car-statistics/ (April 4, 2021).

Amoozadeh, Mani et al. 2015. “Security Vulnerabilities of Connected Vehicle Streams and Their Impact on Cooperative Driving.” IEEE Communications Magazine 53(6): 126–32.

Birnie, Andy, and Timo van Roermund. 2016. “A Multi-Layer Vehicle Security Framework.” NXP White Paper: 1–18. https://www.nxp.com/docs/en/white-paper/MULTI-LAYER-VEHICLE-SECURITY-WP.pdf.

Denman, Simon. 2012. “Why Multi-Layered Security Is Still the Best Defence.” Network Security 2012(3): 5–7. http://redtape.msnbc.msn.

Dibaei, Mahdi et al. 2019. “An Overview of Attacks and Defences on Intelligent Connected Vehicles.” arXiv (July).

Eisenbarth, Thomas, Timo Kasper, Amir Moradi, and Christof Paar. 2009. 5677 On the Power of Power Analysis in the Real World: A Complete Break of the KeeLoq Code Hopping Scheme. ed. Shai Halevi. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-3-642-03356-8.

Eiza, Mahmoud Hashem, and Qiang Ni. 2017. “Driving with Sharks: Rethinking Connected Vehicles with Vehicle Cybersecurity.” IEEE Vehicular Technology Magazine 12(2): 45–51.

El-Rewini, Zeinab et al. 2020. “Cybersecurity Attacks in Vehicular Sensors.” IEEE Sensors Journal 20(22): 13752–67.

Fraiji, Yosra, Lamia Ben Azzouz, Wassim Trojet, and Leila Azouz Saidane. 2018. “Cyber Security Issues of Internet of Electric Vehicles.” IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC 2018-April: 1–6.

Gupta, Maanak, James Benson, Farhan Patwa, and Ravi Sandhu. 2020. “Secure V2V and V2I Communication in Intelligent Transportation Using Cloudlets.” IEEE Transactions on Services Computing 1374(c): 1–1.

Huq, Numaan, Craig Gibson, and Rainer Vosseler. 2020. “Driving Security Into Connected Cars: Threat Model and Recommendations.” Trend Micro.

Islam, Mhafuzul, Mashrur Chowdhury, Hongda Li, and Hongxin Hu. 2018. “Cybersecurity Attacks in Vehicle-to-Infrastructure Applications and Their Prevention.” Transportation Research Record 2672(19): 66–78.

Jakobsson, Markus, Susanne Wetzel, and Bülent Yener. 2003. “Stealth Attacks on Ad-Hoc Wireless Networks.” IEEE Vehicular Technology Conference 58(3): 2103–11.

Mollah, Muhammad Baqer et al. 2021. “Blockchain for the Internet of Vehicles towards Intelligent Transportation Systems: A Survey.” IEEE Internet of Things Journal 8(6): 4157–85.

Nanda, Ashish, Deepak Puthal, Joel J.P.C. Rodrigues, and Sergei A. Kozlov. 2019. “Internet of Autonomous Vehicles Communications Security: Overview, Issues, and Directions.” IEEE Wireless Communications 26(4): 60–65.

Ohira, Shuji et al. 2020. “Normal and Malicious Sliding Windows Similarity Analysis Method for Fast and Accurate IDS against DoS Attacks on In-Vehicle Networks.” IEEE Access 8: 42422–35.

Okul, Şükrü. 2018. “Akıllı Araçlarda Güvenlik Ataklarının Analizi.” İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. www.tcpdf.org.

Parkinson, Simon, Paul Ward, Kyle Wilson, and Jonathan Miller. 2017. “Cyber Threats Facing Autonomous and Connected Vehicles: Future Challenges.” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 18(11): 2898–2915.

Payne, Bryson R. 2019. “Car Hacking : Accessing and Exploiting the CAN Bus Protocol Car Hacking : Accessing and Exploiting the CAN Bus Protocol.” Journal of Cybersecurity Education, Research and Practice 2019(1): 5.

Petit, Jonathan, and Steven E. Shladover. 2015. “Potential Cyberattacks on Automated Vehicles.” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 16(2): 546–56.

“Processors Tackle Cybersecurity in Connected Cars - Electronic Products.” https://www.electronicproducts.com/processors-tackle-cybersecurity-in-connected-cars/# (April 3, 2021).

Sakiz, Fatih, and Sevil Sen. 2017. “A Survey of Attacks and Detection Mechanisms on Intelligent Transportation Systems: VANETs and IoV.” Ad Hoc Networks 61(March): 33–50.

Sun, Xiaoqiang, F Richard Yu, and Peng Zhang. 2021. “A Survey on Cyber-Security of Connected and Autonomous Vehicles (CAVs).”: 1–20.

Tektaş, Mehmet, and Necla Tektaş. 2019. “Akıllı Ulaşım Sistemleri(AUS) Uygulamalarının Sektörlere Göre Dağılımı.” Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Degisi 2(1): 2. https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/44655/547872.

Wang, Yuanzhe et al. 2021. “Detection and Isolation of Sensor Attacks for Autonomous Vehicles: Framework, Algorithms, and Validation.” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems: 1–13.

Xu, Wenyuan et al. 2018. “Analyzing and Enhancing the Security of Ultrasonic Sensors for Autonomous Vehicles.” IEEE Internet of Things Journal 5(6): 5015–29.

Yağdereli, Eray, Cemal Gemci, and A. Ziya Aktaş. 2015. “A Study on Cyber-Security of Autonomous and Unmanned Vehicles.” Journal of Defense Modeling and Simulation 12(4): 369–81.

Zeadally, S., J. Guerrero, and J. Contreras. 2020. “A Tutorial Survey on Vehicle-to-Vehicle Communications.” Telecommunication Systems 73(3): 469–89. https://doi.org/10.1007/s11235-019-00639-8 (June 9, 2021).

Derin Öğrenme ve YOLO Algoritmaları ile Nesne Tespiti ve Şerit Belirleme

MD Nasrullah[1*], Aykut DİKER[2]

[1]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri, Bandırma, Balıkesir/Türkiye

[2]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği, Bandırma, Balıkesir/Türkiye

***Sorumlu yazar e-posta:** nasrullahhasan2021@gmail.com

[2]ORCID: 0000-0003-1644-0476

Özet

Otonom araçlar, ulaşımın geleceğinde önemli bir rol oynamaktadırlar. Yapay zekadaki gelişmeler nedeniyle, gelecekteki akıllı otomobillerin ve kamyonların otonom olması, kazadan kaçınmaları ve verimli olacakları öngörülmektedir. Aynı zamanda tepki süresi gecikmesini ve güvenli şerit değişimini azaltarak, insan sürüş hatalarını ortadan kaldırmakta ve güvenli seyahat sağlamaktadırlar. Otomobil üreticileri mevcut zorluklarla ilgili araştırma alanlarına yatırım yapmışlardır. Makine öğrenmesi algoritmalarındaki son ilerlemenin ardından, otonom araçların önümüzdeki yirmi yıl içinde piyasaya çıkması beklenmektedir. Derin öğrenmenin ve derin pekiştirici öğrenme algoritmalarının kullanımının artmasıyla birlikte otonom araçların artışı doğru orantılı olmuştur. Derin öğrenme algoritmaları otonom araç uygulamalarında, Evrişimli Sinir Ağları (ESA) ve en son zamanlarda YOLO algoritması ile daha hızlı ve daha yüksek doğruluklar elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada, otonom araçlar için nesne tespiti ve şerit belirleme üzerinde bir uygulama yapılmıştır. Ayrıca, nesne tespiti için VGG-16 ve YOLO V5 algoritmaları, şerit belirleme için ise Python OpenCV kullanılmıştır. Bu çalışmada, VGG-16 ile 1176 imge üzerinde yapılan deneysel çalışmada, eğitim doğruluk oranı 92.06% ve test doğruluk oranı 94.01% ile nesne tespiti için ümit verici sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, VGG-16 ve YOLO V5 algoritmaları kullanılarak, sırasıyla 94.01% ve 76.42% araç tespit doğruluk değerlerine ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Makine Öğrenmesi; Otonom araçlar; Derin öğrenme; YOLO algoritması; OpenCV.

Vehicle Detection and Lane Determination with Deep Learning and YOLO Algorithms

Abstract

Autonomous vehicles play an important role in the future of transportation. Due to advances in artificial intelligence, it is predicted that future smart cars and trucks will be driverless, avoid accidents and be efficient. At the same time, they reduce the reaction time delay and safe lane change, eliminate human driving errors and provide safe travel. Automakers have invested in research areas relevant to current challenges. Following the recent advance in machine learning algorithms, autonomous vehicles are expected to hit the market within the next two decades. With the increase in the use of deep learning and deep reinforcement learning algorithms, the increase in autonomous vehicles has been directly proportional. In

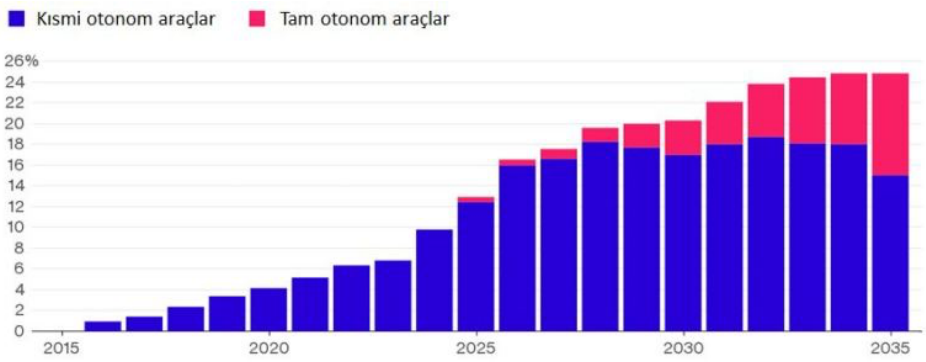
applications of deep learning algorithms for autonomous vehicles, Convolutional Neural Networks (CNN) and most recently the YOLO algorithm, faster and higher accuracies have been achieved.

In this paper, an application was made on object detection and lane determination for autonomous vehicles. Besides, CNN and YOLO V5 algorithms were used for object detection and Python OpenCV was used for lane detection. In this paper, promising results were obtained with a training accuracy rate of 92.06% and a test accuracy rate of 94.01% in the experimental results of VGG-16 on 1176 images for object detection. As a result, detection test accuracy values were achieved 94.01% and 76.42% using VGG-16 and YOLO V5 algorithms, respectively.

Keywords: Machine Learning, Autonomous vehicles, Deep Learning, YOLO algorithm, Python OpenCV.

1. Giriş:

Otonom araçların ortaya çıkışı 1920 – 1930 yılları arasında gerçekleşmiştir. Yapılan araştırmalara göre o yıllarda otonom araçların mümkün olabileceği kanısına varılmıştır. Otonom olarak gidebilen ilk modeller 1980 yılında ortaya çıkmıştır. İlk araç 1984 yılında Carnegie Mellon Üniversitesi'nin gerçekleştirdiği navlab ve ALV projeleriyle üretilmiştir. Diğeri ise Mercedes-Benz ve Bundeswehr Üniversitesi'nin beraber yürüttüğü projedir. Otomotiv Endüstrisi dünya genelinde en büyük 3. Ar-Ge bütçesine sahip endüstridir. Dolayısıyla bu sektöre epey fazla zaman ve para harcanmaktadır (Birinci sırada sağlık ikinci sırada da yazılım & elektronik üzerine yapılan faaliyetler gelmektedir). Günümüzde bu bütçenin büyük kısmı yeni mobilite trendlerini karşılayacak ürün ve hizmetlerin geliştirilmesine harcanmaktadır. Londra merkezli IHS Markit Automotive firmasının yaptığı araştırmanın sonuçlarına göre dünya genelinde internete bağlı araç sayısının 2020 senesinde 152 milyon adete ulaşması öngörülmektedir. Aynı raporda 2035 senesinde yollarda 21 milyon otonom araç olması beklenmektedir. Dünya genelindeki 750 mobil iletişim operatörünün üyesi olduğu GSMA'in verilerine göre (GSM Operatörleri Birliği) bağlı araçlar (connected vehicles) pazarının 2018 senesinde globalde 39 milyar Amerikan Doları büyüklüğe ulaştığını görüyoruz. Bu değer 2012 senesinde 13 milyar Amerikan Doları seviyesindeydi [Meltem Atay]. Şekil 1'de otonom araçların yıllara göre gösterdiği değişimler verilmiştir.



Şekil 1. Otonom araçların gelişme süreçleri [The Boston Consulting Group]

ABD merkezli Boston Consulting Group'un 2015 raporuna göre 2035 senesinde global araç parkının 25%'i kısmi veya tam otonom araçlardan oluşacağı öngörülmektedir. Otonom araç

endüstrisi şu an için yılda ortalama %16 oranında büyüdüğünü söyleyebiliriz. 2025 yılında otonom araç pazarının yaklaşık 42 milyar dolar, otomotiv pazarının ise yaklaşık 500 milyar dolar olacağı tahmin edilmektedir [Otonom Otomobiller]. Gün geçtikçe teknolojinin daha ucuz hale gelmesiyle otonom araçların geleceğinin daha hareketli olacağı söylenebilir [Todd Litman]. Otonom Araç Teknolojilerinin Yol Haritası ve Gelecek Senaryoları ve önümüzdeki yıllarda ne gibi değişimler yaşanacağı şimdiden merak konusudur [Fujitsu-Todd Litman]. Otonom araçlar, sürücüye ihtiyaç duymadan yolu, trafik akışını ve çevre şartlarını algılayarak sürücünün müdahalesi olmadan seyir halinde gidebilen araçlardır. Durumu daha ilgi çekici olması açısından "otonom araçlar" olarak tanımlayıp olayı "aracın kendi kendine yol alması" olarak algılıyoruz. Ancak işin aslında farklı yeteneklere sahip otonom araçların belli teknoloji seviyelerine ayrıldığını görülmektedir. Otonom araç teknolojilerinin temeli yapay zeka algoritmalarına dayanmaktadır. İnsan eliyle oluşturulan yazılımların akıl yürütme, algılama ve yargıya varma gibi yeteneklere sahip olma durumuna Yapay zeka denilmektedir. Bu teknolojide yaşanan gelişmelere paralel olarak otonom araç uygulamalarında da bir artış yaşanmıştır [Muhammed Ahmet Alkan]. Referans [Mnih] çalışmasında, ESA ve YOLO algoritmalarının karşılaştırmaları üzerine bir uygulama gerçekleştirmiştir. Diğer bir referans olan [Medium]'da ise, imge verileri, açık erişimli portal olan kaggle ve github'dan elde edilmektedir. Deneysel çalışmada ise, ESA algoritması kullanarak nesneleri tespit etmeye yönelik bir uygulama yapılmıştır. Referans [R. Arandjelovic] ise çalışmasında, ESA-First ve R-ESA metotlarının nesnelerin tespiti için daha uygun olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, otonom araçlar için önemli olan nesne tespiti ve şerit belirleme üzerine bir uygulama gerçekleştirmeyi amaçladık.

Çalışmanın diğer bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2'de çalışmaya konu olan veri seti ve kullanılan yöntemler verilmiştir. Bölüm 3'de deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ve tartışma sunulmuştur. Bölüm 4'de ise sonuç ifadeleri sunulmuştur.

2. Materyal ve metot

Bu çalışmada, şerit belirleme ve nesne tespiti için olmak üzere toplamda üç metot kullanılmaktadır. İlk olarak Python OpenCV ile şerit belirleme ve araç nesneler tespiti için ise, YOLO V5 algoritması ve Evrişimli Sinir Ağları (ESA) yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan veriler, Kaggle tarafından sağlanan halka açık bir veri tabanından elde edilmiştir. Bu veri setinde toplam 1176 adet imge bulunmaktadır [pjreddie.com/].

2.1 Şerit tespiti

Otoyollarda güvenli şerit değiştirmek hayati derecede önemlidir. Bu amaçla, Anaconda ya da herhangi bir editör ile (Pycharm, Jupyter Notebook vs.) Python dillinden Numpy, Matplotlib, OpenCV kütüphanelerini kullanılarak, imge ya da görüntü ekleyip onun üzerinde işlemler yapılmaktadır. Şerit tespiti için, Şekil 2'de gösterildiği gibi imge gri renge dönüştürülmüştür. Buradaki amaç, boyutu yani kanal sayısını azaltmaktır. Üç kanal imgeden iki kanal imgeyi çevirip işlemler daha kolay şekilde yapılmaktadır. Genellikle, gri tonlama yoğunluğu, siyahtan beyaza 256 olası farklı gri tonu veren 8 bitlik bir tam sayı olarak depolanır. Düzeyler eşit aralıklarla yerleştirilmişse, birbirini izleyen gri tonlar arasındaki fark, insan gözünün gri tonlama çözme gücünden önemli ölçüde daha etkilidir. Gri tonlamalı görüntüler, kısmen günümüzün görüntü ve görüntü yakalama donanımlarının çoğu yalnızca 8 bit görüntüleri destekleyebildiği için çok yaygındır. Ek olarak, gri tonlamalı görüntüler birçok görev için

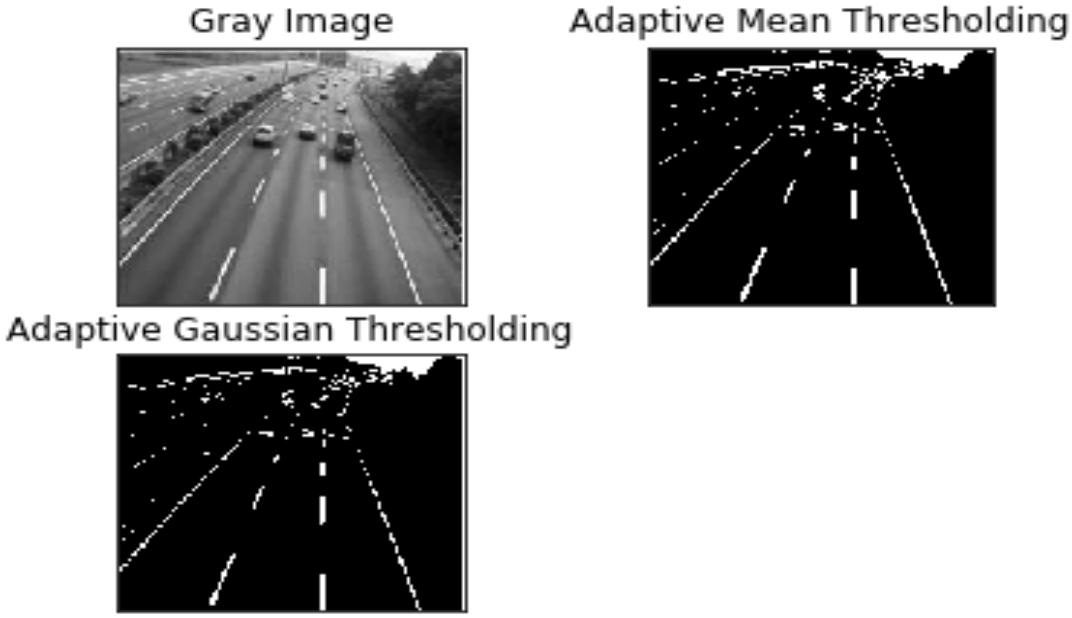
tamamen yeterlidir ve bu nedenle daha karmaşık ve işlenmesi daha zor renkli görüntüler kullanmaya gerek yoktur [Lane_Detection_using_Python].



Şekil 2. Orijinal imgeden Gri imgeye çevirme

2.2 Kenar algılama

Otoyollardaki şeritlerin kenarlarının algılanması işleminde, bitişik piksellerde yoğunluktaki şekil değişikliklerini belirlemek gerekmektedir. Herhangi bir imgeyi alıp o imgenin çözümüne göre filtre (Sobel filtre, Schass filtreler) işlemleri uygulanır ve kenar algılama şeklinde ifade edilir [Duan]. Şekil 3'te uygulamada kullanılan şerit kenar algılama için, adaptif ortalama eşikleme ile adaptif gauss eşiklemeye ait imge sonuçları verilmiştir.

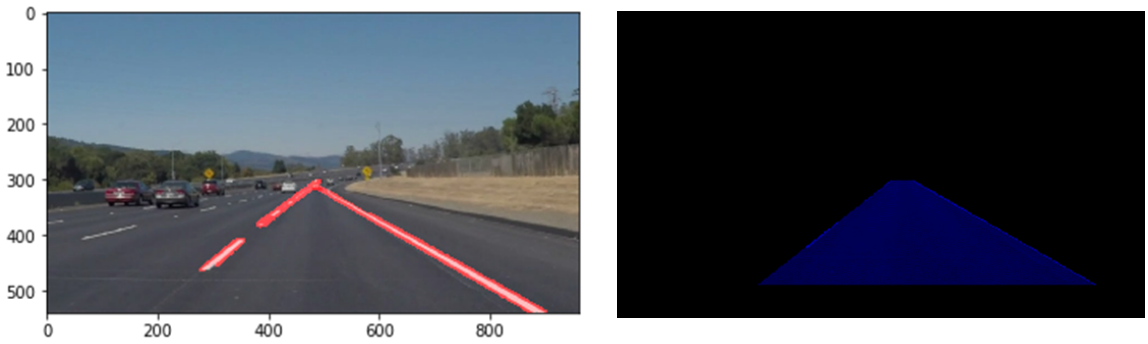


Şekil 3. Kenar algılama

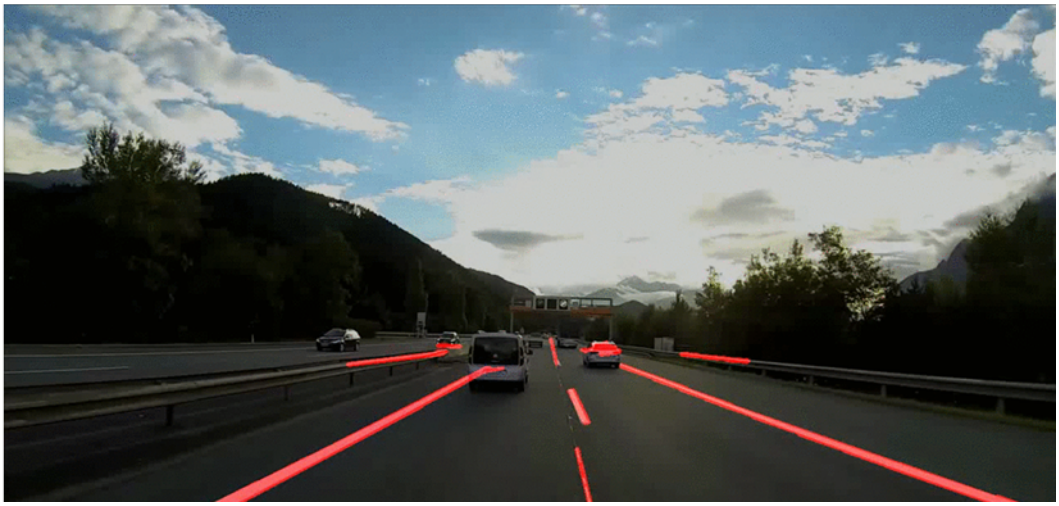
2.3 Şerit çizgisi tespiti

Şerit çizgisi tespiti, sürücüsüz arabaların ve otonom araçların kritik bir bileşenidir. Sürüş anlayışı için en önemli araştırma konularından biridir. Şerit çizgisi konumları elde edildiğinde, araç nereye gideceğini bilir ve diğer şeritlere girme veya yoldan çıkma riskinden

kaçınmaktadır. Bu, sürücü/araba sisteminin sürüş şeridinden kaymasını önlemektedir. Yapılan uygulamada, bir şerit hattı için birden fazla hat tespit edilmiştir. Bunun için ortalama bir çizgiyi bulmak gerekmektedir. Ayrıca, bazı şerit çizgileri yalnızca tespit edilmiştir. Şekil 5' de gösterildiği üzere, sol ve sağ iki şerit çizgilerini tüm şerit çizgisi uzunluğunu kapsayacak şekilde çizgileri tespit edilmedir. Sol şerit pozitif bir eğime, sağ şerit ise negatif bir eğime sahip olmalıdır. Bu nedenle, pozitif eğim çizgilerinin ve negatif eğim çizgilerinin ayrı ayrı toplanması işlemi yapılır. Ardından pozitif ve negatif eğim çizgilerinin ortalamaları alınarak Şekil 4' te gibi bir üçgen çizilir [kaggle/nasrullah-analyticsvidhya.com].



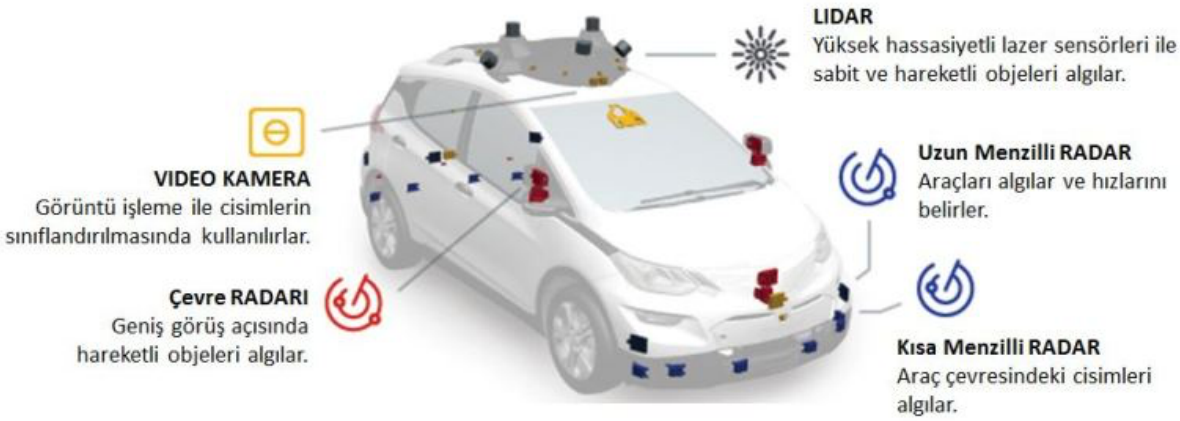
Şekil 4. Şerit çizgi belirleme



Şekil 5. İmge üzerinde uygulanması

2.4 Otonom araçlarda kullanılan sensörler

Otonom araçlar radar, lidar, GPS, odometri, video kamera, görüntü işleme gibi teknolojiler kullanarak çevresindeki nesneleri algılayabilmektedir [Otonom Otomobiller].



Şekil 6. Otonom Araçlarda kullanılan sensörler

Otonom araçların ana bileşenleri bilgisayarlı görme, sensör verisi yorumlama, yer tanıma, yol planlama ve kontroldür. Bilgisayarlı görmede gelişmiş kameralardan gelen yol çizgisi, trafik işareti, diğer araçlar, yayalar gibi verilerin derin öğrenme algoritmaları ile sınıflamaları kullanılmaktadır. Sensör verisi yorumlama için radar ve lazer gibi araçta bulunan tüm sensör verilerinin kamera verileriyle birlikte işlenmesi yapılır, buradan gelen verilere göre hava-yol durumuna uygun olan hız hesaplanır. Araçtaki kamera-sensör entegrasyonu ve araç yeri tanılama sonrasında aracın bulunduğu yerden gidilmesi gereken noktaya güvenli bir şekilde ulaşması için gereken planlama ve güzergahta karşılaşılan araçlara çarpmamak için yapılması gereken seri manevralar planlanır. Planlanan yol çizgisinin uygulanma aşamasında gereken yönlendirme, frenleme gibi işlemler ise kontrol aşamasında yapılmaktadır. Günümüzde mevcut algılama teknolojilerinin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu sebepten farklı algılayıcılar kullanılmakta, böylece seyir bilgisayarı bunlardan gelen verileri bütünleştirerek (sensor fusion) seyir kontrol fonksiyonunu yapabilmektedir. Sürücüsüz araçlarda kullanılan algılayıcılar şunlardır; [Muhammed Ahmet Alkan].

2.4.1 Radar

Belirli frekanslarda elektromanyetik dalgalar gönderilerek cisimlerden geri yansıyan dalgalar özel yöntemlerle analiz edilip hedef cismin hız ve büyüklük verilerine ulaşılır. Sürücüsüz araçlar çevrelerinde belirli noktalara yerleştirilmiş olan radar algılayıcıları sayesinde trafikteki diğer araçların pozisyonlarını belirleyebilmektedir.

2.4.2 Dijital Kameralar

Sürücüsüz araçların trafik ışıklarını, yol işaretlerini, diğer araçları ve yayaları algılamak için kullandıkları bir diğer algılayıcı türü de elektro optik sistemlerdir. Bu sistemlerde kameralardan gelen veriler görüntü işleme teknolojisiyle anlamlandırılır. Böylece otonom araç kamera görüntüsünden karşıdan karşıya geçenin yaya mı yoksa bisikletli mi olduğunu anlayabilir. En büyük dezavantajı görüntü işleme kabiliyetinin gün ışığına bağlı olması ve kaçınılmaz yansımalardan olumsuz etkilenmesidir [Alper Kendi].

2.4.3 Lidar Algılayıcılar

Lazer teknolojisiyle çalışan Lidar algılayıcılar, (Light Detection and Ranging) kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Bir nesne veya yüzeye olan uzaklığı hesaplamak için

kullanılır. Radar algılayıcılar uzaya farklı eksenlerde elektromanyetik dalgalar gönderirken, LİDAR algılayıcılar lazer ışık demetleri gönderir ve etraftaki objelerden gelen lazer yansımalarının süresinden nesnelere olan mesafeyi hesaplar.

2.4.4 Ultrasonik Algılayıcılar

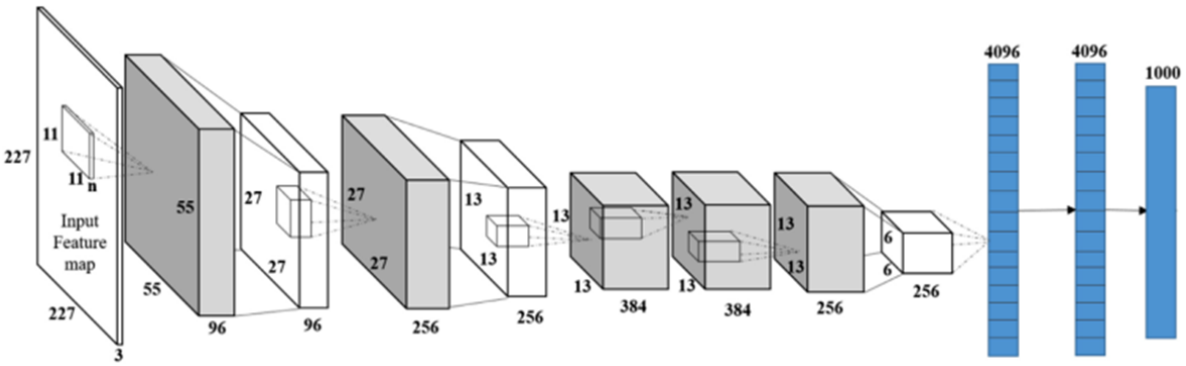
Günümüz araçlarında park mesafe sensörü olarak da kullanılan ultrasonik algılayıcılar gönderilen ses dalgalarının etraftaki nesnelere çarpıp geri dönmesi sırasında geçen zamanın hesaplanması prensibiyle çalışır. Sürücüsüz araçların yakın mesafedeki nesneleri ve bu nesnelere olan mesafeyi tespit etmesi için kullanılmaktadır.

2.4.5 Küresel Konumlama Sistemi

Yerküre üzerindeki nesnelerin yer ve zaman verilerini sağlayan uydu tabanlı navigasyon sistemi olan Küresel Konumlama Sistemi (Global Position System-GPS), otonom araçlar için önemli bir bileşendir. Aracın harita üzerindeki konumunu tespit ederek istenilen rotada istenilen hedefe gitmesi için gerekli hesaplamaların yapılmasını mümkün kılan durumsal farkındalık verilerini sağlar. GPS dünya üzerinde ancak engelsiz bir görüş hattında çalışabilir. O nedenle tünel ve yoğun ormanlık alan gibi GPS sinyallerini sekteye uğratan bölgelerde otonom araçların konumlama sistemleri ataletsel seyrüsefer cihazları (INS) ile desteklenmektedir. Bu sayede GPS sinyali geçici olarak kesilse dahi otonom araç durumsal farkındalığını koruyabilmektedir [Otonom Otomobiller].

2.5 YOLO algoritması

YOLO (You Only Look Once) algoritması 2015 yılında Joseph Redmon tarafından sunulmuştur. YOLO gerçek zamanlı nesne tespiti için kullanılmaktadır. Bu algoritma, ileri yayılma ile imgedeki nesneleri kutu şeklinde tespit etmektedir. Şekil 7'de YOLO algoritması mimarisi verilmiştir.



Şekil 7. YOLO algoritmasının mimari yapısı

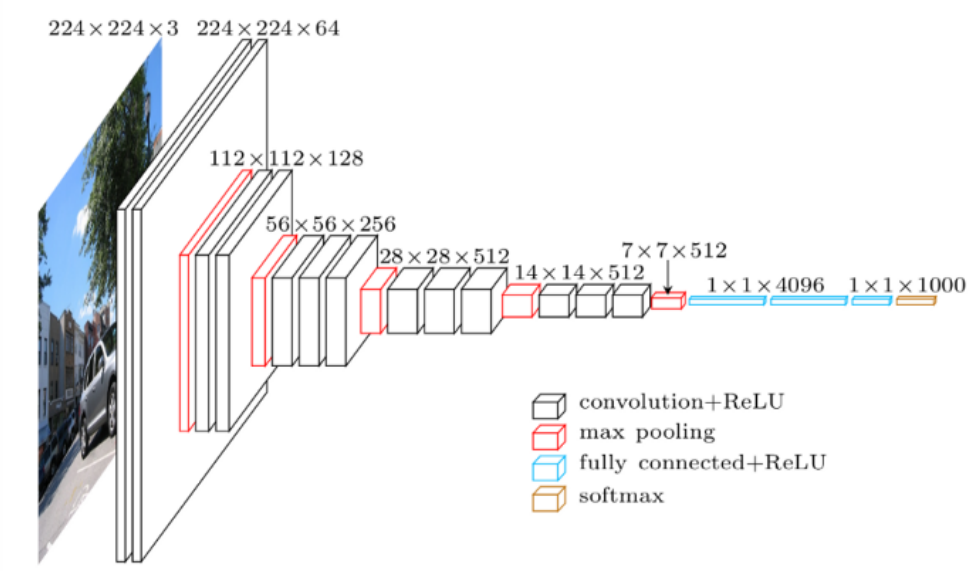
YOLO algoritması son derece hızlı şekilde işlem yapmaktadır. Veri setinin eğitimi ve testi süresinde tüm imgeyi görmektedir. Böylece sınıflar ve görünümleriyle ilgili bağlamsal bilgileri örtük olarak kodlamaktadır. YOLO, nesnelerin genelleştirilebilir temsillerini öğrenmekte ve böylece doğal görüntüler üzerinde eğitilip, üzerinde test edildiğinde algoritma diğer en iyi algılama yöntemlerinden daha iyi performans göstermektedir. Denklem (1)'de YOLO algoritmasının matematiksel ifadesi verilmiştir;

$$\lambda_{coord}\sum_{i=0}^{S^2}\sum_{j=0}^{B}\mathbb{I}_{ij}^{obj}\left[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2\right] + \lambda_{coord}\sum_{i=0}^{S^2}\sum_{j=0}^{B}\mathbb{I}_{ij}^{obj}\left[(\sqrt{w_i} - \sqrt{w_j})^2 + (\sqrt{h_i} - \sqrt{h_i})^2\right] + \sum_{i=0}^{S^2}\sum_{j=0}^{B}\mathbb{I}_{ij}^{obj}\left[(C_i - C_j)^2\right] + \lambda_{noobl}\sum_{i=0}^{S^2}\sum_{j=0}^{B}\mathbb{I}_{ij}^{noobj}\left[(C_i - C_j)^2\right] + \sum_{i=0}^{S^2}\mathbb{I}_{i}^{obj}\sum_{c\in classes}(p_i(c) - p_j(c))^2 \quad (1)$$

Burada; Bx: Nesnenin orta noktasının x koordinatı, By: Nesnenin orta noktasının y koordınatı, Bw: Nesnenin genişliği, Bh: Nesnenin yüksekliği Bir nesnenin sınıfına karşılık gelen c değeri gösterir. Burada denklem (1)'i incelersek skor modelin geçerli alan içinde nesne bulup bulunmadığındanı gösterir.

2.6 Evrişimli Sinir Ağları

Evrişimli Sinir Ağları (ESA) [Duan] 2010'dan bu yana önemli ilerleme kaydeden ve dünyada yaygın olarak kullanılan görüntü ve video işleme için geliştirilen bir tür derin öğrenme ağıdır. Şekil 8'de verilen ESA, genellikle 4 katmandan oluşur. Konvülüsyon katmanında, filtre görüntü üzerinde bir gezgin olarak kullanılmaktadır. Bu filtre imgenin üzerinde durur ve filtrenin bulunduğu noktanın pikselleri üzerinde hesaplamalar yapmaktadır. Buna en son ulaşılan matrise özellik haritası denilmektedir. Bir ESA ağında çoklu filtreler kullanılır ve en son erişilen özellik haritası, filtredeki özelliğe göre şekillendirilir. ReLU katmanı, evrişim katmanını takip eder ve ReLU aktivasyon fonksiyonu, gelen verilerdeki negatif değerleri 0'a ayarlamak için kullanılmaktadır. Havuzlama katmanında, özellik haritalarının boyutları küçültmektedir. Burada amaç, parametre sayısını azaltmak ve en belirgin veya kritik parametreleri saklamaktır. son olarak, Yassılaştırıcı Katman, sahip olduğumuz son matrisi tek bir vektöre dönüştürür ve nöronlarımız aracılığıyla yapay sinir ağımıza yerleştirir [medium, Mnih, V].



Şekil 8. ESA algoritmasının mimari yapısı

3. Sonuçlar ve tartışma

Deneysel çalışmada, veri setindeki imgelerin %15'i test ve %85'i ise eğitim için kullanmaktadır. Verilerin boyutu 380x676x3 şeklindedir. Tablo 1'de çalışmada kullanılan verilere ait dağılım verilmiştir. Çalışmada kullanılan VGG-16 modeli ağ mimarisi ise Tablo 2'de gösterilmiştir.

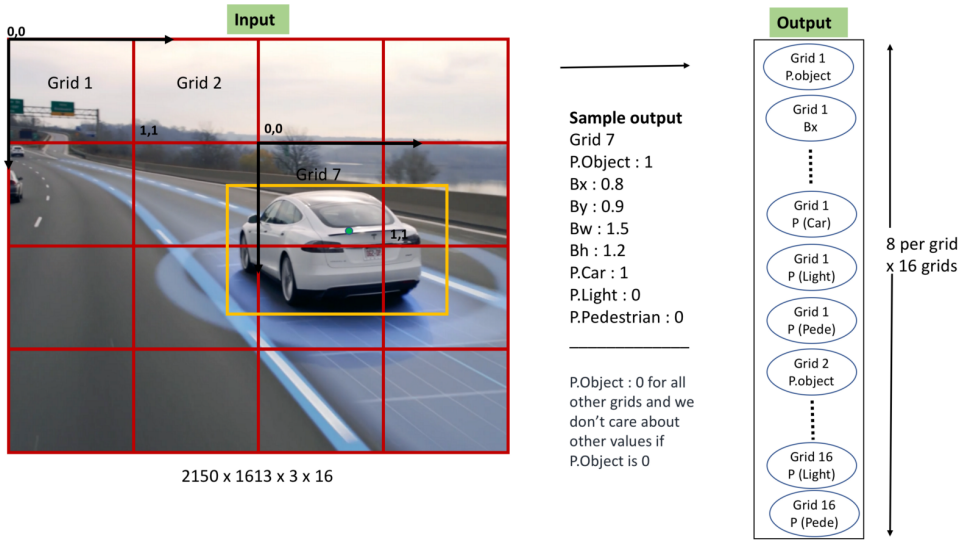
Tablo 1. Veri kümesi dağılımı

Veri Seti Türü	YOLO V5	VGG-16
Eğitim	1001	1001
Test	175	175

Tablo 2. VGG-16 ESA modeli parametreleri (Giriş: 60×60 boyutlu imge)

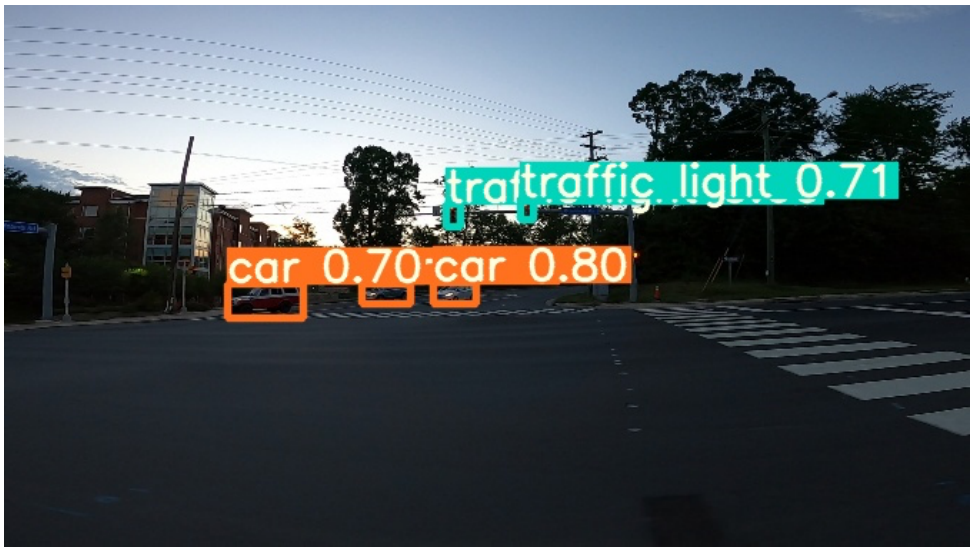
Katman	Giriş	Filtre boyutu	Adım sayısı	Filtre sayısı	Aktivasyon fonksiyonu	Çıkış
Konv1	84×84×3	8×8	4	32	ReLU	20×20×32
Konv2	20×20×32	4×4	2	64	ReLU	9×9×64
Konv3	9×9×64	3×3	1	64	ReLU	7×7×64
fc4	7×7×64				ReLU	512
fc5	512				Lineer	3

Deneysel çalışma, Intel Core i5 2.9GHz işlemci ve GeForce GTX 1080 Ti. Grafik işlemcili bilgisayarda işletilmiştir. VGG-16 ESA model, ağırlıkları ile birlikte bize ideal olanı seçme fırsatı veren her 1001 eğitim adımı için kaydedilmiştir. Modelin 1001 karelik eğitiminden sonra, yaklaşık 11 saat, sistemin doğruluğu tespit etmektedir [kaggle/nasrullah]. YOLO V5 algoritması ile 1001 imge, 8 saatlik eğitimde modelin doğruluğunu tespit etmektedir. Veri setindeki imgeler üzerinde yapılan eğitim sonucunda, YOLO V5 algoritması ile 75.56%, VGG-16 ESA modeli 92.06% doğruluk oranları sırasıyla elde edilmiştir. Şekil 11'de VGG-16 modeline ait eğitim grafiği verilmiştir. Ayrıca, YOLO V5 algoritmasına nesne tespiti Şekil 9 ve 10'da verilmiştir.



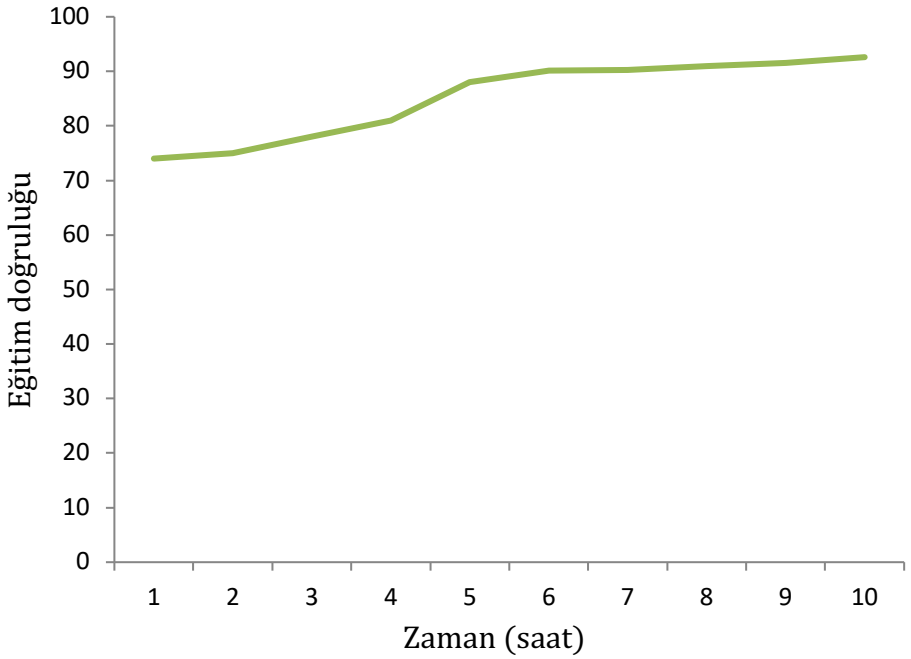
Şekil 9. YOLO algoritması çıktısı

Denklem (1)'de verilen c tespit edilecek nesnelerin isimlerini temsil etmektedir.Örneğin; araba, trafik lambası, adam, köpek ve kedi (car, traffic light, man ,dog ve cat) [kaggle/nasrullah].



Şekil 9. YOLO uygulamada belirli nesnelerin tespiti

YOLO V5 algoritması uygulanarak, Denklem (1)'de c ile ifade edilen nesneler, bx, by ile ifade edilen parametreler şekil halinde tespiti belirlenmiştir.



Şekil 11. VGG-16 ESA modelinin eğitim grafiği

Yapılan uygulama, video görüntülerinin şerit çizgilerinin doğru bir şekilde algılandığını ve çizgilerin çok düzgün bir şekilde işlendiğini açıkça göstermesi açısından başarılı sonuçlar vermiştir. Deneyesi çalışma, yalnızca düz şerit çizgilerini algılamaktadır. Eğri şeritleri (veya şeritlerin eğriliğini) ele almak kapsamlı bir uygulamayı gerektirmektedir. Buradan

hareketle, arabanın yakınındaki şeritlerin çoğu görüntülerde düz şekildedir. Eğrilik, dik bir eğri olmadığı sürece daha uzakta görünmektedir. Dolayısıyla, bu temel şerit bulma tekniği hala çok kullanışlıdır.

4. Sonuç

Bu çalışmada otonom araçlar için nesne tespiti ve şerit belirleme uygulamasını gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla YOLO V5, ESA, Python OpenCV algoritmaları kullanılmıştır. Otoyoldaki imge görüntülerinin tespit test doğrulukları sırasıyla, VGG-16 ESA modeli 94.01%, YOLO V5 algoritması ile 76.42% elde edilmiştir. Nesne tespiti işleminde, VGG-16 ESA modeli imgenin tümündeki nesneler üzerinde işlem yaparken, YOLO V5 algoritması sürekli veri ya da imge içindeki nesneler algılamaktadır. YOLO V5 algoritmasının imge başına tespit etme hızı 0.06s iken, VGG-16 ESA modelinin GPU'daki bir görüntüdeki nesnelerin algılanması 49s'de gerçekleşmektedir. Sonuç olarak YOLO V5 algoritması, VGG-16 ESA modeline göre daha hızlı bir şekilde nesneleri tespit edebilmekte buna karşın ise VGG-16 ESA modeli daha yüksek tespit doğruluk oranına sahiptir. Ayrıca Şekil 4 ve Şekil 5'den de görüleceği üzere, şerit belirleme işlemi de OpenCV algoritmaları kullanılarak başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

5. Kaynaklar

Meltem Atay, 'Otonom Araçlarda Güvenlik ve Etik: Tarihçe ve Durum Özeti' , Deep Learning Türkiye, https://medium.com/deep-learning-turkiye/otonom-ara%C3%A7larda-g%C3%BCvenlik-ve-etik-tarih%C3%A7e-ve-durum-%C3%B6zeti-a8eb66e5ca3c , 2018.

The Boston Consulting Group, 2015 data, https://www.bcg.com/en-tr/

Muhammed Ahmet Alkan, 'Sürücüsüz (Otonom) Araçlar https://www.endustri40.com/surucusuz-otonom-araclar/ , 2018.

Otonom Otomobiller: Robotlar Üretecek, Kendi Başına Gidecek', https://www.bulur.com/otorehber/OtonomOtomobillerRobotlarUretecek%2CKendiBasinaGidecek/105 , 2018.

Fujitsu Türkiye , http://tr.fujitsu-news.com/2018/09/27/otonom-araclarin-kisa-tarihi/ ,2018.

Alper Kendi, 'Sürücüsüz Araçlar ve Türkiye – Araştırma Raporu', Thinktech STM Teknolojik Düşünce Merkezi, 2017.

Mustafa Erdoğdu, Sevda Akar, 'Dördüncü Sanayi Devrimi Döneminde Sürücüsüz Otonom Araçların Potansiyelleri ve Geleceği: Türkiye Örneği' , Current Debates in Tourism & Development Studies, 2019.

Todd Litman, 'Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning' , Victoria Transport Policy Institute, https://www.vtpi.org/avip.pdf , 2018.Servet Yetim, 'Sürücüsüz Araçlar ve Getirdiği / Getireceği Hukuki Sorunlar', Anakara Barosu Dergisi, 2016.

US Energy Information Administration, 'Autonomous Vehicles: Uncertainties and Energy Implications' , https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/AV.pdf , 2018.

Muhammed Ahmet Alkan, 'Sürücüsüz (Otonom) Araçlar' https://www.endustri40.com/surucusuz-otonom-araclar/ , 2018.

Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Rusu, A.A., Veness, J., Bellemare, M.G., Graves, A., Riedmiller, M., Fidjeland, A.K., Ostrovski, G. et al. (2015). Human-level control through deep reinforcement learning, Nature, 518(7540), 529–533

https://www.kaggle.com/mdnasrullah1/yolo-v5-car-object-detection

Joel C McCall and Mohan M Trivedi. Video-based lane estimation and tracking for driver assistance: survey, system, and evaluation. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, 7(1):20-37, 2006.

https://www.analyticsvidhya.com/blog/2020/05/tutorial-real-time-lane-detection-opencv/

https://medium.com/@tuncerergin/convolutional-neural-network-convnet-yada-cnn-nedir-nasil-calisir-97a0f5d34cad

Duan, Y. Zhang, B. Zheng, Lane line recognition algorithm based on threshold segmentation andcontinuity of lane line, in: 2016 2nd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC), IEEE, 2016, pp. 680-684.

R. Arandjelovic, P. Gronat, A. Torii, T. Pajdla, and J. Sivic, "NetVLAD: CNN architecture for weakly supervised place recognition," in CVPR, 2016.

https://pjreddie.com/

Lane_Detection_using_Python, https://www.researchgate.net/publication/349367326_Lane_Detection_using_Python

Traffic violation detection systems: A survey

Hayate El Atigh[1], Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ÖZER[2]

[1]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği,Bandırma, Türkiye

[2]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği,

Bandırma, Türkiye hayat.attigh@gmail.com

0000-0002-6047-4035 , 0000-0001-8654-0902

Abstract

Due to the massive population increase and the overcrowding of transport networks, traffic accidents are also increasing. These accidents cause colossal material and moral losses and are considered a hindrance to development. Accidents are frequently triggered by a combination of variables rather than a single cause. The most effective way to reducethese accidents is to activate the control systems, detect violators of traffic laws promptly,and deter potential violators. Traffic violation detection systems (TVDS) are an effective solution to help traffic management authorities. TVDS can detect traffic rules violations, such as escaping from red lights and over-speeding. However, despite the diversity of existing systems, there is no comprehensive research that abstracts the used systems and technologies as a foundation for TVDS. Therefore, this paper proposed an extensive analytical collection of the techniques used to build TVDS. This survey paper aims to provide a source that can reference organizing ideas and direct research in a promising direction. Furthermore, many techniques are used to build TVDS. However, the most important and promising ones like Vehicular Ad Hoc Network (VANET), Radio Frequency Identification (RFID), and Artificial intelligence (AI) are discussed, analyzed, and compared with details in this paper.

Keywords: Traffic violation detection, Traffic rules violation, RFID, VANET, AI traffic violation.

1. Introduction

The challenge of transportation capacity saturation is a problem that road management authorities worldwide are dealing with. If no action is taken, the issue will continue to grow as more cars are deployed on the roads. Simultaneously, people demand quicker transportation. It is now unlikely to expand the traffic network in most cities due to lack of space as a result of urbanisation. The existing lanes could be better managed as a solution. Traffic authorities are looking for more optimized traffic lights, quicker responsetimes to traffic accidents, and better vehicle route scheduling. This will increase traffic flow while also lowering congestion, travel times, and environmental impacts. Turkey's national Road Traffic Law (dated: 13 October 1983, number: 2918); states that "traffic is status and movements of pedestrians, animals, and vehicles on the highway." According to the International Labor Organization (ILO) is defined as "previously unplanned unexpected events causing a specific damage or injury." Road traffic accidents are ranked

first among the causes of injury worldwide . Traffic accidents usually occur when a vehicle collides with another or collides with road elements such as livestock, pedestrians, or stationary objects. Traffic accidents result in significant property damage, severe injury and can lead to lost of lives in some instances (https://legaldictionary.net/car-accident/,n.d.). The costs of traffic-related fatalities and injuries have a significant effect on society.In recent years, researchers have focused their efforts on identifying factors that significantly impact the incidence of driver injuries resulting from traffic accidents (Chonget al., 1997; M.~Chong et al., 2005). Around 4,000 people lost their lives in Turkey, and more than 200,000 people are injured every year because of road accidents (Ertunc et al.,2013). Figure 1 shows the reparation of these numbers by road user category.

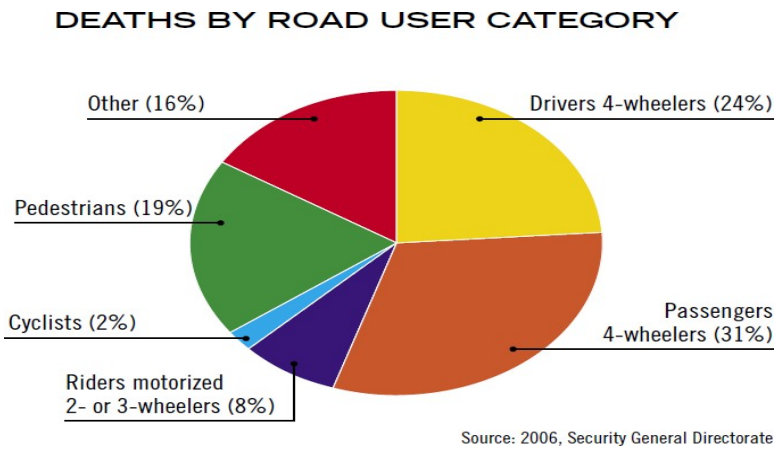


Figure 1. A Pie chart showing the number of death of road users due to accident by category.

According to the Insurance Institute for Highway Safety, inebriated drivers, crossing red lights, driving in the wrong direction, and other factors account for 22 percent of all road accidents globally. Currently, about one million people die each year. The World Health Organization predicts that this number will rise by 65% in the next 20 years unless thereis a solid effort to avoid these deaths (Aköz & Elif-Karsligil, 2010; World Health Organization Reports, Access date: May 18, 2007).

As a result, by examining the statistics of road accidents in Turkey and other countries where there is a lot of unchecked traffic due to population growth. Therefore, it has become imperative that people obey traffic laws to the letter and accurately identify traffic violations.

Traffic rules should be applied correctly to minimize road accidents. Consequently, if the number of traffic violations is reduced, the number of accidents will be reduced. Daily traffic cops monitor roads and detect traffic violations, but they can't track 24 hours a day and find out about any traffic violations. It is impossible to keep track of traffic violations manually due to heavy traffic. As a result, automated traffic violation detection systems are needed to improve safety on the country's roads. Starting from this point, TVDS comesinto play. TVDS can easily find out the traffic violations in an automated or semi- automated way.

This survey paper focuses on TVDS, focusing on Artificial intelligence(AI) such as Machine learning (ML) and Deep Learning(DL) based methods and their applications.

Several articles, including surveys, have been published that described these systems. In contrast to prior assessments, the focus of our paper is on publications that meet the requirements for a high citation while also maintaining high-quality materials. On the other hand, this article is oriented to readers who want to start researching on TVDS. As a result, a detailed overview of the ML/DL, new approaches like VANET, and the traditional like RFID is given, and references to seminal works for each of them.

The rest of the paper is laid out as follows. Our review approach is presented in Section II. Section III offers and compares the different techniques and methodologies followed to build TVDS. Finally, Section IV concludes the paper and discusses directions for future work.

2. Literature Survey Methodology

The papers used in this survey were collected from Google Scholar and many other search engines using keywords such as "Traffic violation detection," "Traffic violation detection using RFID," and more.

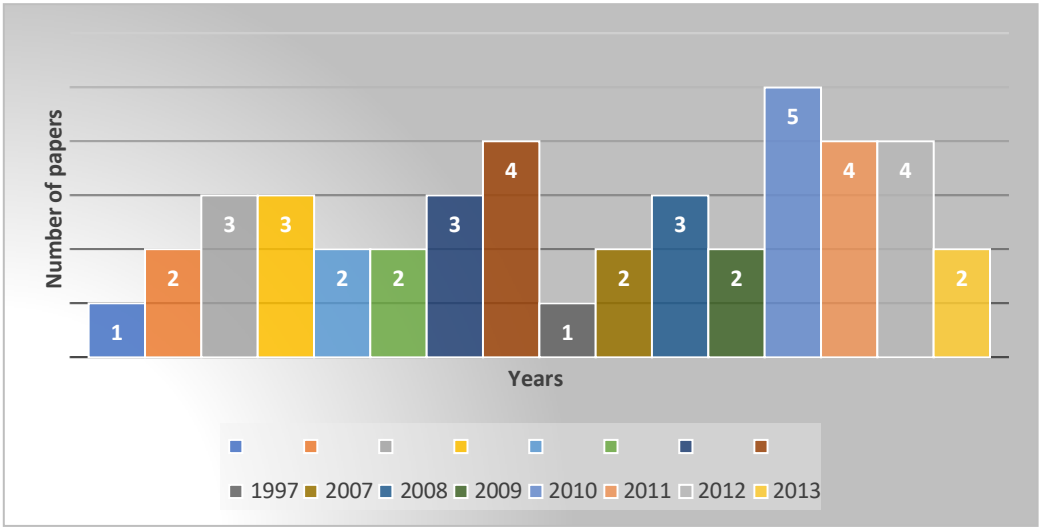


Figure 2. Distrubtion of Literature Used according to the publication year.

The majority of our literature was obtained between 2013 and 2021, as seen in Figure 2.It signifies that there has been a recent increase in research interest in this topic. The evaluated references are chosen from all of the found concerns based on several factors, including the specific research challenge, the suggested approach, and a detailed evaluation of the proposed method. These criteria were used to refine and review 43 pieces of literature that were chosen based on these features.

2.1 Literature Survey

The global population is steadily growing at a rate comparable to vehicle production. Traffic congestion, violations, and traffic-related injuries are all caused by this phenomenon. Due to a lack of human resources, traffic management authorities cannot handle all these situations alone. Therefore, various innovations have been developed and

introduced to some countries. However, these solutions are only applied to developed countries due to their costs and requirements. VANET, RFID, AI, and other techniques are the majority and latest technologies that have been used so far.

TVDS are helpful tools for assisting traffic management authorities in monitoring traffic conditions. It can detect traffic violations in real-time, such as red-light running, speeding, and vehicle retrogression.

2.2 RFID

Because of the increased number of vehicles, traffic congestion is unavoidable. As a result, using Intelligent Transportation Systems (ITS) to collect traffic information from roads has become mandatory. RFID represents a practical and flexible technology. It's small in size, but it has a lot of memory. It's also reusable and can search in a limited amount of time. RFID technology is currently widely employed because of its simplicity, ease of operation, and suitability for automated processes. Other applications include embeddingRFID tags with specifically coded IDs embedded in license plates for automatic vehicle detection and recognition, vehicle theft prevention, and access control to automobile parking or private areas. The standardization of RFID has been the focus of several organizations. RFID technology has been used to collect vehicle ID (tag ID) and real-timetraffic data using RFID readers. RFID will undoubtedly be commonly used in a wide rangeof domains shortly. An example of its application is the Telepass system in Italy, The autopass system in Norway, and turkey's first system(OGS) for Highway toll Monitoring (Fan& Zhang, 2009; Hsieh et al., 2008). Due to the cheap cost and infrastructure maintenanceneeds of RFID over other Radiofrequency technologies for infrastructure-to-vehicle (I2V)communications result in great scalability and ease of infrastructure deployment. (Pérez et al., 2010). Modern infrastructure speed control systems were designed (Pérez et al., 2010). It uses a Hall Effect sensor to calculate vehicle speed and a fuzzy logic controller tomonitor the rate of moving vehicles. However, the system does not address traffic light situations. (Zhou et al., 2008) proposed a new form of a license plate and created a security recognition system to go with it using an RFID chip integrated into the license plate in the form of an old license plate. The proposed model can detect unlicensed and copied license vehicles and automatically recognize the license plate. (Al-Khateeb & Johari, 2008) presented an RFID traffic control system that avoids many issues that plaguetraditional traffic control systems, mainly those facing techniques used for image processing and beam interruption.

In a multi-vehicle, multilane, and multi-road junction environment, the proposed methodis applied. It is based on a time management method that calculates a sophisticated schedule for the passage of each traffic column in real-time. (Al-Naima & Hamd, 2012) proposed an RFID-based simulation framework for Vehicle Traffic Congestion Estimation (VTCE). An RFID reader reads vehicle tags and transfers the collected data to a database in a central computer system (CCS). Following a particular method, the CCS uses these data to assess the traffic congestion condition of the road network. (Hajeb & Javadi, 2013)Proposed an intelligent control system based on RFID technology in which Vehicles are attached to computerized networks, smart light poles, and other available hardware along the way.

The proposed approach can monitor all vehicles, control traffic guidance, and record the traffic violations on the highway. Building a highly accurate RFID-based driving fatigue detection system has several obstacles, including extracting driving sleepiness features

effectively and overcoming frequency hopping's discontinuity in gathered phase data. (Yang et al., 2020) has presented a way for detecting tiredness while driving. The proposed detection method can detect drivers' nodding gestures using the RFID tag responses. Also, to deal with the high-noise driving climate effectively, they offered a tag deployment scheme. Using RFID technology, (Jain & Tiwari, 2015) proposed a system to follow vehicles that violate traffic signals and drive erratically. (Ali & Hussein, 2017) proposed an RFID-based model for detecting traffic lights' status. Traditional traffic lightrecognition systems, particularly those that use image processing techniques to recognizethe level of traffic lights, are known to have flaws. The proposed methodology avoids theseissues. The method yields a device that is both high-performing and low-cost. An RFID- based framework for recognizing road signs is also presented in the paper.

2.3 VANET

In recent decades, VANETs have witnessed tremendous and tangible interest from researchers. While VANETs were intended initially to enhance road safety, They can also deliver commercial, educational, and entertainment services to drivers and passengers, allowing car makers and service providers to earn more money. Furthermore, The main objective of this technology is to support the efforts of traffic regulation and management authorities to maintain human safety (Alaydrusl et al., 2021). VANET can be used to develop and produce transportation systems that support the driver's protection and comfort. VANET unquestionably necessitates introducing a routing protocol that adheresto VANET's characteristics (Hirawan et al., 2019). V2V (Vehicle-to-Vehicle) or VANET refers to direct contact between vehicles using an Ad Hoc network. In the VANET, automobiles will be equipped with an onboard device that includes a wireless transceiverand controller. This allows each car in the area to communicate with the others. In VANET,there is also an infrastructure network made up of Road-Side Units (RSUs) connected by infrastructure. Wireless Mesh Networks can be used to connect RSUs via wired or wireless connections. V2I allows vehicles to communicate with RSU simultaneously as V2I(Elsagheer Mohamed, 2019). The exchange of short messages known as beacons satisfiesboth safety and non-safety information specifications. Beaconing is the process of disseminating information in a VANET using beacons over the control channel; Beacons can communicate via the WAVE Short Message Protocol (WSMP), a protocol for the network layer. A beacon contains information on the vehicle's location, speed, and direction, as well as any accidents or other occurrences. (S. A. M. Ahmed et al., 2013; S. H.Ahmed et al., 2015). (Rawat et al., 2011) To increase beacon broadcast efficiency in VANETs, a hybrid adaptive method was developed that dynamically changes transmittingpower and CW size. (S. A. M. Ahmed et al., 2013) suggested reduced congestion in VANETsusing a cross-layer architecture for congestion detection and control. The scheme's congestion detection section gathers parameters from various layers and maps congestion into different congestion levels. The congestion avoidance component of the algorithm is run at the vehicle(s) based on the magnitude of the congestion level to boostnetwork capacity. (Le et al., 2011) provided a congestion-management strategy for reducing the utilization of periodic beacons and event-driven warning messages, both of which contribute to congestion linkage. Power control, rate control, and simultaneous power and rate control are the three algorithms proposed by the authors. These algorithms are mainly used to keep beacon load under control while allocating bandwidth to time-sensitive, high-priority event-driven alert messages. [24] introduced a rigorous congestion detection and control scheme to address the shortcomings of previous works

in the field. The method relies on a three-stage system that transmits power or beacon transmission frequency if congestion is confirmed. (Torrent-Moreno et al., 2009) proposed a scheme that emphasizes the importance of transfer power management in avoiding saturated channel conditions and maximizing the channel's use for safety- related purposes. The newly developed transmission power management technique ensures that vehicular power is distributed relatively in environments. (Anushya, 2018) proposed a V2I-based contact system for traffic infringement monitoring. The prototype is built on the Controller Area Network(CAN) bus and IEEE 802.15.4 standards to acquireand transmit vehicle information to infrastructures. The vehicle diagnostics are stored ina SQL-based database. The majority of proposed solutions for controlling congestion in VANETs attempt to regulate the transmit power used for sending beacons to avoid or at least reduce the effect of congestion on efficiency. As the network density decreases, thistechnique can result in the isolation of some vehicles. This is because the topology of VANETs is constantly changing as the cars move about.

2.4 Artificial Intelligence

When we talk about AI techniques used to detect traffic rules violations, we focus mainly on the computer vision area. Computer vision is a sub-domain of AI that teaches computers to recognize and understand visual objects. Using digital images from camerasand videos, as well as DL models, machines can reliably identify and classify objects and then respond to what they "see."

Learning approaches are used to analyze photos, discover abnormalities, and identify culprits using ML and DL algorithms. On the other hand, this section will discuss works that used AI techniques to solve traffic violations.

Learning is the act of being aware of something different. Different forms of visual, logical, solitary, physical, verbal, and social learning are used. These are the fundamental techniques for learning something new and different. DL relies on neural networks to build learning methods. The method of learning involves many layers of nodes. Convolutional neural networks (CNNs), Denoising autoencoder (DAE), deep belief networks (DBNs), Recurrent neural network (RNN), and Long Short-Term Memory (LSTM) are the most popular DL methods. They have been widely used (Mosavi et al., 2020). The latest advances in artificial intelligent technology enabled researchers to design TVDS modern and more efficacy. In the following, we present these works.

For license plate recognition and character extraction, (Li & Shen, 2016) used deep CNNs and LSTM; they also developed a method for detecting and recognizing license plates based on CNN techniques. The model comprises a 4-layer CNN and a 9-layer CNN, respectively. For license plate identification, they used a CNN. (Li & Shen, 2016) Text detection and identification were improved using CNNs over prior approaches. (Raj et al., 2018) developed models for license plate recognition and helmet violation with high accuracy; however, When the front rider is wearing a helmet and the second person is not,the model produces prediction errors. (Z. Zhang et al., 2018) used DL to identify traffic accidents based on social media info. The model was built based on DBNs and showed good performances are a type of artificial neural network (ANN) formed by stacking numerous restricted Boltzmann machines (RBMs) that serve as the DBN's layers and connect them not inside each layer. The RBMs used to construct a DBN have two essentiallayers, one visible and one hidden, each with a different number of neurons.

Furthermore, Within each RBM, the neurons of different layers are eventually coupled, while the connections within the same layer are limited. A DBN is depicted in Figure 3 asan example (Gumusbas et al., 2020). However, this model can't be considered an immediate solution because of the noisily and unreliability of social media data.

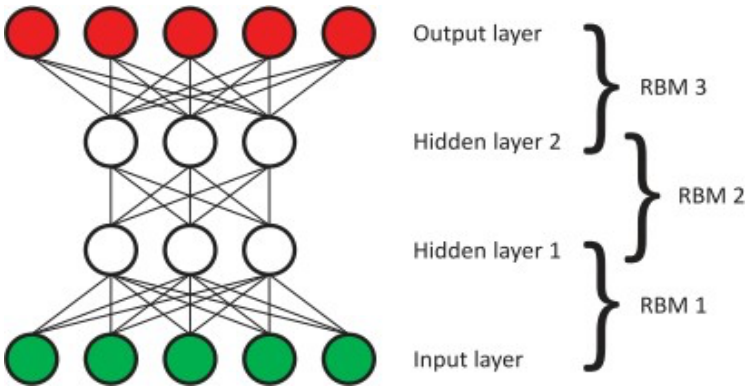


Figure 3. DBN Architecture.

(Manikandan & Anandan, 2018) using the Global Positioning System (GPS) and traffic accident data record data to build a DL model based on the stochastic gradient descent learning algorithm technique to solve the critical problem of a traffic accident danger. (Mampilayil & Rahamathullah, 2019) DL was used to propose a system and a tool for recognizing three-wheeled vehicles and one-way traffic offenses. This system is cost-efficient and easy to implement because it does not use any sensors; it can be used to control one-way traffic areas properly. (Tonge et al., 2020) Proposed Helmet violation detection model using a CNNs based classifier. The model has high precision and ease of use, but it demands a lot of computing power because it uses image segmentation and object detection. (Sayed et al., 2013) presented a novel digital safety diagnosis method for detecting and analyzing severe traffic collisions and violations using computer vision. Bicycles were found to be highly exposed to traffic conflicts, according to the findings. (Coleshill et al., 2007) Identified a novel method that works by merging a sequence of nighttime photographs over time and a single daytime image to create a daytime representation of nocturnal traffic. (Kim et al., 2016) Presented a system for classifying pictures captured by a camera to determine parking violations. With an average execution time of 0.367 seconds, the model has a 93.9 percent detection rate. However, the models need to be extended to analyses videos, not only images. (W. Zhang et al., 2012) used an Eye-tracking algorithm with a mean-shift and computer vision to present a non-intrusive driver drowsiness recognition system. The experiments show the feasibility of this video-based drowsiness recognition system, which provided 86 percent accuracy in driving simulator experiments, with six participants in the driving simulator. However, the modelis tested on a limited dataset and need more dataset to be validated. (Billones et al., 2018) used computer vision and computational intelligence techniques to construct a vision- based framework for analyzing and comprehending tiny road traffic scenes. The researchers demonstrated a vision-based device that can explore various aspects of a road traffic scene, ranging from essential vehicle identification, monitoring, and classification to vehicle volume estimation and distribution, vehicular flow patterns, and traffic congestion. (Robert, 2009) presented a new architecture for detecting vehicles

based on feature detection and fusion hierarchy. The first layer of the model extracts picture properties, while the second layer combines picture features to see vehicle elements such as headlights and windshields. To improve vehicle detection accuracy, the final layer merges the vehicle features. As a result, this method is independent of road lighting and can detect vehicles at any time of day or night. (Özkul & Çapuni, 2018) developed a novel methodology based on the witnessing of automobiles in a constant time-space ball to detect and verify traffic offenses and issue genuine traffic tickets.

(Narkhede, 2017) Edge detection, Hough transformation, and a K-Nearest Neighbor- based technique were all given. The object's borders are established using Canny Edge detection; features are extracted using the Hough transformation, resulting in the identification of lines; and finally, the segmented characters are recognized using K- Nearest Neighbor. (Dahiya et al., 2016) suggested catching all objects in surveillance videos using Background subtraction and image segmentation techniques. Then, utilizingapproaches such as Local Binary Patterns (LBP), Histogram of Oriented Gradients [HOG],and Scale Invariant Feature Transform (SIFT) to extract features and classify the object ifit is a bike rider or not. (Prajwal et al., 2019)

Presented the Non-Helmet Rider Detection System. It automates detecting traffic offenses such as not wearing a helmet and acquiring the vehicle's license plate number. Object detection using DL at three levels is the main technique used in the paper. YOLOv2 identifies a person, a motorcycle/moped, and a helmet at the first level, a license plate at the second level, YOLOv3, and a license plate at the third level, YOLOv2. After that, finally, OCR (Optical Character Recognition) is used to retrieve the license plate registration number. (Mallela et al., 2021) developed an automatic method for detecting triple riding and speed limit violations. The improved version of the YOLO was utilized for training the system on the COCO dataset. When properly executed, the experimental data and quantitative measures on numerous scenarios show that the offered approach is reliable. However, the proposed model can only detect the triple riding and speed limit violation of the traffic rules.

3. Discussion And Conclusion

The growth of automobiles on the road has increased traffic rule infractions. As a result, ITS has become a requirement for getting traffic data from streets. In recent years, the state-of-the-art TVDS mechanism has been analyzed in this survey, including RFID, AI, andVANET, to detect traffic violations. Researchers have done many works regarding traffic violation detection that may be important in the future. By analyzing existing results, we conclude that VANET is a promising modern technology, but it still requires a lot of development and research. AI techniques like ML and DL were combined with computer vision for automated rule violation Detection and number plate recognition like motorcyclists without a helmet and passenger overloading shown a good result and can be improved. Finally, RFID technology is considered the most applied and the most mature compared to other techniques. Its ease of integration and low cost can be regarded as encouraging factors. Figure 4 shows a summary comparison between all these techniques.

Technology	Advantage	Disadvantage
RFID	Simple and less expensive systems for detecting violations provide data-saving	A limited number of violators from one incident can be detected, a limited amount of data saving
VANET	A new technique for violation detection has been developed to rely on a mix of vehicle and ad hoc communication.	For this strategy to work, the vehicle must be equipped with VANET technology.
AI	Capable of capturing photos and videos to process infraction data more effectively	More expensive and necessitates high-performance computer or cloud computing processing

Acknowledgments

This report and the research that went into it would not have been feasible without my supervisor's unwavering support, Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ÖZER. From my first meeting with her through the final copy of this thesis, her passion, knowledge, and keen attentionto detail were an inspiration and kept my work on track. I also extend my full appreciation,respect, and thanks to my esteemed professor, Dr. Mehmet Tektaş, for his continuous advice and encouragement throughout my studies, especially in the final stages.

4. References

Ahmed, S. A. M., Ariffin, S. H. S., & Fisal, N. (2013). Overview of wireless access in vehicular environment (wave) protocols and standards. Indian Journal of Science and Technology, 6(7), 4994–5001. https://doi.org/10.17485/ijst/2013/v6i7.18

Ahmed, S. H., Bouk, S. H., & Kim, D. (2015). Adaptive beaconing schemes in VANETs: Hybrid approach. International Conference on Information Networking, 2015-Janua, 340–345. https://doi.org/10.1109/ICOIN.2015.7057908

Aköz, Ö., & Elif-Karsligil, M. (2010). Video-based traffic accident analysis at intersections using partial vehicle trajectories. Proceedings - International Conference on Image Processing, ICIP, 4693–4696. https://doi.org/10.1109/ICIP.2010.5653839

Al-Khateeb, K., & Johari, J. A. Y. (2008). Intelligent dynamic traffic light sequence using RFID. Proceedings of the International Conference on Computer and Communication Engineering 2008, ICCCE08: Global Links for Human Development, 1367–1372. https://doi.org/10.1109/ICCCE.2008.4580829

Al-Naima, F. M., & Hamd, H. A. (2012). Vehicle traffic congestion estimation based on RFID. International Journal of Engineering Business Management, 4(1), 1–8. https://doi.org/10.5772/54923

Alaydrusl, A., Putra, W. K., Nugroho, Y., Muhammad, & Surantha, N. (2021). A review of traffic violation detection technology in reporting mechanism. IOP Conference Series:

Earth and Environmental Science, 729(1), 012005. https://doi.org/10.1088/1755-1315/729/1/012005

Ali, A., & Hussein, H. A. (2017). Traffic lights system based on RFID for autonomous driving vehicle. 2017 Annual Conference on New Trends in Information and Communications Technology Applications, NTICT 2017, March, 122–127. https://doi.org/10.1109/NTICT.2017.7976149

Anushya, D. (2018). Vehicle Monitoring for Traffic Violation Using V2I Communication. 2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), Iciccs, 1665–1669.

Billones, R. K. C., Bandala, A. A., Gan Lim, L. A., Sybingco, E., Fillone, A. M., & Dadios, E. P. (2018). Microscopic road traffic scene analysis using computer vision and traffic flow modelling. Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 22(5), 704–710. https://doi.org/10.20965/jaciii.2018.p0704

Chong, M. M., Abraham, A., & Paprzycki, M. (1997). TRAFFIC ACCIDENT ANALYSIS USING DECISION TREES AND NEURAL NETWORKS. IADIS International Conference on Applied Computing.

Coleshill, E., Ferworn, A., & Stacey, D. (2007). Traffic safety using frame extraction through time. 2007 IEEE International Conference on System of Systems Engineering, SOSE. https://doi.org/10.1109/SYSOSE.2007.4304232

Dahiya, K., Singh, D., & Mohan, C. K. (2016). Automatic detection of bike-riders without helmet using surveillance videos in real-time. Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 2016-Octob, 3046–3051. https://doi.org/10.1109/IJCNN.2016.7727586

Elsagheer Mohamed, S. A. (2019). Automatic Traffic Violation Recording and Reporting System to Limit Traffic Accidents : Based on Vehicular Ad-hoc Networks (VANET). 2019 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE), February, 254–259. https://doi.org/10.1109/ITCE.2019.8646449

Ertunc, E., Cay, T., & Mutluoglu, O. (2013). Intersection road accident analysis using geographical information systems: Antalya (Turkey) example. AICT 2013 - 7th International Conference on Application of Information and Communication Technologies, Conference Proceedings, 1–5. https://doi.org/10.1109/ICAICT.2013.6722713

Fan, X., & Zhang, Y. (2009). A design of bi-verification vehicle access intelligent control system based on RFID. 2009 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments, 1-569-1–573. https://doi.org/10.1109/ICEMI.2009.5274800

Gumusbas, D., Yldrm, T., Genovese, A., & Scotti, F. (2020). A Comprehensive Survey of Databases and Deep Learning Methods for Cybersecurity and Intrusion Detection Systems. IEEE Systems Journal, 1–15. https://doi.org/10.1109/jsyst.2020.2992966

Hajeb, S., & Javadi, M. (2013). Traffic Violation Detection System Based on RFID. Mechanical and Mechatronics Engineering, 7(2), 290–293.

Hirawan, D., Hadiana, A., & Abdurakhim, A. (2019). The Prototype of Traffic Violation Detection System Based on Internet of Things. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 662(2). https://doi.org/10.1088/1757-899X/662/2/022084

Hsieh, W. H., Ho, C. J., & Jong, G. J. (2008). Vehicle information communication safety combined with mobile RFID system. Proceedings - 2008 4th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, IIH-MSP 2008, 1021–1024. https://doi.org/10.1109/IIH-MSP.2008.100

https://legaldictionary.net/car-accident/. (n.d.). CAR ACCIDENT. 2015. https://legaldictionary.net/

Jain, A. M., & Tiwari, N. (2015). Airborne vehicle detection with wrong-way drivers based on optical flow. 2015 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), 1–4. https://doi.org/10.1109/ICIIECS.2015.7193050

Kim, A.-R., Rhee, S.-Y., & Jang, H.-W. (2016). Lane Detection for Parking Violation Assessments. The International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, 16(1), 13–20. https://doi.org/10.5391/ijfis.2016.16.1.13

Le, L., Baldessari, R., Salvador, P., Festag, A., & Zhang, W. (2011). Performance evaluation of beacon congestion control algorithms for VANETs. GLOBECOM - IEEE Global Telecommunications Conference. https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2011.6133897

Li, H., & Shen, C. (2016). Reading Car License Plates Using Deep Convolutional Neural Networks and LSTMs. http://arxiv.org/abs/1601.05610

M.~Chong, A.~Abraham, M.~Paprzycki, M. Chong, A. Abraham, & M. Paprzycki. (2005). Traffic Accident Data Mining Using Machine Learning Paradigms. Informatica, Volume 29(June 2014), 89–98.

Mallela, N. C., Volety, R., Srinivasa Perumal, R., & Nadesh, R. K. (2021). Detection of the triple riding and speed violation on two-wheelers using deep learning algorithms. Multimedia Tools and Applications, 80(6), 8175–8187. https://doi.org/10.1007/s11042-020-10126-x

Mampilayil, H. R., & Rahamathullah, K. (2019). Deep learning based detection of one way traffic rule violation of three wheeler vehicles. 2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICCS 2019, Iciccs, 1453–1457. https://doi.org/10.1109/ICCS45141.2019.9065638

Manikandan, A., & Anandan, R. (2018). Traffic accident monitoring system using deep learning. International Journal of Engineering and Technology(UAE), 7(2), 283–287. https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.21.12382

Mosavi, A., Ardabili, S., & Várkonyi-Kóczy, A. R. (2020). List of Deep Learning Models. In A. R. Várkonyi-Kóczy (Ed.), Engineering for Sustainable Future (pp. 202–214). Springer International Publishing.

Narkhede, A. (2017). Automatic Traffic Rule Violation Detection and Number Plate Recognition. 3(09), 559–563.

Özkul, M., & Çapuni, I. (2018). Police-less multi-party traffic violation detection and reporting system with privacy preservation. IET Intelligent Transport Systems, 12(5), 351–358. https://doi.org/10.1049/iet-its.2017.0122

Pérez, J., Seco, F., Milanés, V., Jiménez, A., Díaz, J. C., & de Pedro, T. (2010). An RFID-based intelligent vehicle speed controller using active traffic signals. Sensors, 10(6), 5872–5887. https://doi.org/10.3390/s100605872

Prajwal, M. J., Tejas, K. B., Varshad, V., Murgod, M. M., & Shashidhar, R. (2019). Detection of Non-Helmet Riders and Extraction of License Plate Number using Yolo v2 and OCR Method. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 9(2), 5167–5172. https://doi.org/10.35940/ijitee.b6527.129219

Raj, K. C. D., Chairat, A., Timtong, V., Dailey, M. N., & Ekpanyapong, M. (2018). Helmet violation processing using deep learning. 2018 International Workshop on Advanced Image Technology, IWAIT 2018, 1–4. https://doi.org/10.1109/IWAIT.2018.8369734

Rawat, D. B., Popescu, D. C., Yan, G., & Olariu, S. (2011). Enhancing VANET performance by joint adaptation of transmission power and contention window size. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 22(9), 1528–1535. https://doi.org/10.1109/TPDS.2011.41

Robert, K. (2009). Video-based traffic monitoring at day and night: Vehicle features detection and tracking. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 285–290. https://doi.org/10.1109/ITSC.2009.5309837

Sayed, T., Zaki, M. H., & Autey, J. (2013). Automated safety diagnosis of vehicle-bicycle interactions using computer vision analysis. Safety Science, 59, 163–172. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.05.009

Tonge, A., Chandak, S., Khiste, R., Khan, U., & Bewoor, L. A. (2020). Traffic Rules Violation Detection using Deep Learning. Proceedings of the 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology, ICECA 2020, 1250–1257. https://doi.org/10.1109/ICECA49313.2020.9297495

Torrent-Moreno, M., Mittag, J., Santi, P., & Hartenstein, H. (2009). Vehicle-to-vehicle communication: Fair transmit power control for safety-critical information. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 58(7), 3684–3703. https://doi.org/10.1109/TVT.2009.2017545

World Health Organization Reports, Access date: May 18, 2007. (2007). Public Health Statistics throughout the world in 2000. www.who.ch

Yang, C., Wang, X., & Mao, S. (2020). Unsupervised Drowsy Driving Detection with RFID. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 69(8), 8151–8163. https://doi.org/10.1109/TVT.2020.2995835

Zhang, W., Cheng, B., & Lin, Y. (2012). Driver drowsiness recognition based on computer vision technology. Tsinghua Science and Technology, 17(3), 354–362. https://doi.org/10.1109/TST.2012.6216768

Zhang, Z., He, Q., Gao, J., & Ni, M. (2018). A deep learning approach for detecting traffic accidents from social media data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 86(May 2017), 580–596. https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.11.027

Zhou, Z., Li, W., Deng, C., Li, T., & Li, Y. (2008). Secure design of RFID tags in the new type license plates automatic identification system. Proceedings - International Symposium on Computer Science and Computational Technology, ISCSCT 2008, 1, 694–697. https://doi.org/10.1109/ISCSCT.2008.19

Gerçek Zamanlı Yönetilen Kavşaklarda Devre ve Kırmızı Sürelerinin Kuyruk Boşaltım Oranına Etkisinin İncelenmesi

Nihat Can Karabulut[1*], Murat Özen[1], Oruç Altıntaşı[2]

[1]Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

[2]İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

*Sorumlu yazar karabulutnihatcan@gmail.com
Orcid 0000-0002-4294-0215

Özet

Boşaltım oranı, ışıklı kavşakların işletim performansı açısından önem taşımaktadır. Bu noktada çalışmanın amacı, gerçek zamanlı yönetilen kavşaklarda artan devre ve kırmızı sürelerinin kuyruktaki ilk taşıtların boşaltım oranına etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaçla bir dönel kavşak ve bir dört kollu ışıklı kavşağın 8 – 9 Ekim 2019 tarihlerinde sabah zirve saatine (07.30 – 09.30) ait trafik akım görüntüleri incelenmiştir. Çalışma kapsamındaki analizler Highway Capacity Manual (HCM) yönergelerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. HCM, kuyruktaki taşıtların zaman aralıklarının beşinci taşıtla birlikte sabit kaldığını belirtmektedir. Bu noktada boşaltım oranının kuyruktaki beşinci taşıtla birlikte sabit kaldığı da söylenebilir. Bu nedenle çalışmada sadece ilk dört taşıtın zaman aralıkları analize dâhil edilmiştir. Buradaki amaç, ilk dört taşıt sürücüsünün yaklaşım kolunda beklediği süredeki artışın boşaltım oranına etkisinin araştırmaktır. İlk olarak, zaman aralıkları artan devre ve kırmızı sürelere göre gruplandırılmıştır. Daha sonra sapan değerleri ortadan kaldırmak için sapan değer analizi yapılmıştır. Son olarak, zaman aralıklarının artan devre veya kırmızı süresi grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olup olmadığını belirlemek için ANOVA yapılmıştır. Analizler sonucunda her iki kavşak için benzer sonuçlar elde edilmiştir. Artan devre ve kırmızı süreler ile taşıtların boşaltım oranının arttığı belirlenmiştir. Her iki kavşakta da uzun devre ve kırmızı süreler ortalama %10 daha fazla boşaltım oranına sahiptir. Sonuçlar, ışıklı kavşaklarda artan bekleme süreleri ile sürücülerin daha agresif araç kullanma eğiliminde olmaları ile açıklanabilir.

Anahtar Kelimeler: Gerçek zamanlı yönetilen kavşaklar; devre süresi; kırmızı süresi; boşaltım oranı.

1. Giriş

Boşaltım oranı, ışıklı kavşakların performansını ve kapasitesini değerlendirmek için önemli bir parametredir. Bu doğrultuda çalışmada gerçek zamanlı yönetilen kavşaklarda devre ve kırmızı sürelerinin kuyrukta bekleyen ilk taşıtların boşaltım oranı üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Boşaltım oranı, aşağıda sunulan şekilde hesaplanmaktadır.

$$\beta = 3600/h \quad (1)$$

Bu eşitlikte, β; boşaltım oranı (taşıt/saat/şerit) ve h; ortalama zaman aralığı (saniye) ifade etmektedir. Taşıtların boşaltım oranını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler; sinyal süreleri (yeşil, kırmızı ve devre süresi), taşıt türü, yaklaşım kolu geometrisi (şerit genişliği/sayısı, eğim) ve sürücü psikolojisi olarak sıralanabilir. Li ve Prevedouros (2002), düz giden bir şeritte boşaltım oranının artarak 9 – 12 taşıtlar arasında

1.895 taşıt/saat/şerit değerine ulaştığını ve bu değerin maksimum olduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmada 40 saniye yeşil süresinden sonra kuyruk boşaltım oranında hızla bir düşüş yaşandığını tespit edilmiştir. Benzer şekilde Khosla ve Williams (2006) araştırmalarında, 60 saniyeden daha uzun yeşil sürelerinde boşaltım oranının azalma eğilimi gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Ancak bu eğilimi istatistiksel olarak anlamlı bulmamışlardır. Bu çalışmalara paralel olarak Denney vd., (2009) çalışmasında uzun yeşil süreleri boyunca boşaltım oranlarında bir düşüş yaşandığını savunmuştur. Boşaltım oranının farklı kuyruk uzunluklarındaki değişimi de incelenmiştir. Lin ve Thomas (2005), devrelerdeki artan kuyruk sırasıyla birlikte taşıtların boşaltım oranının artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bu sonuca ek olarak, zaman aralıklarındaki bu artışın kuyruktaki on beşinci taşıtın sonrasında da devam ettiğini saptamışlardır. Karabulut (2021) boşaltım oranının kuyruktaki üçüncü veya dördüncü taşıttan sonra sabit kalma eğilimi gösterdiğini belirtmiştir. Çalışmada bu durum istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Karabulut, 2021). Öte yandan Gao ve Alam (2014), artan kuyruk sırasıyla birlikte boşaltım oranını azalma eğilimi gösterdiğini belirtmiştir. Ek olarak aynı çalışmada boşaltım oranının bilinmesiyle sinyal sürelerinin daha kolay optimize edilebileceği savunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma, Mersin kentinde gerçek zamanlı olarak yönetilen kentsel dönel kavşak (Kipa Kavşağı) ve dört kollu ışıklı kavşak (CNR Kavşağı) üzerinde gerçekleştirilmiştir (bkz. Şekil 1). Bu kavşakların her ikisi de dört yaklaşım koluna sahiptir. Kipa Kavşağı seçilirken dönel ada etrafındaki trafik akımının yaklaşım kollarındaki trafik akımını etkilemiyor olmasına ve sağa/sola dönüş yapacak taşıtların trafik akımına etkisini azaltmak amacıyla yaklaşım kollarının en az üç şeritli olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 1. Kipa ve CNR Kavşaklarının genel görünümleri.

Çalışma kapsamında Kipa ve CNR Kavşaklarının yüksek trafik hacmine sahip yaklaşım kolları analizlere dâhil edilmiştir. Kipa Kavşağında Batı – Doğu – Kuzey; CNR Kavşağında ise sadece Batı yaklaşım kolu analiz edilmiştir. Çalışmada, seçilen kavşakların 8 – 9 Ekim 2019 tarihlerinde sabah zirve saatine (07.30 - 09.30) ait trafik akım görüntüleri incelenmiştir. İncelenen trafik akımının uygun hava koşullarında olması tercih edilmiştir (bkz. Şekil 2). Çalışma kapsamında sağa-sola dönüşlerin trafik akımına etkilerini engellemek için yaklaşım kollarının orta şeritlerdeki trafik akımı analiz edilmiştir.



Şekil 2. Kipa ve CNR Kavşaklarının video ekran görüntüleri.

Kipa ve CNR Kavşaklarının trafik akım görüntüleri ve incelenen devrelerin sinyalizasyon bilgileri (yeşil, kırmızı ve devre süresi, devrenin başladığı ve bittiği saat) Mersin Büyükşehir Belediyesine Ulaşım Dairesi Başkanlığı'ndan elde edilmiştir (bkz. Tablo 1). Devrelerin başlangıç ve bitiş bilgileri saat, dakika ve saniye olarak elde edilmiştir. Bu bilgiler ayrıca incelenen görüntülerden kontrol edilerek doğrulanmıştır.

Tablo 1. Kipa ve CNR Kavşağında orta şerit trafik akımı karakteristikleri.

Kavşak		**Kipa**			**CNR**
Yaklaşım Kolu		**Batı**	**Doğu**	**Kuzey**	**Batı**
Devre Sayısı		**125**	**53**	**76**	**83**
Yeşil Süresi (saniye)	Min.	31	19	20	18
	Mak.	72	35	30	33
	Ort.	56	31	24	22
Kırmızı Süresi (saniye)	Min.	30	48	54	63
	Mak.	78	77	91	90
	Ort.	46	67	75	69
Devre Süresi (saniye)	Min.	76	76	77	84
	Mak.	130	114	120	111
	Ort.	105	101	101	93
Kuyruk Uzunluğu (taşıt/devre/şerit)	Min.	8	8	8	8
	Mak.	25	15	15	13
Devre Hacmi (taşıt/devre/şerit)	Min.	9	8	8	8
	Mak.	33	15	15	16
Trafik Kompozisyonu (%)	Otomobil	93,9	89,8	95,2	93,2
	Minibüs	4,7	3,5	2,8	4,7
	Ağır Taşıt	1,4	6,7	2,0	2,1

Bu çalışmanın metodu iki aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamaların detayları aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

Aşama 1: Yaklaşım kollarına ait ham video görüntüleri devrelerin sinyalizasyon bilgileri ile birleştirilerek MATLAB ortamında analiz edilmiştir. Analiz sonucunda her bir devre için taşıtların zaman aralıkları, kuyruk uzunluğu, devre hacmi ve trafik kompozisyonu bilgileri

elde edilmiştir. Bu doğrultuda 337 devre analiz edilmiştir. Devrelerin yaklaşım kollarına göre dağılımı Tablo 2' de sunulmuştur.

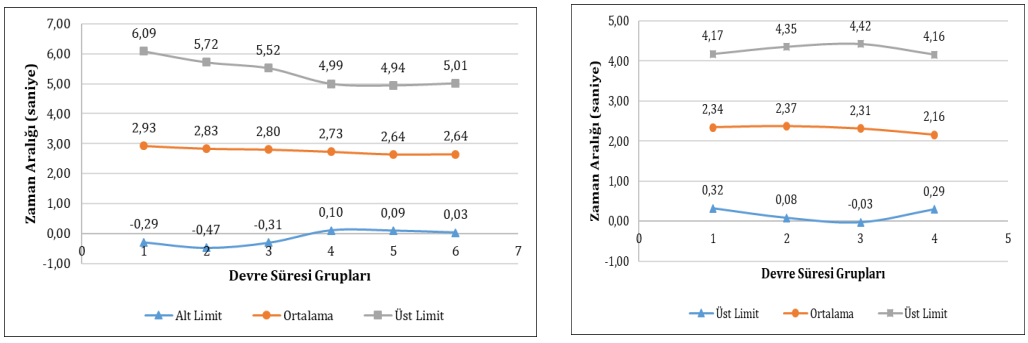
Tablo 2. İncelenen devrelerin yaklaşım kollarına göre dağılımı.

Kavşak	Kipa			CNR
Yaklaşım Kolu	Batı	Doğu	Kuzey	Batı
8 Ekim 2019	57	24	42	47
9 Ekim 2019	68	29	34	36
Toplam Devre	125	53	76	83

Literatürde birçok çalışmada kuyruktaki ilk birkaç taşıttan sonra doygun akımın başladığı belirtilmiştir (Cohen, 2002; Khosla ve Williams, 2006; Stanić vd., 2011). Benzer şekilde HCM (2010) çalışmasına göre doygun akımın kuyruktaki dördüncü taşıttan sonra başladığı savunulmuştur. Bu nedenle analizler, kırmızı ve devre süresi boyunca yaklaşım kolunda sıralanan ilk dört taşıtın zaman aralığı değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Buradaki amaç, artan devre ve kırmızı sürelerinin ilk dört taşıtın zaman aralıkları üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu etkiyi istatistiksel olarak analiz edilebilmek için zaman aralıkları onar saniyelik artan devre ve kırmızı sürelerine göre gruplandırılmıştır. Sonrasında elde edilen her bir grup için sapan değer analizi yapılarak hatalı yoruma neden olabilecek veriler analizlerden çıkarılmıştır (bkz. Tablo 3.). Sapan değer analizinde öncelikle her bir grubun kartil değerleri hesaplanmıştır (Q_1 ve Q_3). Kartil değerleri kullanılarak bu grupların alt ve üst limit değer tespit edilmiştir (bkz. Şekil 3 ve 4). Bu analizde kullanılan formüller aşağıda sunulmuştur.

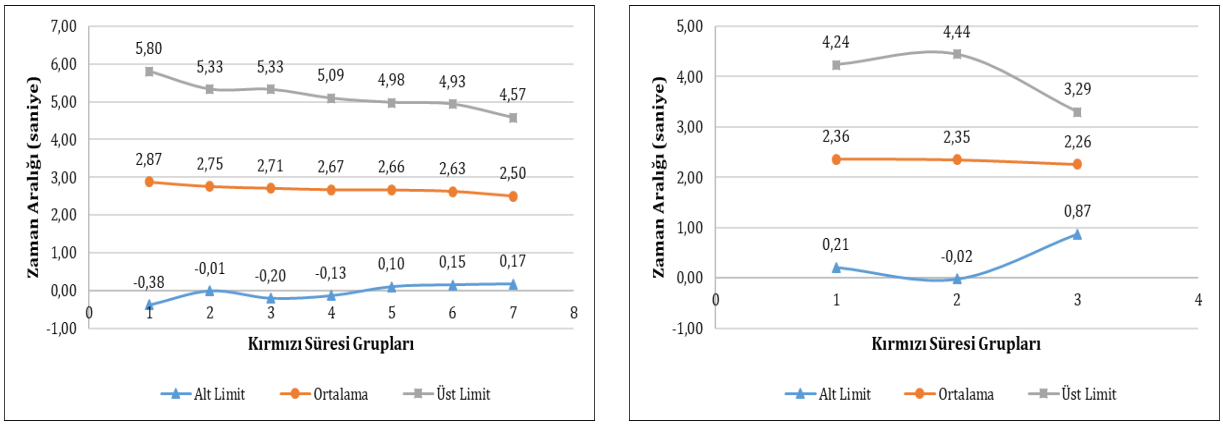
$$\text{Alt Limit: } Q_1 - 1{,}5(Q_3 - Q_1) \quad (2)$$

$$\text{Üst Limit: } Q_3 + 1{,}5(Q_3 - Q_1) \quad (3)$$



(a) (b)

Şekil 3. Kipa (a) ve CNR (b) Kavşakları devre süresi gruplarına göre sapan değer analizi.



(a) (b)

Şekil 4. Kipa (a) ve CNR (b) Kavşakları kırmızı süresi gruplarına göre sapan değer analizi.

Tablo 3. Sapan değer analizi sonucunda belirlenen sapan değerler.

Kavşak	Devre Süresi Analizi		Kırmızı Süresi Analizi	
	Taşıt Sayısı	Sapan Değer	Taşıt Sayısı	Sapan Değer
Kipa	1.016	47	1.016	44
CNR	332	19	332	18

Aşama 2: Son olarak bu grupların istatistiksel olarak birbirinden farklılığını tespit edebilmek için gruplara %5 anlamlılık düzeyinde ANOVA uygulanmıştır. ANOVA gruplar üzerinde aşağıdaki hipotezi test etmiştir.

H_0: Tüm grupların zaman aralığı değeri aynıdır.

H_1: Grupların en az bir tanesinin zaman aralığı değeri farklıdır.

3. Sonuçlar ve Tartışmalar

Devre ve kırmızı sürelerinin kuyruktaki ilk dört taşıtın boşaltım oranları üzerindeki etkisini değerlendirebilmek için %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel analizler yapılmıştır. Bu doğrultuda taşıtlar artan devre ve kırmızı sürelerine göre ayrı ayrı gruplandırılarak analiz edilmiştir.

Yapılan istatistiki analiz sonucunda, Kipa Kavşağı kuyruklarındaki ilk dört taşıt üzerinde yapılan analizde artan devre süresiyle beraber gruplardaki boşaltım oranı değerlerinin artma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir (bkz. Tablo 4). Artan devre süresinin kuyruktaki ilk dört taşıt üzerindeki bu etkisi CNR Kavşağı kuyruklarındaki ilk dört taşıt sırası grupları üzerinde de görülmüştür (bkz. Tablo 5). Ancak devre sürelerinin zaman aralıkları üzerindeki bu etkisi her iki kavşakta da istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (bkz. Tablo 6).

Tablo 4. Devre süresinin 10'ar saniyelik gruplarında ilk dört taşıtın boşaltım oranları.

Kipa Kavşağı	Devre Süresi (70 – 130 saniye)					
	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130
Ortalama Zaman Aralığı	2,93	2,83	2,80	2,73	2,64	2,64
Boşaltım Oranı	1.229	1.272	1.286	1.319	1.364	1.364

Tablo 5. Devre süresinim 10'ar saniyelik gruplarında ilk dört taşıtın boşaltım oranları.

CNR Kavşağı	Devre Süresi (80 – 120 saniye)			
	80-90	90-100	100-110	110-120
Ortalama Zaman Aralığı	2,34	2,37	2,31	2,15
Boşaltım Oranı	1.538	1.519	1.558	1.674

Tablo 6. 10'ar saniyelik devre süresi gruplarında geçen ilk dört taşıtın ANOVA sonuçları

Kipa Kavşağı	Devre Süresi (70 – 130 saniye)				
	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Test	Güvenirlilik
Gruplar Arasında	6,178	5	1,236	0,857	0,510
Gruplar İçinde	1.456,458	963	1,442	-	-
Toplam	1.462,637	968	-	-	-
CNR Kavşağı	**Devre Süresi (80 – 120 saniye)**				
	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Test	Güvenirlilik
Gruplar Arasında	0,748	3	0,249	0,272	0,845
Gruplar İçinde	300,187	309	0,915	-	-
Toplam	300,935	312	-	-	-

Devre ve kırmızı sürelerinin kuyruktaki ilk dört taşıtın boşaltım oranları üzerinde aynı yönde etkisi olabileceği düşünülerek kırmızı süresi analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kırmızı süreler, devre süresi analizinde olduğu gibi onar saniyelik gruplara ayrılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, Kipa Kavşağı kuyruklarındaki ilk dört taşıt üzerinde yapılan analizde artan kırmızı süresiyle birlikte gruplardaki boşaltım oranı değerlerinin artma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir (bkz. Şekil 7.). Ancak bu eğilim istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (bkz. Tablo 9). Artan devre süresinin kuyruktaki ilk dört taşıt üzerindeki bu etkisi CNR Kavşağı kuyruklarındaki ilk dört taşıt sırası grupları üzerinde de görülmüştür (bkz. Tablo 8). Söz konusu bu etki CNR Kavşağı kuyruklarında da istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 7. Kırmızı süresinin 10'ar saniyelik gruplarında ilk dört taşıtın boşaltım oranları.

Kipa Kavşağı	Kırmızı Süresi (30 – 100 saniye)						
	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
Ortalama Zaman Aralığı	2,87	2,75	2,71	2,67	2,66	2,63	2,50
Boşaltım Oranı	1.253	1.307	1.328	1.348	1.351	1.370	1.439

Tablo 8. Kırmızı süresinin 10'ar saniyelik gruplarında ilk dört taşıtın boşaltım oranları.

CNR Kavşağı	Kırmızı Süresi (60 – 90 saniye)		
	60-70	70-80	80-90
Ortalama Zaman Aralığı	2,36	2,35	2,26
Boşaltım Oranı	1.525	1.532	1.593

Tablo 9. 10'ar saniyelik kırmızı süresi gruplarında geçen ilk dört taşıtın ANOVA sonuçları.

Kipa Kavşağı	Kırmızı Süresi (30 – 100 saniye)				
	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Test	Güvenirlilik
Gruplar Arasında	8,293	6	1,382	1,004	0,421
Gruplar İçinde	1.389,084	965	1,377	-	-
Toplam	1.397,378	971	-	-	-
CNR Kavşağı	**Kırmızı Süresi (60 – 90 saniye)**				
	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Test	Güvenirlilik
Gruplar Arasında	0,140	2	0,070	0,076	0,927
Gruplar İçinde	302,024	311	0,918	-	-
Toplam	302,164	313	-	-	-

4. Sonuçlar

Analizler sonucunda kuyruktaki ilk dört taşıtın boşaltım oranının artan devre veya kırmızı süresiyle birlikte artış gösterdiği görülmüştür ancak istatistiksel olarak bu durum anlamlı bulunmamıştır. Devre ve kırmızı süresinin kuyrukta bekleyen ilk dört taşıtın boşaltım oranı üzerindeki bu etkisi paralellik göstermektedir. Bu paralellik hem Kipa Kavşağında hem de CNR Kavşağında gözlenmiştir. Bu sonuçlara ek olarak, artan devre ve kırmızı süresiyle birlikte ilk dört taşıt sırasının başlangıç kayıp sürelerinin daha az yaşandığı sonucuna da ulaşılabilir.

5. Kaynaklar

Denney Jr, R. W., Curtis, E., Head, L. (2009). Long green times and cycles at congested traffic signals. Transportation Research Record, 2128(1), 1-10.

Gao, L., Alam, B. (2014). Optimal discharge speed and queue discharge headway at signalized intersections. In 93rd Annual Meeting of Transportation Research Board, CD-ROM, Washington, DC, United States.

Karabulut, N. C. (2021). Gerçek zamanlı yönetilen kavşaklarda şerit verimsizliğine etki eden faktörlerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.

Khosla, K., Williams, J. C. (2006). Saturation flow at signalized intersections during longer green time. Transportation research record, 1978(1), 61-67.

Li, H., Prevedouros, P. D. (2002). Detailed observations of saturation headways and start-up lost times. Transportation Research Record, 1802(1), 44-53.

Lin, F. B., Thomas, D. R. (2005). Headway compression during queue discharge at signalized intersections. Transportation Research Record, 1920(1), 81-85.

Transportation Research Board (TRB). (2010). Highway capacity manual (5. Baskı). Washington, D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.

Stanić, B., Tubić, V., Čelar, N. (2011). Straight lane saturation flow and its rate in Serbian cities. Transport, 26 (3), 329-334.

Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Optimal Konumlandırması ve Bir Uygulama

Melike Sultan Karasu Aşnaz[1], Beyza Özdemir[2*]

[1,2]Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Balıkesir, Türkiye

* ozdemirbeyza78@gmail.com

0000-0003-4145-2524, 0000-0002-6258-051X

Özet

Akıllı şehirlerin şekillendirilmesinde ulaşım sektörü önemli bir rol üstlenmektedir. Artan çevre bilinci ve fosil yakıtların tükenmesi sebebiyle ulaştırma sektöründe elektrikli araçların (EV) kullanımı hızla artmaktadır. Karbonsuz bir gelecek projeksiyonunda yollardaki EV sayılarının artması kadar iyi planlanmış ve konumlandırılmış şarj istasyonlarının yapılandırılması da önemli bir gündemdir. Ayrıca EV'ler normal araçlara göre daha uzun şarj olma sürelerine sahiptir. Metropol hayatı ve yoğun yaşam düzeni ile birlikte insanların uzun şarj sürelerine ayıracak vakti olmayacaktır. Bu sebeple şarj istasyonlarının doğru yerlere konumlandırılması ve dahası akıllı şarj sistemi iledonatılması gerekmektedir. Bu çalışmada, EV'lere yönelik şarj istasyonu altyapısı planlaması üzerine odaklanılmış ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü uygulama modeli olarak kullanılmıştır. Öncelikle, araç giriş çıkışlarına dair veriler elde edildikten sonra, sürücülerin kullanım alışkınlarına dair anket yapılmıştır. Elde edilen anket verileri değerlendirilmiş ve kampüse yerleştirilecek optimum sayıdaki şarj ünite sayısı kuyruk teorisi (KT) ile tespit edilmiştir. Şarj ünitelerinin kampüs içerisinin dağıtımının yapılacağı en uygun noktalar olarak otoparklar belirlenmiştir. Otoparklara dağıtım ise çok kriterli karar verme (ÇKKV) metotları ile çözümlenmiştir. Otopark doluluk oranları, otopark kapasiteleri, trafo merkezine uzaklık gibi kriterler belirlenmiş ve bu kriterlerin önceliklerinin belirlenmesi için Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (FAHP) kullanılarak kriterler önceliklerine göre sıralanmıştır. Her bir alternatif konumun kriterlere göre performansı değerlendirilerek, alternatiflerin sıralanması FAHP, The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) ve Simple Multi AttributeRating Technique (SMART) yöntemleri ile ayrı ayrı yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlarkarşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Şarj istasyonu; Kuyruk teorisi; Çok kriterli karar verme; Elektrikli araç

Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations with Multi-CriteriaDecision Making Methods and an Application

Abstract

The transportation sector plays a vital role in shaping smart cities. Due to the increasing environmental awareness and the depletion of fossil fuels, the use of electric vehicles in the transportation sector is rapidly increasing. In the projection of a carbon-free future, the structuring of well-planned and located charging station is as important as the increase in the number of electric vehicles on the roads. In addition, electric vehicles have

longer charging times than normal vehicles. With metropolitan life and busy lifestyle, people will not have time to spare for long charging times. For this reason, charging stations should be located in the right places and moreover, they should be equipped witha smart charging system. Thus, in this study, we focused on charging station infrastructureplanning for electric vehicles and Balıkesir University Cagis Campus was used as an application model. First of all, after obtaining data on vehicle in and out, a survey was conducted on drivers'usage habits. The obtained data were evaluated and the optimum number of charging units to be located on the campus was determined by queuing theory. Parking lots have been determined as the most suitable points for the distribution of charging units within the campus. Distribution to car parks is solved with multi-criteria decision-analysis methods. Criteria such as parking occupancy rates, parking capacities, distance to the transformer center were determined and the criteria were ranked according to their priorities by using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) to determine the priorities of these criteria. The performance of each alternative location was evaluated according to the criteria, and the results were compared after ranking the alternatives separately with the FAHP, The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) and Simple Multi Attribute Rating Technique (SMART) methods.

Keywords: Charging station; Queuing theory; Multi -criteria decision analysis; Electric vehicle

1. Giriş

20. yüzyılın sonlarında ortaya çıkan dünya enerji krizi ve küresel ısınma bilincinin sürekli yükselmesi nedeniyle sera etkisine sebep olabilecek salınımlarda bulunan içten yanmalı motorlu araçlar gözden düşmeye başlamış ve EV'ler, son yıllarda en umut verici ulaşım alternatiflerinden biri haline gelmiştir. ABD, İngiltere ve Almanya gibi çeşitli ülkelerde pil teknolojileri ve şarj istasyonu altyapılarına yapılan yatırımlar e-mobilitenin yükselişte olduğunu göstermektedir.

Birçok ülke yakın gelecekte yollarına büyük miktarlarda EV getirmeyi planlasa da ön koşul olarak, bu araçlara elektrik yakıtı sağlamak için yeterli bir şarj altyapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Akıllı Şehirlerde EV'lerin günlük yaşama entegre edilebilmesi için akademi camiası ve şehir planlamacılar birçok çalışma yapmaktadır. Harighi (2019), EV'lerin yaygınlaşmasıyla şarj istasyonlarının konumlanmasının elektrik dağıtıcıları için önemli bir problem olduğunu vurgulamaktadır. Çalışmada, transformatörlerin konumlarına göre, EV'ler için şarj istasyonlarının konumlandırılması senaryosu oluşturmuş ve şebeke altyapısının bazı özelliklerine göre; konum bulma, transformatörlerin kapasitesini sınıflandırma ve transformatör analizi bölümlerinden oluşan özgün çözüm algoritmaları sunmuştur. Elektrik tüketim miktarını algoritmasına entegre ederek daha sonra olası istasyonların konumlarını tanımlamıştır. Awasthi vd. (2017) çalışmalarında, şarj istasyonlarının optimum konumlandırılması çözmek için genetik ve parçacık sürüsü optimizasyon algoritmasına dayalı bir hibrit algoritma uygulamışlardır. Sonuçlar toplandıktan sonra altyapı, simülasyonda gerçek zamanlı sistemle test edilmiştir. Xylia vd. (2017), Stockholm'deki elektrikli otobüsler için şarj istasyonlarının konum seçimi problemini çözmek için karmaşık tam sayılı doğrusal programlama modeli sunmuşlarıdır. Model, otobüs ağının nakliye maliyetini en aza indirmeyi amaçlamıştır. Micari vd. (2017), EV'lerin akışı ve yol ağı verilerini kullanarak iki aşamalı model uygulamışlardır. Model ilk olarak gerekli şarj istasyonu sayısını

hesaplamış ikinci olarak EV'lerin yol ağını dikkate alarak istasyonların yerini belirlemiş ve bir İtalyan karayolu ağında test edilmiştir.

Konum belirleme gibi birden çok alternatifin olduğu ve karar vericinin birden fazla kriteri birlikte değerlendirmesi gerektiği problemlerde ÇKKV yöntemleri kullanılmaktadır. Küçükoğlu (2020), Türkiye'de nükleer enerji santrali kuruluş yerini belirlemek için AHP, ELECTRE ve PROMETHEE yöntemleri uygulamıştır. Kırcalı (2019), çalışmasında, güneş tarlası kurulumu için en uygun sahanın seçilebilmesi için uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri teknolojilerinden yararlanmış ve ÇKKV yöntemlerinden olan AHP tekniği kullanılarak uygun sahanın seçimini yapmıştır. Avdan (2018), Türkiye'de e-atık kazanım tesisi için kuruluş yeri belirlemede Türkiye'deki kentler için, Gri İlişkisel Analiz tekniğini uygulayarak e-atık geri kazanım tesisi kurulumu yer seçimi çalışmasını gerçekleştirmiştir.

Bu çalışma, EV şarj istasyonlarının ÇKKV metotları ile optimal konumlandırılması üzerinedir ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi'nde bulunan araç ve kullanıcı verileri ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, kullanıcı deneyiminin en iyi düzeyde sağlanması için minimum kuyrukta bekleyen araç sayısı kısıtıele alınarak, KT ile optimal şarj ünite sayısı tespit edilmiş, ikinci kısımda ise ÇKKV metotlarından FAHP, PROMETHEE ve SMART metotları kullanılarak şarj ünitelerinin optimal konumlandırılması yapılmıştır.

2. Materyal ve metot

Çalışma, dokuz trafo merkezi ve on sekiz otoparka sahip Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşke'sinde gerçekleştirilmiştir. Kampüste bulunan iki giriş kapısından bir hafta boyunca özel araç giriş-çıkış ve öğrencilere, akademisyenlere ve idari personele uygulanan anket ile sürücü alışkanlıkları verileri elde edilmiştir.

Çalışmanın ilk kısmı olan optimal şarj ünite sayısının tespiti için KT'den faydalanılmıştır.Ele alınan modelde servis sağlayıcısı olan şarj istasyonu tek faz/tek sıra/çoklu sunucu (M/M/s) olup model Şekil 1'de gösterilmiştir. Çalışmada yapılan modele ait kabuller şöyledir;

- Araçların gelişi poisson dağılımına uygundur (her sürücü davranışı birbirinden farklı ve bağımsız olarak ele alınır) (Wang vd., 2010).
- Araçlar tek bir sıra oluşturur ve sisteme giriş anları farklıdır.
- Araç sürücüleri kuyruğa girmeye razı olup herhangi bir anda kuyruğu terk etme eğilimi göstermezler.
- Bütün şarj istasyonlarının verimleri aynıdır.

(M/M/s) modeline ait sistem yoğunluğu (ρ) hesaplaması Denklem (1)'deki gibi yapılır;

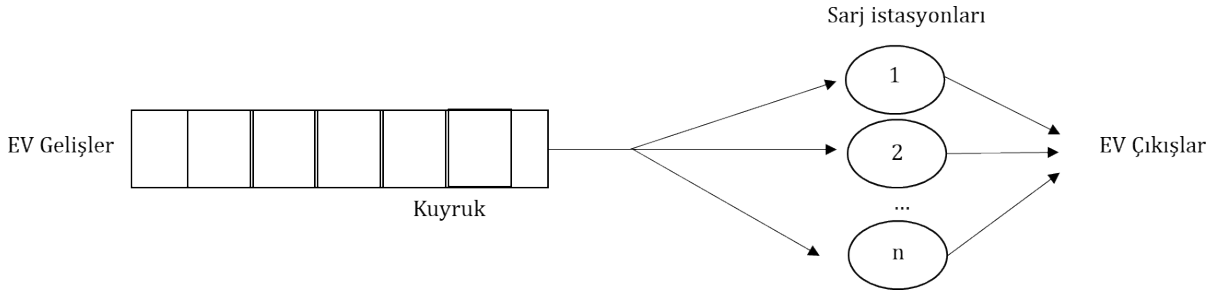
$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (1)$$

Burada λ birim zamanda ortalama giriş yapan araç yoğunluğunu, s servis sağlayacak şarj istasyonu sayısını, μ ise bir aracın ortalama şarj olma zamanını ifade eder. Servis sağlayıcılarının herhangi bir anda boş olma olasılığı ise Denklem (2)'de verilmiştir.

$$P_0 = \left[\left(\sum_{n=0}^{s-1} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!}\right) + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{s!}\left(\frac{1}{1-p}\right)\right] \quad (2)$$

P_0, sistemde hiç araç bulunmama olasılığını gösterir. Kuyrukta servis almayı bekleyen araç sayısı(L_q) Denklem (3)'teki gibi hesaplanır;

$$L_q = \frac{P_0(\frac{\lambda}{\mu})\rho^s}{s!(1-\rho)^2} \quad (3)$$



Şekil 1. M/M/s kuyruk modeli

Kuyruktaki ortalama bekleme süresi (W_q) ise Denklem (4)'teki gibi hesaplanır;

$$W_q = \frac{L_q}{\mu} \quad (4)$$

Sistemde geçirilen ortalama toplam süre (W) *(kuyrukta bekleme süresi + şarj süresi)* Denklem (5)'teki gibidir;

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} \quad (5)$$

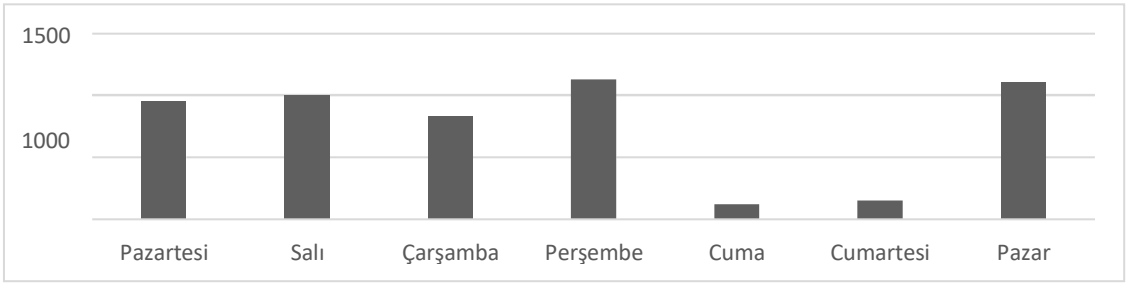
Sistemde bulunan toplam ortalama araç sayısı (L) ve kuyruk sisteminde herhangi bir anda n sayıda araç bulunma olasılığı (P_n) ise sırasıyla Denklem (6) ve (7) ile hesaplanır.

$$L = \lambda W \quad (6)$$

$$P_n = \begin{cases} \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^n}{n!} P_0; n \le s \\ \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^n}{s!s^{n-s}} P_0; n > s \end{cases} \quad (7)$$

Kurulan bu kuyruk sisteminde $\frac{s\mu}{\lambda} \ge 1$ eşitsizliği her zaman sağlanmalıdır, aksi takdirde kuyruk uzunluğu sürekli olarak artacaktır.

Yapılan gözlem ve sayım sonucunda kampüse günlük giriş yapan özel araç yoğunluğu değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Buna göre kampüse en fazla giriş yapılan gün ve saat dilimi referans alınmıştır. Yağcıtekin (2014), 2020 yılı iyimser senaryolarında bir otoparktaki tüm araçların ortalama %5'inin elektrikli olabileceğini ifade etmiştir. Bu yüzden bu çalışmada otoparktaki tüm araçların %5'nin elektrikli olması ile şarj servisi almak isteyen araçların kuyrukta minimum bekleme süresi durumları dikkate alınarak MATLAB programında hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 2. Günlük giriş yapan araç yoğunluğu değişimi

Bu çalışmada, 136 kişiye anket uygulanmıştır ve bunların 89'u ulaşımı özel araç ile sağladığını ve günde en az bir otoparkı kullandıklarını belirtmiştir. Anket sonucuna göre kullanıcıların çoğu günde 6 ila 9 saat arası araçlarının park halinde olduğunu belirtmiştir. Kurulan KT modeline göre hesaplamalar yapılmış ve buna göre bir aracın servis almak için en az bekleme süresini sağlayan toplam şarj istasyonu sayısı tüm kampüs otoparklarıiçin 70 adet olarak belirlenmiştir.

Kampüste bulunan tüm otoparklar şarj istasyonlarının yerleşimi için alternatif yer olarak tanımlanmıştır. Sürücü profillerinin değerlendirilmesinde anketten faydalanılmış ve elde edilen sonuçlara göre en az tercih edilen ve hiç tercih edilmeyen bazı otoparklar çalışmaya dahil edilmemiştir. Tablo 1'de problem alternatifleri olarak tanımlanan otoparklar ve kapasiteleri verilmiştir.

Tablo 1. Alternatifler ve kapasiteleri

Otoparklar	Alternatif Adı	Kapasite
Mühendislik Fakültesi Ek Bina	P1	62
Fen Edebiyat Fakültesi	P2	174
Mühendislik Fakültesi Ana Bina	P3	240
Turizm Fakültesi	P4	74
Veterinerlik Fakültesi	P5	94
Rektörlük Binası	P6	150
Sağlık Bilimleri Fakültesi	P7	160
Meslek Yüksek Okulu	P8	191
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	P9	65
Spor Bilimleri	P10	139
Residorm Yurtları	P11	77
Teknokent	P12	70

Karar verme probleminin diğer bir bileşeni olan kriterler belirlenirken literatürden faydalanılmış ve probleme uygun dört kriter belirlenmiştir. Bu çalışmada ele alınan kriterler (Cn) şöyledir;

- *Otopark Araç Kapasitesi (C1):* Gelecekteki EV ve sürücü yoğunluğu artışına dikkate alınır.
- *Tercih Edilirlik (C2):* İnsan yoğunluğu fazla olan noktalar daha çok kullanımı olan ve yürüme mesafesini kısaltacağı için en tercih edilen noktalar olacaktır. Bu yüzden yoğunluğunun fazla olduğu otoparkların daha fazla şarj istasyonuna ihtiyacı olacağı dikkate alınır.
- *Değişkenliğe Duyarlılık (C3):* Ziyaretçisi değişken olan (Rektörlük, Teknokent gibi) konumların doluluk oranlarının değişken olacağı düşünülmüş ve bu sebeple şarj

istasyon sayısının anket sayısına göre belirlenecek sayıdan daha fazla olabileceği dikkate alınmıştır.

- *Otoparkın Trafo Merkezi ile Arasındaki Uzaklık (C4):* Enerjideki düşük kalitenin önüne geçmek, yatırım maliyetlerini ve enerji kayıplarını azaltmak için uzaklık dikkate alınır.

Kampüs içindeki mevcut otoparklar (P) ve trafo merkezlerinin (T) yerleşimi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Kampüs otopark ve trafo merkezlerinin genel görünümü

2.1 Kriter ağrılıklarının belirlenmesi

Karar verme sürecinde karşılaşılan soyut kavramlar günlük hayatta karar vermeyi büyükbir belirsizliğe yöneltmektedir. Bu belirsizlik anlarında karar verebilme sürecini yönetebilmek için, çeşitli çözüm yolları önerilmiş ve bulanık mantık fikri ortaya sürülmüştür. FAHP yöntemi bunlardan biridir ve bu yöntemde, uzman görüşünün kesin sayılar yerine bulanık sayılarla temsil edilmesi gerekir. Çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenebilmesi için Tablo 2'deki gibi ifade edilen üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır. Busayılar *(l,m,u)* parametreleri ile ifade edilir ve sırasıyla bulanık bir miktarı tanımlayan olası en küçük değeri, en umut verici değeri ve mümkün olan en büyük değeri ifade eder (Soltani ve Marandi, 2011). Çalışma özelinde FAHP hiyerarşi yapısı Şekil 4'de gösterilmiştir.

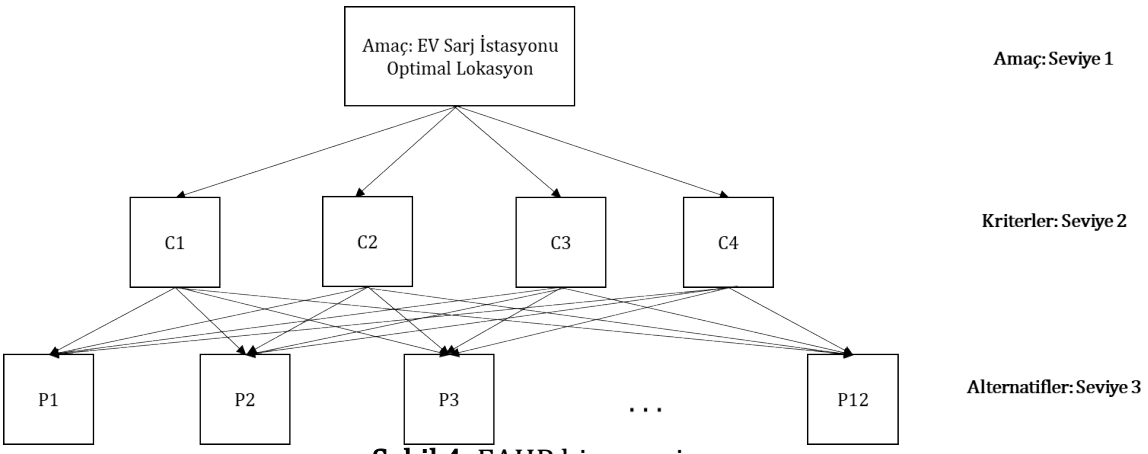
Tablo 2. Dilsel ölçek ve bulanık sayılar (Rajabi vd., 2018)

	Dilsel Ölçek	**Bulanık Ölçek**
Karşılık Ölçek Kesin eşit	(1,1,1)	(1,1,1)
Eşit derece önemli	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
Biraz daha önemli	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
Kuvvetli derecede önemli	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Çok kuvvetli derecede önemli	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
Tamamıyla önemli	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

Belirlenen 70 adet şarj istasyonunun dağıtımının yapılması için sürücülerin fikirleri dikkate alınmış ve sözel mantıkla ifade edilebilen bulanık sayılardan yararlanılarak çözüm gerçekleştirilmiştir. Karar vericiler tarafından FAHP ile kriterlerin ağırlıkdeğerlendirmeleri yapılmış ve bu kriterler Tablo 2'de gösterilen bulanık sayılarla

değerlendirilmiştir. Ardından ikili karşılaştırma yapmak için üçgensel bulanık karşılaştırma matrisi Denklem (8)'deki gibi tanımlanmıştır.

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} (111) & (l_{12}m_{12}u_{12}) & \dots & (l_{14}m_{14}u_{14}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (l_{41}m_{41}u_{41}) & (l_{42}m_{42}u_{42}) & \dots & (111) \end{pmatrix} \quad (8)$$



Şekil 4. FAHP hiyerarşi yapısı

Buckley (1985)'in önerdiği gibi karar vericilerin bulanık değerlendirmeleri alındıktan sonra ikili karşılaştırmaların geometrik ortalaması alınarak kriter karşılaştırma matrisi hesaplanmıştır ve bu değerler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Kriter karşılaştırma matrisi

	C1			C2			C3			C4		
	l	*m*	*u*	*l*	*m*	*u*	*l*	*m*	*u*	*l*	*m*	*u*
C1	1,00	1,00	1,00	0,90	1,44	1,95	0,63	1,14	1,65	0,90	1,44	1,95
C2	0,51	0,69	1,10	1,00	1,00	1,00	1,14	1,71	2,24	1,65	2,15	2,65
C3	0,60	0,87	1,58	0,44	0,58	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	2,00
C4	0,51	0,69	1,10	0,37	0,46	0,60	0,50	0,66	1,00	1,00	1,00	1,00

Son aşamada ise elde edilen bulanık kriter ağırlıklarının en iyi bulanık olmayan performans değerleri hesaplanmıştır. Durulaştırma olarak ifade edilen bu işlem Denklem (9)'da gösterilen alan merkezi (center of area) yöntemi ile hesaplanmıştır.

$$\text{COA}_{w_i} = \frac{[(u_{wi} - l_{wi}) + (m_{wi} - l_{wi})]}{3} + l_{wi} \quad (9)$$

Sonuç olarak yapılan FAHP ile kriter ağırlıklandırma işlemine göre en yüksek öneme sahip kriter C2, yani tercih edilirlik kriteri olarak belirlenirken, en az öneme sahip kriter ise C4, yani otopark ve trafo merkezi arasındaki mesafe kriteri olmuştur. Nihai karar matrisi ise Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Nihai karar matrisi

C1	C2	C3	C4	
Ağırlık	0,313	0,347	0,259	0,183
Sıralama	2	1	3	4

2.2 Çok kriterli karar verme ile konumlandırma

ÇKKV yöntemi, alternatifin performansını çok sayıda, çelişkili, niteliksel ve/veyaniceliksel kriterler arasında birleştiren ve fikir birliği gerektiren bir çözümle sonuçlanan bir tekniktir. ÇKKV'nin amacı en iyi kararı önermek değil, karar vericilere kısa listeye alınmış alternatifleri veya gereksinimlerini karşılayan ve tercihleriyle uyumlu tek bir alternatifi seçmede yardımcı olmaktır (Kırcalı, 2019). Bu bölümde, üç farklı ÇKKV yöntemi kullanılarak 70 adet şarj istasyonunun kampüs içindeki 12 otoparka belirlenen kriterler doğrultusunda optimal dağılımı çalışması yapılmıştır.

2.2.1 FAHP

FAHP ile kriter ağırlıkları belirlendikten sonra her bir kriter için alternatiflerin ağırlıklarının belirlenmesi yapılmıştır. Tüm alternatiflerin kriterlere göre değerlendiği nihai karar matrisi tabloları tüm kriterler için hesaplanmış ve Tablo 5'e gösterilmiştir. Ardından Tablo 4'te yer alan kriter ağırlık değerlerinden yararlanılarak her bir otopark için nihai karar matrisi değeri ile kriter ağırlık değeri çarpılarak toplam skorlar hesaplanmış ve yine Tablo 5'te gösterilmiştir. Burada toplam skor, ait olduğu alternatife ne kadar şarj istasyonu atanması gerektiğini belirten bir değerdir. Bu bağlamda hesaplanan 70 adet şarj istasyonu Tablo 6'daki gibi alternatiflere dağıtılmıştır.

Tablo 5. Tüm kriterlerin nihai karar matrisleri ve alternatiflerin toplam skor tablosu**C1**

		C2	C3	C4	Toplam Skor	Sıralama
P1	0,082	0,127	0,097	0,117	0,12	5
P2	0,139	**0,138 ***	0,099	0,119	0,14	1
P3	**0,141 ***	0,114	0,101	**0,133***	0,13	2
P4	0,086	0,12	0,103	0,074	0,11	7
P5	0,089	0,068	0,105	0,094	0,10	9
P6	0,106	0,069	**0,147 ***	**0,133***	0,12	4
P7	0,118	0,09	0,109	0,078	0,11	6
P8	0,13	0,108	0,111	0,103	0,13	3
P9	0,058	0,1	0,113	0,063	0,09	10
P10	0,089	0,071	0,115	0,106	0,10	8
P11	0,063	0,047	0,115	0,063	0,06	12
P12	0,056	0,044	0,11	0,104	0,08	11

Tablo 6. FAHP yöntemi ile otoparklara göre şarj istasyonu dağılımı

Otoparklar	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Şarj İstasyonu Sayısı	6	8	7	6	5	7	6	7	5	6	3	4

PROMETHEE

PROMETHEE, belirlenen kriterler çerçevesinde en iyi alternatifin seçilmesi için geliştirilmiş olan ÇKKV yöntemlerinden biridir. PROMETHEE yöntemi literatürdeki mevcut önceliklendirme yöntemlerinin uygulama aşamasındaki zorluklardan yola çıkılarak geliştirilmiştir (Genç ve Urfalıoğlu, 2013).

Bu yöntemde kriterler, fayda ve maliyet olarak ele alınır. Buna göre bu çalışmada C1, C2, C3 fayda kriterleri, C4 ise maliyet kriteri olarak belirlemiştir. Buna göre fayda ve maliyet kriterleri için sırasıyla Denklem (10) ve (11) kullanılarak normalizasyon gerçekleştirilir.

i kriterler (i=1,2,…,n); j, alternatifler (j=1,2,…,m); A satır ve x sütün değerleri olmak üzere Tablo 7'deki karar matrisi elde edilmiştir.

$$C_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - min(x_{ij})} \text{ (fayda)} \quad (10)$$

$$C_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \text{ (maliyet)} \quad (11)$$

Tablo 7. Karar matrisi

	C1	C2	C3	C4
P1	62	3098	1	134,52
P2	174	3779	1,02	125,96
P3	240	1640	1,04	81,62
P4	74	1931	1,06	393,84
P5	94	285	1,07	169,06
P6	150	388	1,55	68,96
P7	160	1000	1,11	203,79
P8	191	6333	1,13	131,13
P9	65	1926	1,15	248,36
P10	139	975	1,17	83,62
P11	77	116	1,17	224,08
P12	70	160	1,12	44,35

C_{ij} değerlerinin hesaplanmasının ardından tercih edilebilir fonksiyonlar $P_i(A, x)$ belirlenmiştir ve Denklem (12) ile toplam tercih fonksiyonu, Denklem (13) ile tüm alternatifler için Pozitif (Φ^+) ve Negatif (Φ^-) üstünlükler hesaplanmıştır.

$$\pi(A, x) = \sum_{i=1}^{n} (w_i P_i(A, x)) \quad (12)$$

$$\Phi^+ = \frac{1}{m-1}\sum \pi(A, x) \text{ ve } \Phi^- = \frac{1}{m-1}\sum \pi(x, A) \quad (13)$$

Son olarak her bir alternatif için net üstünlük değeri [$\Phi(\text{net}) = \Phi^+ - \Phi^-$] hesaplanmıştırve 70 adet şarj istasyonu Tablo 8'de gösterilen şekilde alternatiflere dağıtılmıştır.

Tablo 8. PROMETHEE yöntemi ile otoparklara göre şarj istasyonu dağılımı

Otoparklar	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Şarj İstasyonu Sayısı	4	11	12	0	2	4	6	17	3	7	1	3

2.2.2. SMART

SMART yöntemi çok kriterli fayda teorisi yöntemlerinden biri olup, karar verme probleminin fayda veya maliyet unsurunu içeren kriterlerin değerlerine göre işlemler yapılır(Chen vd., 2010). Bu yöntem sayesinde, belirlenen kriter ağırlıkları güncellenmiş sayısal değerlere dönüştürülür. SMART yönteminin asıl kolaylığı işlem basamaklarının matematiksel işlem gerektirmemesi ve herhangi bir ağırlık belirleme yönteminin kolaylıkla kullanılabilmesidir (Konidari ve Mavrakis, 2007). SMART Yöntemi, karar vericilerin ihtiyaçlarına cevap vermedeki basitliği ve nasıl cevap verdiği nedeniyle diğer tekniklere göre daha kullanışlı olduğu düşünülmektedir (Afolayan vd., 2020).

Bu yöntemin çözümünde PROMETHEE'de olduğu gibi Tablo 4'te yer alan kriter ağırlıkları

ve Tablo 7'de yer alan karar matrisi kullanılmıştır. Fayda ve maliyet kriterleri için sırasıyla

$$C_{ij} = \frac{x_{ij}}{max\ x_{ij}}\ (fayda) \quad (14)$$

$$C_{ij} = \frac{x_{ij}}{\min\ x_{ij}}\ (maliyet) \quad (15)$$

Denklem (14) ve (15) kullanılarak değerler normalize edilmiş ve ardından her biralternatif için genel fayda değeri, r_j, Denklem (16)'da olduğu gibi hesaplanmıştır,

$$r_j = \sum_{i=1}^{n} w_i r_{ij} \quad (16)$$

Bulunan genel fayda değerleri Tablo 9'da gösterilmiştir ve 70 adet şarj istasyonu Tablo 10'da gösterilen şekilde alternatiflere dağıtılmıştır.

Tablo 9. Genel fayda değerleri

C1		C2	C3	C4	r_j
P1	1346	1734	1,62	0,536	0,529
P2	1859	1857	1628	0,542	0,797
P3	2056	1391	1636	0,587	0,718
P4	1422	1472	1644	0,44	0,396
P5	1533	0,758	1648	0,514	0,257
P6	1774	0,844	1814	0,605	0,43
P7	1811	1172	1664	0,497	0,458
P8	1914	2221	1672	0,538	1
P9	1366	1,47	1679	0,479	0,422
P10	1733	1161	1687	0,585	0,519
P11	1,44	0,555	1687	0,488	0,172
P12	1398	0,621	1668	0,656	0,248

Tablo 10. SMART ile otoparklara göre şarj istasyonu dağılımı

Otoparklar	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Şarj İstasyonu Sayısı	6	9	8	5	3	5	5	12	5	6	3	3

3. Bulgular ve tartışma

Çalışmada, ÇKKV metotlarından FAHP, PROMETHEE ve SMART ile şarj ünitelerinin optimal noktalara yerleştirilmesi için karşılaştırılmalı çözüm önerileri sunulmuştur. Bu amaçla Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi model olarak kullanılmıştır. EV'lerin kuyrukta minimum bekleyecek şekilde şarj istasyonlarından servis alabilecekleri birsistem tasarımı yapılmıştır. Anket verilerinden yararlanılarak ortalama şarj süresi 6 saat,saatlik ortalama en yüksek giriş yapan araç sayısı ise 202 araç olarak saptanmıştır. Bu durumda, otoparktaki tüm araçların %5'inin EV olması durumunda 70 adet şarj istasyonunun yeterli olacağı hesaplanmıştır. Daha sonra optimum dağılım yapabilmek için alternatifler ve kriterler oluşturulmuştur. Kriter ağırlıklandırması için karar vericiler tarafından beyan edilen sözel ifadelerin bulanık mantıkla değerlendirilmesi uygun görülmüş ve FAHP ile kriter ağırlıklandırması gerçekleştirilmiştir. Ardından FAHP, PROMETHEE ve SMART teknikleri ile çözümler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 11, tüm çözüm yöntemlerinin otoparklara tayin ettiği şarj istasyonu sayısını özetlemektedir. Buna göre, FAHP ile yapılan dağıtımın PROMETHEE ve SMART'a göre daha

dengeli olduğu dikkat çekmektedir. Bunun sebebi FAHP ile yapılan değerlendirmede karar matrisinin yani kriterlere göre alternatiflerin karşılaştırılmasının sözel ifade gibi düşünülerek bulanık mantık ile oluşturulmasıdır. Fakat kriterlere göre alternatiflerin karşılaştırılması için oluşturulan karar matrisi somut sayısal verilerden meydana gelmektedir. Sonuç olarak problem özelinde değerlendirildiğinde PROMETHEE ve SMART ile yapılan dağıtım daha tutarlı sonuç vermektedir.

Tablo 11. Şarj istasyonlarının otoparklara dağılımı

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
FAHP	6	8	7	6	5	7	6	7	5	6	3	4
PROMETHEE	4	11	12	0	2	4	6	17	3	7	1	3
SMART	6	9	8	5	3	5	5	12	5	6	3	3

4. Sonuç

Petrole bağımlılık oranı yüksek olan günümüz araçları yerine daha çevreci ve daha ucuz yakıta sahip olan EV'lerin yakın gelecekte piyasada çok daha fazla tercih edilecekleri beklenmektedir. Bununla birlikte, EV şarj istasyonları planlarının gelecekteki ihtiyaçları karşılayacak kadar esnek olması önemlidir. Akıllı ve değer odaklı kararlar, fosil yakıt sonrası bir gelecek için EV şarjını mümkün kılmakla kalmaz, aynı zamanda ekonomik büyüme, çevresel hedefler ve bölge sakinleri için hizmetler üzerinde olumlu bir etki yapabilir. Bu yüzden halihazırda devam eden veya planlanan birçok akıllı şehir girişimi planlarına EV şarj istasyonlarının planlamasını da dahil etmelidir.

Bu öngörüyle, bu çalışma EV şarj istasyonu sayısı belirleme ve bu istasyonların optimal dağılımı üzerine odaklanmıştır. Bu çalışmanın mevcut çalışmalardan farkı ihtiyaçlara göre yatırımcıların/kullanıcıların kolay karar almasına olanak sağlayacak esnek bir yapıda olmasıdır. Bu amaçla, iki optimizasyon yöntemi KT ve ÇKKV birleştirilerek, karar alabilecek ve amaca göre hızlı cevap verebilecek yöntem geliştirilmiştir. KT, şarj altyapısıkurulması planlanan bölgede belirlenen hedeflere göre kaç adet şarj ünitesinin beklentileri karşılayacağının hesaplanması için kullanılırken, üç farklı ÇKVV yöntemi şarj istasyonlarının kampüs içindeki otoparklara dağılımını tayin etmek için kullanılmıştır. Sonuçlara göre PROMETHEE ve SMART ile yapılan dağıtımın FAHP'ye oranla daha tutarlı çözümler ürettiği sonucuna ulaşılmıştır.

5. Kaynaklar

Afolayan, A. H., Ojokoh, B. A., Adetunmbi, A. O., (2020). Intelliegent System and Application, Springer, 2, 144-159.

Avdan, E., (2018). Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile E-Atık Geri Kazanım Tesisi Yer Seçimi. Pamukkale Üniversitesi.

Awasthi, A., Venkitusamy, K., Padmanaban, S., Selvamuthukumaran, R., Blaabjerg, F.,Singh, A. K., (2017). Optimal Planning of Electric Vehicle Charging Station at the Distribution System Using Hybrid Optimization Algorithm. Energy, 133, 70–78.

Buckley, J., (1985). Fuzzy Hierarchical Analysis. Fuzzy Sets and Systems, 9, 471.

Chen, Y., Okudan, G. E., Riley, D. R., (2010). Decision Support for Construction Method Selection in Concrete Buildings: Prefabrication Adoption and Optimization. Automation in Construction, 19, 665–675.

Genç, T., Urfalıoğlu, F., (2013). Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Türkiye' nin Ekonomik Performansının Avrupa Birliği Üye Ülkeleri ile Karşılaştırılması. M.U. Iktisadi ve Idari Bilimler Dergisi, 35, 329–329.

Kırcalı, Ş., (2019). Çok Kriterli Karar Verme Analizi Kullanılarak CBS Tabanlı GüneşTarlası Yer Seçimi: Antalya İli Örneği. Akdeniz Üniversitesi.

Konidari, P., Mavrakis, D., (2007). A Multi-Criteria Evaluation Method For Climate Change Mitigation Policy İnstruments. Energy Policy, 35, 6235–6257.

Küçükoğlu, S., (2020). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Türkiye' de Nükleer Santral Kuruluş Yeri Seçimi. İstanbul Ticaret Üniversitesi.

Micari, S., Polimeni, A., Napoli, G., Andaloro, L., & Antonucci, V., (2017). Electric Vehicle Charging Infrastructure Planning in a Road Network. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 80, 98–108.

Rajabi, F., Jahangiri, M., Molaeifar, H., Honarbakhsh, M., Farhadi, P., (2018). Occupational Stress Among Nurses and Pre-Hospital Emergency Staff: Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Method. EXCLI Journal, 17, 808–824.

Soltani, A., Marandi, E. Z., (2011). Hospital Site Selection Using Two-Stage Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Process. Journal of Urban and Environmental Engineering, 5,32-43

Wang, Z., Liu, P., Xin, T., (2010). Optimizing the Quantity of Off-Broad Charger for Whole Vehicle Charging Station. Proceedings - 2010 International Conference on Optoelectronics and Image Processing, ICOIP 2010, 2, 93–96.

Xylia, M., Leduc, S., Patrizio, P., Kraxner, F., Silveira, S., (2017). Locating Charging Infrastructure for Electric Buses in Stockholm. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 78, 183–200.

Yağcıtekin, B., (2014). Elektrikli Araç Şarj Altyapısı Tasarımı ve Akıllı Şarj Sistemin Geliştirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi.

Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Yangın Anında İtfaiye Araçları için Erişilebilirlik Analizi. Isparta İli Örneği

Fatih Ergezer[1*], Tahsin Baykal[2], Serdal Terzi[1]

[1]Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

[2] Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye

*fatihergezer@sdu.edu.tr

0000-0001-8034-5743, 0000-0001-6218-0826, 0000-0002-4776-824X

Özet

Acil durum esnasında bir yangın olayında itfaiye araçlarının ve ekipmanlarının yangın mahaline hızlı bir şekilde erişimi oldukça önemlidir. Çalışmada bu amaçla ilk olarak Isparta ili kent merkezi ölçeğinde bulunan 44 mahalle için üç adet itfaiye birimlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak erişilebilirlik analizleri yapılmıştır. Daha sonra kent içerisinde itfaiye birimlerine göre farklı konumlarda lokasyonlar seçilmiş ve olası bir acil durum esnasında kentte bulunan bu üç itfaiye birimlerinin seçilen lokasyonlara ulaşımı için en hızlı rota dağılımları ve bu rotalara olan ulaşım süreleri belirlenmiştir. Erişilebilirlik analizi için Fatih İtfaiye Müdürlüğü, Davraz İtfaiye Amirliği ve Yenice İtfaiye Amirliği başlangıç noktası olarak belirlenecek şekilde bu noktalardan 0,5 km, 1 km, 3 km, 5 km, 7 km, 9 km ve 11 km olmak üzere 7 sınıfta bu erişilebilirlik analizi yapılmış ve CBS kullanılarak haritalandırılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde 0,5 km erişilebilirlik mesafesi çalışma alanının %2,48'ni, 1 km'lik mesafe %7,76'sını, 3 km'lik mesafe %46,39'nu, 5 km'lik mesafe %20.19'nu, 7 km'lik mesafe %18,70'ni, 9 km'lik mesafe %1,65'ini ve 11 km'lik mesafe ise %2,82'sini kapsadığı görülmüştür. Batıkent, Sanayi, Çünür ve Akkent mahallerinde seçilen lokasyonlar için ise belirtilen bu üç itfaiye birimlerinin bu seçilen lokasyonlara olan en kısa rota ve ulaşım süreleri belirlenmiştir. Buna göre Batıkent mahallesinde oluşabilecek bir yangında en erken 4 dk da Yenice Amirliğinden, Sanayi Mah. için en erken 6 dk da Fatih İtfaiye Müdürlüğünden, Çünür Mah. Fatih İtfaiye Müdürlüğünden, Akkent Mah. İçin en erken 10 dk da Fatih İtfaiye Müdürlüğünden erişim sağlanabileceği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Erişilebilirlik Analizi, Ağ Analizi, Coğrafi Bilgi Sistemleri, İtfaiye, Acil Durum

Accessibility Analysis for Fire Vehicles in the Event of a Fire with Geographic Information Systems. a Case of Study Isparta Province

Abstract

In the event of a fire during an emergency, fire engines and equipment must have quick access to the fire scene. For this purpose, first of all, accessibility analyses were carried out using Geographic Information Systems (GIS) of three fire departments for 44 neighborhoods located on the city center scale of Isparta province. Then, locations were selected in different locations according to the fire departments in the city and the fastest route distributions and

transportation times to these routes were determined for the transportation of these three fire units in the city during a possible emergency. For accessibility analysis, Fatih Fire Department, Davraz Fire Department, and Yenice Fire Department were determined as the starting point, 0.5 km, 1 km, 3 km, 5 km, 7 km, 9 km, and 11 km from these points, this accessibility analysis was performed in 7 classrooms and mapped using CBS. When the results are evaluated, the accessibility distance of 0.5 km is 2.48% of the working area, The 1 km distance covered 7.76%, the 3 km distance 46.39%, the 5 km distance 20.19%, the 7 km distance 18.70%, the 9 km distance 1.65% and the 11 km distance 2.82%. For the selected locations in Batıkent, Sanayi, Çünür, and Akkent districts, the shortest route and transportation times of these three fire departments were determined. Accordingly, it was determined that a fire that may occur in The Batıkent neighborhood can be accessed from Yenice Directorate at the earliest 4 minutes, Fatih Fire Department at the earliest 6 minutes for Industrial Quarter, Fatih Fire Department for Çünür Neighborhood, and Fatih Fire Department for Akkent Neighborhood at the earliest 10 minutes.

Keywords: Accessibility Analysis, Network Analysis, Geographic Information Systems, Fire Department, Emergency

1. Giriş

Dünya nüfusunun artması, teknolojik gelişmeler, mekânsal alanların kullanım potansiyellerindeki değişimler yapılaşma alanlarını da artırmaktadır. Mekânsal alanların artması beraberinde birtakım potansiyel tehlikelerde oluşturmaktadır. Bu tehlikelerden birisi de ortaya çıkabilecek yangınlardır. Yangınlar günlük hayatta karşılaşılabilmesi olası durumlardan birisidir. Dünyanın pek çok noktasında farklı zamanlarda birçok yangın vakası gözlemlenmiştir ve olmaya da devam etmektedir. Bu sebeplerle yangınlarla mücadele edilebilmesi de o kadar önemli bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Yangınlarla mücadele edilebilmesi için ülkeler itfaiye birimleri oluşturarak yangın anında gerekli müdahaleleri yapmaya çalışmaktadır. Yapılacak müdahalelerin daha etkili ve hızlı olabilmesi adına coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) kullanımı yaygınlaşmış ve erişilebilirlik analizleri ile bir mekan ya da bir noktaya ulaşım potansiyelleri değerlendirilmiştir. Erişilebilirlik kelime anlamı olarak varılması planlanan bir alana ya da noktaya ulaşım kolaylığı sağlamanın bir göstergesidir (Kemeç vd, 2019). Bu ulaşım sağlama desteğinde erişilebilirlik kadar o noktaya ulaşım içinde bir planlama gerekmektedir. CBS ile bu ulaşım planlaması da yapılabilmekte ve rota oluşumları sağlanabilmektedir (Selim ve Sönmez, 2017; Erdem, 2014; Durduran vd, 2018). CBS kullanılarak erişilebilirlik analizleri ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, acil sağlık birimleri için erişilebilirlik analizleri (Kemeç vd, 2019), aile sağlığı merkezine olan erişilebilirlik analizleri (Deniz vd, 2018; Deniz, 2018), okullara olan erişilebilirlik analizleri (Duman ve İrcan, 2020; Sezer vd, 2018), Kentlerin erişilebilirlik analizleri (Ergüç vd, 2019), Taksi durakların erişilebilirlik analizi (Yiğit ve Gülhan, 2018), Kent içi ulaşım planlamasında CBS kullanımı ile erişilebilirliğin değerlendirilmesi (Liu ve Zhu, 2004), Adana ili örneğinde acil durumlarda ağ analizi ile itfaiye araçlarının erişilebilirlik analizi (Geçen, 2019), acil durumlarda sığınma alanları için CBS destekli erişilebilirlik analizi (Ünal ve Uslu, 2016), kent içinde ambulans servis hizmetlerinin CBS kullanılarak erişilebilirlik analizi (Baloyi vd, 2017) konu ile ilgili olarak yapılan çalışmalardan bazılarıdır.

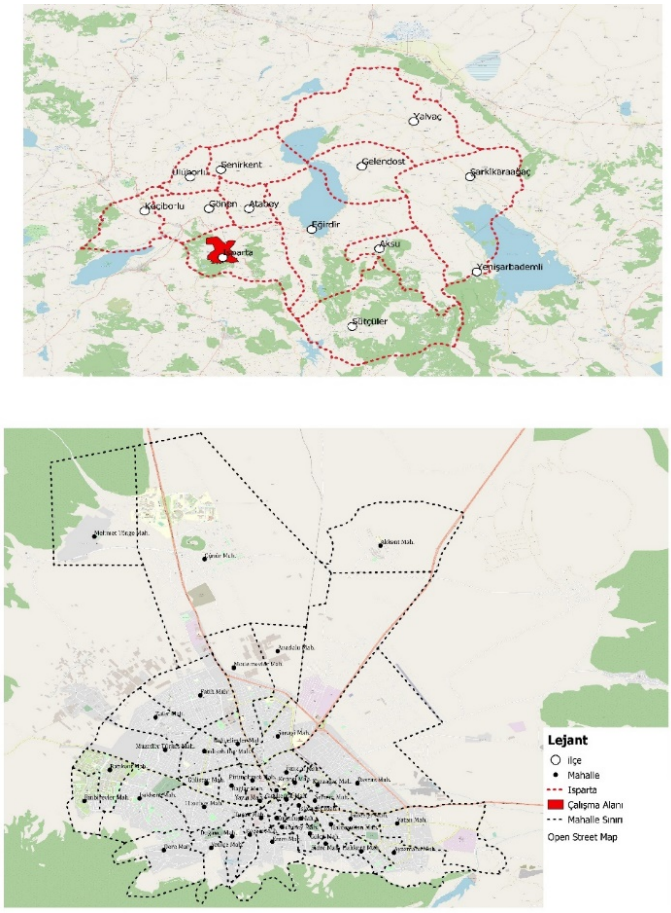
Çalışmada Isparta ili ölçeğinde itfaiye araçlarının erişilebilirlik analizleri ve yangın anında olası senaryo lokasyonlarına en hızlı şekilde ulaşımları için en uygun rota analizleri CBS ile Arcmap kullanılarak yapılacaktır. Bunun için Isparta ilinde bulunan üç adet itfaiye birimi

(Fatih İtfaiye Müdürlüğü, Davraz itfaiye amirliği ve Yenice itfaiye amirliği) başlangıç lokasyonları olarak değerlendirilmiş ve bu noktalardan başlayarak 0,5 km, 1 km, 3 km, 5 km,7 km, 9 km ve 11 km olmak üzere 7 sınıfta erişilebilirlik analizi yapılmış ve haritalandırılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında farklı senaryolara göre itfaiye araçları için en uygun rotalar ve bu rotaları kat etmesi için gereken süreler belirlenmiştir. Lokasyon seçiminde ise kentin farklı noktalarından 4 mahalle seçilerek bu mahallelere olan en uygun rota ve ulaşım süreleri hesaplanmıştır.

2. Materyal ve metot

2.1. Çalışma Bölgesi ve Veriler

Isparta ili, Batı Akdeniz Bölümü'nün iç kısmında yer almaktadır ve 30°20've 31°33' doğu boylamları ile 37°18' ve 38°30' kuzey enlemleri arasındadır. Isparta doğuda Konya, kuzeyde Afyon, batıda Burdur ve güneyde Antalya ile komşudur. Aksu, Atabey, Eğirdir, Gelendost, Gönen, Keçiborlu, Senirkent, Sütçüler, Şarkikaraağaç, Uluborlu, Yalvaç ve Yenişarbademli olmak üzere 13 ilçe vardır (Anonim, 2021). Isparta İl merkezi 44 mahalleden oluşmaktadır. Isparta Belediyesi İtfaiye Müdürlüğü, Merkez Bina, Davraz Grubu ve Yenice Grubu olmak üzere 3 farklı konumda hizmet vermektedir. İtfaiye Müdürlüğü Merkez Bina Fatih Mahallesi'nde, Davraz Grubu Davraz Mahallesi'nde ve Yenice Grubu ise Yenice Mahallesi'nde yer almaktadır. Çalışma bölgesine ait yerbulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma Bölgesi yerbulduru haritası

Çalışmada yol ağları ve itfaiye konumları kullanılmıştır. İtfaiye konumları Google Map görüntüsü üzerinden alınmıştır. Yol ağı verisi ise Open Street Map'ten elde edilmiştir.

2.2. Ağ Analizi

Toplam adım sayısı, toplam mesafe veya süre gibi önceden tanımlanmış bir ölçüyü en aza indiren iki köşe arasındaki yola en kısa yol denir. En kısa yolların belirlenmesi genellikle en kısa yol analizi olarak tanımlanır (Smith vd., 2009). En iyi yolu belirlemek için en azından bir başlangıç ve bir varış noktasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bir yol ağı boyunca en kısa yolu belirleme problemi, bir navigasyon sistemindeki rota rehberliğinden uzamsal tahsis problemlerini çözmeye kadar değişen en kısa yol analizinde temel bir problemdir (Zeng ve Church, 2009).

CBS'deki en kısa yol analizi, topoloji ve grafik teorisinin matematiksel alt disiplinlerinin teorik temeline dayanmaktadır. Herhangi bir grafik veya ağ bir dizi köşelerden ve bunları birbirine bağlayan kenarlardan oluşmaktadır. Grafik teorisinde, grafikleri açıklamak, ölçmek ve karşılaştırmak için yöntemler ve tek tek grafiklerin veya grafik sınıflarının özelliklerini kanıtlamak için teknikler vardır. Grafik teorisinin bazı unsurları, bir ağı oluşturan özelliklerin kartografik özellikleriyle (örneğin, şekil veya uzunluk) değil, topolojik özellikleriyle ilgilidir. Bir ağın topolojik değişmezleri, elastik deformasyonlarla değişmeyen özelliklerdir. Bu nedenle, bağlantı, bitişiklik ve insidans gibi özellikler bir ağın topolojik değişmezleridir, çünkü ağ projeksiyon gibi bir kartografik işlemle deforme olursa değişmezler. Bu özelliklerin kalıcılığı, ağların tanımlanması, ölçülmesi ve analiz edilmesi için bir temel oluşturmalarına izin verir. Ağların grafik teorik açıklamaları, ağdaki özelliklerin sayısı, grafiğin köşelerinin derecesi veya bir grafikteki döngü sayısı gibi basit ifadelerden, ağların yapısal özelliklerine dayalı daha karmaşık tanımlamalara kadar değişebilir. Bazı durumlarda, bu ağ yapıları idealleştirilmiş ağ türleri olarak sınıflandırılabilir. Buna karşılık, bu ideal tiplerin, belirli uygulamalar için kullanımlarını teşvik eden özelliklere sahip oldukları kanıtlanabilir (Curtin, 2007).

Ağ veri modeli, CBS ortamında bir ağı temsil eden en popüler kavramsal modeldir. Model iki temel varlık etrafında inşa edilmiştir. Bunlardan birincisi sıfır boyutlu bir varlık olan düğüm, ikincisi ise tek boyutlu bir varlık olan yaydır. Mevcut CBS veri modelleri tipik olarak, yay kesişimlerinde oluşturulan düğümlere sahip bir yay koleksiyonu olarak bir ağı temsil eder. Düğüm-yay veri modelinin düzlemsel gömülmesi, ağın topolojik tutarlılığını garanti eder.

Ağların düğüm-yay gösterimini destekleyen en yaygın kullanılan mantıksal veri modeli, coğrafi modeldir. Bu model, uzamsal ve öznitelik verilerini farklı veri modellerine ayırır. Düğümleri ve yayları kodlayan mantıksal bir uzamsal veri modeli (vektör veri modeli), geometri ve ilişkili topolojik bilgileri korurken, ilişkili öznitelik bilgileri ilişkisel veritabanı yönetimi (RDBMS) tablolarında tutulur. Her bir uzamsal varlık (düğüm, yay) ile ilişkili benzersiz tanımlayıcılar, ilişkisel modeldeki kayıtlara ve bunun varlığın öznitelikleri üzerindeki verilerine bağlantılar sağlar. Bu hibrit veri yönetimi stratejisi, öznitelik bilgilerini depolamak ve değiştirmek için ilişkisel bir veritabanı yönetim sisteminden yararlanmak için geliştirilmiştir. Ancak bu çözüm, bir uzamsal nesne ile nitelikleri arasındaki ilişkilerin kendi niteliklerine sahip olmasına izin vermez (Fischer, 2006).

- **Veri Hazırlama:** Bu aşama, çalışma alanına ait haritaların, yol ağı verilerinin, sağlık hizmeti verilerinin ve trafik verilerinin hazırlanmasını içerir.

- **Veritabanı Oluşturma:** Coğrafi veritabanı, ArcGIS'te kullanılan yerel veri yapısıdır ve verilerin hem düzenlenmesi hem de yönetimi için kullanılan temel veri formatıdır. Bir coğrafi veritabanı kişisel veya kurumsal olabilir.

- **Ağ Topolojisi Oluşturma:** İyi bir analiz sonucu elde etmek için, verilerdeki hataları bulmak ve bu hataları düzeltmek için yol ağının bir topolojisini oluşturmak gerekir. Bu, yol ağında

sarkma olmamasını ve yolların kendileriyle kesişmemesini veya çakışmamasını sağlamak gibi bazı topoloji kuralları uygulanarak gerçekleştirilir.

- **Ağ Veri Kümesi Oluşturma:** Yol ağındaki hatalar düzelttikten sonra ağ analizinde kullanılacak ağ veri kümesinin oluşturulmasına geçilmektedir. Trafik verilerini işleyen bir ağ veri kümesi oluşturmak için, bir çizgi özelliği sınıfı içeren bir coğrafi veritabanına ve daha önce oluşturulmuş iki trafik verisi tablosuna gereksinim duyulmaktadır. Hat özelliği sınıfı, yol ağını temsil eder ve bir özellik veri kümesinde saklanmalıdır. Trafik tabloları trafik verilerini ve bunun yol ağı ile ilişkisini temsil etmektedir. Ağ veri kümesi, ulaşım ağını modellemek için çok uygundur. Araçların üzerinde seyahat edeceği bağlantıları temsil eden bir dizi kenardan ve kenarları birleştiren ve bir uçtan diğerine ulaşımı kolaylaştıran bir dizi bağlantı noktasından oluşur (Ahmed vd., 2017).
- **Ağ Analizi:** Yol ağı analizi, ArcGIS yazılımı içerisinde Network Analyst uzantısı kullanılarak yapılmaktadır. Rota analizi, seyahat yönleri, en yakın tesis analizi ve servis alanı analizi dahil olmak üzere ağ tabanlı mekansal analiz sağlayan ArcGIS'in güçlü bir uzantısıdır (Dabhade vd., 2015).

- **En İyi Rota Analizi:** En iyi rota analizi, günün belirli bir saatinde ağda mevcut olan trafik koşullarına ve seyahat süresine bağlı olarak iki konum arasındaki en iyi rotayı oluşturur (Ahmed vd., 2017).

- **En Yakın Tesis Analizi:** Acil müdahale gerektiren bir durumda, seyahat süresine ve mevcut trafik bilgilerine göre olay yerine belirli bir dönemde ulaşılabilen en yakın acil müdahale ekiplerinin yerini tespit eder. Bu, acil durumlarda olay yerine ulaşılabilen en yakın tesislerin bilinmesine yardımcı olur ve bu da zaman, çaba ve kaynakları azaltır ve insanların hayatını kurtarır (Gubara vd., 2014).

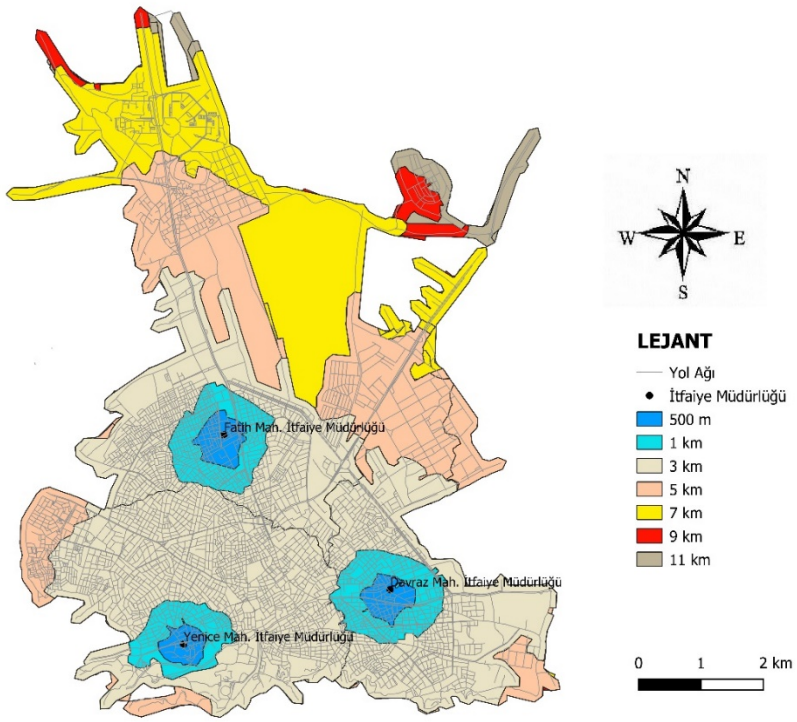
2.3. En Kısa Yol Analizi

2.3.1. Dijkstra Algoritması

1959 yılında Edsger Dijkstra tarafından geliştirilen Dijkstra Algoritması (Dijkstra, 1959), tek kaynaklı en kısa yol problemlerini çözer (Sanan vd., 2013). Dijkstra algoritması başlangıç ve bitiş noktalarının arasındaki en kısa yolu belirlemesinin yanı sıra noktasından haritada bulunan diğer noktalara gitmek için gereken en kısa yolu da belirlemektedir (Cevizci, 2018). Dijkstra Algoritması en kısa yolun belirlenmesinde Greedy yaklaşımı kullanılır ve iterasyonun her adımında bir sonraki düğüme ilerleme Greedy yaklaşımına göre yapılır. En kısa yol problemlerinin çözümünde Dijkstra Algoritmasının yanı sıra Bellman-Ford, FloydWarshall ve Johnson Algoritmaları sıkılıkla kullanılmaktadır. Dijkstra Algoritmanın diğer algoritmalara göre avantajı daha doğru ve kesin sonuçlar vermesi, döngülü veya döngüsüz tüm şebekelere uygulanabilmesidir. Dezavantajı ise yalnızca pozitif ağırlıklı ok bulunduran şebekelere uygulanabilmesidir (Özdemir vd., 2021).

3. Araştırma ve Bulgular

Bu çalışma itfaiye araçları için erişilebilirlik analizi ve oluşturulan senaryolara göre en uygun rotaların belirlenmesi olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında ağ analizinin temel verisi olan yol ağı verisinde gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra ArcMap programı kullanılarak ağ verisine dönüştürülmüştür. İtfaiye merkezlerinin başlangıç konumları olan Fatih İtfaiye Müdürlüğü, Davraz ve Yenice Grup Amirliklerinin koordinat değerleri yardımıyla konumları tanımlanmış ve erişilebilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Erişilebilirlik analizi 500 m, 1 km, 3 km, 5 km, 7 km, 9 km ve 11 km olmak üzere 7 sınıfta yapılmış ve haritalandırılmıştır. Erişilebilirlik haritası Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Isparta İli itfaiye erişilebilirlik haritası

Şekil 2 incelendiğinde 11 km erişilebilirlik mesafesi çalışma alanının tamamını kapsadığı görülmektedir. Tablo 1'de çalışma alanının erişim mesafelerine göre dağılışı verilmiştir.

Tablo 1. Çalışma alanının erişim mesafelerine göre dağılışı

Erişilebilirlik (km)	Alan (km²)	Alan (%)
0.5	1.33	2.48
1	4.17	7.76
3	24.93	46.39
5	10.85	20.19
7	10.05	18.70
9	0.889	1.65
11	1.518	2.82

Tablo 1 incelendiğinde 500 m erişilebilirlik mesafesine çalışma alanının %2,48'ni, 1 km'lik mesafe %7,76'sını, 3 km'lik mesafe %46,39'nu, 5 km'lik mesafe %20.19'nu, 7 km'lik mesafe %18,70'ni, 9 km'lik mesafe %1,65'ini ve 11 km'lik mesafe ise %2,82'sini kapsadığı görülmektedir.

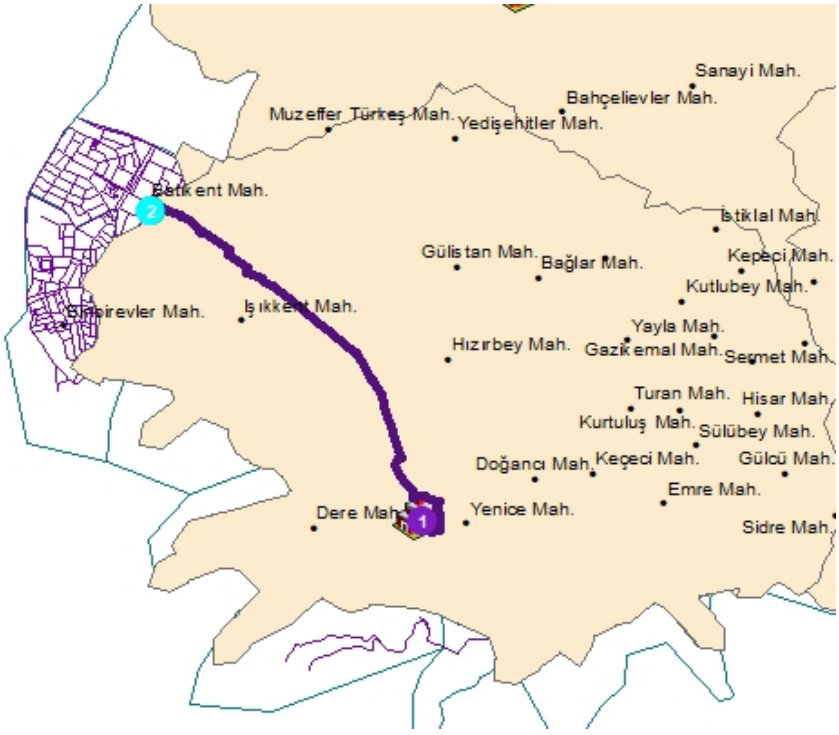
Çalışmanın ikinci aşamasında farklı senaryolara göre itfaiye araçları için en uygun rotalar ve bu rotaları kat etmesi için gereken süreler belirlenmiştir. Oluşturulan senaryolar ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Oluşturulan senaryolara ait sonuçlar

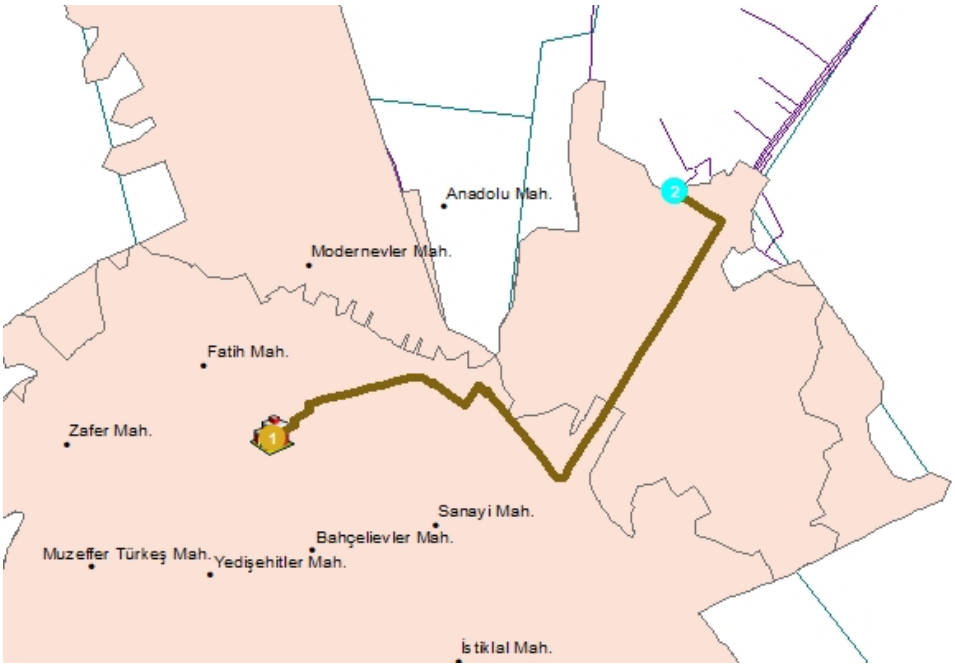
Mahalle	Erişilebilirlik (km)	İtfaiye İstasyonu	Uzaklık (km)	Süre (dk)
Batıkent Mah.	3	Merkez Bina	3,4	4
		Yenice Grubu	3,3	4

		Davraz Grubu	5,7	7
		Merkez Bina	5	6
Sanayi Mah.	5	Yenice Grubu	7,1	9
		Davraz Grubu	5,3	6
		Merkez Bina	5,6	7
Çünür Mah.	7	Yenice Grubu	9.5	11
		Davraz Grubu	8,7	10
		Merkez Bina	8,1	10
Akkent Mah.	9	Yenice Grubu	10,5	13
		Davraz Grubu	8,7	10

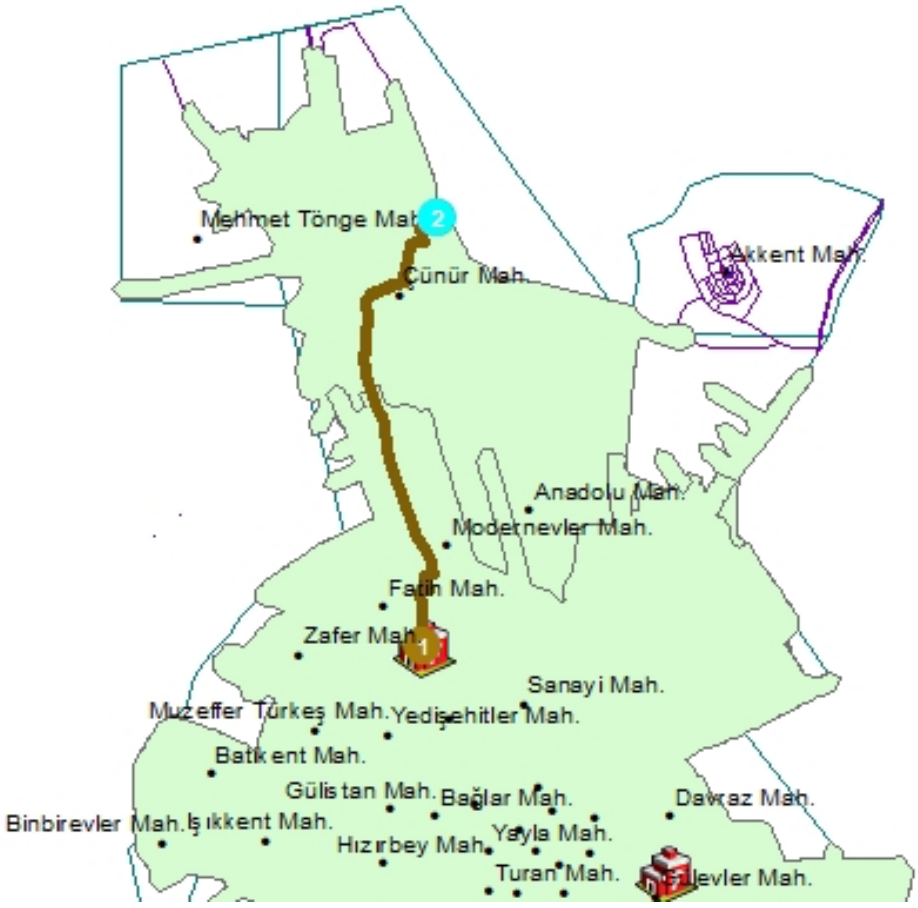
Tablo 2 incelendiğinde Batıkent Mah. çıkacak bir yangına en erken 4 dakikada müdahale edilebilmektedir. Bu konuma en yakın itfaiye merkezi ise 3,3 km uzaklıkla Yenice Grup Amirliğidir. Bu senaryoya ait en uygun rota Şekil 3'te verilmiştir. Sanayi Mah. oluşacak yangın olayında 5 km uzaklıktaki Merkez Binadan itfaiye ekiplerinin olay yerine 6 dakikada ulaşabilecektir. Sanayi Mah. ait en uygun rota Şekil 4'de verilmiştir. Çünür ve Akkent Mahallelerinde çıkacak bir yangında en yakın itfaiye biriminin Merkez bina olduğu görülmektedir. Merkez Binadan çıkacak itfaiye ekiplerinin Çünür Mahallesine ulaşması için gereken süre 7 dk, Akkent Mahallesi için 10 dk olarak hesaplanmıştır. Bu mahallelere ait en uygun rota sırasıyla Şekil 5 ve 6'da verilmiştir. Tüm senaryolar için oluşturulan en uygun rota Şekil 7'de verilmiştir.



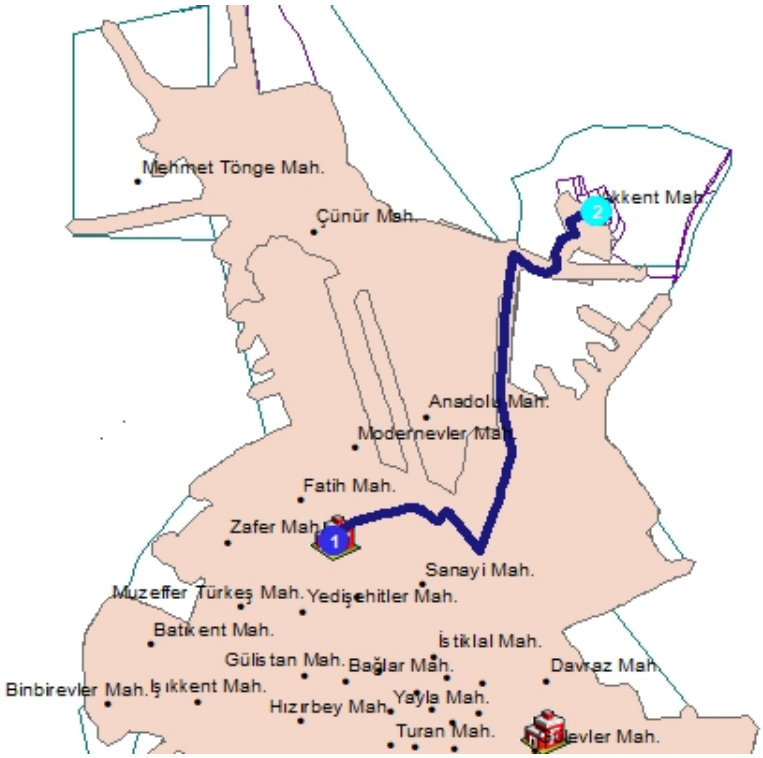
Şekil 3. Batıkent Mahallesi için en uygun rota



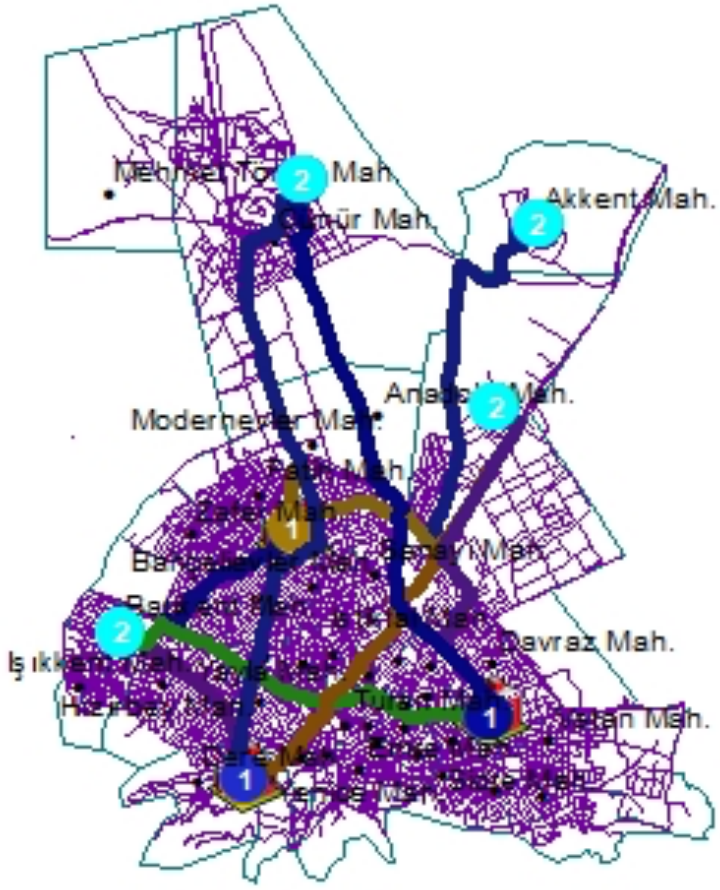
Şekil 4. Sanayi Mahallesi için en uygun rota



Şekil 5. Çünür Mahallesi için en uygun rota



Şekil 6. Akkent Mahallesi için en uygun rota



Şekil 7. Tüm senaryolar için en uygun rota

4. Sonuç ve öneriler

Ağ Analizi ile Isparta il merkezinde bulunan 44 mahalle için itfaiye erişebilirlik analiz yapılmış ve farklı senaryolara göre en uygun rotalar tespit edilmiştir. Yangınlar ile mücadele kapsamında Isparta Belediyesi'ne bağlı Fatih Mahallesi İtfaiye Müdürlüğü, Davraz Mahallesi ve Yenice Mahallesi grup amirlikleri bulunmaktadır.

Bu çalışmada ilk olarak erişilebilirlik analiz yapılmıştır. Erişilebilirlik analizi 0.5, 1, 3, 5, 7, 9 ve 11 km olmak üzere 7 sınıfta yapılmıştır. Çalışma alanında itfaiye araçları için maksimum erişilebilirlik mesafesi 11 km olarak bulunmuştur. Ayrıca her bir sınıfın kapladığı alan ve alanın yüzdesi hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamaya göre 3 km'lik erişilebilirlik mesafesinin 24,93 km^2 ile en büyük alan olduğu tespit edilmiştir. Bu alan, çalışma alanının %46,39'una karşılık gelmektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında erişilebilirlik mesafeleri dikkate alınarak farklı senaryolara göre itfaiye araçları için en uygun rota belirlenmiştir. Batıkent, Sanayi, Çünür ve Akkent mahallerinde meydana gelebilecek bir yangın durumunda 3 farklı itfaiye istasyonundan olay mahaline olan uzaklık ve araçların varıl süreleri belirlenmiş ve en uygun rotlalar saptanmıştır. Yapılan analiz sonucunda Batıkent Mahallesinde meydana gelebilecek yangın olayına en kısa mesafe ve sürede müdahale edebilecek ekibin Yenice Mah. Grup Amirliği olduğu tespit edilmiştir.

5. Kaynaklar

Ahmed, S., Ibrahim, R. F., Hefny, H. A. 2017. "GIS-Based Network Analysis for The Roads Network of The Greater Cairo Area", In Proc. of 2nd International Conference on Applied Research in Computer Science and Engineering.

Anonim, 2021. Isparta. URL: https://isparta.ktb.gov.tr/TR-71016/isparta.html. Erişim tarihi: 07.07.2021

Baloyi, E., Mokgalaka, H., Green, C., Mans, G. (2017). Evaluating Public Ambulance Service Levels by Applying A GIS Based Accessibility Analysis Approach. South African Journal of Geomatics, 6(2), 172-183.

Cevizci, B. (2018). Dijkstra Algoritması İle En Kısa Rotanın Hesaplanması. Araştırma Temelli Etkinlik Dergisi, 8(2), 70-85.

Curtin, K. M. 2007. "Network Analysis in Geographic Information Science: Review, Assessment, and Projections", Cartography and Geographic Information Science, 34(2), 103-111.

Dabhade, A., Kale, K. V., Gedam, Y. 2015. „Network Analysis for Finding Shortest Path in Hospital Information System", International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 5(7), 618-623.

Deniz, M. (2018). Uşak Şehrinde Aile Sağlığı Merkezlerine Erişilebilirliğin Cbs İle Analizi. Electronic Turkish Studies, 13(26).

Deniz, M., Kocaman, E., Topuz, M. (2018). Turgutlu İlçesinde Aile Sağlığı Merkezlerinin (ASM) Konumlarının Erişilebilirlik Açısından CBS İle Analizi. TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu.

Dijkstra, E.W. (1959). A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. Numerische Mathematik, 1, 269-271.

Duman, N., İrcan, M. R. (2020). Karaköprü'deki Okullara Erişilebilirliğin Coğrafi Bilgi Sistemleri (Cbs) Tabanında Analizi. International Journal of Geography and Geography Education, (42), 543-566.

Durduran, S. S., Gümüş, M. G., Bozdağ, A., Beyhan, H. C. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanarak Yaya Yolları Üzerinden Rota Optimizasyonu. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1), 180-189.

Erdem, U. (2014). Senaryo Temelli Karayolu Rotalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Belirlenmesi, Simav-Kütahya Rotası Örneği, Türkiye. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(6), 203-214.

Ergüç, B., Aztopal, H., Metin-Başoğlu, S. (2019). Kentlerin Erişilebilirlik Yönünden Analizi. TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 23-25 Ekim 2019.

Fischer, M. M. 2006. "GIS and Network Analysis", Spatial Analysis and Geo Computation: Selected Essays, 43-60.

Geçen, R. (2019). Ağ Analizi Kullanılarak Acil Durumlarda İtfaiye Araçlarının Erişebilirlik Analizi: Ceyhan (Adana) Örneği. Ege Coğrafya Dergisi, 28(2), 199-211.

Gubara, A., Amasha, A., Ahmed, Z., El Ghazali, S. 2014. "Decision Support System Network Analysis for Emergency Applications", In 2014 9th International Conference on Informatics and Systems (Pp. ORDS-40), IEEE.

Gülhan, G., Yiğit, H. İ. (2018). Taksi Duraklarının Konum ve Kapasitelerinin, Erişilebilirlik Ölçütleri ve Nüfus Dağılımı Kapsamında Değerlendirilmesi: Tekirdağ-Çorlu Örneği. Journal of the Institute of Science and Technology, 8(3), 153-166.

Kemeç, S., Karahan-Kamacı, E., Mert, Y. (2019). Acil sağlık birimleri mekânsal erişilebilirlik analizi: Van kenti örneği. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24(1), 22-32.

Liu, S., Zhu, X. (2004). Accessibility Analyst: an Integrated GIS Tool for Accessibility Analysis in Urban Transportation Planning. Environment and Planning B: Planning and Design, 31(1), 105-124.

Özdemir, S., Sacar, Ö., Özcan, E. Dijkstra Algoritması Kullanılarak İpek Yolu Koridorları Arasında En Kısa Ulaştırma Güzergâhının Belirlenmesi. Demiryolu Mühendisliği, (13), 97-105.

Sanan, S., Jain, L. & Kappor B. (2013). Shortest Path Algorithm. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, 2(7): 316-320.

Selim, S., Sönmez, N. K. (2017). Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Rota Planlama: Likya Bölgesi Idebessos Antik Kenti. Türkiye Ormancılık Dergisi, 18(4), 302-308.

Sezer, A., Deniz, M., Topuz, M. (2018). Analysis of Accessibility of Schools in Uşak City via Geographical Information Systems (GIS). Journal of History Culture and Art Research, 7(5), 470-494.

Smith, M. J., Goodchild, M. F., Longley, P. A. 2009. "Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles", Techniques and Toola. 3rd edition, Troubador, Leicester.

Unal, M., Uslu, C. (2016). Gıs-Based Accessıbılıty Analysıs of Urban Emergency Shelters: The Case of Adana Cıty. International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 42.

Zeng, W., Church, R.L. 2009. "Finding Shortest Paths on Road Networks", International Journal of Geographical Information Science, 23(4), 531-543.

Mükemmel/İdeal Şehiriçi Ulaşım Sistemi İçin Araba Tasarlama Esasları / Bulaşıcı Hastalık Durumları – Kovit 19 Hakkında Yorumlar

Ahmet Hakan Selçuk[1*]

[1]BandırmaBalıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,

Balıkesir, Türkiye

*aselcuk@balikesir.edu.tr

ORCID-0000-0002-1893-822X

Özet

Şehiriçi ulaşım insanlar için önemli bir ihtiyaçtır. Bunun için kullanılan çeşitli sistemler mevcuttur. Bunların bir kısmı toplu taşıma, bir kısmı da şahsi ulaşım özellikleri gösterirler. Çalışmamız, daha önceden sunulmuş olan bir sistemin taşıyıcı parçalarının tasarım esasları üzerine olacaktır. Sistemin taşıması gereken genel esaslar ve özellikler önceki çalışmada açıklanmıştı. Burada taşıyıcı modülün tasarım esasları daha ayrıntılı olarak ele alınıp örnek bir tasarım sunulacaktır.

Anahtar kelimeler: en az 3, en fazla 6 kelime olmalı ve birbirlerinden noktalı virgül ile ayrılmalıdır.

The Principles Of Car Design Of Perfect/İdeal Urban Transportation System / Infectious Disease - Covid 19 Case Comments

Abstract

Urban transportation is an important need of human life in cities. There are several systems in use. Some of them are public, some are individual. Some of them are railed, some not. This work is about the basic principles of design of the carrier parts of the system proposed by an earlier work. The overall fundamentals and criteria of a perfect/ideal urban transportation system has been explained before. The carrier module design fundamentals are defined in more detail and a sample of a car design has been presented.

Keywords: Railed system; urban transportation; intelligent transportation; smart cities. be 3 and 6 at least and at most and separated by semicolon.

1. Introduction

Transportation systems suffer from various facts. One of them is the traffic. The movements of vehicles and people form the traffic. Many delays depending on various reasons occur in traffic. Crowd, junctions, instantaneous needs, parking problem, accidents etc. all slow down the traffic flow.

Public transportation elements became popular, since it is thought that it is cheaper. Another restrictive fact is that everyone may not obtain a personal vehicle. Handicapped, ill or old people, besides who does not have ability to use a vehicle, also need public transport, even if it is not so perfect. There are many disadvantages of public transportation.

Proposed perfect/ideal urban transportation system unites the advantages of both public and personal transportation together. It is neither public, nor personal, or, it is both public and personal.

The moving carrier parts of the system, which can be called cars or modules, must be able to handle all the needs and conditions of a perfect system. A representative design figures have been presented in [*]. Of course, there is no limit for the design. However, some design aspects must be made clear.

2. Fundamentals of Module Design

At first, the weight and dimensions of the modules must be as small as possible. This reduces cost, as well as reducing the space occupied. This also makes architecture simpler. Another advantage is that the influences on other transportation systems can be more easily avoided.

Comfort is another fact in design. A sufficient comfort level must be presented. However, a high comfort level is not a primary need.

2.1 Module Design Criteria

- Minimum height as possible.
- Minimum width as possible.
- Minimum weight as possible.
- Module must not necessarily be short in length.
- Aerodynamism.
- Maximum safety.
- It should NEVER be capable of carrying more than two adults and a child.
- One person modules may be designed.
- Passengers must be able to carry their baggage in a separate volume.
- Must be powerful enough and/or it must be supported by on rail power supporting systems.
- The modules must be covered due to safety reasons.
- It must be impossible for the modules to get out of the rail.

3. Infectious Diseases and Modules

Public transportation is absolutely a suitable medium for infectious diseases to spread. Many people in a vehicle breath together making possible for viruses or bacteria to infect the others in different ways. Not only by air or droplet, also by touching. It is obvious that personal transportation has superior advantages in the case of infection.

The proposed system has the advantages of personal transportation. After each getting of the passengers', an automatic disinfection system may be employed, or new passengers can do it manually.

Our proposed system is supposed not to be affected by infectious diseases. Very simple measures may be taken.

Since it is supposed to be free of charge [], no matter for the manager (a particular government unit) how many people uses the system, from the financial point of view.

4. Some Examples of Module Design

Some car design examples are presented in the figures according to the principles stated. Figure 1 shows a moving car on the rail. It has an additional safety top-rail to prevent the car get out of the rail.

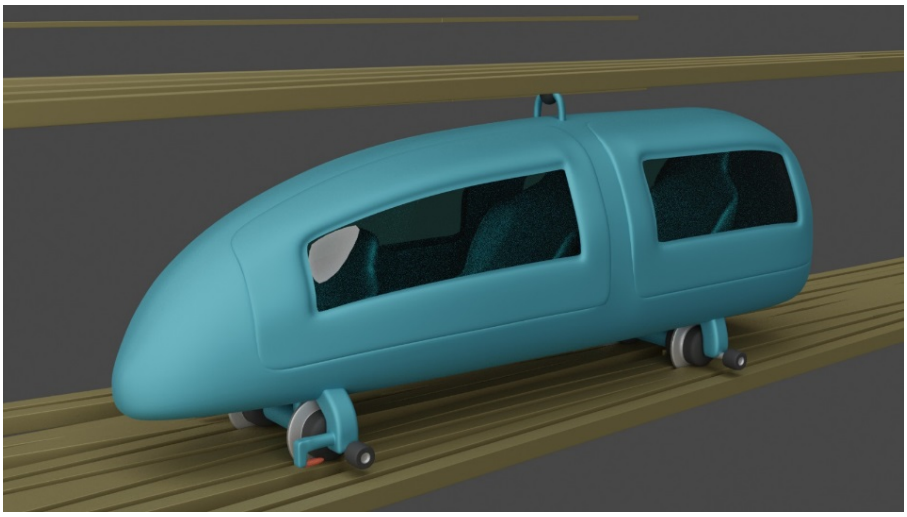


Figure 1. A representative module design

In Figure 2, one of the important safety elements, the doors of the car have been illustrated:

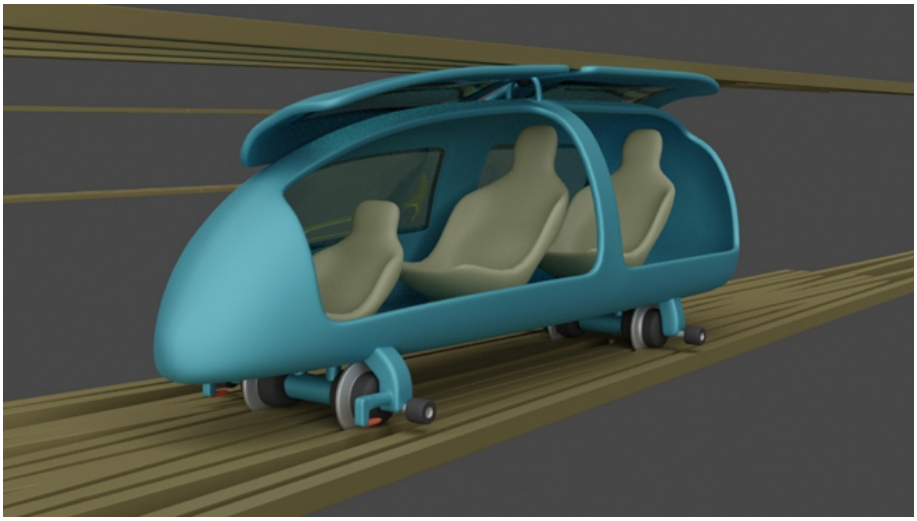


Figure 2. Safety doors

It is considered that unless the doors are closed, the module does not move, automatically. It can start moving only if the doors are locked. Of course, a good air circulation inside the car must be ensured.

Figure 3 shows a moment of channelling. As mentioned in [], channelling is made by on-module channelling wheels They are placed near to the thrust wheels and only at one side are in use at a time.

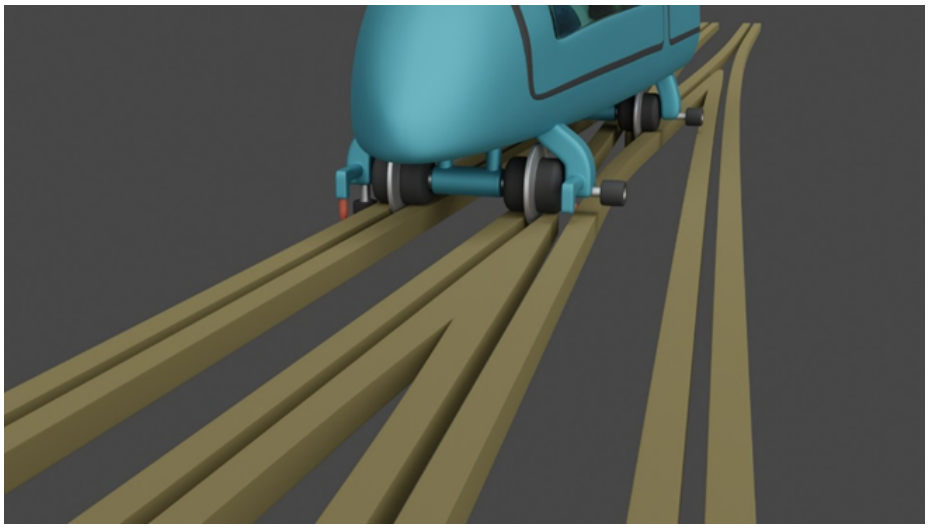


Figure 3. Channelling. Module chooses right

As all the movements and other things, channelling is also automatic. Depending on the chosen path, module makes its choice automatically when approaching the channellings.

At the interception points, the channelling wheels must be in right position. Just in case, if for some reason the position is wrong, a final mechanical measure may be taken as seen in Figure 4.

The author recommends strongly the final mechanical emergency measures in every part of the system. Although the whole system is supposed to be controlled by local and global computer systems supported by sensors, any programs, algorithms or electronic circuits must be supported by final mechanical emergency systems.

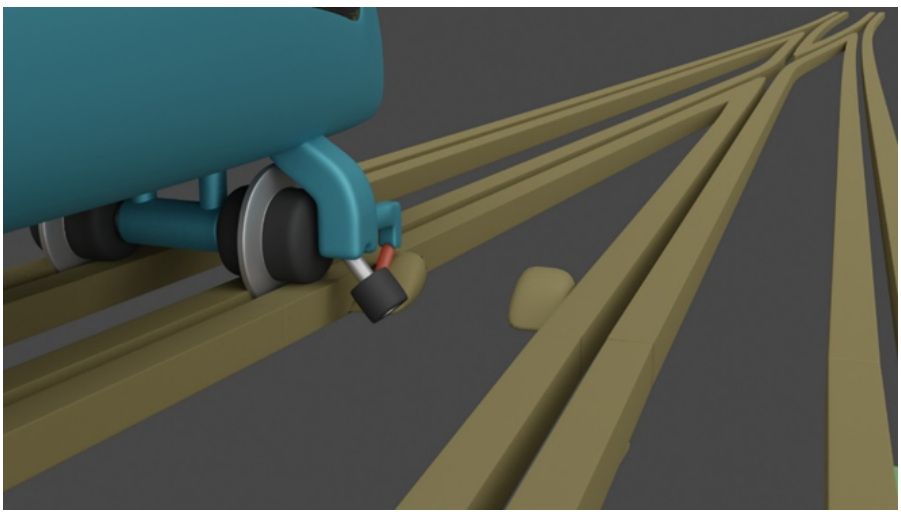


Figure 4. Interception. Example of a mechanical safety measure to ensure the right position of the channelling wheels

Another mechanical system inside the module may be designed such that both left and right-side channelling wheels are never down together.

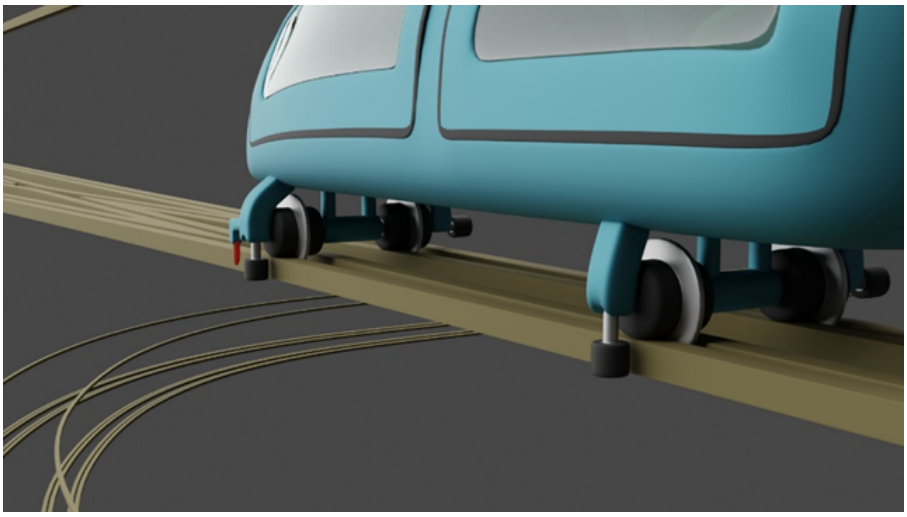


Figure 5. Taking left, before or just after channelling

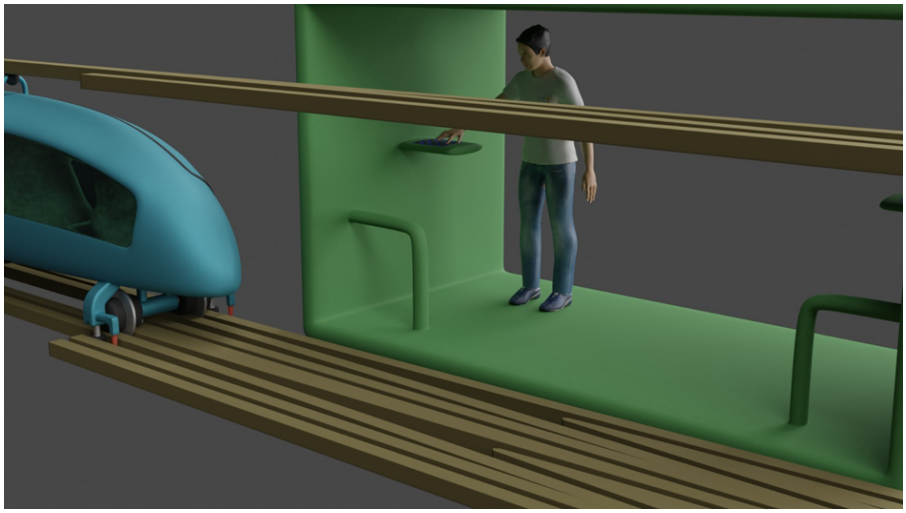


Figure 6. Passenger waiting at the station

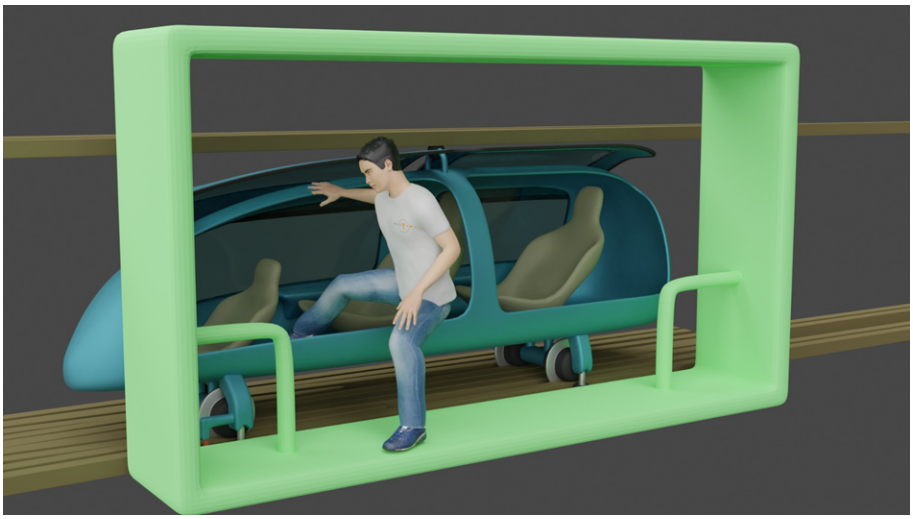


Figure 7. Passenger getting on a car

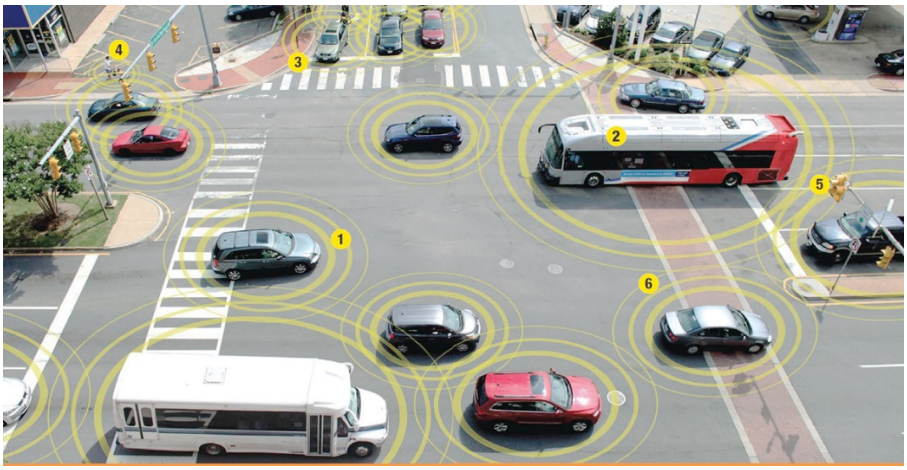


Figure 8. Interception. Taking left, before or after channelling. Example of a mechanical safety measure to ensure the right position of the channelling wheels.Channelling. Module chooses right channel.representative Figure 2. Safety doors module design

Acknowledgements

My special thanks to my son Ata Haydar Selçuk for his computer designs and drawings.

5. References

Comparison of Perfect/Ideal Urban Transportation System with the

Others: Total Travel Times, SELÇUK A. H., DergiPark/Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, Arşiv Cilt 2, Sayı 1, 2019.

Selçuk, A . (2019). Comparison of perfect/ideal urban transportation system with the others: Total travel times . Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi , 2 (1) , 1-14 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/44655/471283

Malik, Z. Siddiqi, I. (2014). Detection and Recognition of Traffic Signs from Road Scene Images. 12th International Conference on Frontiers of Information Technology, s. 330- 335.

Xu, X. Jin, J. Zhang, S. Zhang, L. Pu, S. Chen, Z., (2019). Smart Data Driven Traffic Sign Detection Method Based on Adaptive Color Threshold and Shape Symmetry. Future Generation Computer Systems, 94, 381-391.

U.S Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA), (2020). Erişim tarihi: 03.01.2020, https://highways.dot.gov/

Acikgoz, H. Kececioglu, O.F. Gani, A. Sekkeli, M., (2014). Speed Control of Direct Torque Controlled Induction Motor by using PI, Anti-Windup PI And Fuzzy Logic Controller, International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering, 2, 58-63.

Bisiklet Paylaşım Sistemi Kullanıcıların Mevsimsel Farklılıklarının İncelenmesi: Bisim İzmir Örneği

Mehmet İhsan Pekdemir[1*], Oruç Altıntaşı[2], Murat Özen[3]

[1]İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye[2]İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye[3]Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

*mehmetihsanpekdemir@gmail.com

[1]ORCID-0000-0002-0442-7218, [2]ORCID-0000-0002-4217-1890, [3]ORCID-0000-0002-1745-7483

Özet

Bisikletin bir ulaşım aracı olarak kullanılması kentsel ulaşım problemlerinde en önemli çözümlerden biri olarak görülmektedir. Bu bağlamda, kentlerde bisiklet kullanımının yaygınlaştırılması için bisiklet paylaşım sistemlerinin şehirlerde kurulması, diğer ulaşım türleri ile entegrasyonunun sağlanması, bisiklet yollarının tasarımı gibi stratejilerin uygulanması önemlidir. Bisiklet paylaşım sistemini şehirlerdeki kullanımını artırmak için öncelikle bu sistemi kullanan yolcuların seyahat davranışını ve örüntüsünü çıkartmak gerekmektedir. Bu çalışmanın ana konusu bisiklet paylaşım sistemi kullanıcılarının i.) seyahat örüntüsünü ve davranışını, ii.) seyahat süresi dağılımlarını ve iii.) ANOVA analiziile yolculuk sürelerinin mevsimsel farklılıklarını incelemektir. Bu kapsamda, kullanıcı bazlı bisiklet yolculuk verileri 2019 yılı için ocak, nisan, temmuz ve ekim ayları için İzmir'deki 38 bisiklet paylaşım istasyonundan alınmıştır. Her bir istasyonun mekânsal ve zamansal kullanım sıklıkları çıkartılmış; mevsimsel kullanım farklılıkları görselleştirilmiştir. Sonuç olarak, yolculuk sürelerinin aylar arasında ve hafta içi/hafta sonu arasında istatistiksel olarak farklı olduğu ve bu farklılığın %95 güven aralığı için anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Bisiklet paylaşım sistemi; ANOVA analizi; İstatistiksel farklılıklar; Yolculuk süresi, Coğrafi bilgi sistemleri

Investigation Of Seasonal Differences Of Bicycle Sharing System Users: The Case Study Of İzmir Bisim

Abstract

The use of bicycles as a means of transportation mode can be regarded as the one of the most important solution for urban transportation problems. To encourage the bicycle usein urban cities, it is important to implement some strategies such as deployment of bicyclesharing systems, integration of other transportation modes, designing bike lanes etc. As for bicycle sharing system, it is very crucial to derive the travel patterns and behaviors forimproving its usage in a city. This paper focuses on the examination of the seasonal differences of bicycle share system users in terms of i.) travel pattern and behavior, ii.) travel time distributions, and iii.) comparing travel times by conducting ANOVA analysis.As a case study, individual travel information of users was derived for 4-month (January,April, July and October) from 38 bicycle sharing system stations located in İzmir.

Furthermore, the spatio-temporal usage of stations was also derived which provided the seasonal differences of bicycle users visually. The results indicated that travel times were found statistically significant between the months as well as the weekday/weekend tripsfor 95% confidence interval. These results suggested the differences in seasonal usage ofbicycle sharing system.

Keywords: Bicycle sharing system, ANOVA analysis, statistical differences, trip duration, geographical information systems

1. Giriş

Sürdürülebilir ulaştırma politikaları kapsamında özel araç kullanımının sınırlandırılması ve motorsuz ulaşım araçlarının kullanımının teşvik edilmesi oldukça önemlidir. Motorlu taşıtlar çevre ve gürültü kirliliğine neden olmakta; bisikletli ulaşım sistemi ise daha çevreci bir ulaşım alternatifi sunmaktadır. Sıfır karbon salınımlı bir ulaşım modeli olarak bisiklet, karbon emisyonunu, hava kirliliğini ve trafik sıkışıklığını azaltmanın yanı sıra fiziksel aktivite gibi kentsel gelişme için birçok faydaya sahiptir (Garber ve ark., 2011; O'Brien ve ark., 2014; Nikitas ve ark., 2016; Zhang ve Mi, 2018; Barbour ve Ark., 2019). Bisikletin diğer ulaşım türleri ile entegre edilerek kullanımının yaygınlaştırılması son yıllardaki en öncelikli kentsel ulaşım stratejilerinin başında yer almaktadır. Bu bağlamda, bisiklet paylaşım sistemleri (BPS) günümüzde birçok şehirde aktif olarak kullanılmaktadır. BPS, şehir içerisinde yer alan bisiklet istasyonları arasında sürdürülebilir ve paylaşımlı bisiklet kullanımı sağlayan bisiklet kiralama sistemidir.

Bisiklet paylaşım sistemlerinden elde edilen yolculuk verisi ile yolculuk örüntüsünün çıkartılması, yolculuk sürelerinin incelenmesi birçok çalışmanın ana konusu olmuştur. Noland ve ark. (2019) New York'ta yapmış oldukları çalışmada Şubat, Temmuz ve Ekim aylarında yapılan BPS kullanan kullanıcıların başlangıç ve bitiş noktalarını incelemiştir. Elde edilen sonuçlar kullanıcı türlerinin saatlik ve aylık kullanım profilleri önemli farklılıklar olduğu göstermiştir. Caulfield ve ark. (2017) İrlanda'nın Cork, şehrinde yaptıkları çalışmada ise, bir yıllık veri kullanarak yolculukların sürelerinin değişimini incelemiştir. Kullanıcıların iyi hava koşullarında daha uzun yolculuklar yaptığı ortaya çıkmıştır. Talavera-Garcia ve ark. (2021) İspanya, Madrid'e bulunan bisiklet paylaşım sisteminde yolculuklarının mekânsal ve zamansal davranışları araştırmıştır. Ana çekim bölgelerinin (alışveriş merkezi, eğlence merkezleri, üniversiteler, vb.) yakınlarındaki istasyonların daha yoğun kullanıldığı ve yolculukların kullanıcının türüne ce yolculuk zamanına göre (gün, ay ve mevsim) göre değişiklik gösterdiği belirtilmiştir. Fakat çalışmada bu sonuçları destekleyen bir istatistiksel model sunulmamıştır. Benzer bir çalışmada, Xing ve ark. (2020) Çin'in Shanghai kentinde BPS kullanan kullanıcılarınseyahat örüntüsünü ve seyahat amaçlarını araştırmıştır. Çalışmada hafta içi ve hafta sonuyolculukları ayrı ayrı incelenmiştir. Alışveriş merkezi bölgelerinde bulunan bisiklet istasyonların en yoğun kullanılan istasyonlar olduğu görülmüştür. Yolculuk mesafesinin ve süresinin yolculuk maçına ve güne göre değişeceği görülmüştür. Kou ve ark. (2019) ABD'de sekiz farklı şehirde kullanılan bisiklet paylaşım sistemlerindeki gezinti amaçlı yolculukların seyahat süresilerinin ve mesafelerinin istatistiksel dağılımlarını incelemişlerdir. Sonuçlar, seyahat süresi ve seyahat mesafesinin lognormal dağılıma uyduğunu göstermiştir.

Literatür araştırmasında elde edilen bulguları göre, BPS kullanıcılarının yolculuk davranışını incelemek birçok çalışmanın ana konu olmuşken; yolculuk davranışındaki mevsimsel farklılıkların istatistiksel olarak incelendiği çalışma sayısı sınırlıdır. Bu çalışmada, İzmir ilindeki 38 BİSİM (İzmir bisiklet paylaşım sistemi) istasyonundan elde edilen dört aylık (ocak, nisan, temmuz ve ekim) kullanıcı bazlı yolculuk verileri kullanılarak kullanıcılarının yolculuk davranışı incelenmiştir. Seçilen dört aydan her biri farklı bir mevsimi temsil etmektedir. Bu amaçla, bisiklet kullanıcılarının seyahat sürelerinin mevsimsel farklılıkları varyans analizi (ANOVA) yöntemi ile analiz edilmiş; aylık istasyon kullanım sıklıkları ArcGIS programında görselleştirilmiştir.

2. Materyal ve metot

2.1 Çalışma Alanı ve Veri Seti

2014 yılında 14 adet istasyon ve 311 bisiklet ile kullanıma açılan İzmir Bisiklet Paylaşım Sistemi (BİSİM) istasyonları çoğunlukla şehrin kıyı kesimlerinde yer almaktadır. Bu istasyonları istasyonların kapasitesi 8 ve 40 arasında değişmektedir. 2019 yılı itibari ile sistemdeki istasyon sayısı 38 istasyona çıkarılmıştır, Sistem 2021 yılı itibariyle 55 istasyon ve 720 bisiklet ile hizmet vermektedir. Sistemdeki bu istasyonların mekânsal dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada, yolculuk davranışı incelemek amacıyla pandemi süreci öncesine ait 2019 yılının Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında 38 BİSİM istasyonundan elde edilen kullanıcı bazlı yolculuk verileri kullanılmıştır. Bu verilerBİSİM abone kartı veya kredi kartı kullanarak yapılan bisiklet yolculuklarına aittir. 2019 yılında BİSİM abone kartı veya kredi kartı kullanarak yapılan yolculuklara ait bir veri seti örneği Tablo 1. da gösterilmektedir. Söz konusu veriler, her bir yolculuğa ait bisiklet numarasını, kullanıcı tipini, yolculuğun başlangıç ve bitiş zamanını, yolculuğun başlangıçve bitiş istasyonunu ve seyahat süresi bilgilerini içermektedir. 2019 yılı boyunca toplamda 38 adet istasyon kullanılarak 368.301 adet bisiklet yolculuğu yapılmıştır. Söz konusu yolculukların 162.849'unun başlangıç-bitiş istasyonları aynı iken; 205.452 yolculuğun başlangıç-bitiş istasyonları farklıdır. Başlangıç-bitiş istasyonu aynı olan yolculuklar tüm yolculukların %44 ünü oluşturmaktadır.

Tablo 1. Örnek BİSİM verisi

Bisiklet No	Kullanıcı Tipi	Başlama Zamanı	Varış Zamanı	Başlangıç İstasyon ID	Varış İstasyon ID	Seyahat Süresi
.	.	.	.	.	.	.
154	1	17.4.2019 14:31	17.04.2019 15:50	1110	1108	79
281	1	17.04.2019 14:31	17.04.2019 15:25	1109	1109	54
225	3	17.04.2019 14:32	17.04.2019 15:24	1102	1101	52
.	.	.	.	.	.	.



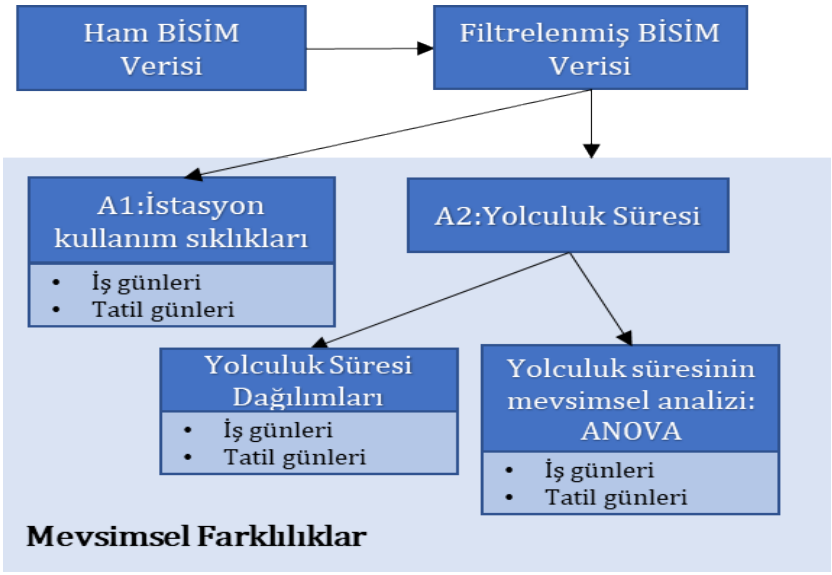
Şekil 1. İzmir BİSİM istasyonları haritası

2.2 Metodoloji

Çalışma kapsamında başlangıç-bitiş istasyonları aynı olan bisiklet yolculuklarına ait veriler kullanılmıştır. Bu yolculukların gezinti amacı ile yapıldığı varsayılmıştır. Çalışmanın metodunun akış şeması Şekil 2'de verilmiştir. Ham BİSİM verisi üzerinde seyahat sürelerine göre filtreleme işlemi yapılarak filtrelenmiş BİSİM verisi elde edilmiştir (Şekil 2). Bu kapsamda, 5 dakikanın altında ve 150 dakikanın üzerinde seyahatsüresine sahip bisiklet yolculukları elimine edilmiştir. Filtreleme işlemi yapıldıktan sonra filtrelenmiş veri kullanarak i.) istasyon kullanım sıklığı ve ii.) yolculuk süresi tabanlı analizler yapılmıştır.

Analiz 1: İstasyon kullanım sıklıkları: Her bir istasyonun mekânsal ve zamansal kullanım sıklıkları coğrafi bilgi sistemleri kullanarak görselleştirilmiştir. İstasyon bazlı mevsimsel kullanım farklılıkları iş günleri ve tatil günleri için ayrı ayrı incelenmiştir. Bu analizler ArcGIS programında gerçekleştirilmiştir.

Analiz 2: Yolculuk Süresi: İş ve tatil günleri yapılan gezinti amaçlı BİSİM yolculukları ayrı ayrı incelenerek yolculuk süreleri arasındaki farklılıklar aylık bazda araştırılmıştır. Öncelikle, her bir mevsimin ayına ait sıklık-yolculuk süresi diyagramları çizilmiş ve yolculuk sürelerinin dağılımları incelenmiştir (Şekil 2). Yolculuk sürelerinin dağılım grafiklerinin çıkartılmasının yanı sıra, yolculuk süresindeki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı varyans analiz (ANOVA) yöntemi ile test edilmiştir. ANOVA analizi, iş ve tatil günlerindeki yolculuk sürelerinin mevsimsel farklılıklarını belirlemek için ayrı ayrı yapılmıştır. Aylar arasındaki yolculuk süresindeki farklılıklar, Post-Hoc (çoklu karşılaştırma) testi ile %5 anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın akış şeması

3. Sonuçlar

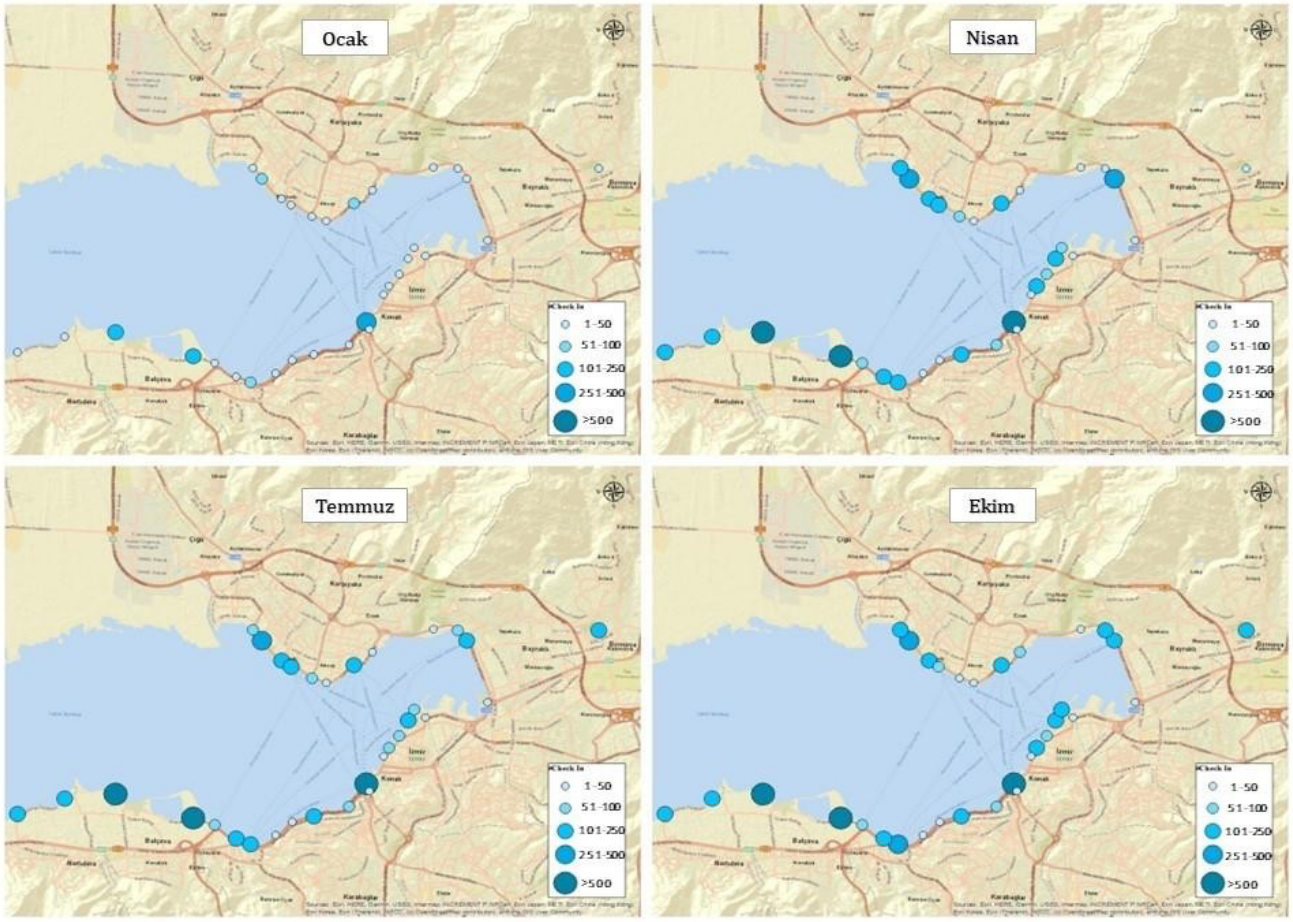
3.1 İstasyon Kullanım Sıklıkları

Çalışma kapsamında incelenen bisiklet yolculuklarının aylara göre dağılımı Tablo 2'de verilmiştir. Toplam 54.204 yolculuğun 28.679'u iş günlerinde, geri kalan 25.525 yolculukise tatil günlerinde yapılmıştır. Filtreleme işlemi yapıldıktan sonraki yolculuk sayıları iseiş ve tatil günleri için sırasıyla 22.130 ve 19.550'ye düşmüştür. Toplamda, 54.204 bisiklet yolculuğunun yaklaşık %24'ü elimine edilmiştir. Sonraki analizlerde filtrelenmiş BİSİM verileri kullanılmıştır. Tablo 2'den temmuz ayındaki bisiklet kullanım sayısının diğer aylardan daha fazla olduğu; en az kullanımın ise ocak ayında olduğu anlaşılmaktadır. Tatil günlerinde ise en sık kullanımın ekim ve nisan aylarında olduğu görülmektedir.

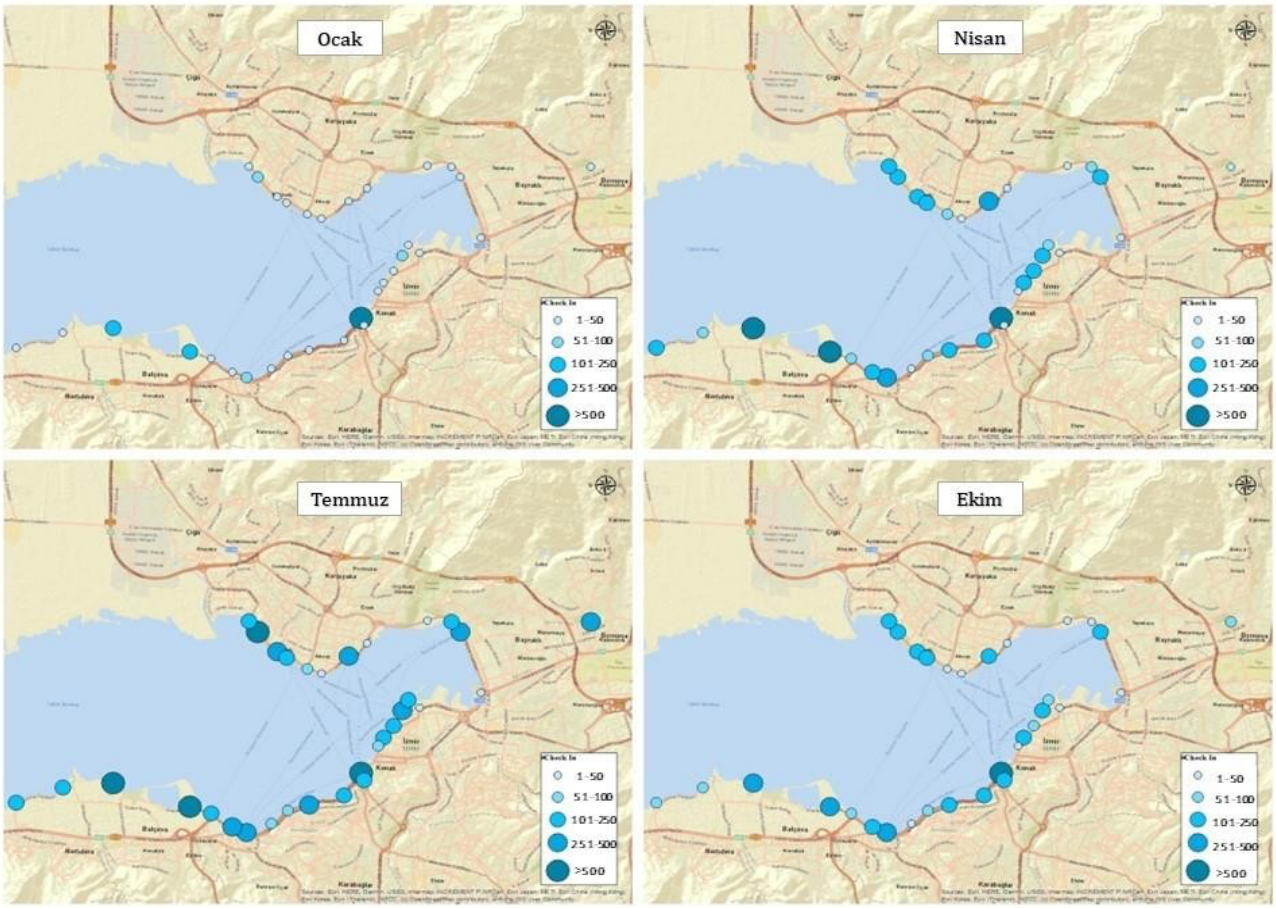
Bisiklet kullanım sıklığının iş veya tatil günlerindeki yoğunluğunu kıyaslamak amacıyla ayrıca her bir ay için günlük ortalama yolculuk sayısı hesaplanmıştır (Bakınız Tablo 2). İş günleri arasında, ocak ayı için ortalama 68 yolculuk/gün bulunurken en yüksek ortalama günlük yolculuk sayısı temmuz ayı için hesaplanmıştır (415 yolculuk/gün). Bu sonuçlara göre, tatil günlerinde yapılan ortalama yolculuk sayısı iş günlerinde yapılanlardan daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. En yoğun kullanımın ise ortalama 754 yolculuk/gün ile sonbahar mevsiminde en az kullanımın ise 151 yolculuk/gün ile kış ayında olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, başlı başına mevsimsel kullanım arasında ciddi farklılıkların olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, Tablo 2'de verilen yolculuk değerlerinin istasyon bazlı dağılımları ise hafta içi günleri için Şekil 3'te,tatil günleri içinse Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 2. Aylık bazlı ham, filtrelenmiş ve günlük ortalama BİSİM yolculuk sayıları

Ham BİSİM verisi					
	Ocak	Nisan	Temmuz	Ekim	Toplam
İş Günleri	2.014	8.262	11.549	6.854	28.679
Tatil Günleri	1.663	8.159	6.847	8.856	25.525
Toplam	3.677	16.421	18.396	15.710	**54.204**
Filtrelenmiş BİSİM verisi					
	Ocak	Nisan	Temmuz	Ekim	Toplam
İş Günleri	1.504	6.296	9.133	5.197	22.130
Tatil Günleri	1.362	6.168	5.237	6.783	19.550
Toplam	2.866	12.464	14.370	11.980	**41.680**
Günlük Ortalama Yolculuk Sayısı					
Ocak		**Nisan**	**Temmuz**	**Ekim**	**2019 Yılı İş**
Günleri		68	300	415	247	258
Tatil Günleri		151	685	582	754	543



Şekil 3. BİSİM İstasyonlarının mevsimsel kullanım sıklıkları (iş günleri)



Şekil 4. BİSİM İstasyonlarının mevsimsel kullanım sıklıkları (tatil günleri)

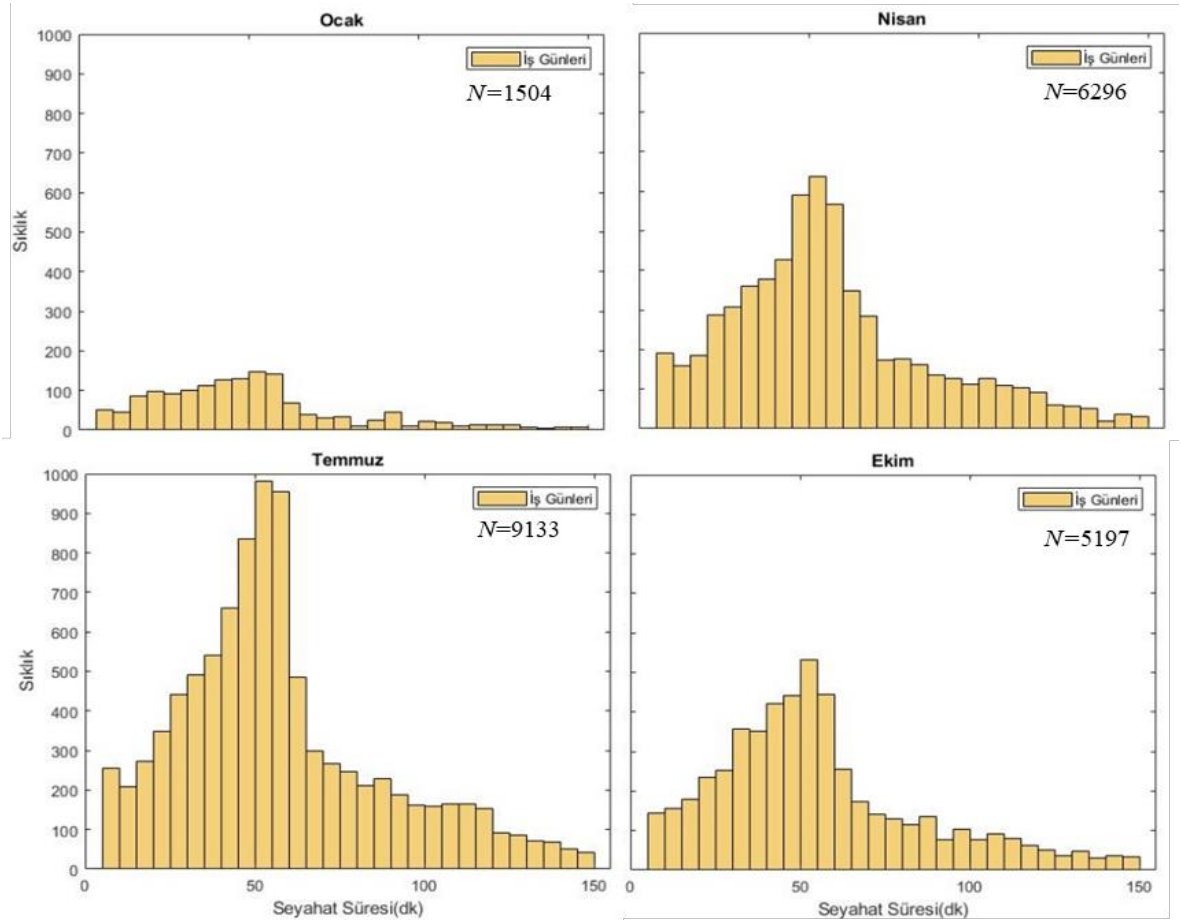
3.2 Yolculuk Süresi Dağılımları

İş günleri için yolculuk sürelerinin sıklık dağılım grafikleri Şekil 5'te verilmiştir. İş günlerinde yapılan yolculuklar için:

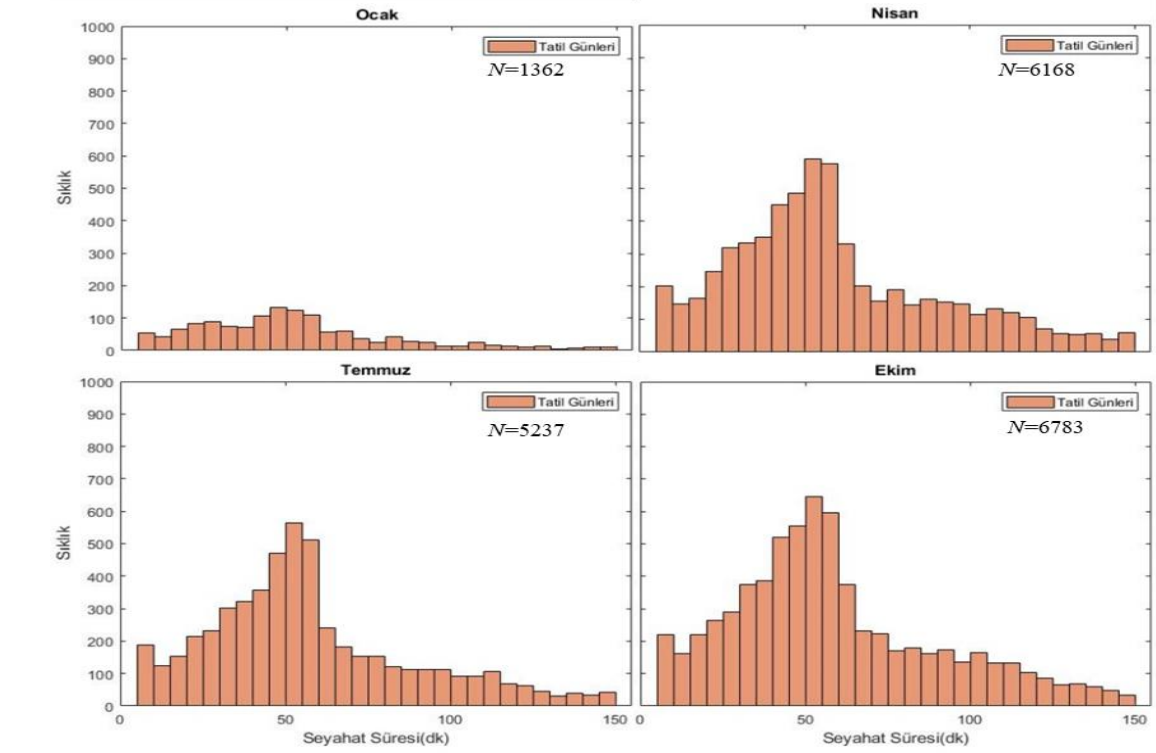
- Ocak ayında yapılan bisiklet yolculuğu süreler ortalama olarak 50 dk. olarak bulunmuştur (SD= 28 dk., medyan=46 dk., Bakınız Tablo 4).
- Nisan, temmuz ve ekim aylarında bisiklet kullanım sıklığı farklılık göstermekle birlikte yolculuk sürelerinin dağılımlarının benzer olduğu ortalama 55-57 dk. arası olduğu hesaplanmıştır.

Tatil günlerinde yapılan yolculukların yolculuk süresi-sıklık dağılım grafiği incelendiğinde;

- Aylar arasında kullanım sıklıklarında gözle görülür farklılıklar olduğu saptanmıştır. Ocak ayında en az kullanım sıklığı gözlemlenmişken, en yoğun kullanımın ekim ayında olduğu görülmüştür.
- Tanımlayıcı istatistiki değerler ocak ayı için ortalama 52 dk. (SD=30 dk., medyan=48 dk.), diğer aylar için birbirlerine yakın değerler göstermektedir (ortalama= 58 dk., SD=32 dk., medyan = 53 dk.).



Şekil 5. İş günlerinde yapılan gezinti amaçlı BİSİM yolculuklarının yolculuk süresi dağılımı



Şekil 6. Tatil günlerinde yapılan gezinti amaçlı BİSİM yolculuklarının yolculuk süresi dağılımı

Tablo 4. Ortalama aylık seyahat süresi değerleri (dk.)

	Ocak			Nisan			Temmuz			Ekim		
	Ort	SD*	Medyan	Ort	SD*	Medyan	Ort	SD*	Medyan	Ort	SD*	Medyan
İş Günleri	50	28	46	56	30	52	57	30	52	55	30	50
Tatil Günleri	52	30	48	58	32	53	57	31	52	58	32	53

**SD: Standart Sapma , Ort: Ortalama*

3.3 Yolculuk Süresinin Mevsimsel Analizi: ANOVA

Bisiklet yolculuklarının farklı aylardaki kullanım sürelerinin istatistiksel olarak farklılıkları ANOVA varyans analizi ile %5 anlamlılık düzeyinde test edilmiştir. Analiz kapsamında seçilen 4 ay için iş ve tatil günlerinde yapılan bisiklet yolculuk sürelerinin ANOVA sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5'te görüldüğü üzere, iş günlerinde bisikletyolculuk süresinin aylar arasında farklılık gösterdiği ve bu farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır (*F=26,975, p<,001*). Tatil günleri için de aylar arasındaki yolculuk sürelerinin istatistiksel olarak farklılık göstermiştir (*F=16,941, p<,001*).

Tablo 5. İş ve tatil günlerine ait ANOVA sonuçları

ANOVA	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F düzeyi (p)	Anlamlılık
İş günleri					
Gruplar arası	72.743,32	3	24.247,74	**26,975**	,000
Gruplar içi	19.888.903,44	22.126	898,89		
Toplam	19.961.646,67	22.129			
Tatil günleri					
Gruplar arası	50.246,20	3	16.748,73	**16,941**	,000
Gruplar içi	19.323.719,21	19.546	988,63		
Toplam	19.373.965,41	19.549			

Yolculuk sürelerinde mevsimsel farklılıkların hangi aylarda daha belirgin olduğunu test etmek amacıyla çoklu karşılaştırma (Post-Hoc testi) yöntemi kullanılmıştır. Tablo 6'da çoklu karşılaştırma sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre:

- İş günleri için, ocak ayındaki yolculuk süresi diğer aylardan farklıdır ve bu farklılık %95 güven aralığında anlamlı bulunmuştur (*p<,001*) (Bakınız Tablo 6). Ocak ayındaki bisiklet yolculuk süreleri nisan, temmuz ve ekim aylarından ortalama 5-7 dakika daha azdır. Ortalama bisiklet hızı 15 km/h olduğu varsayıldığında (Jensen ve ark., 2010), gezinti amaçlı yapılan yolculuklar ocak ayı için 1,25 km ile1,75 km daha azdır.
- Temmuz ayındaki yolculuk süresi ekim ayındakinden ortalama 2 dakika fazla olduğu; bu farklılığında istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur (*p=,001*). Bu farklılık istatistiki olarak anlamlı çıkmasına rağmen, esasında yolculuk sürelerinin birbirlerine çok yakın olduğu söylenebilir.

- Tatil günleri için ocak ayındaki yolculuk süresi, diğer ayların yolculuk süresinden farklı bulunmuştur ($p<,001$)
- İş günlerinden farklı olarak nisan ve temmuz ayındaki yolculuk süreleri %95 güven aralığında farklı çıkmasına rağmen bu farklılık sadece 1.72 dakikadır.

Tablo 6. İş ve tatil günlerine ait Post-Hoc Sonuçları

Ay	Aylar	İş Günleri		Tatil Günleri	
		Ortalama Fark	p	Ortalama Fark	p
Ocak	Nisan	-6,35	**0,000**	-6,25	**0,000**
	Temmuz	-7,28	**0,000**	-4,53	**0,000**
	Ekim	-5,25	**0,000**	-6,00	**0,000**
Nisan	Ocak	6,35	**0,000**	6,25	**0,000**
	Temmuz	-0,93	0,354	1,72	**0,022**
	Ekim	1,10	0,298	0,24	1,000
Temmuz	Ocak	7,29	**0,000**	4,53	**0,000**
	Nisan	0,93	0,354	-1,72	**0,022**
	Ekim	2,03	**0,001**	-1,48	0,065
Ekim	Ocak	5,25	**0,000**	6,00	**0,000**
	Nisan	-1,10	0,298	-0,24	1,000
	Temmuz	-2,03	0,001	1,48	0,065

4. Sonuç

İzmir ilinde 38 bisiklet paylaşım istasyonundan elde edilen kullanıcı bazlı bisiklet yolculuk verisi kullanılmıştır. 4 ayın veri seti filtrelenmesi sonucunda incelendiğinde yolculukların %35'i aynı başlangıç-bitiş istasyonunda sonlanırken, %65'i farklı başlangıç- bitiş istasyonunda bittiği görülmüştür. Bu çalışmada, aynı başlangıç-bitiş noktasına sahip yolculuklar gezinti amaçlı olarak değerlendirilmiştir. Bu yolculukların farklı mevsimlerdeki yolculuk sürelerinin dağılımlarıyla birlikte, yolculuk sürelerindeki farklılıklar ANOVA analiziyle test edilmiştir. Sonuç olarak, iş günlerinde ve tatil günlerindeyapılan gezinti amaçlı bisiklet yolcuklarında yolculuk süresinin kış mevsimi olan ocak ayında diğer mevsimlerdeki aylara göre daha kısa yolculuk süresine sahip olduğu bulunmuştur.

İş günlerinde yaz mevsimi olan temmuz ayında en yüksek bisiklet kullanımına sahipken, tatil günlerinde ise ekim ayında en sık bisiklet kullanılmaktadır. Günlük ortalama bisiklet kullanımları incelendiğinde İzmir ilinde BİSİM kullanıcılarının gezinti amaçlı yapılan yolculuklarda iş günlerine göre tatil günlerinde daha yüksek bisiklet kullanım sıklığına sahip olduğu görülmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan bisiklet paylaşım sistemi verisi İzmir Büyükşehir Belediyesi (İBB) Ulaştırma Daire Başkanlığı'ndan temin edilmiştir. Bu çalışmaya verdikleri destekten dolayı İBB Ulaştırma Daire Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

Barbour, N., Zhang, Y., & Mannering, F. (2019). A statistical analysis of bike sharing usage and its potential as an auto-trip substitute. Journal of Transport & Health, 12, 253-262.

Campbell, A. A., Cherry, C. R., Ryerson, M. S., & Yang, X. (2016). Factors influencing the choice of shared bicycles and shared electric bikes in Beijing. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 67, 399-414.

Caulfield, B., O'Mahony, M., Brazil, W., & Weldon, P. (2017). Examining usage patterns of a bike-sharing scheme in a medium sized city. Transportation Research Part A: Policy And Practice, 100, 152-161.

Du, Y., Deng, F., & Liao, F. (2019). A model framework for discovering the spatio-temporal usage patterns of public free-floating bike-sharing system. Transportation Research PartC: Emerging Technologies, 103, 39-55.

Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., ... & Swain, D. P. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise.

Jensen, P., Rouquier, J. B., Ovtracht, N., & Robardet, C. (2010). Characterizing the speed and paths of shared bicycle use in Lyon. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 15(8), 522-524.

Kaltenbrunner, A., Meza, R., Grivolla, J., Codina, J., & Banchs, R. (2010). Urban cycles and mobility patterns: Exploring and predicting trends in a bicycle-based public transport system. Pervasive and Mobile Computing,6(4), 455-466.

Kou, Z., & Cai, H. (2019). Understanding bike sharing travel patterns: An analysis of trip data from eight cities. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 515, 785-797.

Li, A., Zhao, P., Huang, Y., Gao, K., & Axhausen, K. W. (2020). An empirical analysis of dockless bike-sharing utilization and its explanatory factors: Case study from Shanghai, China. Journal of Transport Geography, 88, 102828.

Nikitas, A., Wallgren, P., & Rexfelt, O. (2015, October). The paradox of public acceptance of bike sharing in Gothenburg. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers- Engineering Sustainability (Vol. 169, No. 3, pp. 101-113). Thomas Telford Ltd.

Noland, R. B., Smart, M. J., & Guo, Z. (2019). Bikesharing trip patterns in New York City: Associations with land use, subways, and bicycle lanes. International Journal of Sustainable Transportation, 13(9), 664-674.

O'brien, O., Cheshire, J., & Batty, M. (2014). Mining bicycle sharing data for generating insights into sustainable transport systems. Journal of Transport Geography, 34, 262-273.

Otero, I., Nieuwenhuijsen, M. J., & Rojas-Rueda, D. (2018). Health impacts of bike sharing systems in Europe. Environment international, 115, 387-394.

Pucher, J., & Buehler, R. (2017). Cycling towards a more sustainable transport future. Transport Reviews, 37(6), 689-694.

Shen, Y., Zhang, X., & Zhao, J. (2018). Understanding the usage of dockless bike sharing in Singapore. International Journal of Sustainable Transportation, 12(9), 686-700.

Talavera-Garcia, R., Romanillos, G., & Arias-Molinares, D. (2021). Examining spatio-temporal mobility patterns of bike-sharing systems: the case of BiciMAD (Madrid). Journal of Maps, 17(1), 7-13.

Wang, M., & Zhou, X. (2017). Bike-sharing systems and congestion: Evidence from US cities. Journal of Transport Geography, 65, 147-154.

Xing, Y., Wang, K., & Lu, J. J. (2020). Exploring travel patterns and trip purposes of dockless bike-sharing by analyzing massive bike-sharing data in Shanghai, China. Journal Of Transport Geography, 87, 102787.

Zhang, Y., & Mi, Z. (2018). Environmental benefits of bike sharing: A big data-based analysis. Applied Energy, 220, 296-301.

Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Öğrenme Mekanizmasına Sahip Akıllı Olay Algılama Sisteminin Gelişimi

Soheil Khodkar[1*], Recep Bahar[2]

[1]İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama,

İstanbul, Türkiye

[2] İntetra Elektronik Sanayi ve Ticaret A.Ş.,

İstanbul, Türkiye

*khodkar18@itu.edu.tr

0000-0002-6913-7721, 0000-0002-4608-564X

Özet

Otoyollardaki Olaylar; trafik kazaları, yol yardım, bakım çalışmaları ve benzeri trafik akışını bozan ve seyahat süresini uzatan; ayrıca, yol güvenliğini doğrudan etkileyen durumlardır. Günümüzde trafik izleme ve yollardaki olayların tespiti, maliyetli altyapılarla birçok Akıllı Ulaşım Sistemi hizmeti ve teknolojisi kullanılarak geliştirilebilir ve sağlanabilir. Olay Algılama Sistemi, otoyollarda sorunsuz trafik akışını ve güvenliğini sağlamayı amaçlayan AUS' un önemli bileşeni olan teknolojik bir çözümdür. Daha etkili ve verimli trafik yönetimi için, olayları tespit etmede güvenilir ve hızlı işlem kapasitesine sahip olan "otomatik olay tespit algoritması" kaçınılmazdır. Olayların erken tespiti, etkili müdahale stratejilerinin oluşturulması ve sürücülere gerçek zamanlı bilgi sağlanması için hayati önem taşımaktadır. Akıllı Olay Algılama Sistemi ise, yapay zekâ tabanlı derin öğrenme mekanizmasıdır. Sistem sayesinde hareketli kamera görüşü içindeki alan sürekli taranıp önceden belirlenmiş senaryolara göre tanımlanmamış bir durum tespit edildiğinde AUS yönetim merkezine alarm oluşturabilmektedir. Geleneksel yöntemlerle kullanılan olay algılama sistemleri, gün ışığı, hava koşulları ve benzeri çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Ayrıca, tünel gibi kapalı ortamlarda, kameranın sabit görüş açısı içinde gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle görüntü tabanlı olay algılama otoyol gibi açık ortamlarda kullanımı yeterli verimlilikte olmamaktadır. Öte yandan kamera sayısının artmasıyla sistem operatörü tarafından olayların takibi ve izlenmesi imkânsız hale gelmişti. Derin öğrenme mekanizmasına sahip akıllı olay algılama sistemi, görüntü işleme ve hareketli kameralarla sürekli otoyolu tarayarak, çevresel faktörlerden etkilenmeyen ve bir olay tespiti halinde o noktaya odaklanan bir sistem olarak geliştirilip tasarlanmıştır. Bu sayede trafik güvenliği ve olaylara müdahale daha hızlı, verimli ve akıllı yönetilebilmektedir. Bu çalışmada Ankara-Niğde otoyolunda ilk defa geliştirilen ve uygulanan sistem araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Akıllı Olay Algılama, Akıllı Ulaşım Sistemi, Trafik Güvenliği

Development of Intelligent Incident Detection System with Learning Mechanism in Intelligent Transportation Systems

Abstract

Incidents on Highways; traffic accidents, roadside assistance, maintenance works, etc., which disrupt the traffic flow and prolong the travel time; In addition, they are situations that directly affect road safety. Today, traffic monitoring and detection of incidents on the roads

can be developed and provided using many Intelligent Transportation System services and technologies with costly infrastructures. Incident Detection System is a technological solution that is an important part of ITS, which aims to ensure traffic flow and traffic safety on highways. For more effective and efficient traffic management, an “automatic incident detection algorithm” with reliable and fast processing capacity in detecting incidents is inevitable. Early detection of incidents is vital for establishing effective response strategies and providing real-time information to drivers. So, intelligent incident detection system, is an artificial intelligence-based deep learning mechanism. The system, continuously scanned road with PTZ cameras and an alarm can be generated to the ITS management center when an undefined situation is detected according to predetermined scenarios. Incident detection systems used with traditional methods are affected by daylight, weather conditions and similar environmental factors. It is also carried out in closed environments such as tunnels, within a fixed viewing angle of the camera. For this reason, image-based incident detection is not efficient enough to use in open environments such as highways. On the other hand, with the increase in the number of cameras, it became impossible for the system operator to track and monitor the incidents. Intelligent incident detection system with deep learning mechanism has been developed and designed as a system that is not affected by environmental factors and focuses on that point in case of an incident detection, by continuously scanning the highway with image processing and PTZ cameras. So, traffic safety and incident intervention can be managed more quickly, efficiently and smartly. In this study, the system developed and applied for the first time on the Ankara-Nigde highway was investigated.

Keywords: Intelligent Transportation System, Incident Detection, Traffic Safety

1. Giriş

Yol ağları genellikle, trafik kazaları, kötü hava koşulları, yol çalışmaları gibi olaylardan etkilenmektedir. Karayolunun sınırlı kapasitesi göz önünde bulundurulduğunda olaylara zamanında müdahale yapılmadığı takdirde, trafik güvenliğinin olumsuz etkilenerek beraberinde ikincil kazalara neden olabilmektedir (Gu vd., 2016). Akıllı Ulaşım Sistemi (AUS), son yıllarda popüler bir araştırma konusu haline gelmiştir (Yang vd., 2018). AUS, farklı ulaşım modları ve trafik yönetimi ile ilgili yenilikçi hizmetler sunarak, çeşitli kullanıcıların daha iyi bilgilendirilmesini ve ulaşım ağlarının daha güvenli, daha koordineli ve 'akıllı' kullanımını sağlayabilmektedir. Bu çerçevede, trafik planlayıcılar ve yol kullanıcıları için ulaşım güvenliğini, hareketliliği, üretkenliği ve çevresel performansı iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Trafik izleme ve yollardaki olayların tespiti maliyetli altyapılarla birçok AUS hizmeti ve teknolojisi kullanılarak geliştirilebilir ve hatta tamamen sağlanabilir (Baiocchi, 2015). Öte yandan sürekli gelişen yollar ve yeni otoyol ağlarının yapımı ile araç ve olayların tespitine yönelik ilgi artmaktadır. Sürekli akan trafik bilgilerini toplamak için çeşitli sensörler kullanılmaktadır. Geleneksel yaklaşımda loop detektörleri, radarlar gibi özel donanımlar kullanılır. Ancak bu ekipmanların yüksek bakım maliyeti, çevresel faktörlerden etkilenmesi, görüntü tabanlı olmaması gibi dezavantajları vardır. Görüntü tabanlı sistemler, geleneksel sistemler ile karşılaştırıldığında maliyet ve esneklik açısından avantajlıdır (Yang vd., 2018). Görüntü tabanlı sistemler, insan görselleştirmesi ve yorumlaması için zengin bağlamsal bilgi sağladığından geniş şekilde trafik gözetimi için kullanılmaktadır. Görüntü tabanlı algılama sistemine çeşitli yazılımsal ve donanımsal metodlar eklenerek yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri ise yapay zekâ tabanlı akıllı olay algılama sistemidir. Öğrenme mekanizmasına sahip olan akıllı olay

algılama sistemi başlıca algoritma, teknoloji ve derin öğrenme birleşmesinden oluşmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'de ilk defa kullanılan ve Türkiye'nin ilk akıllı otoyolu da olarak bilinen Ankara-Niğde otoyolundaki sistem araştırılmıştır.

2. Trafik Olayları ve Tespiti

Trafik olayları trafik sıkışıklığına neden olan ana faktörler olduğundan, seyahat süreleri ve buna bağlı olumsuz etkileri en aza indirmek için olayları mümkün olduğunca erken tespit etmek önemlidir (Barria vd., 2011). Türkiye geneli karayolu ağında 2020 yılında toplam 983 bin 808 adet trafik kazası meydana gelmiştir. Bu kazaların 833 bin 533 adedi maddi hasarlı, 150 bin 275 adedi ise ölümlü yaralanmalı trafik kazasıdır. Yıl içerisinde meydana gelen ölümlü yaralanmalı trafik kazalarının %75,8'i yerleşim yeri içinde %24,2'si ise yerleşim yeri dışında meydana gelmiştir (EGM, 2021). Türkiye'de 2020 yılında meydana gelen 150 bin 275 adet ölümlü yaralanmalı trafik kazası sonucunda 2 bin 197 kişi kaza yerinde, 2 bin 669 kişi ise yaralanıp sağlık kuruluşlarına sevk edildikten sonra kazanın sebep ve tesiriyle 30 gün içinde hayatını kaybetmiştir. Trafik olaylarının tespiti ve zamanında müdahalesi, trafik güvenliğinin sağlanması, trafik kontrol ve yönetim sistemlerinin önemli bir parçasıdır. Son yıllarda, otomatik olay algılama (AID), bir araştırma alanı olarak trafik araştırmacılarının ilgisini çekmiştir. Buna bağlı olarak olay algılama algoritmaları ve yöntemleri önerilmiş ve test edilmiştir (Chen, Pan, 2021). Birleşik Krallık Kentsel Trafik Yönetimi ve Kontrolü (UTMC) şemasına göre, olaylar planlı ve plansız olarak ikiye ayrılmaktadır (Rossi vd., 2015). Planlanan olaylar, planlı bakım ve yol çalışmalarını kapsarken; plansız olaylar trafik kazası, duran araç, ters yönde hareket eden araç, kötü hava koşulları ve benzer olayları kapsamaktadır. Geleneksel yöntemlerle yapılan olay algılama sistemleri trafik akışı ve tıkanıklık gibi bilgileri tespit ederken, görüntü tabanlı olay algılama sistemleri, özellikle tünel gibi kapalı ortamlarda ve çevresel faktörlerden etkilenmeyen, sisteme önceden tanımlanmış olayları tespit eder. Akıllı olay algılama sistemleri ise otoyolda tanımlanmış olayları, sürekli değişken olan trafik ve çevresel koşulları karşılaştırarak trafik olaylarını tespit edebilmektedir.

2.1 Derin Öğrenme Mekanizması

Derin öğrenme, ham girdiden aşamalı olarak daha anlamlı veriler elde etmek için birden çok katman kullanan bir makine öğrenimi algoritmasıdır (Deng, Yu, 2014). Derin öğrenme, görüntü işleme teknikleri ile kıyaslandığında nesne tespiti, görüntü sınıflandırma, eş zamanlı konumlandırma ve haritalama gibi alanlarda çok daha yüksek başarı oranı yakaladığı görülmüştür (Zhang vd., 2018). Derin öğrenme mekanizması birçok alanda kullanılmakla beraber, derin öğrenme tabanlı görüntü algılama, sistem operatöründen daha doğru sonuçlar üreten bir mekanizma haline gelmiştir. Ulaşım alanında, ilk olarak 2011 yılında trafik işaretlerinin algılanmasında kullanılmıştır (Cireşan vd., 2012). 2014 yılında ise insan yüzlerinin tanınmasında kullanılmıştır (Lu, Tang, 2015). Son zamanlarda, derin öğrenme, trafik olayları ve olumsuz etkileri ile ilgili tahmin uygulamalarında odak haline gelmiştir (Zhu vd., 2018).

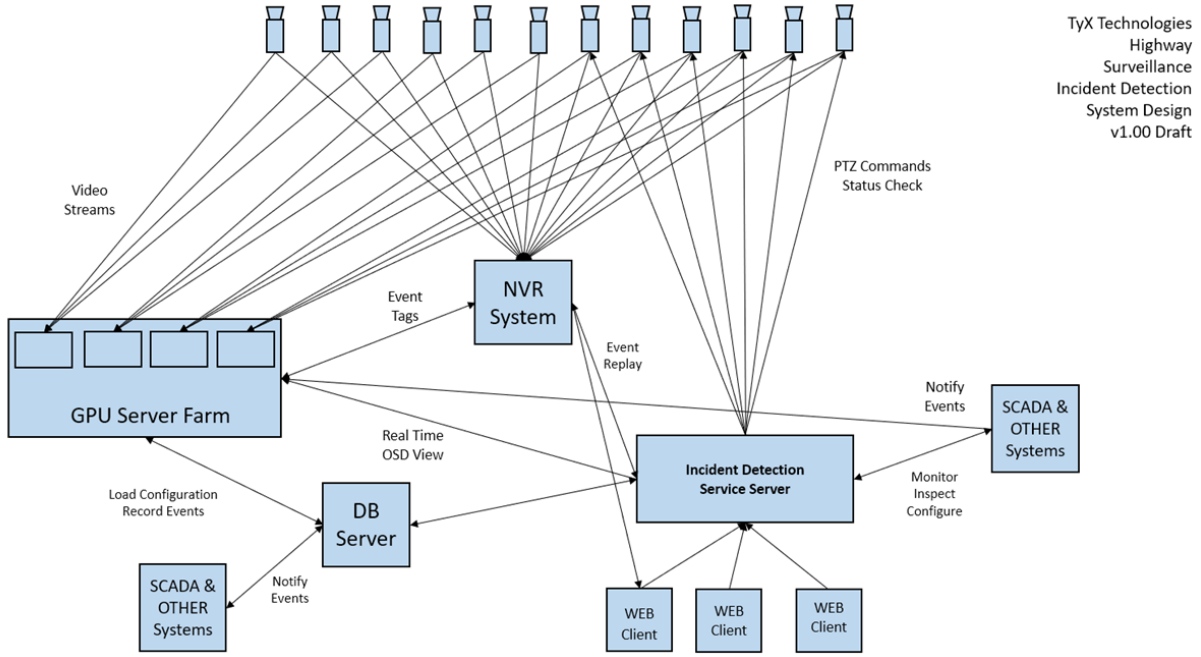
2.2 Trafik Olaylarında Derin Öğrenme

Daha etkili ve verimli trafik yönetimi için, olayları tespit etmede güvenilir ve hızlı olan otomatik olay tespit algoritması kaçınılmazdır (Srinivasan, vd., 2000). Trafikte gerçek zamanlı verileri işlemek adına otomatik araç takibi son derece önemlidir (He vd., 2015). Trafikteki sorunları çözmek adına farklı çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan biri, belirli sınırlayıcı kutular ile sanal bir detektör yapılmasıdır. Bu yaklaşım aracın varlığını belirten

detektörlerdeki değişiklikleri algılamaktadır. Diğer bir yöntem ise görüntüde ön plandaki gereksiz nesnelerin çıkarılması ile araç takibi yapılmasıdır (Girshick vd., 2018). Ancak bu yöntemler manuel özelliklere dayanır ve başarı oranı düşüktür. Günümüzde ise yapay sinir ağlarının nesne tanımlama/tespiti konusundaki başarısı ve gerçek zamanlı olarak elde edilebilen yoğun veri miktarı sayesinde bu sorunlar çözülebilmektedir. Bu sayede derin öğrenme aracılığıyla trafikte nesne tespiti konusundaki başarı oranı yükseltilebilir (He vd., 2018). Trafik olaylarının algılanmasında derin öğrenme, operatör müdahalesi gerektirmeyen, veri yapılandırmasına gerek kalmayan, aynı anda birden çok işlemi yapabilmesinden dolayı daha verimli ve avantajlıdır. Klasik makine öğrenimine kıyasla derin öğrenme algoritmaları kendi hatalarını fark ederek öğrenebilme becerisine sahiptir. Bu sayede tespitlerinin/çıkışlarının doğruluğunu denetleyip, duruma göre gerekli ayarlamaları yapabilmektedir. Klasik makine öğrenmesinde ise denetleme işlemi için mutlaka değişen oranlarda operatör müdahalesi gerekirdi.

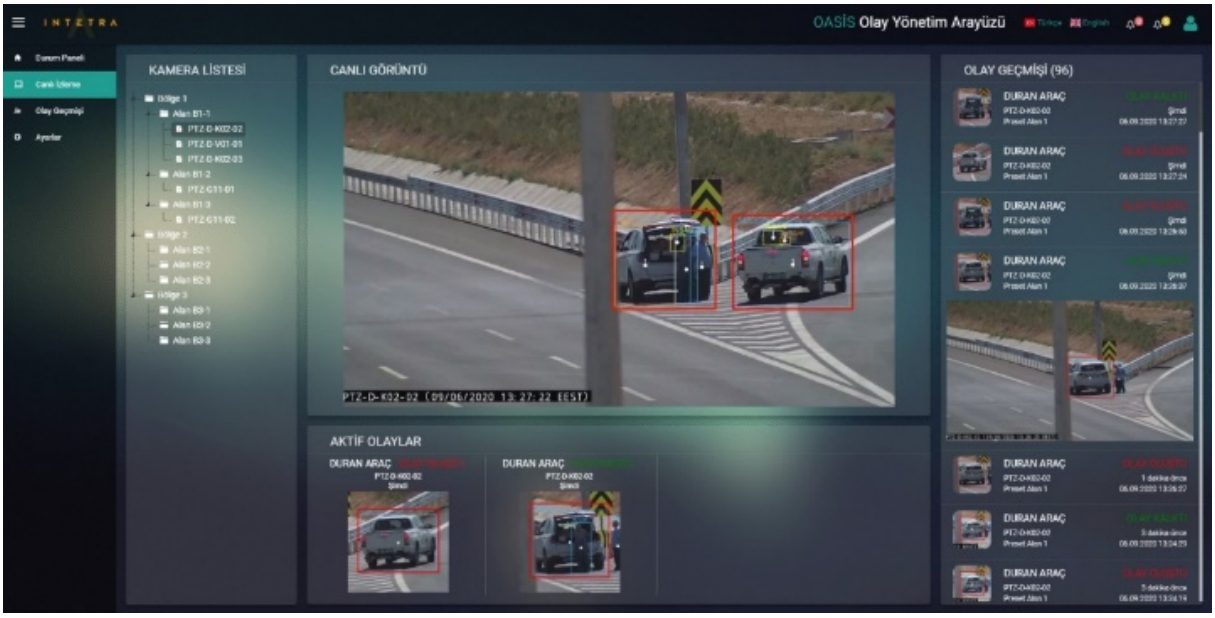
3. Akıllı Olay Algılama Sistemi

Otoyollarda kullanılan olay algılama sistemlerinde görüntü işleme teknikleri ve derin öğrenme sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan teknik itibariyle her iki yöntemin de avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Geleneksel olarak kullanılan yöntem görüntü işlemedir. Çalışma prensibi olarak bir önceki frame ile güncel frame karşılaştırılarak çalışan bu yapıda, görüntüde algılanmak istenen olay dışındaki objelerin statik olması gerekmektedir. Bu sebeple tünel içi veya diğer kapalı alanlarda başarı sağlanırken açık alanda verimli değildir. Derin öğrenmede ise görüntüde var olan objeler çeşitli filtreler yardımıyla yazılım ile tespit edilmektedir. Derin öğrenmede olay tespitinin başarısı kullanılan yazılımsal filtreler, sistemin eğitimi ve kullanılan donanımın işlem kapasitesi ile doğru orantılıdır. Doğru donanım ve yazılım filtreleri ile %99'a yakın başarı elde edilebilmektedir. Akıllı olay algılama sistemi birçok yazılım ve donanım modülünden oluşmaktadır. Bu sistemler birbiriyle etkileşim yaparak olay tespitini sağlamaktadır. Sistem kendi içinde web sunucular, database sunucu ve GPU sunuculardan oluşurken, harici SCADA sistemleri ile takip edilebilmektedir. Bunun yanında kamera sistemleri olay algılama sisteminden bağımsız olarak görüntü kayıtlarını kamera kayıt sistemleri üzerinde ayrıca yedeklemektedir.



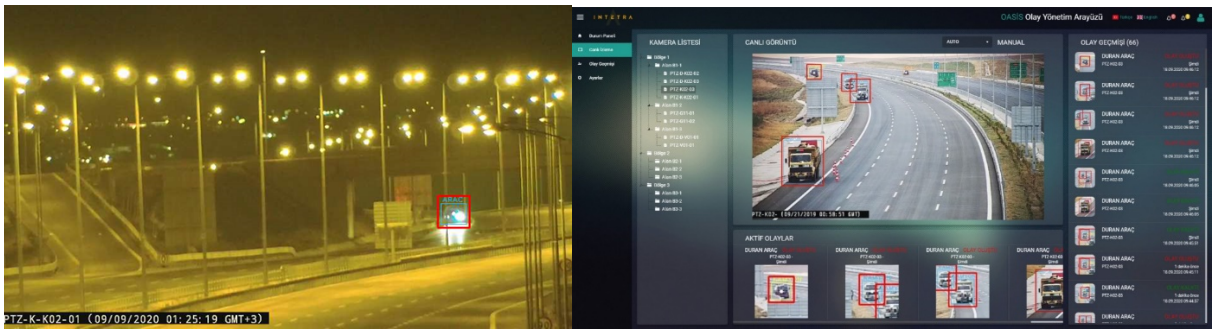
Şekil 1. Akıllı Olay Algılama Sistemi Yapısı

Ankara-Niğde otoyolunda sahada bulunan 188 adet hareketli (PTZ) kamerayla akıllı olay algılama gerçekleştirilmektedir. Her kamera için zone'lar belirlenerek, 360 derece dönebilen kamera, zone'lara yaklaşarak görüntü almaktadır. Olay tespiti için belirlenen zone'lara kamera 5 ila 10 saniye odaklanarak, tarama gerçekleştirmektedir. Sırayla bütün zone'lara odaklanarak gerçekleşen olaylar bir kontekst haline getirilerek bir sonraki zone'a geçiş yapılmaktadır. Bütün zone'lar tamamlandıktan sonra ilk zone'a dönüş yapılarak, son kontekst yüklenerek ilgili zone'da gerçekleşen olay veya değişiklik olup olmadığı denetlenmektedir.



Şekil 2. Akıllı Olay Algılama Sistemi Ekran Görüntüsü

Ankara-Niğde otoyolunda kullanılan sistemde tanımlama araç, yaya ve hayvan tabanlı olduğundan, görüntüdeki değişiklikler, gölgeler, direkler, ışık değişiklikleri, hava değişiklerinin etkisi yok denecek düzeydedir. Ayrıca gece veya gündüz sürekli algılama devam etmektedir. Öte yanda birden fazla olay eş zamanlı algılanabilmektedir.



Şekil 3. Gece Algılama ve Çoklu Algılama Ekran Görüntüsü

4. Tartışma ve Sonuç

Trafik tahmin sisteminin verimliliği, tahmin sonucunun doğruluğu ile ölçülür (Ramchandra vd., 2021). Anlaşılan o ki görüntüleme teknolojilerine dayalı olay tespiti geçtiğimiz yıllarda ilgi alanı iken, önümüzdeki yıllarda da AUS alanında araştırma alanı olacaktır. Bu çalışmada derin öğrenme mekanizmasına sahip olay algılama sistemi anlatılmıştır. Ankara-Niğde otoyolunda kullanılan olay algılama sistemi, yapay zekâ ve sistemin kendini öğrenme mekanizmasına sahiptir. Bu sistem sayesinde herhangi çevresel faktörlerden etkilenmeden %99 başarı oranına ulaşmak mümkün olacağı anlaşılmaktadır. Bu araştırma, ilk defa Türkiye'de uygulanan sistemin çalışma prensibi ve sağladığı avantajları açıkladığı sebebiyle, gelecekteki trafik olaylarıyla ilgili sorunları ortaya koyulmasında ve beraberinde trafik güvenliğinin artmasında ışık tutarak gelecek araştırmaları için fırsat olacağı inancındayız. Ana güzergahı 277 Km olan Ankara-Niğde otoyolu, 360 derece dönebilen, toplam 188 kamera ile taranıp sürekli merkeze bilgi iletmektedir. Kameralar sadece ana güzergahla sınırlı olmayıp, görüş alanına ve belirtilen zone'lar içinde herhangi bir olayı da algılayabilmektedir. Bu doğrultuda otoyol ağı üzerinde herhangi bir olay durumunda hızlı müdahale mümkün olmuştur. Sonuç olarak, doğru, hızlı, akıllı müdahale ve otoyolların sürekli olarak otomatik denetimi her zaman etkili olup, trafik güvenliğini artırabilmektedir.

5. Kaynaklar

Baiocchi, A. Cuomo, F. Felice, M. Fusco, G., (2015). Vehicular Ad-Hoc Networks sampling protocols for traffic monitoring and incident detection in Intelligent Transportation Systems, Transportation Research, Part C., 56, s. 177- 194.

Barria, J. A. Thajchayapong, S., (2011). Detection and classification of traffic anomalies using microscopic traffic variables, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 12, no. 3, s. 695–704.

Chen, S. Pan, Y., (2021). Traffic Incident Detection, International Encyclopedia of Transportation, s. 128–133.

Çireşan, D. Meier, U. Schmidhuber, J., (2012). Multi-column deep neural networks for image classification, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, s. 3642–3649.

Deng, L. Yu, D., (2014). Deep Learning: Methods and Applications, Foundations and Trends in Signal Processing. 7 (3–4), s. 1–199.

Emniyet Genel Müdürlüğü (EGM), Trafik Başkanlığı, (2021). Erişim tarihi: 29.08.2021, http://trafik.gov.tr/istatistikler37

Girshick, R. Radosavovic, I. Gkioxari, G. Dollar, P. ve He, K., (2018). Detectron, https://github.com/facebookresearch/Detectron/

Gu, Y. Qian, Z. ve Chen, F., (2016). From Twitter to detector: Real-time traffic incident detection using social media data, Transp. Res. Part C Emerg. Technol., vol. 67, pp. 321–342.

He, K. Gkioxari, G. Dollar, P. ve Girshick, R., (2018). Mask RCNN, IEEE TPAMI. doi:10.1109/TPAMI.2018.2844175.

He, K. Zhang, X. Ren, S. ve Sun, J., (2015). Deep Residual Learning for Image Recognition, arXiv:1512.03385[cs.CV].

Lu, C. Tang, X., (2015). Surpassing Human-Level Face Verification Performance on LFW with GaussianFace, in Proceedings of the 29th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI), s. 3811–3819.

Ramchandra, N. R. Rajabhushanam, C., (2021). Machine learning algorithms performance evaluation in traffic flow prediction, Materials Today: Proceedings.

Rossi, R. Gastaldi, M. Gecchele, G. Ve Barbaro, V., (2015). Fuzzy logic-based incident detection system using loop detectors data, Transp. Res. Procedia, vol. 10, s. 266–275.

Srinivasan, D. Cheu, R. L. Poh, Y. P ve Chwee Ng, A. K., (2000). Development of an Intelligent Technique for Traffic Network Incident Detection, Engineering Applications of Artificial Intelligence 13, s. 311–322.

Yang, Z. Pun-Cheng, L., (2018). Vehicle detection in intelligent transportation systems and its applications under varying environments: A review, Image and Vision Computing, 69, 143-154.

Zhang, Y. Huang, G., (2018). Traffic flow prediction model based on deep belief network and genetic algorithm, IET Intel. Transport Syst. 12 (6), s. 533–541.

Zhu, L. Gou, F. Krishnan, R. ve Polak, J. W., (2018). A Deep Learning Approach for Traffic Incident Detection in Urban Networks, 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), s. 1011–1016.

Akıllı Ulaşım Sistemleri İçin Kısa Vadeli Trafik Akış Tahmini için Ağırlıklı Hareketli-Ortalama Tabanlı Yaklaşımların Performans Analizi

Halil İbrahim Kazıcı[1*], Necla Tektaş[2], Selahattin Kosunalp[3], Muhammet Arucu[3]

[1]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Bölümü, Bandırma, Türkiye

[2]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü,Bandırma, Türkiye

[3]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Gönen Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü,Bandırma, Türkiye

*halilibrahimkazici@gmail.com

0000-0001-7544-3656, 0000-0002-8190-4532, 0000-0003-2899-4679, 0000-0001-7620-9044

Özet

Akıllı ulaşım sistemlerinde (AUS) trafik yol kontrol uygulamalarının verimliliğini artırmak önemli bir çalışma alanıdır. Trafik yol uygulamalarının verimliliğini artırmanın bir yolu, doğru kısa-vadeli trafik akışı tahmini geliştirmektir. Ancak, trafik akışın zamanla-değişen belirsiz yapısından ötürü bu tarz tahmin algoritmalarının geliştirilmesi zorlu bir konudur. Bu çalışmada, ağırlıklı hareketli-ortalama tabanlı yaklaşımların kısa-dönemli trafik akış tahmininde performanslarının karşılaştırılması sunulmaktadır. Bu yaklaşımların performanslarını gerçekçi bir şekilde karşılaştırmak, gerçek bir veri seti sunan Caltrans Performance Measurement System (PEMS) sistemi kullanılmaktadır. Kullanılan veri seti 1 yıllık trafik verilerini kapsamaktadır.

Anahtar kelimeler: Kısa-dönemli tahmin; akıllı ulaşım; akıllı şehir.

Performance Analysis of Weighted Moving-Average Based Approaches for Short-Term Traffic Flow Prediction for Intelligent Transportation Systems

Abstract

Enhancing the efficiency of traffic road applications in intelligent transportation systemsis a significant research subject. One way to increase efficiency of traffic road applicationsis to develop accurate short-term traffic flow prediction algorithms. However, due to stochastic time-varying nature of traffic flow, developing such prediction algorithms is a challenging issue. In this study, a performance evaluation of weighted moving-average based prediction approaches for short-term traffic forecasting is presented. To compare the performances of the approaches realistically, we use a publicly-available real-world dataset from Caltrans Performance Measurement System (PEMS). The dataset used contains 1-year traffic flow values.

Keywords: Short-Term prediction; intelligent transportation; smart city.

1. Giriş

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki son gelişmeler, örneğin algılayıcılar ve nesnelerin interneti, hayatın her alanında olduğu gibi akıllı şehir uygulamalarının geliştirilmesine de ciddi kolaylık ve esneklik getirmiştir (Kirimtat vd., 2020). Akıllı teknolojik gelişmelerin ışığında tipik bir şehri akıllı şehir olarak şekillendirmek günümüzde ciddi bir eğilim olmaktadır. Bunun neticesinde, akıllı kentlerin birçok alanında yaşam kalitesi geliştirilmektedir. Dolayısıyla, akıllı şehir kavramının gelişen teknolojiler ile bütünleşmesi sonucunda ortaya çok geniş bir yelpazede uygulama sahaları açılmıştır. Kısıtlı-kaynaklara sahip şehirlerin sürekli artan nüfusları ve buna bağlı olarak artan araçsayısı, akıllı ulaşım sistemlerinin (AUS) geliştirilmesini zorunlu kılmıştır (Menouar vd., 2020). Özellikle trafik yoğunluğunun yönetimi AUS için kaçınılmaz bir alan olmuştur. Trafik sıkışıklığının azaltılması neticesinde daha düşük hava kirliliği ve daha güvenli seyahat koşulları sağlanacaktır.

Trafik akış tahmini son yıllarda popüler olan bir araştırma konusu olmuştur. Olası trafik yoğunluğunun önceden tahmin edilmesi bu yoğunluğun azaltılması için erkenden önlem alınması veya gerekli bazı kuralların alınmasına olanak sağlayacaktır (Wu vd., 2020). Literatür' deki çalışmalar, trafik yoğunluğu tahminin en az hata ile yapılması için kısa-dönemli tahminlerin daha verimli olduğunu ortaya koymuştur (Dogan, 2020). Bunun için geçmiş de elde edilmiş trafik akış deneyimlerinin kullanılmasıyla gelecekteki olası trafik akışının tahmini amaçlanmaktadır. Ancak trafik akışı kontrol edilebilen bir yapıya sahip olmadığından ve birçok dış faktöre bağlı olduğundan bu tahminlerin yapılması oldukça güç bir süreçtir. Ancak, trafik akışı gözlemlendiğinde belli bir periyodik davranışı takip ettiği görülmektedir. Bu yapı daha çok günlük veya sezonluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin sezonluk bir davranışta, belli bir gün içerisindeki trafik akışı öncekiveya sonraki günlerde benzer şekilde devam ettiği gözlemlenmiştir. Özellikle sensör teknolojilerindeki gelişmeler trafik akışının gerçek zamanlı algılanması ve işlenmesine olanak tanıdığından, tahmin yapılan gün içerisinde hızlı ve etkin tahminlerin yapılmasınıbüyük bir esneklik getirmiştir.

Yapılan çalışmalar belli bir günü eşit-uzunluklu zaman dilimlerine ayırarak her bir zaman diliminde ayrık tahminlere odaklanmıştır (Tian vd., 2018). Örneğin tipik bir gün, her bir zaman diliminin 30 dakika sürdüğü 48 adet dilimle temsil edilir. Bir gün içerisindeki toplam dilim sayısı için geçerli bir kural olmadığından, AUS için önerilen kısa-dönemli tahmin yöntemleri daha çok 15 dakika uzunluklu dilimleri kullanmışlardır. Genel olarak, ağırlıklı hareketli-ortalama (AHO) yaklaşımları bilimin birçok alanında tahmin amaçlı kullanılmışlardır. Bu yaklaşımların avantajlı tarafı yukarıda bahsedilen dilim-tabanlı tahminlere uyumlu olması ve basit yapıları sebebiyle pratikte kolay uygulanabilirliğidir. Bu uyum ve sadelik bu çalışmanın ana motivasyon kaynağıdır. AHO yaklaşımları özellikleelde edilen en güncel deneyimlere daha yüksek ağırlık verirken, geçmişte kalan deneyimlere daha düşük ağırlık tahsis etmektedir (Kosunalp, 2016). Dolayısıyla, tahmin yapılırken kullanılacak yeni ve eski bütün verilere atanacak ağırlık katsayılarının tespiti özellikle AUS gibi dinamik uygulamalarda kritik bir konudur. Örneğin kaza sebepli beklenmedik bir trafik sıkışıklığının anlık olarak tespiti ve tahminlere yansıtılması, ağırlıklandırma için dinamik bir mekanizmaya ihtiyaç duyulacağını ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, AHO tabanlı önerilmiş bazı popüler metotların performansların AUS için incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için, Caltrans Performance Measurement System (PEMS) sisteminden 1-yıllık gerçek-zamanlı trafik akış verileri kullanılmıştır (PeMS, n.d.).

İlerleyen bölümlerde çalışmada kullanılan AHO tabanlı çalışmalar ve performans sonuçları hakkında detaylar sunulacaktır.

2. AHO-Tabanlı Tahmin Algoritmaları

Bu bölümde literatür' de önerilmiş AHO-tabanlı 3 popüler tahmin algoritmasının çalışma prensipleri anlatılacaktır. Bu algoritmalar dilim-tabanlı olup günlük döngüden faydalanırlar. Dilimleme mekanizması ile geçmiş günlerde oluşan trafik akış değerleri kolayca kaydedilip, dilim-bazlı tahminlerin yapılması ana motivasyon kaynağı olmuştur.

Üstel ağırlıklı hareketli-ortalama (exponentially weighted moving-average (EWMA)) AHO-tabanlı önerilmiş muhtemelen en yaygın bilinen yaklaşımlardan birisidir (Kansal vd., 2007). EWMA mevcut gündeki belli dilimlerde gözlemlenen trafik akış değerlerinin önceki günlerdeki aynı dilimlerde benzer olduğunu varsayar. EWMA bu özelliği ile dönemlik değişimlere karşı hızlı adapte olurken, günlük veya haftalık değişimlere daha yavaş oranda yanıt verir. Sonuç olarak, dilimlerde tahmin yapılırken EWMA tahminyapılan dilimde hem bir önceki günde gözlemlenen değer ile tahmin yapılan önceki bütün günlerde oluşan değerin ağırlıklı ortalamasını göz önüne alır. En önemli amaçlardan birisiçok geçmişte kalan değerlerin etkisini azaltarak güncel değerlere daha çok ağırlık vermektir. Bu yöntem matematiksel olarak aşağıdaki gibi modellenmiştir.

$$T(g, d) = \alpha T(g\text{-}1, d) + (1\text{-}\alpha)G(g\text{-}1, d) \quad (1)$$

Burada tahmin yapılan günü g ve dilimi d temsil etmektedir. Ayrıca ağırlık katsayı ise α ile gösterilmiştir. T ise d diliminde oluşan tarihsel ortalamayı ve G ise aynı dilimde bir önceki günde gözlemlenen değeri göstermektedir. EWMA yaklaşımındaki en önemli parametre seçimi muhtemelen ağırlık katsayısının, α, belirlenmesidir. Bu değerin 0.5 olduğu durumda en ideal sonuçların alınacağı belirtilmiştir. Ancak EWMA' nın kullanılacağı sistemlerin gereksinimleri ve dinamiklerine bağlı olarak dikkatli bir şekilde seçilmesi öneçıkmaktadır.

Yukarıdaki formülden de anlaşılacağı üzere EWMA tahmin yapılan gün içerisindeki değişimleri göz önüne almamaktadır. Bu durumda, kısa-dönemli beklenmeyen ani değişimlerde EWMA kabul edilemeyen bir hata değeri ile tahmin yapabilmektedir. Bu sorunu iyileştirmek için, hava-koşullu hareketli ortalama (weather-conditioned moving average (WCMA)) EWMA yapısını kullanarak önerilmiştir (Piorno vd., 2009). WCMA tahmin yapılan gün içerisindeki değişimleri hesaplamaya katmayı amaçlamıştır. Herhangi bir dilimde tahmin yapılırken, WCMA bu dilimden önceki belli sayıdaki dilimde oluşan değişimleri bu dilimlerin yakın geçmişteki günlerdeki değerleriyle ilişkilendirir. Ayrıca, EWMA' nın aksine WCMA tahmin yapılan dilimin bir önceki gündeki değerini kullanmak yerine mevcut günde bir önceki dilimde oluşan değeri kullanır. Bunlara ek olarak, tahmin yapılan dilimde önceki günlerde oluşan değerlerin aritmetik ortalaması da kullanılır. WCMA' in matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$T(g, d) = \alpha A(g, d\text{-}1) + (1\text{-}\alpha)\, O(g, d)\, GAP \quad (2)$$

EWMA gibi tahmin yapılan günü g ve dilimi d temsil etmektedir. A ise tahmin yapılan dilimden önceki dilimde gözlemlenen değeri temsil eder. Belli bir dilim için önceki günlerde oluşan ortalama değer ise O ile gösterilmiştir. GAP ise mevcut günde oluşan değişimleri gösteren parametredir. Ağırlık katsayısı ise 0.7 olarak belirlenmiştir.

WCMA' in performansını daha fazla iyileştirmek için evrensel dinamik hava-koşullu hareketli ortalama (universal dynamic weather-conditioned moving average (UD-

WCMA)) önerilmiştir (Dehwah vd., 2017). UD-WCMA sabit bir ağırlık katsayısı kullanmak yerine geçmiş günlerdeki değerlerin değişimine bağlı olarak dinamik olarak zamanla-değeri değişen bir ağırlık katsayısı mekanizması önermiştir. Ayrıca, WCMA' in aksine, UD-WCMA tahmin yapılan dilimden bir önceki dilimdeki değere ek olarak geçmiş günlerdekien benzer güne ait değeri de kullanmıştır. Sonuç olarak ortaya çıkan tahmin modeli aşağıda sunulmuştur.

$$T(g, d) = \alpha[\alpha_1 A(g, d\text{-}1) + (1\text{-}\alpha_1)\, B(g,d)] + (1\text{-}\alpha)\, O(g, d)\, GAP \quad (3)$$

3. Performans Karşılaştırması

Bu bölümde önceki bölümde tanıtılan tahmin algoritmaları için bir performans karşılaştırması sunulacaktır. Bu karşılaştırmanın gerçekçi yapılması için trafik akış tahmin çalışmalarında sıklıkça kullanılan açık-erişimli Caltrans Performance Measurement System (PeMS) sisteminden 1 yıllık veri seti alınmıştır. Böylece elde edilecek bütün hata değerleri olası bütün sezonları kapsayacaktır. Performans kriteri içinortalama mutlak hata (mean absolute error (MAE)) aşağıda gösterildiği gibi kullanılmıştır.

$$MAE = \frac{1}{T_d} \sum_{e_d} \left| \frac{e_d - \bar{e}_d}{} \right| \quad (4)$$

Burada, T_d toplam dilim sayısını, d hangi dilimde tahmin yapıldığını, e_d ise d dilimi için gözlemlenen trafik akış değerini ve $\bar{e}_d$ d diliminde yapılan tahmin değerini temsil etmektedir. Bir dilim süresi 15 dakika olarak alınmış olup buna bağlı olarak toplam dilim sayısı günlük 96 ve 1 yıllık 35.040 olmuştur. Tablo 1 farklı ağırlık katsayıları için elde edilen hata oranını göstermektedir. EWMA ve WCMA birbirine çok daha benzer bir mekanizma içerdiklerinden hata oranlarının eğilimi de benzer çıkmıştır. Ağırlık katsayısıartırıldıkça oluşan hata oranı da az seviye de düşme eğilimindedir. UD-WCMA kendi dinamik yapısı sebebiyle ağırlık katsayısını sürekli güncellediğinden performansının ağırlık katsayısı ile ilişkilendirilmesi mümkün değildir ve bu yüzden tek bir hata oranı tabloya yazılmıştır. WCMA günlük değişimleri kullandığından EWMA' dan neredeyse 2 katdaha iyi tahminler yapmıştır. Ağırlık katsayısının 0.7 olduğu durumunda, WCMA ve EWMA sırasıyla 0.1183 ve 0.2537 seviyelerinde en iyi tahminleri yapmışlardır. UD-WCMAise WCMA' den biraz daha iyi sonuç vermiştir. Ancak UD-WCMA yaklaşımının WCMA' ye göre daha karmaşık olduğu, çünkü ağırlık katsayısı zamanla sürekli değiştiriliyor, unutulmamalıdır. EWMA ise AUS gibi hızlı değişim gösteren sistemler için uygun olmadığısonucuna ulaşılmıştır. Ancak EWMA' nın gayet basit ve pratik olarak kolay uygulanabilir olduğunu göz ardı etmemek gerekir.

Tablo 1. Farklı ağırlık katsayıları için tahmin hata oranları

$\alpha = 0.3$		$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.7$
EWMA	0.2775	0.2645	0.2537
WCMA	0.1256	0.1191	0.1183
UD-WCMA	0.1092	0.1092	0.1092

4. Sonuç

Bu çalışmada AUS için önemli bir çalışma konusu olan trafik akış tahmini için ağırlıklı hareketli-ortalama tabanlı yaklaşımların performansları incelenmiştir. Bu yaklaşımların geçmişteki deneyimleri kullanarak tahmin yapması hata oranlarını ciddi seviyelerde düşürmelerine olanak tanımıştır. Yapılan performans karşılaştırması AUS tarzı dinamik yapıya sahip sistemler için günlük ve orta-vadeli ani değişimlerin göz ardı edilmediği tahmin yaklaşımlarının daha uygun olduğunu ortaya koymuştur. Ancak düşük hata ile tahmin yaparken tahmin algoritmalarının karmaşıklığı ve buna bağlı olarak pratikte uygulanabilirliğinin dikkatli olarak çalışılması gerekir. AUS için tahmin algoritmalarının sinyalize kavşaklar gibi alanlara entegre edilip trafik ışık faz ve sürelerinin optimize edilmesinde kullanılması gelecekte öne çıkabilecek bir husustur.

5. Kaynaklar

Kirimtat, A. Krejcar, O. Kertesz, A. Tasgetiren M.F., (2020). Future Trends and Current State of Smart City Concepts: A Survey, IEEE Access, 8, 86448-86467.

Menouar, H. Guvenc, I. Akkaya, K. Uluagac, A.S. Kadri, A. Tuncer, A., (2017). UAV-Enabled Intelligent Transportation Systems for the Smart City: Applications and Challenges, IEEE Communications Magazine, 55(3), 22-28.

Wu, Y. Tan, H. Qin, L. Ran, B. Jiang, Z., (2018). A Hybrid Deep Learning Based Traffic Flow Prediction Method and Its Understanding, Transportation Research Part C, 90, 166-180.

Dogan, E. (2020). Analysis of the Relationship Between LSTM Network Traffic Flow Prediction Performance and Statistical Characteristics of Standard and Nonstandard Data,

Journal of Forecasting, 39(8), 1213-1228.

Tian, Y. Zhang, K. Li, J. Lin, X. Yang, B. (2018). LSTM-Based Traffic Flow Prediction with Missing Data, Neurocomputing, 318, 297-3205.

Kosunalp, S. (2016). A New Energy Prediction Algorithm for energy-Harvesting Wireless Sensor Networks with Q-Learning, IEEE Access, 4, 5755-5763.

PeMS. (n.d.). Caltrans Performance Measurement System. Retrieved from http://pems.dot.ca.gov/

Kansal, A. Hsu, J. Zahedi, S. Srivastava, M.B. (2007). Power Management in Energy Harvesting Sensor Networks, ACM Transactions on Embedded Computing Systems, 6(4), Article 32.

Piorno, J.R. Bergonzini, C. Atienza, D. Rosing, T.S. (2009). Prediction and Management in Energy Harvested Wireless Sensor Nodes. in Proc. IEEE Wireless VITAE, s. 6-10.

Dehwah, A.H. Elmetennani, S. Claudel, C. (2017). UD-WCMA: An energy estimation and forecast scheme for solar powered wireless sensor networks. Journal of Network and Computer Applications, 90, 17-25.

Elektrikli Araçlarda Enerji Yönetimleri ve Akıllı Rezervasyon Sistemleri

Tayfur Gökçek[1], Sıtkı Güner[2], Jale Sadreddini[3], Ozan Erdinç[1]

[1]Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği,İstanbul, Türkiye

[2]Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Eskişehir, Türkiye

*sguner@eskisehir.edu.tr

[3]Carleton Üniversitesi, Mühendislik fakültesi, Sistem ve Bilgisayar Mühendisliği Ottawa, Kanada

0000-0003-1941-6914, 0000-0003-1085-0474, 0000-0001-9423-2731, 0000-0003-0635-9033

Özet

Son yılların popüler konularından biri olan elektrikli araçların (EA) gelişimi, fosil yakıtlara olan bağımlılığın ve karbon ayak izi oranının azaltılması için günden güneartmaktadır. Akıllı şebeke yapısı sayesinde verimlerinin de artırılması planlanan EA'lar, araçtan şebekeye (Vehicle-to-Grid, V2G), araçtan eve (Vehicle-to-Home, V2H), araçtan binaya (Vehicle-to-Building, V2B) ve araçtan araca (Vehicle-to-Vehicle, V2V) gibi bağlantı yaklaşımları ile enerji piyasasına katılabilmekte ve hem son tüketicilere hem de güç sistemine katkı vermektedirler. Bağlantı yaklaşımlarının temel yapıtaşlarından birisi olan şarj yönetim algoritmaları ile bu durumlar gerçekleştirilmekte ve EA'ların şarj deşarj işlemleri en optimum şekilde planlanarak teknik ve ekonomik faydalar elde edilebilmektedir. Sunulan inceleme çalışmasında EA'ların yapılarının, teknik yaklaşımlarının ve enerji yönetimlerinin kavranmasına katkı sağlamak amacıyla akıllı şarj yönetim algoritmaları analiz edilerek karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Elektrikli araç; Akıllı rezervasyon sistemi; Enerji yönetimi.

Energy Management Systems of Electric Vehicles and Smart Reservation Systems

Abstract

The development of electric vehicles (EV), one of the popular issues of recent years, is increasing day by day in an attempt to reduce the carbon footprint and the dependence on fossil fuels. EVs which are planned to increase their efficiency thanks to the smart network structure can be participated in the energy market along with connection approaches such as vehicle-to-grid (V2G), vehicle to-home (V2H) and vehicle-to-vehicle (V2V) and also contribute to both end users and the power system. These situations are realized with charging management algorithms, which is one of the fundamentals of connection approaches, and technical and economic benefits can be obtained by planningthe charging discharging processes of EAs to be the most optimum. In the presented review study, smart charging management algorithms were analyzed and compared in order to contribute to the understanding of the structures, technical approaches and energy management of EAs.

Keywords: Electric vehicle; Smart reservation system; Energy management.

1. Giriş

Fosil kaynakları kullanan araçlar sebebiyle artış gösteren karbon etkisi ve iklim değişiklikleri, tüm dünyada endişe duyulan bir durum haline gelerek sürdürülebilir ve temiz bir çevre için elektrikli araç (EA) teknolojisini ortaya çıkarmıştır (Habib ve ark., 2018). Elektrikli araçlar bu bağlamda, hem petrol tüketimi ve hava kirliliği sorunlarının yaşandığı ulaşım sektöründe hem de giderek genişleyen enerji sektöründe önemli bir rol oynamaktadır (Das ve ark., 2019). Her birinin farklı avantajlara sahip olduğu araç türleri; içten yanmalı motora sahip klasik araçlar, hibrit araçlar ve elektrikli araçlar olmak üzere üçe ayrılmaktadırlar (Jiang ve ark., 2017). Geçmiş birkaç yılda klasik araçlara göre daha verimli olan hibrit elektrikli araçların (HEA) geliştirilmesiyle çevresel sorunlar kısmen azaltılsa da tam elektrikli araçlara duyulan ihtiyaç devam etmektedir (Li ve ark., 2019). Fakat yüksek batarya maliyetleri, şarj yönetim yapılarındaki yetersizlikler ve şebekeye entegrasyonundaki zorlukları sebebiyle elektrikli araçların teknolojik ilerleme hızı yavaşlamaktadır (Khalid ve ark., 2019). Sahip oldukları avantajlar ve giderilmesi gereken zorlukları doğrultusunda birçok ülke EA yatırımlarının desteği konusunda da çeşitli politikalar yürütmektedir (Feng ve ark., 2019).

Klasik araçların yukarıda belirtilen çevreye karşı olumsuz etkileri, tüketim tarafında çözüm gösterilen EA'ların yanında üretim kaynaklarında da çözüm ihtiyaçları doğurmuştur. Bunun sonucunda da güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarınaolan yönelim artmıştır (Blaabjerg ve ark., 2017). Dağıtık güç (DG) olarak da adlandırılan bu enerji kaynakları, dağıtım hattına direkt olarak bağlanılabilmekte ya da tüketici tarafında işletilebilmektedir (Ackermann ve ark., 2000). Hava koşullarına bağlı olarak belirsiz ve kesintili üretimi ile yüksek kapasiteli olan birimlerinin işletimindeki zorluklar DG'lerin olumsuz yönleri arasında sayılmasına rağmen batarya sistemleri sayesinde çıkış güçlerindeki bu dalgalanmanın önüne geçilmektedir (Huda ve Živanović, 2017; Eftekharnejad ve ark., 2013; Badawy ve Sozer, 2016). DG'lerin sağladıkları avantajlar açısından özellikle de fotovoltaik (FV) sistemlerin oranlarının artarak EA şarj istasyonlarına entegre olması ile birlikte aynı anda istasyona bağlanan fazla sayıdaki EA'ların sebep oldukları şebeke üzerindeki stres azaltılabilmektedir (Gupta ve ark., 2019; Jiang ve Zhen, 2019). DG-EA entegreleri bağlamında yapılan çalışmalar arasında, (Singh ve ark., 2020) şarj istasyonuna entegre FV, batarya depolama ve dizel generatörden oluşan bir sistemin; ada modunda, şebekeye bağlı çalışma modunda ve dizel generatöre bağlı çalışma modundaki etkilerini incelemişlerdir. (Jia ve ark., 2019) yaptıkları çalışmadafarklı bölgelere entegre edilmiş rüzgâr enerjisi ile EA güç talebi arasındaki koordinasyonuincelemişlerdir. (Wu ve ark., 2019) ise ticari binalarda bulunan EA'lar için önerdikleri enerji yönetim sisteminde FV üretimindeki belirsizliklerin de önüne geçmeyi hedeflemişlerdir. FV ve batarya sistemleri sayesinde şebeke sistemi üzerindeki bozucu etkilerin minimize edilmesinin yansıra EA'ların normal yüklenmedeki talepleri karşılanarak enerji maliyeti düşürülmektedir (Chaudhari ve ark., 2017). EA'lar, PV üretimi altında ayrı bir depolama sistemi olarak da davrandığından verimliliği artırmaktave enerji yönetimi algoritmaları sayesinde ayrıca bir maliyet faydasısağlayabilmektedirler (Kikusato ve ark., 2018).

Çalışmanın devamındaki kısımlardan 2. bölümde elektrikli araçların optimum şekilde işletilmesini sağlayan enerji yönetim sistemleri hakkında bilgi verilmiş olup 3. bölümde bu sistemlerin yer aldığı literatür çalışmaları aktarılmıştır. 4. bölümde akıllı rezervasyon sistemlerine değinilmiştir. Son olarak da 5. bölümde yapılan çalışmanın sonuçları paylaşılmıştır.

2. Enerji yönetim sistemleri

Enerji yönetimi, güç sistemlerinde olduğu gibi EA'larda da çok önemli bir role sahiptir. Uygulanan algoritmalar sayesinde aracın verimli bir şekilde çalışması ve ömrünün uzun tutulması sağlanmaktadır. Bu bölümde EA'ların şarj yönetimleri için uygulanmakta olan enerji yönetim tekniklerinden bahsedilecektir.

HEA'lar için önerilen birçok algoritma tam EA'lar için de uygulanmaktadır. Bu enerji yönetim sistemleri kural tabanlı (Rule-based) ve optimizasyon tabanlı stratejiler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar (Li ve ark., 2019). Kural tabanlı stratejiler, deterministtik ve bulanık kural tabanlı olmak üzere ikiye ayrılırken, optimizasyon tabanlı stratejiler küresel ve gerçek zamanlı olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Kural tabanlı stratejiler; mühendislik bilgisine, sezgisel yaklaşımlara ve matematiksel modellemelere dayalı bir yaklaşım olup deterministtik bazlı olanları termostat kontrolü, güç takibi ve değiştirilmiş güç takibi ile durum makinesi tabanlı stratejiler olarak sınıflandırılırken bulanık mantığa dayalı olanları ise; geleneksel, adaptif ve tahmine dayalı olarak sınıflandırılmaktadır (Tie ve Tan,2013). Termostat kontrolü stratejisi, bataryaların enerji doluluğuna (State of Charge, SoC) dayanan bir modeldir. Bataryanın karakteristiği ve belirlenen alt/üst enerji sınırlarına göre sistemle olan bağlantıyı açıp kapamaktadır (Kim ve ark., 2014). Karmaşık ve belirsiz modellerin enerji yönetimlerinde kullanılan bulanık kural tabanlı stratejiler ise, HEA'larda motorun yüksek verimlilikte çalışmasını ve karbon emisyonunun düşük seviyede tutulmasını sağlamaktadır (Li ve ark., 2011).

Optimizasyon bazlı enerji yönetimlerinde, kural tabanlılardan ayrı olarak belirli referans değerlere göre minimize ya da maksimize edilecek olan amaç fonksiyonları mevcuttur (Live ark., 2019). Küresel optimizasyon modellerine örnek olarak lineer programlama (Linear Programming, LP), genetik algoritma (Genetic Algorithm), dinamik programlama(Dynamic Programming, DP), stokastik dinamik programlama (Stochastic Dynamic Programming, SDP), parçacık sürüsü optimizasyonu (Particle Swarm Optimisation, PSO)ve oyun teorisi (Game Theory) vb. örnekleri verilebilir. Geçmiş güç profillerine ve bu güç profilleri ile tahmin algoritmaları vasıtasıyla oluşturulan gelecek senaryolarına dayanan bu optimizasyon modelinde genel olarak amaç fonksiyonu maliyetin minimize edilmesi şeklindedir (Tie ve Tan, 2013). Gerçek zamanlı enerji optimizasyonları ise, küresel tabanlı optimizasyonlarda kullanılan gelecek senaryolarına ihtiyaç duymadan bu gereksinimi ortadan kaldıran bir yöntemdir (Enang ve Bannister, 2017). Geçmiş bilgiler ile oluşturulmuş olan maliyet fonksiyonu anlık veriler vasıtasıyla optimize edilmeye çalışılmaktadır (Wirasingha ve Emadi, 2011). Eşdeğer yakıt tüketimi minimizasyonu (Equivalent fuel consumption minimization, ECMS), ayrışma kontrolü (Decoupling control), sağlam kontrol yaklaşımı (Robust control approach) ve optimum model tahmin kontrolü (Model predictive control, MPC) alt kategorilerine örnek olarak verilebilmektedirler.

Konveks ve lineer olmayan konveks yapıdaki problemlerin lineerleştirilmesi için kullanılan lineer programlamalar, çok karmaşık yapıdaki lineer olmayan problemlerin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Bu zorluktaki dönüşümlerde genetik algoritma aktif olarak rol oynamaktadır (Bajaj ve Sangwan, 2019). Gerçek zamanlı yaklaşımlar ayrı bir kategori olmasına rağmen küresel optimizasyon kategorisi içinde bulunan stokastik dinamik programlama sayesinde belirsizlikler giderilebilmekte ve gerçek zamanlı modelleme de yapılabilmektedir (Fatouros ve ark., 2017). Parçacık sürüsü optimizasyonu, herhangi bir seçim işleminin olmadığı, sürü zekasına dayanan bir algoritma türüdür. Basit bir yapısı ve hızlı yakınsama gibi özelliklere sahip bu yapı,

tasarım optimizasyonu, planlama problemleri, sistem tanımı ile kontrolü ve makine öğrenmesi vb. birçok alanda uygulanmaktadır (Zhao ve Li, 2020). Bir sonraki bölümde literatürdeki, EA'ların DG birimleri ve depolama sistemlerini de içeren enerji yönetimi ve optimum şarj planı çalışmaları paylaşılmıştır.

3. Literatür incelemesi

EA'ların enerji yönetim algoritmalarını ve akıllı şarj planlamalarını konu alan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar şarj bölgeleri açısından evsel şarjı ya da EA şarj istasyonlarını, kullanılan enerji kaynağı açısından DG birimlerini ya da şebekeyi içerecek şekilde farklılık gösterebilmektedirler. (Ma ve Mohammed, 2014), FV üretimin entegre olduğu EA otopark bölgesinde optimum şarj planını incelemişlerdir. FV çıkış gücü ve EA talep gücünü stokastik yapıda modelleyerek enerji yönetimini bulanık tabanlı güç kontrolü yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. (Şengör ve ark., 2020), farklı bölgelerde bulunan EA otoparklarının gün öncesi planlamasına dayalı şarj işletimini incelemişlerdir. Çalışmalarında pik yük kısıtlamasına dayalı talep cevabı programı uygulayarak amaç fonksiyonu hat kayıplarını azaltmak olan bir karışık tamsayılı doğrusal programlama (Mixed Integer Linear Programming, MILP) modeli geliştirmişlerdir. (Yao ve ark., 2017) ise, talep cevabı programı uygulayarak gerçek zamanlı şarj planlama modeli önermişlerdir. Lineer programlama içeren modelde amaç fonksiyonu şarj planına katılan araç sayısını maksimize etmek ve araç sahiplerinin ödedikleri enerji maliyetini minimize etmektir. (Meer ve ark., 2018), işyeri binasına bağlı bir EA'nın optimum şarj planı için ARIMA (autoregressive integrated moving average) yöntemini kullanarak binaya entegre FV sistemin üretim tahminini yapmışlardır. FV üretim batarya depolama sistemi içeren bir EA şarj otoparkında maliyeti minimize etmeyi amaçlayan gerçek zamanlı bir optimizasyon modeli sunmuşlardır. Modelin hedeflerinden biri de FV sistemin öz tüketimini olabildiğinde artırmak olmuştur. (Clairand ve ark., 2018), araç sahiplerinin şarjda kalma süresi, istenen SoC seviyesi gibi tercihlerini ve dağıtım sistemi ile iletim sistemi operatörlerinin kısıtlarını dikkate alan bir yaklaşım önermişlerdir. Akıllı şarj yönetiminin uygulandığı senaryolarda 5%'den 50% değerlerine kadar tasarruf etmeyi başarmışlardır. (Moghaddam ve ark., 2018) farklı şarj opsiyonlarının bulunduğu otoparklarda, EA'lar için akıllı şarj stratejisi sunmuşlardır. Şarj süresi, seyahat süresi ve şarj maliyetinin optimizasyonunu amaçlayan model, karınca kolonisi algoritması formunda olan bir meta-sezgisel yaklaşım ile çözümlenmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, araç sahiplerinin bekleme süreleri ve şarj maliyetleri düşürülmüştür. (Liu ve ark., 2018), merkezi olmayan adaptif blok zinciri modeline dayanan bir şarj planlaması ile şebeke üzerindeki güç dalgalanmalarını ve araç sahiplerinin maliyetlerini düşürmeyi amaçlamışlardır. (Mehta ve ark., 2018), önerdikleri akıllı şarj yapısının mevcut dağıtım sistemine olan etkisini incelemişlerdir. Çalışmada hem günlük enerji maliyetinin hem de şebeke üzerindeki pik yüklenmenin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Şebekeden araca (Grid-to-Vehicle, G2V) ve V2G bağlantıları altında yavaş ve hızlı şarj yapıları da ayrıca incelenmiştir. (He ve ark., 2018), EA otopark bölgesinde V2G ve G2V bağlantısı ile optimum akıllı şarj planı sunmuşlardır. Otopark sahibinin gelirini maksimize eden amaç fonksiyonunda 300% değerinde bir artış gözlemlenirken, araç sahiplerinin enerji maliyetini minimize eden amaç fonksiyonunda ise 47% azalma elde etmişlerdir. (Mobarak ve Bauman, 2019), önerdikleri şarj stratejileri ile uzun ve kısa mesafe araç bataryalarının, dağıtım trafosunun ömrüne olan etkilerini incelemişlerdir. (Kisacikoglu veark., 2018) önerdikleri dağıtık akıllı şarj kontrol yapısından şebekeden çekilen gücü hafifletmeyi ve araç sahiplerinin otoparktan ayrılırken arzu ettikleri SoC değerini

sağlamayı amaçlamışlardır. Çalışma, talep gücün tahmin edilmesi ve gerçek zamanlı uygulanması şeklinde iki aşamadan oluşmaktadır.

4. Akıllı rezervasyon sistemleri

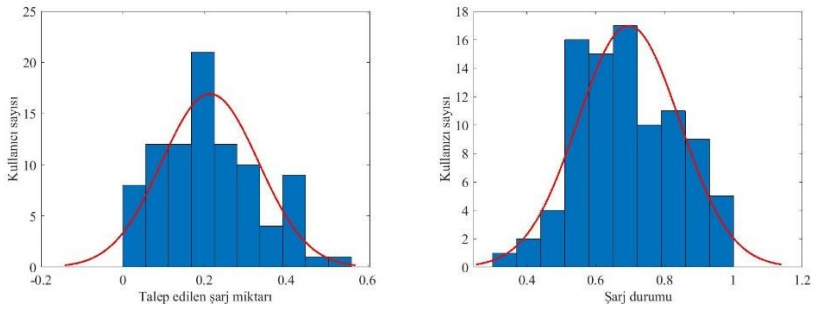
Artan araç teknolojisinin ve nüfusunun sonucunda yoğun şehir trafikleri, dolayısıyla da olumsuz ekonomik sonuçlar oluşmaktadır. Bu soruna çözüm olarak ortaya çıkan ihtiyaçlardan birisi de akıllı park sistemleri olmuştur. Bu bağlamda sürücüler ile dinamik olarak iletişim kurulan park yönetim sistemleri geliştirilmektedir (Geng ve Cassandras, 2013). Önerilen modellerde otoparkların gelirleri, araç sahiplerinin maliyetleri, otoparkın sürücünün güncel konumuna olan uzaklığı gibi faktörler göz önüne alınmaktadır (Kotb ve ark., 2016). Akıllı park sistemleri yapısal olarak; veri depolama, tahmin algoritması, gerçek zamanlı rezervasyonların gerçekleştiği yazılım sistemlerini, araçların park durumu hakkında bilgi veren sensor sistemlerini ve tüm katmanların koordineli olarak çalışmasını sağlayan bir haberleşme altyapısından oluşmaktadır (Lin veark., 2017). Popülerliği giderek artan ve hem şehirlerdeki karmaşıklığa son veren hem de araç sahiplerinin konforunu artıran bu sistemlerin daha da uygulanabilir olması beklenmektedir.

4.1 Performans analizi

Bu çalışmada, fayda-maliyet analiz değeri her bir öznitelik için Tablo 1 de belirlenmiştir. Bu çalışmada belirlenen öznitelikler araçların otoparka geliş saati (AT), otoparktan ayrılışsaati (DT), araçların şarj durumu (SoC) ve sürücüler tarafından talep edilen şarj miktarıdır (DSoC). Tablo 1 de belirlenen değerlere göre, EA otoparka giriş saat talebi sabah erkenden ise kabul durumu yüksektir. Devamında, EA her ne kadar otoparktan geççıkmak isterse kabul oranı yüksektir. Bu demektir ki DT – AT aralığı fazla olduğunda EA kabul oranı daha yüksektir. Fakat otoparkta kısıtlı kapasite olduğunu varsaydığımızda ATve DT öznitelikleri tek başına yeterli olmayacaklardır. Bu yüzden SoC ve DSoC değerleri rezervasyon sırasında EA'den istenmektedir. SoC fayda değeridir ve bu demektir ki bir EArezervasyon yaptığı zaman şarj oranı her ne kadar yüksek ise kabul oranı fazladır. Buna ilişkin olarak SoC ne kadar fazla ise DSoC daha az olacaktır bu yüzden DSoC maliyet değerolarak tanımlanmıştır ve bu demektir ki her ne kadar az DSoC talebi olursa bir o kadar rezervasyon onay durumu yüksektir. Şekil 1 benzetim ortamında anlık olarak kullanıcı rezervasyon taleplerinden elde edilen SoC ve DSoC değerlerini göstermektedir. Şekil 1 degözüktüğü gibi EA'lerin talebi en fazla 0.6-0.8 aralığında değişmektedir ve buna ilişkin olarak DSoC 0.1-0.3 arasında değişmektedir.

Tablo 1. İki farklı senaryo için özniteliklerin ağırlıkları ve CR değeri.

Fayda/Maliyet analizi	Öznitelikler			
	AT	**DT**	**SoC**	**DSoC**
	Maliyet	Fayda	Fayda	Maliyet



Şekil 1. DSoC ve SoC değerleri.

4.2 Benzetim sonuçları

Otoparkın kısıtlı sayıda boş araç kapasitesi olduğunu düşünürsek DT-AT ne kadar fazla olursa o kadar az EA'a hizmet verilebilir ve bu durum EA'lardan elde edilen gelirin düşmesine neden olur. Dolayısıyla, EA'ların DT ve AT durumlarının yanı sıra SoC ve DSoC öznitelikleri önem taşımaktadır. Benzetim sonuçlarına göre kullandığımız 4 farklı AT, DT, SoC ve DSoC öznitelik için AHP yöntemine dayalı CR<0.1 şartını sağlayarak farklı ağırlıklar aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

Tablo 2. İki farklı senaryo için özniteliklerin ağırlıkları ve CR değeri.

Öznitelik Ağırlıkları					
Senaryo	**AT**	**DT**	**SoC**	**DSoC**	**CR**
1	0.1	0.1	0.51	0.28	0.09
2	0.51	0.28	0.1	0.1	0.06

Tablo 2'de elde edilen ağırlıklar için RI değeri 0.9'dur [Saaty, 2004]. 1. ve 2. senaryoya göre rezervasyon kabul sıralaması ilk 9 EA için öznitelik değerleri aşağıdaki gibidir:

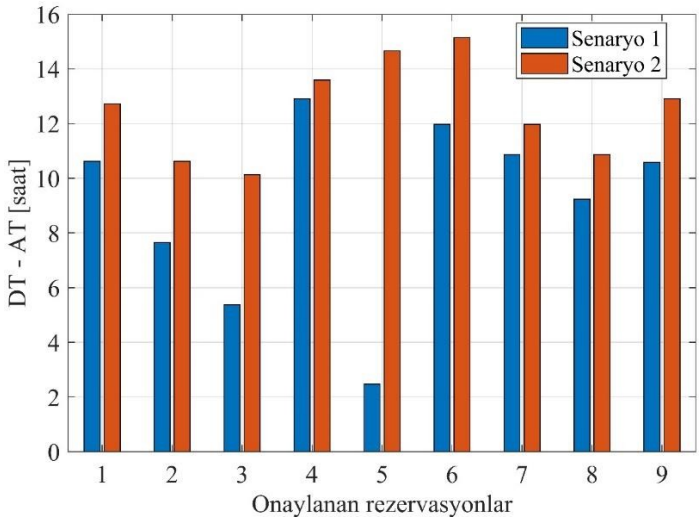
Tablo 3. Rezervasyon kabul sıralaması.

	Senaryo 1			
EA ID	**AT**	**DT**	**SoC**	**DSoC**
5	7.722	18.339	0.889	0.096
31	10.278	17.928	0.904	0.059
26	11.793	17.170	0.927	0.039
29	7.290	20.197	0.887	0.050
1	10.865	13.341	0.983	0.015
16	7.584	19.553	0.918	0.062
75	7.193	18.056	0.940	0.048
76	9.000	18.235	0.961	0.020
72	8.567	19.148	0.974	0.015

	Senaryo 2			
EA ID	**AT**	**DT**	**SoC**	**DSoC**
68	7.004	19.728	0.696	0.298
5	7.722	18.339	0.889	0.096
70	8.392	18.521	1	0
13	7.428	21.021	0.729	0.184
42	8.116	22.777	0.772	0.171

79	8.150	23.290	0.782	0.189
16	7.584	19.553	0.918	0.062
75	7.193	18.056	0.940	0.048
29	7.290	20.197	0.887	0.050

Tablo 3 sonuçlarına göre 1. Ve 2. Senaryoda EA ID'lere göre 4 aynı EA için rezervasyon onayı bulunmaktadır. Geri kalan EA'ler farklılık göstermektedir. Burada önemli olan DT – AT analizidir. Şekil 2 her iki senaryo için DT – AT değerlerini göstermektedir.



Şekil 2. Her iki senaryo için DT – AT değerleri.

5. Sonuçlar

Hem çevresel etkenler hem de giderek artan teknolojik gelişmeler, birçok alanda yenilikleri gereksinim haline getirmiştir. Bunlardan birisi olan araç teknolojisinde, içten yanmalı motorlara sahip klasik araçlar yerini HEA'lara ve tam EA'lara bırakmaktadır. Fakat bu yapıların verimli bir şekilde işletilebilmesi için enerji yönetim altyapılarına ve akıllı şarj planlamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu inceleme makalesinde de V2G, V2H, V2V gibi bağlantı yaklaşımları ile enerji piyasasına aktif olarak katılabilen EA'lar için kullanılan enerji algoritmalarına ve optimum şarj yönetimlerine yer verilmiştir. Tahminedayalı ya da gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları EA'ların şarj deşarj işlemlerini en optimum şekilde planlayarak şebeke sistemi ile otopark ve araç sahiplerine teknik ve ekonomik faydalar sağlayabilmektedir. Çalışma sonunda yoğun şehir trafiklerine çözüm olarak gösterilen akıllı rezervasyon sistemlerine de ayrıca değinilmiştir. Gelecek çalışmalarda EA akıllı şarj yaklaşımlarını da dikkate alan uçtan uca (Peer-to-Peer, P2P) enerji ticaretinin yapılması planlanmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma 119E646 Hibe projesi kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir.

6. Kaynaklar

Ackermann, T., Andersson, G. ve Söder, L., (2001). Distributed generation: A definition, Electric Power Systems Research, 57(3), 195-204.

Alshahrani, S., Khalid, M. ve Almuhaini, M., (2019). Electric vehicles beyond energy storage and modern power networks: Challenges and applications, IEEE Access, 7, 99031-99064.

Badawy, M.O. ve Sozer, Y., (2017). Power Flow Management of a Grid Tied PV-Battery System for Electric Vehicles Charging, IEEE Transactions on Industry Applications, 53(2), 1347-1357.

Bajaj, A. ve Sangwan, O.P., (2019). A Systematic Literature Review of Test Case Prioritization Using Genetic Algorithms, IEEE Access, 7, 126355-126375.

Blaabjerg, F., Yang, Y., Yang, D. ve Wang, X., (2017). Distributed Power-Generation Systems and Protection, Proceedings of the IEEE, 105, 7, 1311-1331.

Chaudhari, K., Ukil, A, Kumar, K.N., Manandhar, U. ve Kollimalla, S.K., (2018). Hybrid Optimization for Economic Deployment of ESS in PV-Integrated EV Charging Stations, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 14(1), 106-116.

Clairand, J.M., Rodriguez-Garcia, J. ve Alvarez-Bel, C., (2018). Smart Charging for Electric Vehicle Aggregators Considering Users' Preferences, IEEE Access, 7(6), 54624-54635.

Das, H.S., Rahman, M.M., Li, S. ve Tan, C.W., (2020). Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 120.

Eftekharnejad, S., Vittal, V., Heydt, G.T., Keel, B. ve Loehr, J., (2013). Small signal stability assessment of power systems with increased penetration of photovoltaic generation: A case study, IEEE Transactions on Sustainable Energy, 4(4), 960-967.

Enang, W. ve Bannister, C., (2017). Modelling and control of hybrid electric vehicles (A comprehensive review), Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74, 1210–1239.

Fatouros, P., Konstantelos, I., Papadaskalopoulos, D. ve Strbac, G., (2019). Stochastic Dual Dynamic Programming for Operation of der Aggregators under Multi-Dimensional Uncertainty, IEEE Transactions on Sustainable Energy, 10(1), 459-469.

Geng, Y. ve Cassandras, C.G., (2013). New "Smart Parking" System Based on Resource Allocation and Reservations, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 14(3), 1129 - 1139.

Gupta, V., Konda, S.R., Kumar, R. ve Panigrahi, B.K., (2020) Collaborative multi-aggregator electric vehicle charge scheduling with PV-assisted charging stations under variable solar profiles, IET Smart Grid, 3(3), 287-299.

Habib, S., Khan, M.M., Abbas, F., Sang, L., Shahid, M.U. ve Tang, H., (2018). A Comprehensive Study of Implemented International Standards, Technical Challenges, Impacts and Prospects for Electric Vehicles, IEEE Access, 6, 13866 - 13890.

He, T., Zhu, J., Zhang, J. ve Zheng, L., (2019). An optimal charging/discharging strategy for smart electrical car parks, Chinese Journal of Electrical Engineering, 4(2), 28-35.

Huda, A.S.N. ve Živanović, R., (2017). Large-scale integration of distributed generation into distribution networks: Study objectives, review of models and computational tools, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 76, 974-988.

Jiang, W. ve Zhen, Y., (2019). A Real-Time EV Charging Scheduling for Parking Lots with PV System and Energy Store System, IEEE Access, 7, 86184-86193.

Kikusato, H., Mori, K, Yoshizawa, Z., Fujimoto, Y., Asano, H., Hayashi, Y., Kawashima, A., Inagaki, S. ve Suzuki, T., (2019). Electric Vehicle Charge-Discharge Management for Utilization of Photovoltaic by Coordination between Home and Grid Energy Management Systems, IEEE Transactions on Smart Grid, 10(3), 3186-3197.

Kim, M., Jung, D. ve Min, K., (2014). Hybrid thermostat strategy for enhancing fuel economy of series hybrid intracity bus, IEEE Transactions on Vehicular Technology,63(8), 3569-3579.

Kisacikoglu, M.C., Erden, F. ve Erdogan, N., (2018). Distributed Control of PEV Charging Based on Energy Demand Forecast, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 14(1), 332-341.

Kotb, A.O., Shen, Y.C., Zhu, X. ve Huang, Y., (2016). iParker-A New Smart Car-Parking System Based on Dynamic Resource Allocation and Pricing, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 17(9), 2637-2647.

Li, S.G., Sharkh, S.M., Walsh, F.C. ve Zhang, C.N., (2011). Energy and battery management of a plug-in series hybrid electric vehicle using fuzzy logic, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 60(8), 3571-3585.

Li, Z., Khajepour, A. ve Song, J., (2019). A comprehensive review of the key technologies for pure electric vehicles, Energy, 182, 824-839.

Lin, T., Rivano, H. ve Le Mouel, H., (2017). A Survey of Smart Parking Solutions, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 18(12), 3229-3253.

Liu, C., Chai, K.K., Zhang, X., Lau, E.T. ve Chen, Y., (2018). Adaptive Blockchain-Based Electric Vehicle Participation Scheme in Smart Grid Platform, IEEE Access, 6, 25657- 25665..

Liu, Z., Wu, Q, Shahidehpour, M., Li, C., Huang, S. ve Wei, W., (2019). Transactive real-time electric vehicle charging management for commercial buildings with PV on-sitegeneration, IEEE Transactions on Smart Grid, 10(5), 4939-4950.

Ma, T. ve Mohammed, O.A., (2014). Optimal charging of plug-in electric vehicles for a car-park infrastructure, IEEE Transactions on Industry Applications, 50(4), 2323-2330.

Mehta, R., Srinivasan, D., Khambadkone, A.M., Yang, J. ve Trivedi, A., (2018). Smart charging strategies for optimal integration of plug-in electric vehicles within existing distribution system infrastructure, IEEE Transactions on Smart Grid, 9(1), 299-312.

Mobarak, M.H. ve Bauman, J., (2019). Vehicle-Directed Smart Charging Strategies to Mitigate the Effect of Long-Range EV Charging on Distribution Transformer Aging, IEEE Transactions on Transportation Electrification, 5(4), 1097-1111.

Moghaddam, Z., Ahmad, I., Habibi, D. ve Phung, Q.V., (2017). Smart Charging Strategy for Electric Vehicle Charging Stations, IEEE Transactions on Transportation Electrification, 4(1), 76-88.

Rind, S.J., Ren, Y., Hu, Y., Wang, J. ve Jiang, L., (2019). Configurations and control of traction motors for electric vehicles: A review, Chinese Journal of Electrical Engineering, 3(3), 1-17.

Saaty,T. L., (2004). "Decision making—the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP), Journal of Systems Science and Systems Engineering, 13(1), 1–35.

Şengör, I., Erenoğlu, A.A., Erdinç, O., Taşcikaraoğlu, A. ve Catalão, J.P.S., (2020). Day-ahead charging operation of electric vehicles with on-site renewable energy resources in a mixed integer linear programming framework, IET Smart Grid, 3(3), 367-375.

Shen, Z.J.M., Feng, B., Mao, C. ve Ran, L., (2019). Optimization models for electric vehicle service operations: A literature review, Transportation Research Part B: Methodological, 128, 462-477.

Singh, B., Verma, A., Chandra, A. ve Al-Haddad, K., (2020). Implementation of Solar PV-Battery and Diesel Generator Based Electric Vehicle Charging Station, IEEE Transactions on Industry Applications, 56(4), 4007-4016.

Tie, S.F. ve Tan, C.W., (2013). A review of energy sources and energy management system in electric vehicles, IET Electrical Systems in Transportation, 20, 82-102.

Van Der Meer, D., Mouli, G.R.C., España, G.M., Elizondo, L.R. ve Bauer, P., (2018). Energy Management System with PV Power Forecast to Optimally Charge EVs at the Workplace, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 14(1), 311-320.

Wirasingha, S.G. ve Emadi, A., (2011). Classification and review of control strategies for plug-in hybrid electric vehicles, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 60(1), 111-122.

Yang, Y., Jia, Q.S., Guan, X., Zhang, X., Qiu, Z. ve Deconinck, G., (2019). Decentralized EV-Based Charging Optimization With Building Integrated Wind Energy, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 16(3), 1002-1017.

Yao, L., Lim, W.H. ve Tsai, T.S., (2017). A Real-Time Charging Scheme for Demand Response in Electric Vehicle Parking Station, IEEE Transactions on Smart Grid, 8(1), 52-62.

Zhao, Q. ve Li, C., (2020). Two-Stage Multi-Swarm Particle Swarm Optimizer for Unconstrained and Constrained Global Optimization, IEEE Access, 8(1), 124905-124927.

Dengeli Ulaştırma Probleminin Genetik Algoritma ile Çözümü

Abdullah Elen[1], Semih Yüksel[2*], Arif B. Çobanoğlu[2]

[1]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği, Bandırma, Balıkesir/Türkiye,

[2]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği, Bandırma, Balıkesir/Türkiye,

*Sorumlu yazar e-mail adresi: yuksel.semih@hotmail.com

[1]ORCID: 0000-0003-1644-0476

Özet

Ulaştırma problemi, belirli kaynakların gönderim yerlerinden, talep merkezlerine minimum maliyet ya da maksimum kar ile nasıl transfer edileceğine karar vermek olan özel bir Doğrusal Programlama Problemi (DPP) türüdür. Bazen Hitchcock problemi olarak da adlandırılır. Kalkış ve varış noktalarının sayısı düşük olduğu sürece, bu nispeten kolay bir karardır. Ancak sayılar büyüdükçe, bu karmaşık bir DPP haline dönüşmektedir. Günümüzde minimum yakıt gereksinimini hesaplamak isteyen ticari kuruluşlar, uzun soluklu transferleri ve yüksek girdi sayıları nedeniyle bu problemlere karşı farklı yaklaşımlar uygulamaktadır. Bu açıdan, ulaştırma problemlerini basitleştirmek, dengelemek ve çözüme ulaştırmak önemli olmuştur. Bu çalışmada, ulaştırma problemlerinin çözümü için önerilen Least Cost Method (LCM), North-West Corner Method (NWCM), Vogel's Approximation Method (VAM) ve Genetik Algoritma (GA) yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, elde edilen çıktıların birbiriyle kıyaslanmasıyla en uygun ulaşım modeli ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Deneysel çalışmalarda beş farklı dengeli ulaştırma problemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, en başarılı yöntemin GA olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Ulaştırma Problemi; Genetik Algoritma; Optimizasyon.

Solving The Balanced Transportation Problem by Genetic Algorithm

Abstract

The transportation problem is a special type of Linear Programming Problem (LPP) whose task is to decide how to transfer certain resources from destinations to demand centers with minimum cost or maximum profit. It is sometimes called the Hitchcock problem. As long as the number of departures and destinations is low, this is a relatively easy decision. But as the numbers get bigger, this becomes a complex LPP. Today, commercial organizations that want to calculate the minimum fuel requirement apply different approaches to these problems due to their long-term transfers and high input numbers. In this respect, it has been important to simplify, balance and solve transport problems. In this study, Least Cost Method (LCM), North-West Corner Method (NWCM), Vogel's Approximation Method (VAM) and Genetic Algorithm (GA) methods were used for the solution of transportation problems. As a result of the experimental studies, the most appropriate transportation model was tried to be revealed by comparing the obtained outputs with each other. Five different balanced transportation problems were used in the experimental studies. When the obtained results were compared, it was seen that the most successful method was GA.

Keywords: Transportation Problem; Genetic Algorithm; Optimization.

1. Giriş

Ulaştırma problemlerine ilk olarak 1941 yılında F.L. Hitchcock tarafından çözüm aranmaya başlanmıştır [1]. Daha sonra T.C. Koopmans 1949 yılında ve G.B. Dantzing 1951 yılında doğrusal programlama problemlerinin fonksiyonlarının oluşturulması ve bunlara çözüm adımların geliştirilmesinde rol almışlardır. Bu adımlar nedeniyle ulaştırma problemleri, homojen mal veya hizmetlerin kaynaklardan hareketle varış noktalarına taşınması doğrusal programlama problemi olarak kabul edilir [2]. Ayrıca literatürde yapılan farklı çalışmalar da mevcuttur. Gray (1971), problemi bir ana tam sayılı programlama ve bir ulaştırma alt programları serisine bölerek kesin çözüm sağlamaya çalışmıştır [3]. Chien (1993), ulaşım maliyetlerinin birim taşıma maliyeti ile modellendiği bir problem için sezgisel bir yöntem önermiştir [4]. Vignaux ve Michalewicz (1991) yılında yaptıkları çalışmada doğrusal ulaştırma problemi için genetik algoritma kullanarak bazı gösterim planlarını incelemiş, çözüm birimlerini kodlamada vektör tabanlı ve matris tabanlı olmak üzere iki alternatif yaklaşım önermiştir. Ayrıca yavru çözümlerin uygunluğunu sağlayan çaprazlama ve mutasyon operatörleri önerilmiştir [5]. Gen ve Li 1998 yılındaki çalışmalarında çözümün kodlanmasında Prüfer Sayının kullanılmasını önermişlerdir [6]. Bazı ürün türlerinin aynı depoya taşınamadığı ulaştırma problemi için Syarif ve Gen (2003) yılında yayılan ağaç tabanlı kodlamanın kullanıldığı bir genetik algoritma geliştirmişlerdir [7]. Ayan T. 2008 yılındaki sabit maliyetli ulaştırma problemi için genetik algoritma kullanarak bir çalışma yapmıştır [8]. 2009 yılında Özdemir A.İ. ve Seçme G. tedarik zinciri ulaştırma problemi için genetik algoritma yaklaşımı kullanarak sezgisel çözüm üretmek amacıyla bir çalışma yapmıştır [9].

Ulaştırma problemleri belirli kapasiteli üretilen mal ve hizmetlerin fabrika veya benzer üretim merkezlerinden, malların kullanılacağı ya da depolanacağı belirli kapasiteli tüketim merkezlerine, arz ve talep ihtiyaçları dikkate alınarak minimum maliyetle taşınmasını sağlayan matematiksel bir çözümdür. Bu problemlerde, üretim merkezlerindeki arz miktarı ve tüketim merkezlerindeki talep miktarı dengeli şekilde sağlanmalıdır. Ayrıca bu dengeyi sağlarken taşıma maliyetinin en düşük seviyede olmasına dikkat edilmeli, en verimli ve optimize çözüm bulunmalıdır. Ulaştırma modelleri; üretim planlamada, işletme ve depo kuruluş yer seçiminde, makinalara iş dağıtımında, üretim ve tüketim merkezleri arasındaki optimum ulaşımın sağlanmasında ve benzer alanlarda kullanılmaktadır. Ulaştırma problemi, ulaşım konusu var olduğundan beri bilimsel açıklamalara ve profesyonel çalışmalara konu olmuştur. Ulaşım sorunu aslında basit bir durum olarak anlaşılsa da doğası gereği profesyonel veya endüstriyel alanlarda, özellikle lojistik alanında en sık karşılaşılan problem olarak tanımlanmaktadır. Endüstriler, karlarını maksimum seviyelere çıkarmak için bütün çalışmaları optimuma çekmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak ulaştırma problemlerini en az maliyetle çözmüşlerdir. Ulaşım yönetiminin daha kompleks bir hale gelmesiyle birlikte uygun yöntem ve farklı tekniklerin geliştirilmesi gibi gereklilikler ortaya çıkmıştır.

Ulaştırma modellerinin oluşturulması her ne kadar basit işlemler içerse de çoğu zaman işletmelerde zorlu görev olarak tanımlanmaktadır. En reel tanımıyla ulaştırma problemini, taşınan malın miktarına parametrik olarak bağımlı olan toplam taşıma maliyetlerinin minimize edilmesi ve bazı durumlarda ise birçok malın farklı dağıtım noktalarına aynı zamanda ulaşması ve bunların optimize edilmesi için karşılaşılan problemler olarak nitelendirebiliriz. Ayrıca temel ulaşım problemleri arasında kullanımı ön görülen literatür içeriği, dengeli ulaşım problemleri olarak bilinen toplam arz ve toplam talebin eşit olması durumudur. Gerçek hayatta bu eşitlik neredeyse hiçbir zaman yakalanamaz. Fakat bu duruma uygun çalışma ortamının sağlanabilmesi için dengeli

ulaşım probleminin arz-talep eşitliğinin teorik olarak sağlanarak uygun çözüm adımları geliştirilmeye çalışılacaktır.

2003 yılında PK Gupta ve M Mohan'ın ortaya attığı bir ulaştırma probleminde temel olarak optimum çözüm adımları,

- 1.Adım: Bir ulaştırma probleminin teorik olarak matematiksel modelinin meydana getirilmesi,
- 2.Adım: İlk temel uygun çözüm kümesinin belirlenmesi,
- 3.Adım: Çözüm kümesinin optimal olup olmamasının sorgulanması,
- Ve çözümün optimal olmamasından doğan yeni çözüm değerlerinin optimal olana kadar sürdürülmesidir [10].

Least Cost Method, North-West Corner Method, Vogel's Approximation Method ve Genetik Algoritma Optimizasyonu yöntemleri başvurulan yöntemler olarak belirlenmiştir. Burada arz-talep arasındaki değişimlere göre farklı sonuçların aranması ön görülmektedir. Arzın artarken talebin azalma durumu veya arzın azalırken talebin artma durumları incelenerek uygun çözüm yöntemleri ile çalışılmıştır. Burada ulaşım problemlerinin dengesizliğinin büyüklüğü, çözüm yöntemlerinin temel yaklaşımlarıyla analiz edilerek grafiklere işlenecektir. Genetik algoritmadan elde edilecek optimum maliyet değerleri ile bu yöntemlerin her biri için oluşturulacak çözüm adımları genetik algoritmanın maliyet fonksiyonu ile kıyaslanarak bir çözüm kümesi meydana getirilecektir.

2. Ulaştırma Modeli (Transportation Model)

Ulaştırma modeli, belirli bir ürünü çeşitli kaynaklardan çeşitli hedeflere toplam minimum maliyetle taşıma amacını güden DPP'nin özel bir durumudur. **Tablo 1**'de üretim ve tüketim merkezleri arasındaki maliyet farklılıkları arz-talep oranlarına göre gösterilmiştir.

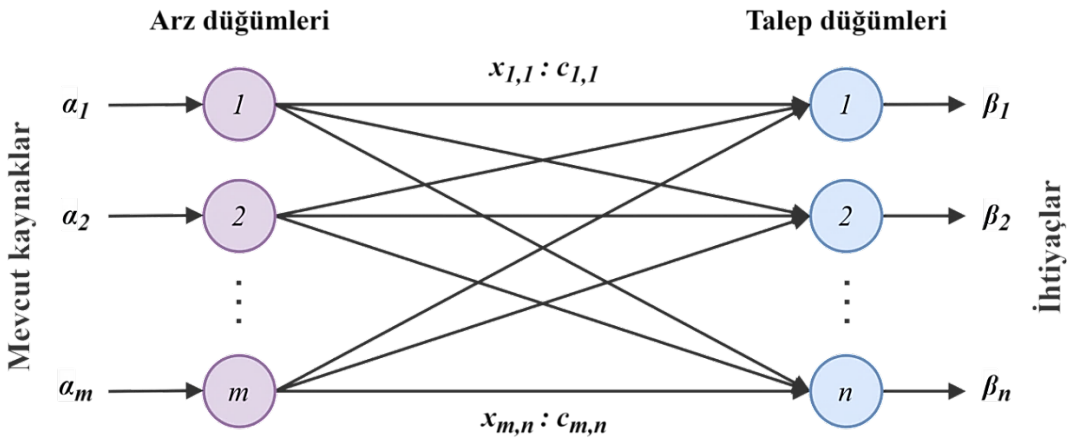
Tablo 1. Üretim ve Tüketim Merkezleri Arasındaki Maliyet Tablosu

		Tüketim Merkezleri				
		T_1	T_2	⋯	T_n	***Arz***
Üretim Merkezleri	U_1	$x_{1,1}: c_{1,1}$	$x_{1,2}: c_{1,2}$	⋯	$x_{1,n}: c_{1,n}$	ρ_1
	U_2	$x_{2,1}: c_{2,1}$	$x_{2,2}: c_{2,2}$	⋯	$x_{2,n}: c_{2,n}$	ρ_2
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	U_m	$x_{m,1}: c_{m,1}$	$x_{m,2}: c_{m,2}$	⋯	$x_{m,n}: c_{m,n}$	ρ_m
	Talep	ω_1	ω_2	⋯	ω_n	

- m : Üretim (arz) merkezi
- n : Tüketim (talep) merkezi
- ρ_m : m-inci üretim merkezinin kapasitesi.
- ω_n : n-inci tüketim merkezinin talebi.
- $c_{m,n}$: m-inci üretim merkezinden n-inci tüketim merkezine bir birim ürün göndermenin maliyeti.

- $x_{m,n}$: m-inci üretim merkezinden n-inci tüketim merkezine ulaştırılan ürün miktarı.

Ulaştırma modeli oluşturulduktan sonra problemler ortaya dökülerek giriş, arz-talep düğümleri ve çıktı olarak problem çözümü desteklenmektedir. **Şekil 1**'de ulaşım probleminde genel ağ akış şeması gösterilmiştir. Bu şemaya göre stokta bulunan ürünler ve müşterinin talep ettiği ürün sayıları arasındaki değerlere göre düğümler oluşturulur ve bu düğümlerin birbirine bağlanmasıyla oluşan değerler hesaplanarak maliyet fonksiyonu elde edilir.



Şekil 2. Ulaştırma Probleminin Genel Ağ Akışı

$$Minimize: \ C = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij}c_{ij} \tag{1}$$

Kısaltmalar mevcuttur;

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = \beta_i, \quad \forall i = \{1,2,...,m\} \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = \alpha_j, \quad \forall j = \{1,2,...,n\} \tag{3}$$

$$\forall x_{ij} \geq 0 \tag{4}$$

ve bütün i ve j değerleri için $x_{ij} \geq 0$ sonucunu vermektedir.

3. Ulaştırma Modelinin Çözüm Yöntemleri

Ulaştırma modelinin dört farklı çözüm yönteminden faydalanarak çözümler oluşturulmuştur. Bunlar; LCM, NWCM, VAM ve Genetik Algoritma yöntemleridir. Bu yöntemlerle ulaşım modellerinden doğan problemler belirlenerek çözüm adımları oluşturulmaktadır.

3.1. Least Cost Method (LCM)

Ulaşım modellerinin oluşturulmasından sonra oluşacak ulaşım problemlerini en kısa yöntemle en uygun çözümü elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Çözüme en düşük maliyetli hücrede başlanır. Arz ve talep ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak, seçtiğimiz en düşük maliyetin bulunduğu hücreye mümkün olan en büyük atama yapılır. Yapılan atama işleminden sonra arz ve talep miktarları güncellenir. Güncelleme yapıldıktan sonra atamanın tamamlandığı satır ya da sütunlar iptal edilir. Sonrasında iptal edilmemiş satır ya da sütunlardaki en düşük maliyetli hücrelere sırasıyla en büyük atama değerleri yapılarak işlemler bu şekilde tekrarlanır. Bu yöntem diğer yöntemlere göre daha kullanışlıdır. Çünkü diğer yöntemlerde gidilecek hücrelerin var oluşları veya ulaşım gereksinimleri sorgulanır. Fakat bu yöntem sadece bu hücrelerin maliyetini sorgulayarak en az maliyet seçeneğini kullanmaktadır [11].

3.2. North-West Corner Method (NWCM)

Ulaştırma problemlerinin (DPP'nin özel bir durumu) temel bir uygulanabilir çözümünü elde etmek için kullanılan yöntemlerden biridir. Temel değişkenler sol taraftan seçilmeye başlandığı için bu yöntem kuzey batı köşesi yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde işleme, en düşük maliyet metodundan farklı şekilde isminden de anlaşılacağı üzere $x_{1,1}$ olarak tanımlanan değerden, yani tablonun sol üst köşesinden başlanmaktadır. İşlemin ilk adımında, arz ve talep ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak seçtiğimiz $x_{1,1}$ değerinin bulunduğu hücreye mümkün olan en büyük atama yapılır. Yapılan atama işleminden sonra arz ve talep miktarları güncellenir. Güncelleme yapıldıktan sonra, eğer sıfıra ulaşan satır ya da sütun olursa, iptal edilip işleme devam edilir. Hem satır hem de sütun sıfır olmuşsa yalnızca birini iptal ederek işleme devam edilir. İptal edilmeyen sadece bir satır ya da sütun kaldığında durulur. Aksi durumda önceki işlemde sütun iptal edilmişse sağ hücreye, satır iptal edilmişse bir alttaki hücreye gidilip, ilk adıma dönülür [12].

3.3. Vogel's Approximation Method (VAM)

Ulaştırma problemine uygulanabilir bir çözüm elde etme yöntemlerinden biridir. Bu yöntem transport sorununa ilk uygun çözüm adımını hesaplamaya çalışan ve kendi kendini yenilerek uygun adımı bulmaya çalışan bir yöntemdir. Bu yöntem en düşük maliyet metodunun geliştirilmiş hali olup, genelde o yönteme göre daha iyi başlangıç sonucuna ulaşmaktadır. Yöntemin ilk adımında, satır veya sütunlardaki en küçük iki maliyet değerlerinin farkı alınarak ceza puanı belirlenir. Sonraki adımda en büyük ceza puanına sahip satır ya da sütun bulunur. Bu satır veya sütundaki en düşük maliyetli hücreye mümkün olan en çok atama yapılır. Sıfırlanan satır veya sütun iptal edilir. Eğer hem satır hem de sütun sıfırlandıysa sadece biri iptal edilir. İptal ettikten sonra birden fazla satır ya da sütun var ise ilk adıma gidilir. Son adımda; iptal edilmemiş arz ya da talebe sahip tam bir satır ya da sütun kaldıysa durulur, iptal edilmemiş pozitif arzlı veya talepli bir satır ya da sütun kaldıysa en düşük maliyetler yöntemi ile satır ya da sütundaki temel değişken belirlenir ve durulur. İptal edilmemiş satır ve sütunların tamamı sıfır arz ve talebe sahipse en düşük maliyetler yöntemiyle sıfır olan temel değişkenler belirlenir ve durulur [13].

3.4. Genetik Algoritma

Genetik algoritma (GA), evrim teorisinden ilham alarak hesaplama modelleri oluşturan bir algoritmadır. Genetik algoritmalarının uygulandığı problem yelpazesi geniş bir alana tabi olsa da genel itibariyle fonksiyon optimize edici olarak görev alır [14].

Genetik algoritma, tek bir çözüm yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretmektedir. Bu çözüm kümesi, popülasyon olarak adlandırılır. Popülasyonda bulunan sayı dizileri ise birey ya da kromozom olarak isimlendirilir. Kromozomun içerisinde bulunan elemanlara da gen denilmektedir. Genetik algoritma; seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinden oluşur. Seçim, bireyin genetik yapısında değişiklik yapmadan yeni nesle taşıma işlemidir. Çaprazlama, iki bireyin rastgele birleştirilerek yeni bireyler oluşturma işlemidir. Mutasyon, bireyin genlerinde bir ya da daha fazla değişiklik yapma işlemi olarak tanımlanır [15].

Genetik algoritmada ilk olarak başlangıç popülasyonu oluşturulur. Bireyler uygunluk fonksiyonuna tabi tutarak test edilir, optimal çözüm adımı elde edilene kadar ise farklı kromozom yapıları belirlenerek çözüm adımları daha da genişletilir. Kromozomların çaprazlama ve mutasyon yöntemleri ile birlikte türetilen çözüm adımları sürekli tekrarlanarak popülasyon içindeki en uygun çözüm kümesi bulunur [16].

Genetik algoritmanın doğadan esinlendiği en önemli temel ise doğal seleksiyondur [17]. Bu tanımdan çıkarılacak sonuç özet olarak büyük balık her zaman küçük balığı yer mantığıdır. Genel itibariyle genetik algoritma daha güçlü bireylerin üreme ve gen aktarımı konusunda daha şanslı bireyler olduğu vurgulanmakta ve yeni nesil kromozomların güçlü ihtimallerin devamı olduğu işlenmektedir [18]. Fakat bu duruma ters olarak bazı seçim adımları ve mutasyon işlemleriyle birlikte düşük ihtimaldeki kromozomlarda yeni nesil kromozomları meydana getirebilir. Bu durum çözüm adımlarını desteklemek ve geniş yelpazede çözüm adımları oluşturmayı desteklemektedir [19].

Genetik algoritma problemlerini genel olarak, ek bir işlem adımı oluşturulmadığı sürece beş adımda çözüme ulaştırılabilmektedir. Bu adımlar problem tanımı yapıldıktan sonra ilk adım olarak başlangıç değerlerinin belirlenmesi sağlanmaktadır. Bu adımda kromozomlar oluşturularak popülasyon gen dizilimleri meydana getirilir. Daha sonraki adımda oluşturulmuş olan kromozomların maliyet hesapları yapılır. Örneğin maliyet hesabı Eşitlik (5) ile

$$f_{obj} = \left(\sum_{i=1}^{n-1} distance(P_i, P_{i+1}) \right) + distance(P_n, P_1) \tag{5}$$

n-adet şehir arasındaki toplam yol maliyeti bulunmaktadır. Üçüncü adımda bu maliyet hesaplarına göre olasılığa dayalı uygun P değerinin seçimi yapılmaktadır. Çaprazlama yapılmadan önce kromozomunu yeni nesillere aktaracak güçlü bireylerin oranları belirlenir ve uygun kromozomlar yola devam eder [20]. Dördüncü adımda çaprazlama gerçekleştirilirken yüksek uygunluk değerine sahip kromozomlar ön plana çıkmaktadır veya sonraki seçilimlerde ön plana çıkarılacaktır [21]. Son adım olarak mutasyona uğratılacak kromozomlardan güçlü olanlar çözüm kümesini oluşturacaktır. Burada belirlediğimiz tekrar kadar oluşturulacak çözüm kümeleri arasında en iyi çözümü sunan kromozomlar ön plana çıkarılacaktır.

4. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda kullanılan problemler, firmaların arz ve talep ettikleri ürünlerin ulaşımı için belirli noktalar arasındaki mesafe miktarlarına göre oluşan maliyet değerlerinden oluşmaktadır. Bu noktalar sırasıyla U'lar (arz noktaları) ve T'ler (talep noktaları) olarak girilmiş ve bu noktalar arasındaki mesafeler belirlenmiştir. Beş farklı problemde üretici ve tüketici arasındaki mesafelere göre firmaların tercih ettikleri yolların arz-talep oranları verilmiştir. Arz talep ilişkisinin azalan veya artan durumlarına göre farklı problem denemeleri oluşturulmuştur.

Problem 1:

	T_1	T_2	T_3	T_4	Arz
U_1	3	5	7	6	**50**
U_2	2	5	8	2	**75**
U_3	3	6	9	2	**25**
Talep	**20**	**20**	**50**	**60**	

Problem 2:

	T_1	T_2	T_3	T_4	Arz
U_1	14	25	45	5	**6**
U_2	65	25	35	55	**8**
U_3	35	3	65	15	**16**
Talep	**4**	**7**	**6**	**13**	

Problem 3:

	T_1	T_2	T_3	T_4	Arz
U_1	21	16	25	13	**11**
U_2	17	18	14	23	**13**
U_3	32	27	18	41	**19**
Talep	**6**	**10**	**12**	**15**	

Problem 4:

	T_1	T_2	T_3	T_4	Arz
U_1	4	3	0	5	**24**
U_2	1	2	6	1	**17**
U_3	3	6	2	3	**19**

Talep	15	19	18	8

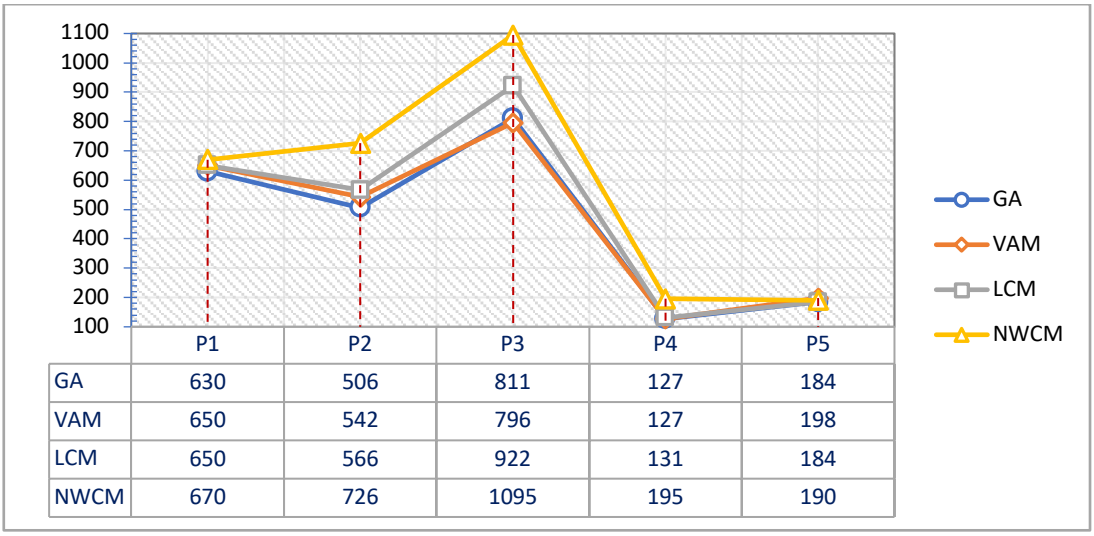
Problem 5:

	T_1	T_2	T_3	T_4	Arz
U_1	45	40	51	67	1
U_2	57	42	63	55	1
U_3	49	52	48	64	1
U_4	41	45	60	55	1
Talep	1	1	1	1	

Tablo 2. Ulaştırma Problemlerinin Metotlara Göre Çözüm Sonuçları

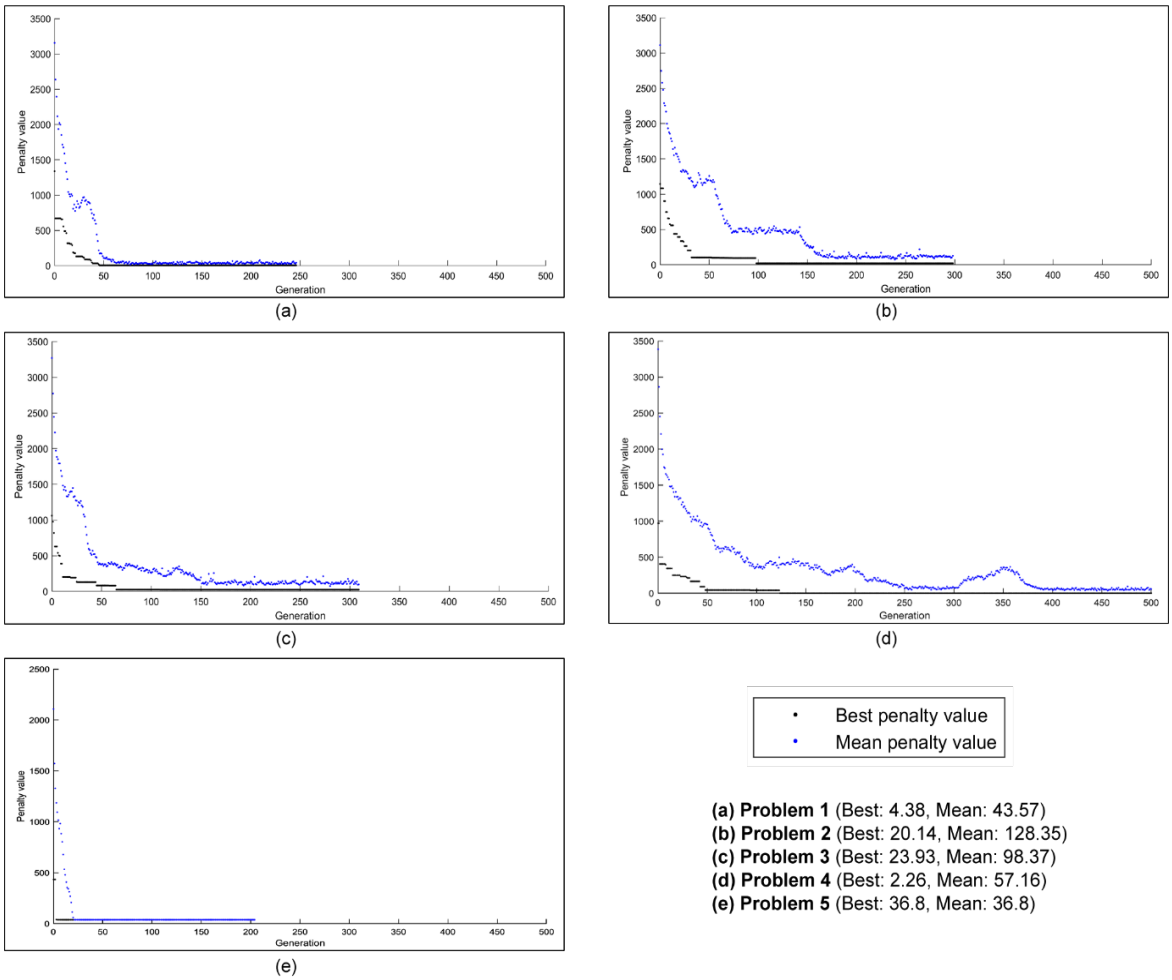
	GA				VAM				LCM				NWCM			
P1	0	0	50	0	20	0	30	0	0	20	30	0	20	20	10	0
	20	0	0	55	0	20	20	35	20	0	0	55	0	0	40	35
	0	20	0	5	0	0	0	25	0	0	20	5	0	0	0	25
P2	4	0	0	2	4	0	0	2	0	0	0	6	4	2	0	0
	0	2	6	0	0	0	6	2	2	0	6	0	0	5	3	0
	0	5	0	11	0	7	0	9	2	7	0	7	0	0	3	13
P3	0	0	0	11	0	0	0	11	0	0	0	11	6	5	0	0
	6	0	3	4	6	3	0	4	1	0	12	0	0	5	8	0
	0	10	9	0	0	7	12	0	5	10	0	4	0	0	4	15
P4	0	0	18	6	0	6	18	0	0	6	18	0	15	9	0	0
	0	17	0	0	15	2	0	0	15	0	0	2	0	10	7	0
	15	2	0	2	0	11	0	8	0	13	0	6	0	0	11	8
P5	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

Tablo 2'de görüldüğü gibi beş farklı ulaştırma probleminden elde edilen maliyetler, arz-talep ilişkisine göre yazılmıştır. Elde edilen veriler **Şekil 2**'deki grafiğe işlenerek Least Cost Metodu, North-West Corner Metodu, Vogel's Approximation Metodu ve Genetik Algoritma Optimizasyonlarının sonuçları kıyaslanmıştır. Burada her bir yöntemin maliyet değerlerine göre konumlandırılması sağlanmıştır.



	P1	P2	P3	P4	P5
GA	630	506	811	127	184
VAM	650	542	796	127	198
LCM	650	566	922	131	184
NWCM	670	726	1095	195	190

Şekil 3. Ulaştırma Problemlerinin Algoritmalara Göre Maliyetleri



Şekil 4. GA'nın Uygunluk Fonksiyonuna Göre Ceza Değerleri

5. Sonuç

Ulaştırma problemleri, gerçek zamanlı koşullarda nadiren mükemmel şekilde dengelenir. Arza göre dengesizlikleri veya asimetrik talepleri ve bunun tersi yaygın görünen bir durumdur. Bu makalede, ulaştırma problemlerinin arz talep dengesizliğinde yaygın olarak uygulanan yöntemler tarafından oluşturulan uygulanabilir çözümlerin amaç fonksiyon değerleri ile optimal çözümler arasındaki farkları nasıl etkilediğini bulması amaçlamıştır. Ayrıca araştırma sonucunda karar değişkenlerinin biçiminin veya sayısının yani talep ve arz dengesizliğinin ortaya çıkardığı sonuç farklılıkları incelenmiştir.

Bu çalışmada, dengeli ulaştırma problemi için farklı çözüm yöntemleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle mukayese edilmiştir. Beş farklı ulaştırma probleminin çözümünde, LCM, NWCM, VAM ve GA olmak üzere dört farklı metot kullanılmıştır. İstenen fonksiyon, beklenen değer ve ceza fonksiyonları değerlendirilerek ulaştırma problemleri gerçekçi değerlere dayandırılan modellere dönüştürülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre en başarılı yöntem, GA olmuştur. Sonraki başarı sıralaması; VAM, LCM, NWCM yöntemleri olarak sıralanmıştır. Ortalama sonuçlar bu şekilde olmuş olsa da her bir problem ayrı ayrı incelediğinde, bazı problemlerde VAM yönteminin GA'ya göre başarılı olduğu ya da diğer yöntemlerin başarı sıralamalarının değişebildiği görülmüştür.

6. Kaynaklar

[1]. HITCHCOCK, Frenk L., (1941), "The Distribution of a Product from Several Sources to Numerous Localities", Journal of Mathematical Physic, Vol. 20, pp. 224-230.

[2]. Dantzig, G. B. (1951b), Application of the simplex method to a transportation problem, Activity Analysis of Production and Allocation içinde Koopmans, T. C. editör, John Wiley& Sons, NY, 359-373.

[3]. Gray, Paul, (1971), "Exact Solutions of the Fixed Charge Transportation Problem", Operations Research, Vol. 19, pp. 1529-1538.

[4]. Chien, William, T., (1993), "Determining Profit-Maximizing Production/Shipping Policies in a one to one Direct Shipping Stochastic Environment", European Journal of Operational Research, Vol. 64, pp. 83-102.

[5]. Vignaux, G. A., Michalewicz, Z., 1991, A Genetic Algorithm for the Linear Transportation Problem, IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, Cilt 21, Sayı 2

[6]. Gen, M., Ida, K.& Li, Y, 1998 Bicriteria Transportation Problem by Hybrid Genetic Algorithm, Computers and Industrial Engineering, Cilt 35, Sayı 1-2, 363-366

[7]. Syarif,A, Yun, Y & Gen, M, 2002, Study On Multi-Stage Logistic Chain Network: A Spanning Tree-Based Genetic Algorithm Approach, Computers & Industrial Engineering, Vol.43,Iss.1-2;p.299

[8]. Yakıcı Ayan, T. (2008). Sabit Maliyetli Ulaştırma Problemi İçin Bir Genetik Algoritma. Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 10 (1) , 97-116.

[9]. Özdemir, A. İ. Seçme, G. Tedarik Zincir Ulaştırma Problem İçin Bir Sezgisel Çözüm: Genetik Algoritma Yaklaşım. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi SayI: 27 YIl: 2009/2 (43-64 s.)

[10]. P. K. Gupta and M. Mohan, "Problems in Operations Research (Methods & Solutions)," Sultan Chand Co., New Delhi, 2003, pp. 609-610.

[11]. Özcan, Mumin & Acar, M. Fatih, 2012, Ulaştırma Algoritması ve Tesis Yeri Belirlenmesinde Bir Örnek Uygulaması, XII. Üretim Araştırmaları Sempozyum Bildiriler Kitabı, 1, 589-600.

[12]. Dr. M. Rajeswara Reddy, (2020), Study of A Transportation Problem of an Essential Item from Various Origins to Different Destinations by Using Eqm, Journal of Engineering Sciences, 0377-9254, Vol 11, Issue 3, MARCH/ 2020.

[13]. Mario Galić, Zlata Dolaček-Alduk, Uroš Klanšek, 2019. Impact of Transportation Problem's Unbalance on Difference Between Initial and Optimal Solution, Tehnički Vjesnik 26, 3(2019), 625-630.

[14]. Li Y., Yang Y., Zhou L. and Zhu R., 2009, Observations on Using Problem-Specific Genetic Algorithm for Multiprocessor Real-Time Task Scheduling, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 5(9), 1349-4198.

[15]. Marwala T. and Chakraverty S., 2006, Fault Classification in Structures with Incomplete Measured Data Using Autoassociative Neural Networks and Genetic Algorithm, Curr Sci India, 90, 542-548.

[16]. William Ho, Ping Ji, (2005). A Genetic Algorithm for The Generalised Transportation Problem, International Journal of Computer Applications in Technology.

[17]. Çayıroğlu, İ. & Elen, A. (2012), "A Heuristic Optimization Approach for A Real-World University Timetabling Problem", Advances in Computer Science and Engineering, 9(2):103-131.

[18]. Çivril H., 2009. "Hemşire Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözümü", Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 1-78.

[19]. Elen, A. & Avuçlu, E., (2019) "Genetik Algoritmada Çaprazlama Yöntemleri", Geleceğin Dünyasında Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar: Bilgisayar Mühendisliği, Ekin Basım Yayın Dağıtım, 1-18.
[20]. Elen, A. & Çayıroğlu, İ. (2012), "Solving of Scheduling Problem with Heuristic Optimization Approach", Technology, 13(3):159-172.
[21]. Turan, M. K., Elen, A. & Şehirli, E., (2016) "Analysis of DNA Gel Electrophoresis Images with Backpropagation Neural Network Based Canny Edge Detection Algorithm", International Journal of Scientific and Technological Research, 2(2):55-63.

Türkiye'de Akıllı Duraklar

Taylan ENGİN[1] , Erol SEZDİ[2*]

[1]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Balıkesir, Türkiye
tengin@bandirma.edu.tr
[2] Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, Türkiye
esezdi@bandirma.edu.tr

*Sorumlu yazar esezdi@bandirma.edu.tr

ORCİD-https://orcid.org/0000-0001-6981-0683[1]
ORCİD- https://orcid.org/0000-0002-8063-6943[2]

Özet

Bilgi ve iletişim teknolojilerine dayalı akıllı ulaşım sistemlerinin (AUS) önemi her geçen artmakta ve uygulama alanı genişlemektedir. Kamera, elektronik denetim, hız denetim, kırmızı ışık ihlal vb. sistemler aracılığı ile kural ihlali yapan sürücü, yaya ve yolcular otomatik olarak tespit edilmekte ve cezalar uygulanmaktadır. Bu sayede trafikte ölüm ve yaralanmalar azaltılarak insan sağlığı korunmaktadır. AUS aracılığı ile kent trafiği yönetilmekte, koordine edilmekte ve kullanıcılar (sürücü, yaya, yolcu) bilgilendirilmektedir.

Balıkesir'in Bandırma ilçesi denizyolu, demiryolu ve karayolunun kesiştiği bir noktadır. Denizyolu ile İstanbul'dan demiryolu ile İzmir'den ve karayolu ile Bursa, Ankara, vb. illerden kente ulaşım sağlanmaktadır. Nüfusu ve trafikteki araç sayısı sürekli artan Bandırma, coğrafi konumu itibarı ile Erdek, Gönen, Çanakkale gibi turizm bölgelerine yakın konumdadır. Özellikle yaz aylarında bu bölgelere yapılan turizm nedeni ile kentte araç trafiği ve insan hareketliliği daha da artmaktadır. Bu artış ilçede mevcut trafik sorunların daha da büyümesine neden olmaktadır.

İlçede bulunan Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi'nin 15 binin üzerinde öğrencisi bulunmakta olup; (BANÜ, 2021) yeni açılacak bölümler ile bu sayı daha da artacaktır. İlçe nüfusunun gerek coğrafi konumdan dolayı gerekse ilçedeki Üniversite nedeni ile öğrenci sayısının sürekli artması Bandırma için önemli fırsatlar sunarken bazı sorunları da (konut, barınma, ulaşım vb.) beraberinde getirmektedir.

İlçedeki kent sakinlerinin ulaşım sorunlarını öğrenmek ve taleplerini karşılamak amacı ile yapılan anket sonucunda kent sakinlerinin talep ettiği AUS uygulamalarından birisi akıllı duraklardır. Bu çalışmada yolcuların toplu ulaşımdaki taleplerinin karşılanması amacı ile ilçede insan hareketliliğinin yoğun olduğu yerlere akıllı duraklar önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ulaşım Talepleri; Akıllı Durak; Bandırma

Abstract

The importance of intelligent transportation systems based on information and communication technologies is increasing day by day and the application area is expanding. Camera, electronic control, speed control, red light violation etc. Drivers, pedestrians and passengers who violate the rules are automatically detected and penalties are applied through the systems. In this way, deaths and injuries in traffic are reduced and human health is protected. Urban traffic is managed, coordinated and users (driver, pedestrian, passenger) are informed through ITS.

Bandırma district of Balıkesir is a point where sea, railway and highway intersect. From Istanbul by sea, from Izmir by rail, and by road from Bursa, Ankara, etc. Transportation is provided from the provinces to the city. Bandırma, whose population and number of vehicles are constantly increasing, is close to tourism regions such as Erdek, Gönen and Çanakkale due to its geographical location.Especially in summer, due to tourism to these regions, vehicle traffic and human mobility in the city increase. This increase causes the existing traffic problems in the district to grow even more.

Bandırma Onyedi Eylül University, located in the district, has more than 15 thousand students (BANÜ, 2021) This number will increase with new sections to be opened. The continuous increase in the number of students due to the geographical location of the district population and the University in the district provides important opportunities for Bandırma, but also brings some problems (housing, accommodation, transportation, etc.)

As a result of the survey conducted in order to learn about the transportation problems of the city residents in the district and to meet their demands, one of the ITS applications demanded by the city residents is smart stops. In this study, smart stops are proposed to the places where human mobility is intense in the district in order to meet the demands of the passengers in public transportation

Keywords: Transportation Requests; Bus Stop; Bandırma

1.Giriş

Kent nüfusunun hızla artması kentlerde çevre, hava ve gürültü kirliliği, çarpık kentleşme, altyapı, ulaşım vb. sorunları beraberinde getirmektedir. Trafik yoğunluğu, tıkanıklığı, kazaları, otopark yetersizliği, trafikte geçirilen süre vb. ulaşımda yaşanan başlıca sorunlardır. Bilgi ve iletişim teknolojileri gündelik hayatımızın vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir. Son yıllarda hayatımıza giren akıllı ulaşım sistemleri (AUS) bilgi ve iletişim teknolojilerindeki değişimlerin ve yeniliklerin ulaşımda hayata geçirilmesidir. Yani AUS'ta ulaşımda yaşanan sorunların çözümü veya taleplerin karşılanması için bilgi ve iletişim teknolojileri etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin yeşil dalga uygulaması ile araçların sinyalize kavşaklarda dur-kalk yapmaması gibi. Bu uygulama ile bir yandan sürücülere zamandan tasarruf sağlanırken diğer yandan araçlardan çevreye yayılan zehirli gaz salınımları da azaltılmaktadır.

Bandırma'da tespit edilen en düşük sıcaklık-14,6 °C, en yüksek sıcaklık 42,4 °C'dir. Kentleşme oranın %85,27 olduğu Bandırma, sosyoekonomik olarak Ülkemizin en gelişmiş 23.kentidir.İstanbul'dan denizyolu (feribot) İzmir'den demiryolu (tren) ve Bursa, Ankara, vb. illerden karayolu ile Bandırma'ya ulaşılabilmektedir (Vikipedi, 2021). Bandırma'nın genel görünümü şekil 1'de gösterilmiştir (Bandırma Ulaşım A.Ş., 2021).



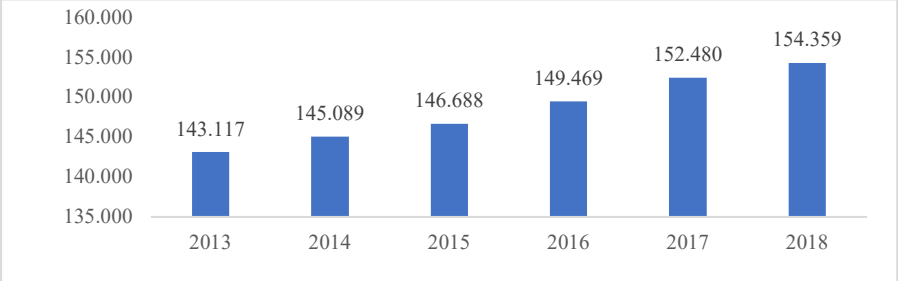
Şekil 1. Bandırma Genel Görünüm Kaynak:(Bandırma Ulaşım A.Ş., 2021)

Bandırma'da toplu ulaşım hizmetleri 20 hatta 97 toplu ulaşım aracı ile Bandırma Ulaşım A.Ş. tarafından yürütülmektedir. Bazı toplu ulaşım araçlarının alçak tabanlı olması, biniş-iniş rampalarının olması dezavantajlı durumdaki engelli ve yaşlı yolculara kolaylık sağlamaktadır. Otobüslerde bulunan led ekranlar sayesinde yolcular otobüsün hat güzergahını rahatlıkla görebilmektedir. Tam, indirimli ve serbest seyahat kartları ile yolculuk ücretleri hızlı, kolay ve pratik şekilde elektronik olarak ödenmektedir. Ayrıca ücret ödemesi temassız kredi ve banka kartları ile de yapılabilmektedir. Bandırma toplu ulaşım araçlarındaki AUS uygulamaları şekil 2'de gösterilmiştir (Bandırma Ulaşım A.Ş., 2021).Toplu ulaşım araçlarındaki bu tür uygulamalar yolcuların ulaşımlarını daha kolay hale getirerek ulaşım kalitesini yükseltmektedir.



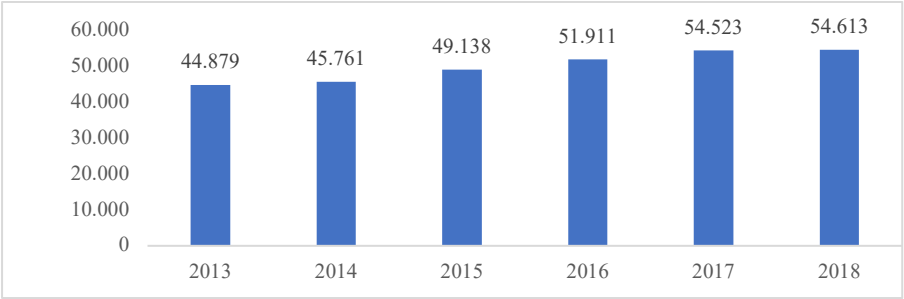
Şekil 2. Bandırma Toplu Ulaşım Araçlarında AUS Uygulamaları Kaynak:(Bandırma Ulaşım A.Ş., 2021)

Bandırma nüfusu şekil 3'te görüldüğü üzere her geçen yıl artmaktadır.2013 yılında 143.117 olan nüfus yaklaşık %8'lik artış ile 2018 yılında 154.359 olmuştur.2020 yılı itibarı ile 158.857 Bandırma nüfusunun %50,55'i erkek, %49,45'i kadındır (nufusu.com, 2021).



Şekil 3. Bandırma Nüfusu Kaynak:(nufusu.com, 2021)

Bandırma'daki araç sayısı şekil 4'te görüldüğü üzere her geçen yıl artmaktadır.2013 yılında 44.879 olan araç sayısı yaklaşık %22'lik artış ile 2018'de 54.613 olmuştur (Tektas & Aslan, 2019).



Şekil 4. Bandırma Araç Sayısı Kaynak:(Tektas & Aslan, 2019)

2013-2018 yılları arasında kent nüfusu %8 artış gösterirken araç sayısı %22'lik bir artış göstermiştir. Yani kent sakinlerinin araç sahipliği artmıştır. Bir diğer ifade ile 2013 yılında 100 kişiye 31 araç düşerken 2018 yılında 35 araç düşmektedir.

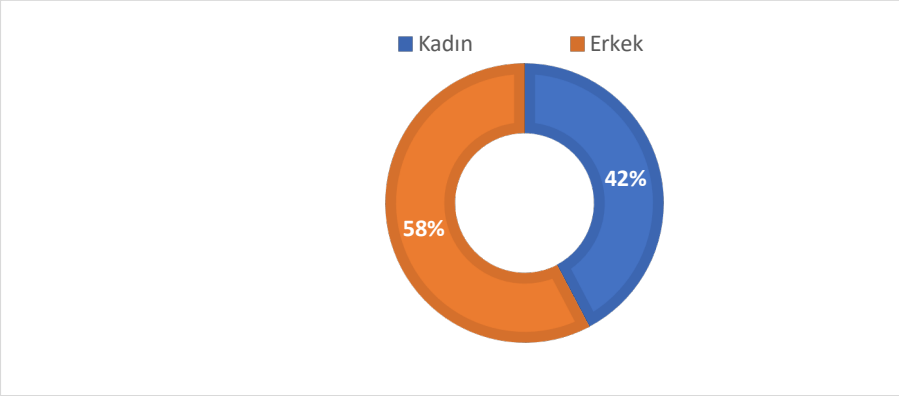
Trafikteki araç sayısının sürekli artması kent içi ulaşımda bazı sorunların daha da artmasına (trafik yoğunluğu, tıkanıklığı, kazaları, vb.) neden olmaktadır. Sürekli artan nüfusun kent içi ulaşım başta olmak üzere birtakım ihtiyaçları (barınma vb.) ortaya çıkmakta ve bu ihtiyaçların karşılanması gerekmektedir. Artan nüfusun kent içi ulaşım ile ilgili ihtiyaçlarını öğrenmek ve taleplerini karşılamak amacı ile kent sakinleriyle anket yapılmıştır. Yüz yüze veya internet üzerinden yapılan ankete 2.279 kişi katılmıştır.

Tablo 1'de görüldüğü üzere ankete 1.315 erkek, 964 kadın katılmıştır. (Tablo 1)

Tablo 1. Ankete Katılan Kişilerin Cinsiyet Dağılımı

	N	%
Kadın	964	0,42
Erkek	1.315	0,58
Toplam	2.279	1,00

Şekil 5'te görüldüğü üzere ankete katılan kişilerin %58'i erkek, %42'si kadındır. (Şekil 5)



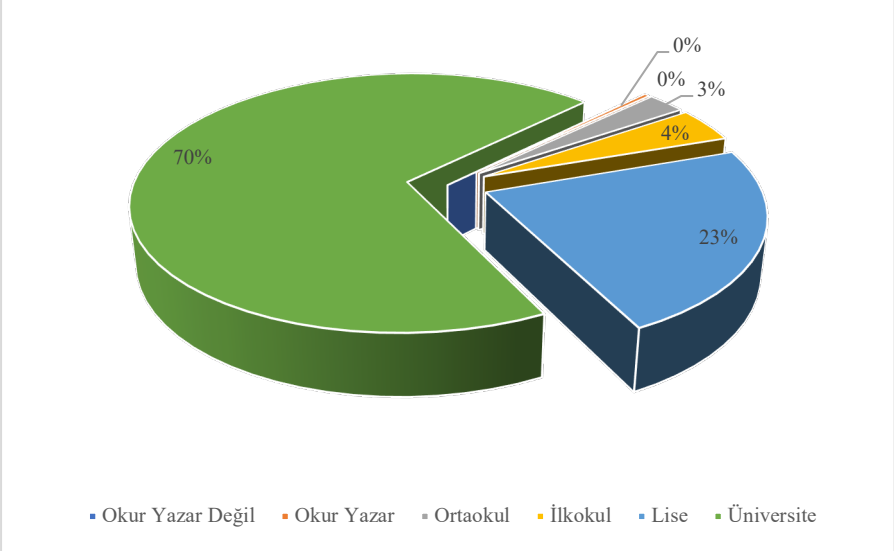
Şekil 5. Cinsiyet Dağılımı

Tablo 2'de görüldüğü üzere ankete katılan kişilerin 1.594'ü üniversite, 520'si lise, 97'si ilkokul, 59'u ortaokul mezunu veya öğrencisidir. Okur yazar sayısı 8 iken okur yazar olmayan sayısı 1'dir.(Tablo 2)

Tablo 2. Ankete Katılan Kişilerin Eğitim Durumu

	N	%
Okur Yazar Değil	1	0,00
Okur Yazar	8	0,00
Ortaokul	59	0,03
İlkokul	97	0,04
Lise	520	0,23
Üniversite	1.594	0,70
Toplam	2.279	1,00

Şekil 6'da görüldüğü üzere ankete katılan kişilerin %70'i üniversite, %23'ü lise mezunu veya öğrencisidir. (Şekil 6)



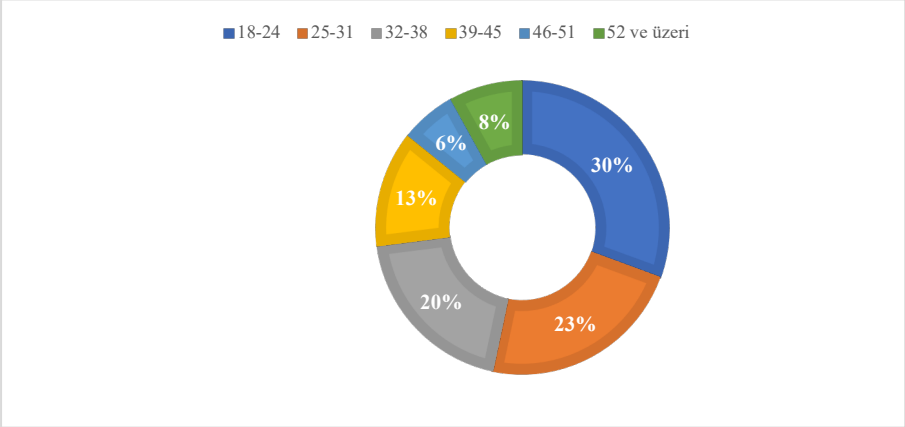
Şekil 6. Eğitim Durumu

Ankete katılan kişilerin yaş durumu tablo 3'te gösterilmiştir. Ankete katılan kişilerden 18-24 yaş aralığında olan kişi sayısı 697, 25-31 arası 518, 32-38 arası 449, 39-45 arası 291, 46-51 arası 140'dır.52 yaş ve üzeri ise 184 kişidir. (Tablo 3)

Tablo 3. Ankete Katılan Kişilerin Yaş Durumu

	N	%
18-24	697	0,30
25-31	518	0,23
32-38	449	0,20
39-45	291	0,13
46-51	140	0,06
52 ve üzeri	184	0,08
Toplam	2.279	1,00

Şekil 7'de görüldüğü üzere ankete katılan kişilerin %30'u 18-24, %23'ü 25-31, %20'si 32-38, %13'ü 39-45 ve %6'sı 46-51 yaş aralığındadır. 52 yaş ve üzeri olanların oranı ise %8'dir.(Şekil 7)



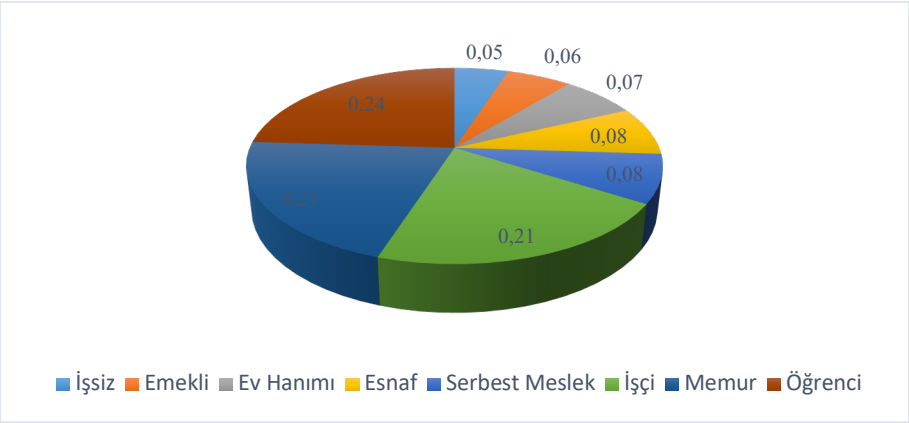
Şekil 7. Ankete katılan kişilerin yaş durumu

Tablo 4'te ankete katılan kişilerin mesleki durumuna bakıldığında ankete 554 öğrenci, 475 memur, 474 işçi, 191 serbest meslek, 181 esnaf, 147 ev hanımı, 136 emekli ve 121 işsiz katılmıştır. (Tablo 4)

Tablo 4. Ankete Katılan Kişilerin Mesleki Durumu

	N	%
İşsiz	121	0,05
Emekli	136	0,06
Ev hanımı	147	0,07
Esnaf	181	0,08
Serbest meslek	191	0,08
İşçi	474	0,21
Memur	475	0,21
Öğrenci	554	0,24
Toplam	2.279	1,00

Şekil 8'de görüldüğü üzere ankete katılan kişilerin %24'ü öğrenci, %21'i memur, %21'i işçidir. Mesleki durumu işsiz, emekli, ev hanımı, esnaf ve serbest meslek olanların oranı ise %34'tür.(Şekil 8)



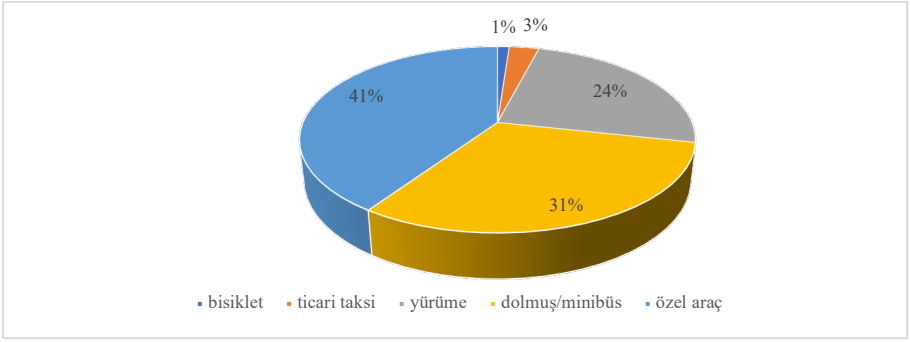
Şekil 8. Ankete Katılan Kişilerin Mesleki Durumu

Tablo 5'te görüldüğü üzere kent içi ulaşımda kent sakinleri (923 kişi) genellikle özel araçlarını kullanmaktadır. Kent içi ulaşımda toplu ulaşım araçlarını (dolmuş/minibüs+ticari taksi) tercih edenlerin sayısı 774'tür.Yerleşim yerlerinin kent merkezine yakın olması nedeni ile kent sakinleri (556 kişi) ulaşımlarını yürüyerekte gerçekleştirebilmektedir. İlçenin coğrafi yapısı itibarı ile engebeli olması ve bisiklet yollarının olmaması nedeni bisiklet kullanımı azdır. (Tablo 5)

Tablo 5. Kent İçi Ulaşımda Tercih Edilen Ulaşım Türü

	N	%
Bisiklet	26	0,01
Ticari Taksi	66	0,03
Yürüme	556	0,24
Dolmuş/Minibüs	708	0,31
Özel Araç	923	0,41
Toplam	2.279	1,00

Kent içi ulaşımda tercih edilen ulaşım türü şekil 9'da gösterilmiştir. Kent içinde yolculuk dağılımına bakıldığında yolculukların %41'i özel araç, %31 dolmuş/minibüs, %24'ü yürüme, %3'ü ticari taksi ve %1'i bisiklet ile yapılmaktadır. Kent içinde özel araç kullanımının (%41) dolmuş/minibüs ve ticari taksi gibi toplu ulaşım araç kullanımından (%34) fazla olması kent trafiğinde trafik kazası, sıkışıklığı, zaman kaybı gibi sorunların daha da artmasına neden olmaktadır. Bu sorunların önüne geçmek veya azaltmak için toplu ulaşım araçlarının kullanımının teşvik edilmesi gerekmektedir. (Şekil 9)



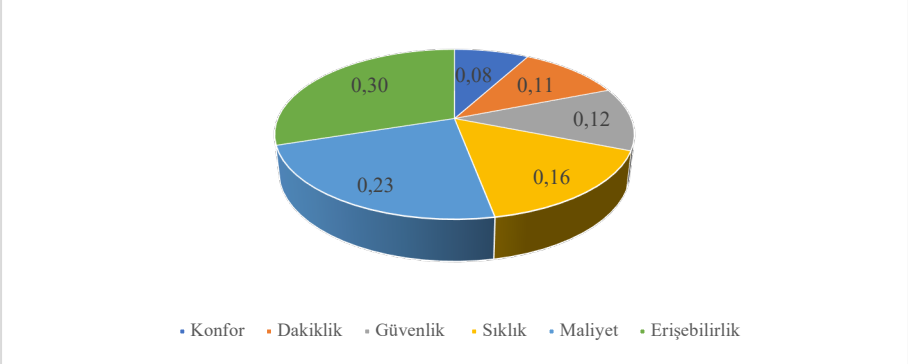
Şekil 9. Kent İçi Ulaşımda Tercih Edilen Ulaşım Türü

Kent içi toplu ulaşım araçlarında öncelik sırası tablo 6'da gösterilmiştir. Yolcular için kent içi toplu ulaşım araçlarına erişebilirlik en öncelikli ulaşım unsurudur. Bunu sırası ile maliyet, sıklık, güvenlik, dakiklik ve konfor takip etmektedir. (Tablo 6)

Tablo 6. Kent İçi Toplu Ulaşım Araçlarında Öncelik Sırası

	N	%
Konfor	186	0,08
Dakiklik	242	0,11
Güvenlik	270	0,12
Sıklık	359	0,16
Maliyet	529	0,23
Erişebilirlik	693	0,30
Toplam	2.279	1,00

Şekil 10'da görüldüğü üzere yolcular için kent içi toplu ulaşım araçlarına erişebilirlik (%30) toplu ulaşımda en öncelikli etkendir. Öncelik sırasına göre toplu ulaşım araçlarının maliyeti (%23) sıklığı (%16) güvenliği (%12) dakikliği (%11) ve konforu (%8) yolcuların toplu ulaşım kullanımını etkileyen diğer etkenlerdir. (Şekil 10)



Şekil 10. Kent İçi Toplu Ulaşım Araçlarında Öncelik Sırası

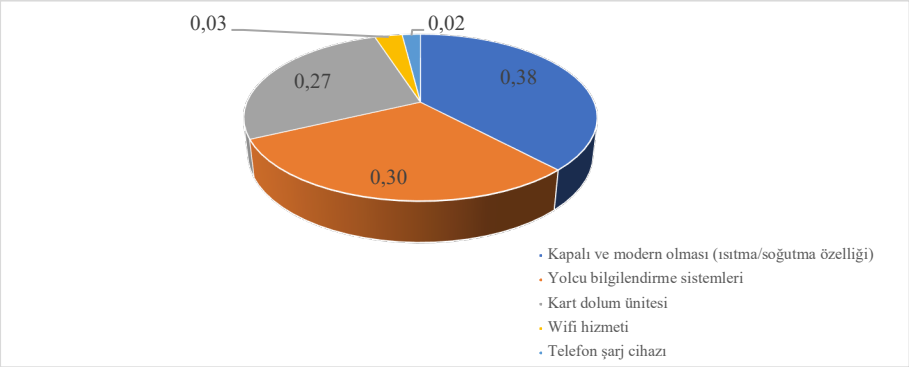
Tablo 7'de görüldüğü üzere kent içi duraklarda olması istenen öncelikli hizmetler arasında birinci sırada durakların kapalı ve modern olması (874 kişi) gelirken bunu sırası ile yolcu bilgilendirme sistemleri (694 kişi) ve kart dolum ünitesi (607 kişi) takip etmektedir. En az talep edilen hizmet ise wifi ve telefon şarj cihazıdır. (Tablo 7)

Tablo 7. Kent İçi Duraklarda Olması Gereken Öncelikli Hizmet

	N	%
Kapalı ve modern olması (Isıtma /soğutma özelliği)	874	0,38
Yolcu bilgilendirme sistemleri	694	0,30
Kart dolum ünitesi	607	0,27
Wifi hizmeti	68	0,03
Telefon şarj cihazı	36	0,02
Toplam	2.279	1,00

Şekil 11'de görüldüğü üzere kent içi duraklarda olması istenen hizmetler arasında birinci sırada %38 ile durakların kapalı ve modern olması (ısıtma/soğutma özelliği) gelmektedir. Yani yolcular kendilerini olumsuz hava koşullarına (soğuk, sıcak, kar, yağmur vb.) karşı koruyacak duraklar talep etmektedir. Yolcular tarafından duraklarda olması istenen hizmetler arasında ikinci sırada %30 ile yolcu bilgilendirme sistemleri gelmektedir. Bu

sistemler sayesinde duraklardaki bilgilendirme ekranları veya mobil uygulama aracılığı ile toplu ulaşım araçlarına ait bilgiler (konumu, durağa geliş süresi vb.) gerçek zamanlı olarak yolculara iletilmektedir. Bu sayede yolcuların duraklardaki bekleme süreleri kısalmaktadır. Talep edilen en önemli hizmetlerden bir diğeri duraklarda kart dolum ünitelerinin (%27) olmasıdır. En az talep edilen hizmetler ise wifi (%3) ve telefon şarj cihazıdır. (%2) (Şekil 11)



Şekil 11. Kent İçi Duraklarda Olması Gereken Öncelikli Hizmet

2. Akıllı Duraklar

Akıllı duraklar, temel işlev olarak toplu ulaşım araçlarının konumu, durağa geliş ve duraktan çıkış süresi vb. bilgileri gerçek zamanlı olarak duraklardaki ekranlar aracılığı ile yolculara iletmektedir. Yolcular bu duraklar ile bir yandan bilgilendirilirken diğer yandan olumsuz hava koşullarına (yağmur, soğuk, kar, rüzgâr vb.) ve olası trafik kazalarına karşı korunmaktadır. Şöyle ki İstanbul, Ankara, Bursa vb. illerimizde son 5 yıl içerisinde duraklarda meydana gelen trafik kazalarında 32 kişi yaşamını yitirmiş, 81 kişi yaralanmıştır (Yildirim & Ergün, 2020).Şekil 12'de görüldüğü üzere 2017 yılında İstanbul Ataşehir'de durakta meydana gelen trafik kazasında 1 kişi yaralanmıştır (NTV, 2017).



Şekil 12. Durakta Meydana Gelen Kaza (İstanbul-Ataşehir) Kaynak:(NTV, 2017)

Şekil 13'te görüldüğü üzere 2021 yılında Ankara'nın Pursaklar ilçesinde meydana gelen trafik kazasında durakta bekleyen bir yolcu yaşamını yitirmiştir (Sözcü, 2021).



Şekil 13. Durakta Meydana Gelen Kaza (Ankara-Pursaklar) Kaynak:(Sözcü, 2021)

Yolcuların duraklarda bekleme sürelerini kısaltan akıllı duraklar ile duraklardaki yolcu yoğunluğu da azalmaktadır. Duraklarda wifi hizmetinin sunulması yolcuların meşgul olmasını sağlayarak toplu ulaşım aracını beklerken yolcularda sürenin hızlı geçtiği hissini uyandırmaktadır(Atmaca, 2020). Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki değişimleri ve yenilikleri yakından takip eden yerel yönetimler kent içindeki akıllı duraklar ile yolcularına daha kaliteli toplu ulaşım hizmeti sunmaktadır. Yolcuların ulaşım kalitesini yükseltmek amacı ile İstanbul, Mersin, İzmir, Şanlıurfa, Kahramanmaraş, Erzurum, Ordu, Balıkesir, Gümüşhane, Bilecik'te yerel yönetimler tarafından akıllı duraklar hizmete sunulmuştur.

2.1 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Akıllı Durak

İstanbul Büyükşehir Belediyesi MobİETT uygulaması ile İstanbul'daki durakları akıllı durağa çevirmiştir. Şekil 14'te gösterilen MobİETT uygulaması ile yolcular yakındaki durakları ve bu durağa ait otobüslerin tahmini geliş sürelerini öğrenebilmektedir. Akıllı duraklarda bulunan ekranlar ile de yolcular bu bilgileri (otobüs hattı, tahmini geliş süresi vb.) görebilmektedir (İBB, 2014).



Şekil 14. MobİETT Uygulaması Kaynak:(İBB, 2014)

Şekil 15'te gösterilen akıllı durakta yolcu bilgilendirme ekranları, bas konuş ünitesi bulunmakta ve wifi hizmeti sunulmaktadır. Durakta bulunan bas konuş ünitesi ile görme engelli yolcular için otobüsün durağa tahmini geliş süresi sesli şekilde yapılmaktadır. Yürüme engelli yolcuların akülü araçlarını şarj edebilecekleri şarj üniteleri de mevcuttur. (Memurlar.Net, 2016).



Şekil 15. Yıldız Teknik Üniversitesi Akıllı Durak Kaynak:(Memurlar.Net, 2016)

2.2 Mersin Büyükşehir Belediyesi Akıllı Durak

Kentte yolcu yoğunluğunun fazla olduğu duraklar Mersin Büyükşehir Belediyesi tarafından şekil 16'da görüldüğü üzere akıllı hale getirilmiştir. 51 farklı noktada bulunan akıllı duraklar sayesinde yolcular ulaşımlarını rahat bir şekilde yapabilmektedir. Durağa ait hat numarası ve adı, araçların durağa tahmini geliş süresi bilgileri gerek Kentkart mobil uygulama üzerinden gerekse duraklardaki ekranlardan öğrenilebilmektedir. Duraklarda bulunan paneller ile depolanan güneş enerjisi yolcu bilgilendirme ekranlarında kullanılmaktadır (Mersin Büyükşehir Belediyesi, 2020).



Şekil 16. Mersin Akıllı Durak Kaynak:(Mersin Büyükşehir Belediyesi, 2020)

2.3 İzmir Büyükşehir Belediyesi Akıllı Durak

Yolcularına daha kaliteli bir ulaşım hizmeti sunmak amacı ile İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından kentin 110 farklı noktasında akıllı duraklar hayata geçirilmiştir. Şekil 17'deki akıllı duraklar sayesinde yolcular duraktan geçen otobüslerin hat numarası, gidiş yönü, tahmini geliş süresi vb. bilgileri dijital ekranlardan görebilmektedir. Yolcular durağa gelmeden önce web adresi (www.eshot.gov.tr) üzerinden de bu bilgileri öğrenebilmektedir (Eshot, 2014).Bu sayede yolcular ulaşımlarını planlayarak zamandan tasarruf etmektedir.



Şekil 17. İzmir Akıllı Durak Kaynak:(Eshot, 2014)

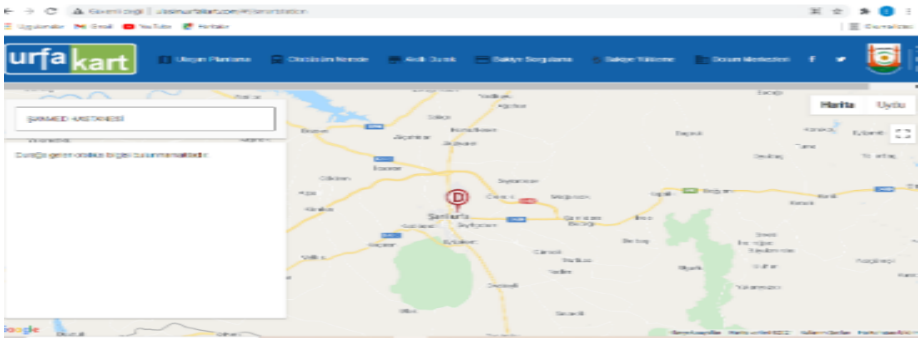
2.4 Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi Akıllı Durak

Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi tarafından yolcuların duraklarda bekleme sürelerini kısaltan akıllı duraklar hayata geçirilmiştir. Yolcular şekil 18'de gösterilen akıllı duraklarda bulunan LED ekranlar aracılığıyla toplu ulaşım araçlarının durağa tahmini geliş süresini öğrenebilmektedir (Hürriyet.com.tr, 2015).



Şekil 58. Şanlıurfa Akıllı Durak Kaynak:(Hürriyet.com.tr, 2015)

Şekil 19'da görüldüğü üzere web adresi (http://ulasim.urfakart.com/#!/smartstation) üzerinden de akıllı durak sorgulaması ile otobüs bilgileri öğrenilebilmektedir (Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi, 2021).



Şekil 19. Şanlıurfa Akıllı Durak Web Adresi Kaynak:(Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi, 2021)

2.5 Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi Akıllı Durak

Kahramanmaraş'ta yolcular otobüslerin hat numarası ve güzergahı, tahmini geliş süresi vb. bilgileri şekil 20'de gösterilen akıllı duraklar sayesinde öğrenebilmektedir (Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi, 2021).



Şekil 20. Kahramanmaraş Akıllı Durak Kaynak:(Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi, 2021)

2.6 Erzurum Büyükşehir Belediyesi Akıllı Durak

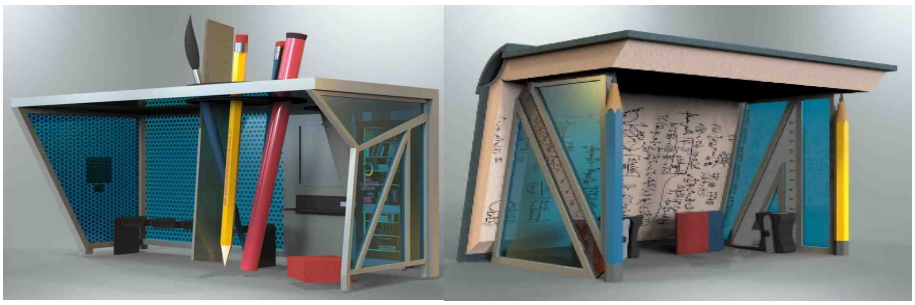
Şekil 21'de görüldüğü üzere Erzurum Büyükşehir Belediyesi tarafından yolcu hareketliliğinin yoğun olduğu yerlere yerleştirilen akıllı duraklar sayesinde yolcular toplu ulaşım aracının durağa geliş süresini duraktaki yolcu bilgilendirme ekranlarından öğrenebilmektedir. Kışın ısıtma, yazın soğutma özelliği bulunan durakta yolcular olumsuz hava koşullarına karşı korunmaktadır (Erzurum Büyükşehir Belediyesi, 2016).



Şekil 21. Erzurum Akıllı Durak Kaynak:(Erzurum Büyükşehir Belediyesi, 2016)

2.7 Ordu Büyükşehir Belediyesi Akıllı Durak

Ordu'da okulların bulunduğu bölgelere yerleştirilen ve farklılık yaratan akıllı duraklar güneş enerjisi ile çalışmaktadır. Şekil 22'de gösterilen yeni nesil akıllı duraklarda bilgi ekranı ve engelli yolcular için sesli anlatım özelliği bulunmaktadır (Ordu Büyükşehir Belediyesi, 2021).



Şekil 22. Ordu Akıllı Durak Kaynak:(Ordu Büyükşehir Belediyesi, 2021)

2.8 Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Akıllı Durak

Balıkesir'de yolcuların ulaşımlarını daha konforlu hale getirmek amacı ile kentin 2 farklı noktasında akıllı durak bulunmaktadır. İnternet özelliği bulunan şekil 23'teki akıllı durakların bazı bölümleri kapalı bazı bölümleri ise açıktır. Duraklarda bulunan klima mevsimine göre (yaz-kış) yolcuları olumsuz hava koşullarına (sıcak-soğuk) karşı korumaktadır (Sabah, 2020).



Şekil 23. Balıkesir Akıllı Durak Kaynak:(Sabah, 2020)

2.9 Gümüşhane Belediyesi Akıllı Durak

Kış mevsimin ağır (kar, soğuk, ayaz vb.) geçtiği illerimizden biri olan Gümüşhane'de şekil 24'te gösterilen kapalı duraklar yolcuları olumsuz hava koşullarına karşı korumaktadır. Durakta bulunan klimalar yolcuları kışın soğuğa yazın ise sıcağa karşı korumaktadır (Hürriyet.com.tr, 2018).



Şekil 24. Gümüşhane Akıllı Durak Kaynak:(Hürriyet.com.tr, 2018)

2.10 Bilecik Belediyesi Akıllı Durak

Akıllı durakların hayata geçirildiği yerlerden birisi de Bilecik'tir. Kentin farklı noktalarında bulunan şekil 25'teki 6K (Kamera, Kios, Kahve makinesi, Kütüphane, Kablosuz internet, Kurumsal rehber) akıllı duraklar ile yolculara kaliteli ulaşım hizmeti sunulmaktadır (Milliyet, 2017). Ertuğrulgazi ve Pelitözü mahalleleri ile birlikte kent genelinde 15 adet 6K akıllı durak bulunmaktadır (Bilecikhaber 11, 2019).



Şekil 25. Bilecik Akıllı Durak Kaynak:(Milliyet, 2017)

3. Sonuç ve Öneriler

Ülkemizin farklı bölgelerindeki İstanbul, Balıkesir, Bilecik (Marmara) İzmir (Ege) Mersin, Kahramanmaraş (Akdeniz) Şanlıurfa (Güneydoğu) Erzurum (Doğu) Ordu, Gümüşhane (Karadeniz) illerinde yerel yönetimler tarafından yolcuların hizmetine sunulan akıllı duraklar ulaşım kalitesini yükseltmektedir. Toplu ulaşım aracının durağa ne zaman geleceğini mobil uygulama veya duraklardaki bilgi ekranları ile öğrenen yolcular o zaman diliminde durağa yönelerek durakta beklemektedir. Böylelikle yolcuların duraklardaki bekleme süreleri kısalmaktadır. Bir yandan yolcular için zamandan tasarruf sağlayan akıllı duraklar diğer yandan yolcuları olumsuz hava koşullarına (yağmur, soğuk, kar, rüzgâr vb.) ve olası trafik kazalarına karşı korumaktadır.

Bandırma'da kent sakinlerinin kent içi ulaşım sorunlarını öğrenmek ve taleplerini karşılamak amacı yapılan ankette yolcuların kent içi duraklarda olmasını istediği hizmetler

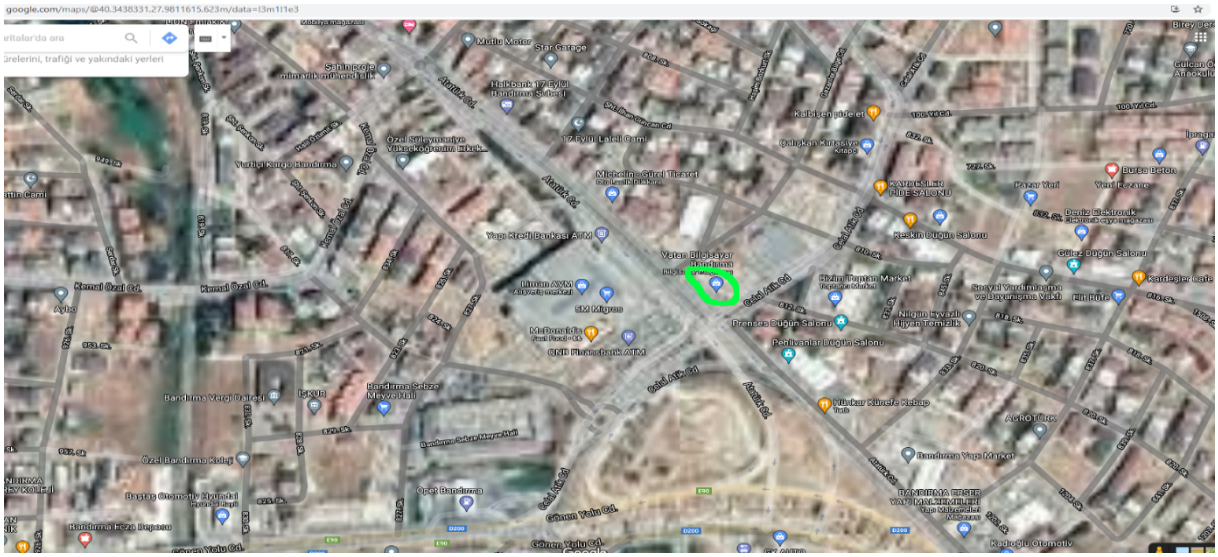
arasında birinci sırada durakların kapalı ve modern olması (ısıtma/soğutma özelliği) gelirken bunu sırası ile yolcu bilgilendirme sistemleri ve kart dolum ünitesi takip etmektedir. En az talep edilen hizmetler ise wifi ve telefon şarj cihazı ünitesidir. Bu talepleri karşılamak amacı ile Bandırma Belediyesine, yolcu yoğunluğunun fazla olduğu hastane-üniversite-lise bölgesine, Bandırma Liman alış-veriş merkezi (AVM) karşısı, 3 caddenin (Mehmet Akif Ersoy, Ordu ve Mehmetçik) kesiştiği yere İstanbul, Mersin, İzmir, Şanlıurfa, Kahramanmaraş, Erzurum, Ordu, Balıkesir, Gümüşhane, Bilecik'teki gibi akıllı duraklar önerilmiştir. Akıllı durakların yeri anket ve trafik sayımları sonucuna göre kent sakinlerinin talebine uygun şekilde seçilmiştir.

Şekil 26'da görüldüğü üzere hastane (Bandırma Devlet Hastanesi), üniversite (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) ve liseler (Şehit Mehmet Gönenç Anadolu Lisesi, Bandırma Ali Öztaylan Anadolu İmam Hatip Lisesi ve Enerjisa Bandırma Fen Lisesi) aynı bölgede bulunmaktadır. Anket ve trafik sayımları sonucunda bu bölgedeki yolcu yoğunluğunun (kent sakinleri, öğrenciler) fazla olduğu tespit edilmiştir. Yolcular kent merkezine yapacakları yolculuklar için hali hazırda Üniversite tarafındaki yol kenarında toplu ulaşım araçlarını beklemektedir. Şekil 26'da gösterilen ve yolcuların toplu ulaşım araçlarını beklediği yere yapılacak akıllı durak bu bölgedeki yolcuların (kent sakinleri, öğrenciler) duraklar ile ilgili taleplerini karşılayacaktır.



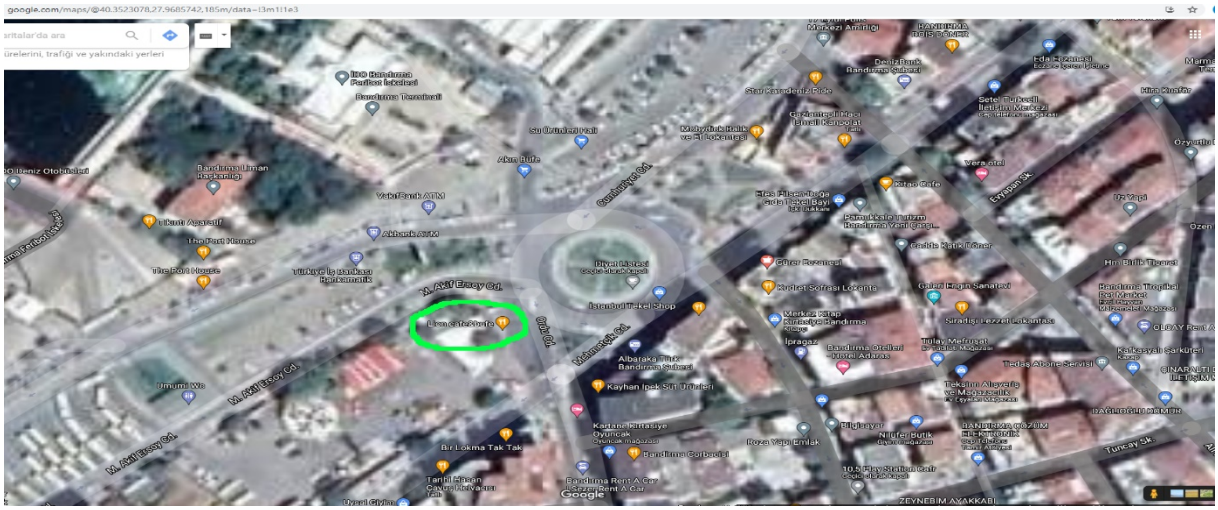
Şekil 26. Hastane-Üniversite-Liseler Bölgesi Kaynak:(Google, 2021)

Bandırma Liman alış-veriş merkezi (AVM) insani hareketliliğin fazla olduğu bir yerdir. Bu hareketlilik hafta sonu daha da artmaktadır. Yolcular kent merkezine yapacakları yolculuklar için hali hazırda toplu ulaşım araçlarını şekil 27'de gösterilen Vatan Bilgisayar önündeki yol kenarında beklemektedir. Vatan Bilgisayar önüne yapılacak akıllı durak yolcuların Atatürk Caddesi üzerinden kent merkezine yapacakları yolculuklarda duraklar ile ilgili taleplerini karşılayacaktır.



Şekil 27. Bandırma Liman Alış-Veriş Merkezi (AVM) Kaynak:(Google, 2021)

Mehmet Akif Ersoy, Ordu ve Mehmetçik caddelerinin kesiştiği yer (Lion Cafe&büfe önü) kent içinde yolcu yoğunluğunun fazla olduğu yerlerden biridir. Ve yolcular toplu ulaşım araçlarını hali hazırda şekil 28'de gösterilen Lion Cafe&büfe önünde beklemektedir. Lion cafe&büfe önüne yapılacak akıllı durak yolcuların kent merkezinden diğer bölgelere (Liman AVM, hastane, üniversite, lise vb.) yapacakları yolculuklarda duraklar ile ilgili taleplerini karşılayacaktır.



Şekil 28. Üç caddenin (Mehmet Akif Ersoy, Ordu ve Mehmetçik) Kesiştiği Yer Kaynak:(Google, 2021)

4. Kaynaklar

Atmaca, M. (2020). Akıllı Durakların Yolcu Davranışları Üzerindeki Etkisi. İstanbul Gelişim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Bandırma Ulaşım A.Ş. (2021). https://www.bandirmaulasim.com/

BANÜ. (2021). Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi - Rektörlük Goster. https://www.bandirma.edu.tr/tr/www/Sayfa/Goster/Tarihce-4

Bilecikhaber 11. (2019). 15. Akıllı Durak Bilecik'e Hayırlı ve Uğurlu Olsun Dedi Başkan Can • Bilecik Haber 11. https://bilecikhaber11.com/15-akilli-durak-bilecike-hayirli-ve-ugurlu-olsun-dedi-baskan-can/

Erzurum Büyükşehir Belediyesi. (2016). Erzurum Büyükşehir Belediyesi. https://www.erzurum.bel.tr/GuncelHaber-buyuksehir-isitmali-ve-akilli-durak-sayisini-artiriyor/29/10570.html

Eshot. (2014). https://www.eshot.gov.tr/(X(1)S(g1tp0ryd4naglx3z1faqvye0))/tr/Haberler/1256/91?AspxAutoDetectCookieSupport=1

Google. (2021). Google Haritalar. https://www.google.com/maps/@40.3442163,27.9822201,441m/data=!3m1!1e3

Hürriyet.com.tr. (2015). Hürriyet.com.tr. https://www.hurriyet.com.tr/sanliurfa-da-akilli-durak-uygulamasi-hayata-gecti-37086556

Hürriyet.com.tr. (2018). Gümüşhane Haberleri - Gümüşhane'de klimalı duraklar - Yerel Haberler. https://www.hurriyet.com.tr/yerel-haberler/gumushane/gumushanede-klimali-duraklar-41021164

İBB. (2014). Mobiett ile artık her durak akıllı. https://www.iett.istanbul/tr/main/news/mobiett-ile-artik-her-durak-akilli/1397

Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi. (2021). Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi. https://kahramanmaras.bel.tr/akilli-durak-sistemi

Memurlar.Net. (2016). https://www.memurlar.net/haber/582597/enerjisini-gunesten-alan-akilli-durak.html

Mersin Büyükşehir Belediyesi. (2020). https://www.mersin.bel.tr/haber/mersin-de-duraklar-da-akillandi

Milliyet. (2017). 6K Akıllı Durakların İçinde Yok Yok - Bilecik Haberleri. https://www.milliyet.com.tr/yerel-haberler/bilecik/6k-akilli-duraklarin-icinde-yok-yok-11863794

NTV. (2017). Ataşehir'de kamyonet, otobüs durağına daldı: 1 yaralı | NTV. https://www.ntv.com.tr/turkiye/atasehirde-kamyonet-otobus-duragina-daldi-1-yarali,qlsSu4CAfk-TqfIXXS22Rwnufusu.com. (2021). Bandırma Nüfusu. https://www.nufusu.com/ilce/bandirma_balikesir-nufusu

Ordu Büyükşehir Belediyesi. (2021). Ordu Büyükşehir Belediyesi. https://www.ordu.bel.tr/Haber/43538/orduya-yeni-nesil-duraklar

Sabah. (2020). Balıkesir Büyükşehir Belediyesi. https://www.sabah.com.tr/balikesir/2020/06/09/balikesirde-akilli-durak-donemi-basliyor

Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi. (2021). http://ulasim.urfakart.com/#!/smartstation

Sözcü. (2021). Durakta bekleyen Veyis, hayatından oldu. https://www.sozcu.com.tr/2021/gundem/durakta-bekleyen-veyis-hayatindan-oldu-6496976/

Tektas, M., & Aslan, F. (2019). 2. Uluslararası Bandırma ve Çevresi Sempozyumu-Bandırma ve Çevresi Ulaşım Sorunları ve Çözüm Önerileri. https://www.researchgate.net/publication/340934180

Vikipedi. (2021). Bandırma Vikipedi. https://tr.wikipedia.org/wiki/Bandırma

Yildirim, K., & Ergün, B. (2020). Ankara İçin Alternatif Bir Otobüs Durağı Tasarım Önerisi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(2), 383–393. https://doi.org/10.29109/gujsc.693523

SVD Algoritması ile Araç Türlerinin Sınıflandırılması

Abdullah Elen[1], Arif Vatansever[2*]

[1]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği, Bandırma, Balıkesir/Türkiye,

[2]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri, Bandırma, Balıkesir/Türkiye,

*Sorumlu yazar e-mail adresi: arifvatansever@gmail.com

[1]ORCID: 0000-0003-1644-0476, **[2]ORCID:** 0000-0002-5493-0671

Özet

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), 21. yüzyılda bilişim teknolojilerinin gelişmesiyle beraber birçok kurum ve kuruluşun ilgi odağı haline gelmiştir. AUS kapsamında, trafik güvenliğinin artırılması, seyahat sürelerinin azaltılması, ulaşım yolu kapasitelerinin verimli kullanılması ve yakıt tasarrufu gibi birçok amaca yönelik bilimsel araştırmalar yapılmaktadır. Özellikle otonom ve insansız araç tasarımları son yıllarda araştırmacılar için oldukça popüler hale gelmiştir. Bu tür araçlar, otomatik kontrol sistemi ve donanımları sayesinde insan faktörüne gereksinim duymadan trafik durumunu ve çevre şartlarını algılayarak hedeflenen konuma gidebilme yeteneğine sahiptir. Bu bağlamda, literatüre katkı sunmak amacıyla araç türlerinin yapay öğrenme teknikleriyle sınıflandırılmasına bir örnek olarak deneysel bir çalışma gerçekleştirdik. Bu çalışmada, Literatürde Statlog (Vehicle Silhouettes) veri seti olarak bilinen, dört farklı araç türüne ait (çift katlı otobüs, Cheverolet minibüs, Saab 9000 ve Opel Manta 400) farklı açılardaki görüntü siluetlerinden elde edilen özniteliklere göre sınıflandırılması amaçlanmıştır. Sınıflandırıcı olarak, mesafe-tabanlı bir yapay öğrenme tekniği olan Standardized Variable Distances (SVD) algoritması kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, SVD'nin 12 farklı metrik ile sınıflandırma testleri yapılmış ve ortalama %80 doğruluk oranıyla Mahalanobis metriğinin en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Araç sınıflandırma, SVD, makine öğrenmesi.

Classification of Vehicle Types with SVD Algorithm

Abstract

Intelligent Transportation Systems (ITS) has become the focus of attention of many institutions and organizations with the development of information technologies in the 21st century. Within the scope of ITS, scientific researches are carried out for many purposes such as increasing traffic safety, reducing travel times, efficient use of transportation capacity and fuel saving. Especially autonomous and unmanned vehicle designs have become very popular for researchers in recent years. Thanks to its automatic control system and equipment, such vehicles have the ability to go to the targeted location by sensing the traffic situation and environmental conditions without the need for human factors. In this context, we conducted an experimental study as an example of classifying tool types with machine learning techniques in order to contribute to the literature. In this study, it is aimed to classify four different vehicle types (double-decker bus, Cheverolet minibus, Saab 9000 and

Opel Manta 400), known as Statlog (Vehicle Silhouettes) dataset in the literature, according to the features obtained from the image silhouettes at different angles. Standardized Variable Distances (SVD) algorithm, which is a distance-based machine learning technique, is used as a classifier. In experimental studies, classification tests of SVD were performed with 12 different metrics and it was seen that Mahalanobis metric gave the best result with an average accuracy of 80%.

Keywords: Classification of Vehicle, SVD, Machine Learning.

1. Giriş

Otonom araçların ve Akıllı Ulaşım Sistemlerinin (AUS) gelişimi son yıllarda büyük ilgi görmektedir. Akıllı ulaşım sistemlerinde kullanılan teknolojiler, özellikle otonom araçlarda, bugün dünyanın kalbinde birçok araştırma ekibinin araştırma ve yenilik faaliyetlerine yön vermektedir [1]. Otonom sistemlerin toplumsal faydaları belirli uygulamaya bağlı olarak değişse de mevcut ve yeni geliştirilen yapay zekâ uygulamaları, insan yaşamının kalitesinin ve güvenliğinin iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Örneğin, sürücüsüz otomobillerin yaygınlaşmasıyla birlikte emisyonlarının azaltılması, yaşlılara ve engellilere hareketlilik sağlanması, ulaşım maliyetlerinin düşürülmesi ve suçların azaltılması ön görülmektedir [2]. Otonom sürüş bağlamında, bir aracın başlangıçtaki konumundan hedef konuma ilerletmek için engellerin, yol işaretlerinin ve işaretlemelerin konumu gibi engellerden kaçınmak ve yol yapısına uyum sağlanması gerekmektedir [3]. Trafik yönetim ve bilgi sistemlerinin trafik akışını düzgün bir şekilde sağlayabilmesi için çeşitli algılayıcılar yardımıyla trafikle ilgili bilgileri elde etmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, son yıllarda trafik gözlemi ve denetiminde video kameralarının kullanımı çok yaygınlaşmış ve aktif olarak kullanılmaktadır. Görüntü işleme tabanlı video izlemeye dayalı trafik sistemleri [4] yardımıyla plaka tanıma, araç sayısı bulma, trafik yoğunluğu tespiti, araç hızı hesaplanması, şerit ihlalleri ve araç sınıflandırma gibi birçok çalışma yapılabilmektedir [5]. Trafik izleme sistemleri, AUS'un ayrılmaz bir parçasıdır. Makine öğrenimi ve kablosuz iletişim teknolojilerindeki son gelişmeler, çok sayıda yenilikçi araç sınıflandırma sistemine yol açmıştır [6]. Araç algılama sistemleri, şehirlerin trafik yoğunluğunu izleme, kontrol etme ve gerekli planlamaları yapma konusunda büyük bir karar destek hizmeti sağlamaktadırlar [7].

Bu çalışmada, dört farklı araç türüne ait görüntü siluetlerinden elde edilen 846 girdi örneğinin literatürde kısa adı SVD olarak bilinen makine öğrenme algoritmasıyla sınıflandırılması yapılmıştır. Deneysel çalışmalarımızda, SVD'nin parametresi olarak 12 farklı mesafe metriği kullanılarak performansları karşılaştırılmıştır. Ayrıca, aynı veri setini kullanarak sınıflandırma yapan literatürdeki bazı çalışmalarla SVD'nin doğruluğu karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Seti

Statlog (Vehicle Silhouettes) veri seti [8], ilk olarak 1986-1987 yılları arasında JP Siebert tarafından Turing Enstitüsünde toplanmıştır. Asıl amaç, nesnelerin 2D siluetlerine bir şekil özelliği çıkarıcılar topluluğu uygulayarak, 2D görüntü içindeki 3D nesneleri ayırt etmenin bir yöntemini bulmaktı. Ayırt edilecek nesnelerin örnek siluetlerinden elde edilen şeklin özelliklerinin ölçüleri, tümevarım aracılığıyla bir sınıflandırmada kural ağacı oluşturmak için kullanılmıştır. Veri setindeki öznitelikler, araç siluetlerine ait hem minör ve majör

eksenler hakkında ölçeklendirilmiş varyans, çarpıklık ve basıklık gibi klasik momentlere dayalı ölçüleri hem de dairesellik, kompaktlık ve dikdörtgensellik gibi sezgisel ölçütleri kullanan özelliklerin bir kombinasyonunu oluşturan Hiyerarşik Görüntü İşleme Sistemi (HIPS) ile elde edilmiştir.

Tablo 2. Veri setine ait özniteliklerin istatistiksel değerleri.

Özellikler	Minimum	Maksimum	S. Sapma	Benzersiz
Compactness	73	119	8.23	44
Circularity	33	59	6.15	27
Distance circularity	40	112	15.78	63
Radius ratio	104	333	33.52	134
Praxis aspect ratio	47	138	7.89	37
Max length aspect ratio	2	55	4.60	21
Scatter ratio	112	265	33.21	131
Elongatedness	26	61	7.82	35
Praxis rectangular	17	29	2.59	13
Length rectangular	118	188	14.52	66
Major variance	130	320	31.41	128
Minor variance	184	1018	176.67	424
Gyration Radius	109	268	32.58	143
Major skewness	59	135	7.49	39
Minor skewness	0	22	4.92	23
Minor kurtosis	0	41	8.94	42
Major kurtosis	176	206	6.16	30
Hollow's ratio	181	211	7.44	31

Deney için dört "Corgie" model araç kullanıldı: bir çift katlı otobüs, Chevrolet van, Saab 9000 ve Opel Manta 400. Bu özel araç setinde; otomobil, minibüs ve otobüslerden herhangi biri kolayca ayırt edilebilirken otomobilleri kendi arasında ayırt etmek oldukça zordur. Veri setindeki tüm görüntüler, kamera yardımıyla farklı açılardan çekilmiş ve 128 × 128 piksellik uzamsal çözünürlükte gri seviyeye dönüştürülmüştür. Statlog (Vehicle Silhouettes) veri setinde 846 örnek görüntü üzerinden Tablo 1'de gösterildiği gibi 18 farklı öznitelik çıkarılmıştır.

2.2. Standardized Variable Distances (SVD)

Literatürde MDC (Mean Distance Classifier) olarak bilinen sınıflandırıcıdan esinlenerek geliştirilen SVD, bir girdi vektörünü sınıf etiketi merkezlerine olan standart sapmalı uzaklığını hesaplayarak etiketleme yapabilen bir yöntemdir. MDC'nin sınıflandırma performansı, öznitelik dokusunun çok az değişkenlik gösterdiği durumlarda oldukça etkilidir. Ancak varyans duyarsız olması, özellikle gürültülü öznitelik desenleri için bir dezavantajdır. SVD ile örneklerin merkezi vektörlere olan uzaklıklarını hesaplarken, standart sapma faktörünü dikkate alması nedeniyle MDC algoritmasına göre daha iyi performans göstermektedir [9].

SVD'de her bir sınıf etiketi için giriş vektörlerinin ortalama değerleri hesaplanarak, Eşitlik 1'de gösterildiği merkezi sınıf vektörleri ya da diğer bir ifadeyle merkezi sınıf matrisi ($\mu V \in \mathbb{R}^{k\times n}$) elde edilir.

$$\mu V = \sum_{a=0}^{k}\sum_{j=0}^{n} \mu V[a,j] = \left\{ \sum_{i=0}^{m} \{x_{i,j}, \quad c_a = y_i \Big/ \sum_{i=0}^{m} \{1, \quad c_a = y_i \right. \tag{1}$$

Burada $x_{i,j}$ giriş vektöründeki i-inci örneğin j-inci özniteliğini, y_i i-inci örneğe ait çıkış değerini, c_a sınıf etiketini ve $\mu V[a,j]$ ise sentroid sınıf matrisinin a-inci vektörünün j-inci özniteliğini temsil etmektedir. Daha sonra, her bir giriş vektörünün centroid sınıf vektörlerine olan uzaklıkları ($dX \in \mathbb{R}^k$), Eşitlik 2'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$dX = \sum_{i=0}^{k} \{ dX[i] = \text{distance}\left(X, \mu V[i,*]\right),\ X \,|\, X \in v_X \tag{2}$$

Burada k sınıf etiketini ve X veri setindeki bir giriş vektörünü temsil etmektedir. Mesafe ölçümünü temsil eden $distance(X, \mu V)$ fonksiyonu için Öklid (Euclidean), Manhattan, Minkowski, Chebyshev, Hellinger, Angular vb. metotlardan biri kullanılmaktadır. Bir sonraki aşamada, her bir sınıf için giriş vektörlerinin standart sapma matrisi ($\sigma V \in \mathbb{R}^{k\times n}$) Eşitlik 3'te gösterildiği gibi elde edilir. Standart sapma, bilindiği üzere veri analizi açısından önemli bir parametredir. Özellikle gürültülü verilerin sınıflandırılmasında algoritmanın performansı açısından etkili bir rol oynamaktadır.

$$\sigma V = \sum_{a=0}^{k}\sum_{j=0}^{n} \sigma V[a,j] = \left\{ \sqrt{\sum_{i=0}^{m} \left\{ \left(x_{i,j} - \mu V[a,j]\right)^2, \quad c_a = y_i \Big/ \sum_{i=0}^{m} \{1, \quad c_a = y_i \right.} \right. \tag{3}$$

Bir sonraki aşamada, veri setindeki bir giriş vektörü için standart normal dağılımın ya da daha yaygın bilinen adıyla z-skorun mutlak değerleri ($Z \in \mathbb{R}^k$) Eşitlik 4'teki gibi hesaplanır.

$$Z = \sum_{i=0}^{k} Z[i] = \left\{ \sum_{j=0}^{n} \frac{\left| X_j - \mu V[i,j] \right|}{\sigma V[i,j]}, \quad X \,|\, X \in v_X \right. \tag{4}$$

Burada X_j veri setindeki bir giriş vektörünün j-inci özniteliğini, n giriş vektöründeki öznitelik sayısını ve k ise sınıf sayısını temsil etmektedir. En son aşamada, her bir giriş vektörünün Eşitlik 3'te tanımlanan sınıflar için benzerlik skorları Eşitlik 5'teki gibi hesaplanır.

$$Decision = \arg\min_{i} \left(i \,|\, i \in c,\ dX[i] Z[i] \right) \tag{5}$$

Burada $i \in c$ sınıf etiketini temsil etmektedir. z-skorunun mutlak değeri, ortalama değerden kaç standart sapma uzakta olduğunu gösterir. Eğer bir z-skoru sıfıra eşitse, sunulan örnek ile merkezi sınıf vektörü aynı değerde demektir.

3. Deneysel Çalışmalar

SVD algoritmasının sınıflandırma performansını ölçmek için Statlog (Vehicle Silhouettes) veri seti k-kat çapraz doğrulama tekniği ile bölümlenmiştir. Çapraz doğrulama, öğrenme modellerinin performansını değerlendirmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, veri kümeleri genellikle rastgele veya tabakalı bir stratejiye bölünür. Bölme tekniği, verilerin boyutuna ve sınıf etiketlerine göre değiştirilebilir veya seçilebilir.

Tablo 3. SVD'nin sınıflandırma performansının ölçümünde kullanılan metrikler.

Metrik	Formül	Açıklama
Sensitivity (Duyarlılık), *True Positive Rate*	$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN}$	Doğru olarak tanımlanan gerçek pozitiflerin oranını ölçer. Literatürde hassasiyet, gerçek pozitif oran ya da geri çağırma olarak bilinir.
Specificity (Özgüllük), *True Negative Rate*	$Specificty = \frac{TN}{TN+FP}$	Doğru olarak tanımlanan gerçek negatiflerin oranını ölçer. Literatürde özgüllük veya gerçek negatif oran olarak bilinir.
Precision (Kesinlik), *Positive Predictive Value*	$Precision = \frac{TP}{TP+FP}$	Tekrarlanan ölçüm sonuçlarının yayılmasının bir ölçüsüdür ve yalnızca rastgele hataların dağılımına bağlıdır.
F-score (F-puanı)	$Fscore = \frac{2 \times TPR \times PPV}{TPR+PPV}$	Bir veri setinde bir modelin doğruluğunun bir ölçüsüdür. Modelin kesinliği ve duyarlılığının harmonik ortalaması olarak tanımlanır.
Accuracy (Doğruluk)	$ACC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$	Ölçülen veya hesaplanan bir miktarın gerçek bir değere uygunluk derecesini ifade eder. Sonucun belirli bir hedefle tam eşleştiğinde doğru olduğu söylenir.

En yaygın olarak kullanılan yöntem, k-kat çapraz doğrulama olarak adlandırılır ve $k-1$ diğer katlarda olmak üzere, bu k sürelerinin hepsinde model eğitimi yapılırken, modeli bir kat üzerinde doğrulamak için eğitim verilerini k katlarına ayırır. Hata için daha sonra k-katlar üzerinden ortalama alınır ve çapraz doğrulama hatası olarak adlandırılır. Bu çalışmada, k'nın değeri 10 olarak belirlenmiştir.

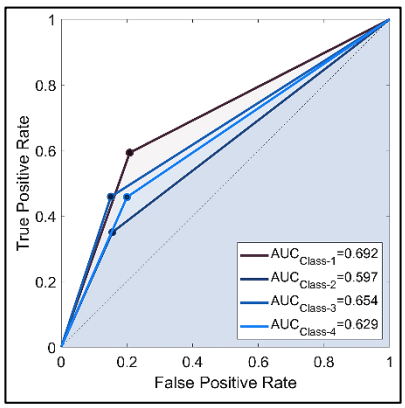
SVD'nin sınıflandırma başarısının ölçümünde Tablo 2'de verilen metrikler kullanılmıştır. Ayrıca, yapılan deneysel çalışmalarda Euclidean (EUC), Squared Euclidean (SQE), Standardized Euclidean (STE), Mahalanobis (MAH), City Block (CTB), Minkowski (MKW), Chebyshev (CHE), Cosine (COS), Correlation (COR), Hamming (HAM), Jaccard Coefficient (JAC) ve Spearman's Rank Correlation (SPE) olmak üzere 12 farklı mesafe metriği SVD ile test edilmiştir.

SVD'nin 12 farklı mesafe metriğine göre Statlog (Vehicle Silhouettes) veri seti üzerindeki sınıflandırma sonuçlarının ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre, SVD'nin araç sınıflandırma doğruluğunda en başarılı olduğu metrik ortalama %80 ile MAH ve en düşük skor ise %71.8 ile CTB olduğu görülmektedir. Ayrıca, SVD'nin farklı mesafe metiklerine göre sınıflandırma sonuçlarını gösteren ROC eğrileri Şekil 1'de gösterilmektedir.

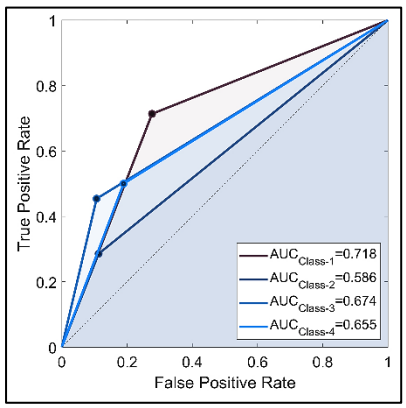
Tablo 4. Statlog (Vehicle Silhouettes) veri setinin SVD ile farklı mesafe metriklerine göre sınıflandırma sonuçları.

		EUC	SQE	STE	MAH	CTB	MKW	CHE	COS	COR	HAM	JAC	SPE
Accuracy	*Ortalama*	0,727	0,723	0,741	0,801	0,718	0,727	0,731	0,731	0,742	0,744	0,744	0,735
	Std. sapma	0,049	0,046	0,045	0,031	0,045	0,049	0,035	0,045	0,040	0,047	0,047	0,038
	Min.	0,629	0,635	0,647	0,735	0,629	0,629	0,647	0,629	0,671	0,665	0,665	0,665
	Maks.	0,794	0,788	0,800	0,839	0,776	0,794	0,771	0,788	0,800	0,806	0,806	0,794
Sensitivity	*Ortalama*	0,458	0,451	0,485	0,602	0,441	0,458	0,465	0,466	0,488	0,490	0,490	0,475
	Std. sapma	0,099	0,094	0,092	0,063	0,091	0,099	0,072	0,091	0,081	0,096	0,096	0,078
	Min.	0,261	0,273	0,296	0,466	0,263	0,261	0,292	0,262	0,344	0,329	0,329	0,332
	Maks.	0,596	0,584	0,607	0,678	0,562	0,596	0,546	0,584	0,607	0,617	0,617	0,595
Specificity	*Ortalama*	0,819	0,816	0,828	0,867	0,813	0,819	0,821	0,821	0,829	0,830	0,830	0,824
	Std. sapma	0,032	0,031	0,030	0,021	0,030	0,032	0,023	0,030	0,027	0,032	0,032	0,025
	Min.	0,754	0,758	0,766	0,824	0,754	0,754	0,765	0,754	0,781	0,777	0,777	0,777
	Maks.	0,863	0,860	0,867	0,893	0,852	0,863	0,847	0,860	0,867	0,871	0,871	0,863
Precision	*Ortalama*	0,468	0,459	0,495	0,604	0,451	0,468	0,463	0,475	0,497	0,492	0,492	0,472
	Std. sapma	0,106	0,101	0,094	0,058	0,104	0,106	0,071	0,099	0,084	0,103	0,103	0,074
	Min.	0,258	0,270	0,306	0,488	0,242	0,258	0,302	0,258	0,361	0,325	0,325	0,370
	Maks.	0,620	0,601	0,623	0,683	0,575	0,620	0,549	0,613	0,603	0,662	0,662	0,594
F-score	*Ortalama*	0,443	0,432	0,472	0,591	0,420	0,443	0,456	0,447	0,472	0,475	0,475	0,455
	Std. sapma	0,101	0,097	0,092	0,065	0,094	0,101	0,072	0,091	0,082	0,097	0,097	0,075
	Min.	0,248	0,259	0,291	0,461	0,239	0,248	0,293	0,247	0,334	0,312	0,312	0,332
	Maks.	0,575	0,560	0,588	0,674	0,529	0,575	0,535	0,560	0,588	0,602	0,602	0,580

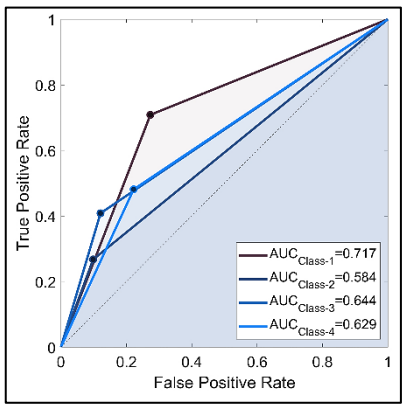
SVD ile literatürdeki bazı algoritmaların Statlog (Vehicle Silhouettes) veri seti üzerindeki sınıflandırma sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 4'te verilmiştir. Karşılaştırılması yapılan çalışmalara göre SVD'nin doğruluk değeri %80 ile en yüksek skora sahip olduğu görülmektedir.



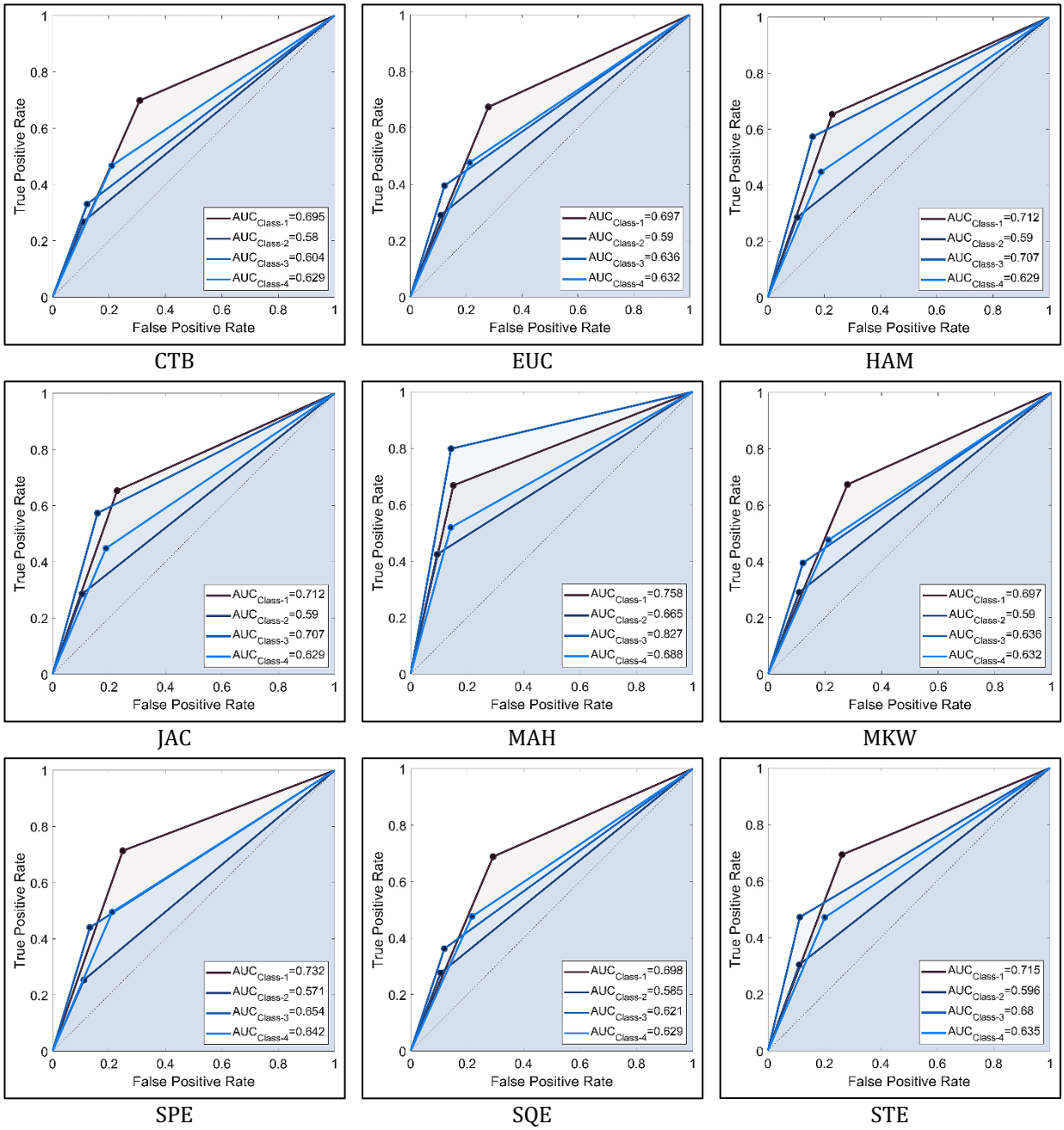
CHE



COR



COS



Şekil 6. Farklı mesafe metriklerine göre SVD'nin sınıflandırma sonuçlarına ait ROC eğrileri.

Tablo 5. Statlog (Vehicle Silhouettes) veri seti sınıflandırma sonuçlarının karşılaştırılması.

Yazarlar	Sınıflandırıcılar	Doğruluk (ACC) %
Bu çalışma	SVD (Mahalanobis metriği)	80.10±3.10
Siswantoro ve diğ. (2016) [10]	Neural Network	71.31±6.50
	NN-LMKF	77.49±4.01
Chandra & Paul V. (2009) [11]	SLIQ	70.24±6.66
	G-FDT	70.12±4.58
Kotsiantis (2005) [12]	Logitboost NB	70.91
	AODE	70.32
	LBR	69.43
Wang & Zhang (2010) [13]	AODE	72.31±3.62
	Bagging	70.84±4.01
	AdaBoost	72.53±3.95
	Random Forest	73.25±3.72
	MACLEN	72.29±4.10

4. Sonuç

Yapay zekâ teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, otonom sistemler otomobil sektöründen uzay ve havacılık sektörüne varıncaya kadar oldukça fazla kullanım alanına sahip olmaya başladı. Bu alanda yapılan çalışmalarda, yapay zekâ tekniklerinden biri olan makine öğrenme algoritmalarının payı önemli derecede büyüktür. Bu çalışmada, yakın zamanda yayımlanan SVD adlı makine öğrenme algoritması ile otomobil, minibüs ve otobüs siluetlerinden elde edilmiş özniteliklere göre araç sınıflandırması yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullandığımız Statlog (Vehicle Silhouettes) veri setinin literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında SVD'nin oldukça iyi bir sınıflandırma doğruluğuna sahip olduğu görülmektedir. Kullanılan veri seti 18 farklı özniteliğe sahip 846 örnek girdisi içermektedir. Araç görüntülerinden daha fazla sayıda girdi örneğinin ve ayırt edici özniteliklerin elde edilmesi, algoritmalardaki sınıflandırma başarısının iyileştirilmesine önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

5. Kaynaklar

[1]. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı, https://www.uab.gov.tr (Erişim tarihi: 18.10.2021)

[2]. Othman, K. (2021). Public acceptance and perception of autonomous vehicles: a comprehensive review. AI Ethics 1, 355–387.

[3]. Benterki, A., Boukhnifer, M., Judalet, V., & Maaoui, C. (2020). Artificial Intelligence for Vehicle Behavior Anticipation: Hybrid Approach Based on Maneuver Classification and Trajectory Prediction. IEEE Access, 8, 56992-57002.

[4]. Nemade, B. (2016). Automatic Traffic Surveillance Using Video Tracking. Procedia Computer Science, 79, 402–409.

[5]. Ibtissam, S., Abdelmoghit, Z., Wahban, A. O., Issam, A., & Abdellatif, H. (2020). An Automated License Plate Detection and Recognition System Based On Wavelet Decomposition and CNN. Array, 8, 100040.

[6]. Won, M. (2020). Intelligent Traffic Monitoring Systems for Vehicle Classification: A Survey. IEEE Access, 8, 73340–73358.

[7]. Gohar, M., Muzammal, M., & Ur Rahman, A. (2018). SMART TSS: Defining transportation system behavior using big data analytics in smart cities. Sustainable Cities and Society, 41, 114–119.
[8]. UCI Machine Learning Repository, Statlog (Vehicle Silhouettes) Data Set https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Statlog+(Vehicle+Silhouettes)
[9]. Elen, A., & Avuçlu, E. (2021). Standardized Variable Distances: A distance-based machine learning method. Applied Soft Computing, 98, 106855.
[10]. Siswantoro, J., Prabuwono, A. S., Abdullah, A., & Idrus, B. (2016). A linear model based on Kalman filter for improving neural network classification performance. Expert Systems with Applications, 49, 112–122.
[11]. Chandra, B., & Paul Varghese, P. (2009). Fuzzifying Gini Index based decision trees. Expert Systems with Applications, 36(4), 8549–8559.
[12]. Kotsiantis, S. B. (2005). Logitboost of simple bayesian classifier. Informatica, 29(1), 53–59.
[13]. Wang, Q., & Zhang, L. (2010). Ensemble Learning Based on Multi-Task Class Labels. Lecture Notes in Computer Science, 464–475.

Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemlerinde Kullanılan Robot Türleri

Recep Özyurt[1*], Abdullah Elen[2], Cemil Közkurt[3]

[1]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri, Bandırma, Balıkesir/Türkiye,

[2]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği, Bandırma, Balıkesir/Türkiye,

[3]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği, Bandırma, Balıkesir/Türkiye,

***Sorumlu yazar e-posta:** ozyurtrecep5510@gmail.com

[2]ORCID: 0000-0003-1644-0476, **[3]ORCID:** 0000-0003-1407-9867

Özet

Gün geçtikçe artan insan nüfusu ile birlikte insanların ihtiyaçları ve tüketimleri de çoğalmaktadır. Gelişen teknolojik aletler, marka sayıları sürekli artan giyim sanayi, gelişimini çok hızlı devam ettiren otomotiv sektörü, insanların barınma ve ulaşım gibi ihtiyaçlarını kapsayan inşaat sektörü gibi alanların çok genişlemesi ve büyümesi ve sahip oldukları envantere sürekli yeni ürün eklemeleri insanların ihtiyaçlarını karşılamak için yapılan çalışmalardan bazılarıdır. Bu ihtiyaçlar insan sayısının artmasıyla doğru orantılı olarak büyümektedir. Her geçen gün firma sayısı artmakta ve mevcut firmalar ise ürettikleri ürünleri çeşitlendirme ve çoğaltma yoluna gitmektedirler. Firmalar, çeşitliliği ve miktarları her geçen gün artan bu ürünlerin depolama ve boşaltma işlemlerini en optimum şekilde yerine getirebilmeleri için hızlı ve güvenli yöntemlere ihtiyaç duymaktadırlar. Bu ihtiyacın sonucu olarak Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri (ODBS) olarak adlandırılan depolama ve boşaltma işlemlerini minimum insan gereksinimiyle çeşitli optimizasyon tekniklerini kullanarak ihtiyaca göre en kısa sürede, en az enerji ile, en kısa yolu kullanarak, en çok ürünü toplayarak ve en güvenli şekilde yapabilen yazılım ve robotik tabanlı sistemler ortaya çıkmıştır. Geleneksel depolarda firmalar ürünlerinin depolama ve boşaltma işlemlerini forklift aracılıyla yapmaktadırlar. ODBS ile birlikte forklift yerine çok daha hızlı, verimli ve optimizasyon tekniklerini uygulayabilen robotlar kullanılmaktadır. Bu sistemler özellikle Endüstri 4.0 döneminin en çok gelişim sağlayan yazılım, bilgisayar ve haberleşme alanlarındaki teknolojik gelişmelerle birlikte ilerleme kat etmiştir. Bu çalışmada ilk olarak ODBS hakkında genel bilgi verilip kullanılan robot seçimlerinin kriterleri ele alınacaktır. İkinci bölümde ODBS'nin önemine vurgu yapılacaktır. Üçüncü bölümde ODBS'de kullanılan yardımcı elemanlar hakkında bilgi verilecektir. Dördüncü bölümde ise önceki bölümlerde açıklamaları yapılmış depo türlerine bağlı olarak ve tanımları yapılmış yardımcı elemanlarla birlikte kullanılan robot türleri hakkında literatür taraması yapılıp bilgi verilmiştir. Sonuç kısmında ise günümüzde ODBS'nin teknoloji bakımından geldiği son nokta değerlendirilip geleceğe yönelik öneriler verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri, Endüstri 4.0, robotik

Types of Robots Used in Automated Storage and Retrieval Systems

Abstract

With the increasing human population, people's needs and consumption are increasing. Developing technological tools, the ever-increasing number of brands, the clothing industry, the automotive sector, which continues its development very quickly, the construction sector covering people's needs such as housing and transportation, the widening and growth of areas such as and the continuous addition of new products to their inventory are some of the works carried out to meet people's needs. These needs are growing in direct proportion to the increase in the number of people. The number of companies is increasing day by day and existing companies are going to diversify and duplicate the products they produce. Companies need fast and safe methods to perform the storage and unloading of these products in the most optimal way, with increasing diversity and quantities. As a result of this need, software and robotics-based systems have emerged that can perform storage and unloading operations called Automatic Storage and Retrieval Systems (AR/RS) in the shortest time, with the least energy, using the shortest way, collecting the most products and making the safest way by using various optimization techniques with minimal human requirements. In traditional warehouses, companies carry out storage and unloading of their products through forklifts. With AS/RS, robots that can apply much faster, more efficient and optimization techniques are used instead of forklifts. These systems have made progress especially with technological developments in the most developing software, computer and communication fields of the Industry 4.0 era. In this study, general information about AS/RS will be given first and the criteria of the robot selections used will be discussed. In the second part, the importance of AS/RS will be emphasized. In the third part, information will be given about the auxiliary elements used in AS/RS. In the fourth chapter, literature was reviewed and informed about the types of robots used in the previous sections depending on the types of warehouses described and with the auxiliary elements described. In the conclusion section, the final point of AS/RS in terms of technology is evaluated and suggestions for the future are given.

Keywords: Automatic Storage and Retrieval Systems, Industry 4.0, Robotics

1. Giriş

Geçmişte çok sık kullanılan geleneksel depoların yerini artık yazılım ve robotik temelli Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri (ODBS) almaktadır. Özellikle firma sayılarının artmasıyla birlikte rekabet ortamı oluşmuştur. Bu rekabet ortamında firmalar kendilerini ön plana çıkarmak için depolama sistemlerini akıllı hale getirmektedirler. Geleneksel depolar insan bazlı sistem oldukları için üretimden ürün sevkiyatına kadar birçok aksaklıklar olabildiği gibi çeşitli iş kazaları da meydana gelmektedir. Bunları önlemek için firmalar yazılım alt tabanlı bilgisayarla uzaktan komut edilebilecek depo sistemleri kurmaktadırlar (Soyaslan vd., 2015).

ODBS'ler, dağıtım merkezlerinde ve üretim yapılan firmalarda malzeme akışının önemli bir kısmı haline gelmiştir. ODBS'nin faydaları arasında depolama yoğunluğu artışı, seri ve güvenilir depolama imkânı, insan müdahalesinin en aza indirilmesi, gerçek zamanlı ürün takibi bulunmaktadır. Bu faydalar geleneksel depolara göre işçilik maliyetleri, depo alanında

tasarruf, hata oranlarında azalma gibi avantajları da sağlamaktadır. ODBS'lerin dezavantajları ise ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması, yerleşim düzeninin esneklik sağlamaması ve depo kapasitesinin kısıtlı olmasıdır(Pohjalainen, 2015). İlk kurulum maliyetlerini azaltmak ve ODBS'nin performansını arttırmak için, daha yüksek kapasiteli çift derinlikli raflar ve koridor değiştirebilen robotlara sahip sistemler gibi çeşitli yapısal çözümler geliştirilmiştir (Azzi vd., 2011). Dağıtım merkezleri, arz ve talep arasındaki bağlantıyı kurduğu için modern tedarik zincirlerinde merkezi bir rol oynamaktadır. Günümüzde birçok sektörde 24 saat içinde teslimat standart hale gelmektedir. ODBS'ler ile ürünlerin 7/24 esası ile hızlı, doğru ve verimli bir şekilde işlenmesini sağladığından modern dağıtım merkezlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Gagliardi vd., 2015).

ODBS'ler, ürünlerin gün boyunca takip edilebilmesinden dolayı kısa sürede, doğru ve verimli bir şekilde işlenmesini sağladığı için günümüzde kullanım alanı oldukça artmaktadır. ODBS'ler ürünlerin yerleştirildiği raflardan oluşmaktadır. Tasarımcılar rafların tasarımını değiştirerek ürün hacmini artırabilirler. ODBS uygulamalarının bazılarında koridor robotu üç eksende hareket ederken bazı sistemlerde ise iki eksende hareket etmektedir. Tasarımda olması gereken diğer önemli durumlar koridor robotunun taşınacak ürünün cinsine ve maksimum ağırlığına göre kapasitesinin belirlenmesidir. Ayrıca giriş çıkış istasyonlarının konumu ve sayıları belirlenmelidir. Tasarımdaki bu durumlar ilk maliyeti ve sistemin verimini belirleyici niteliktedir (Gagliardi vd., 2012).

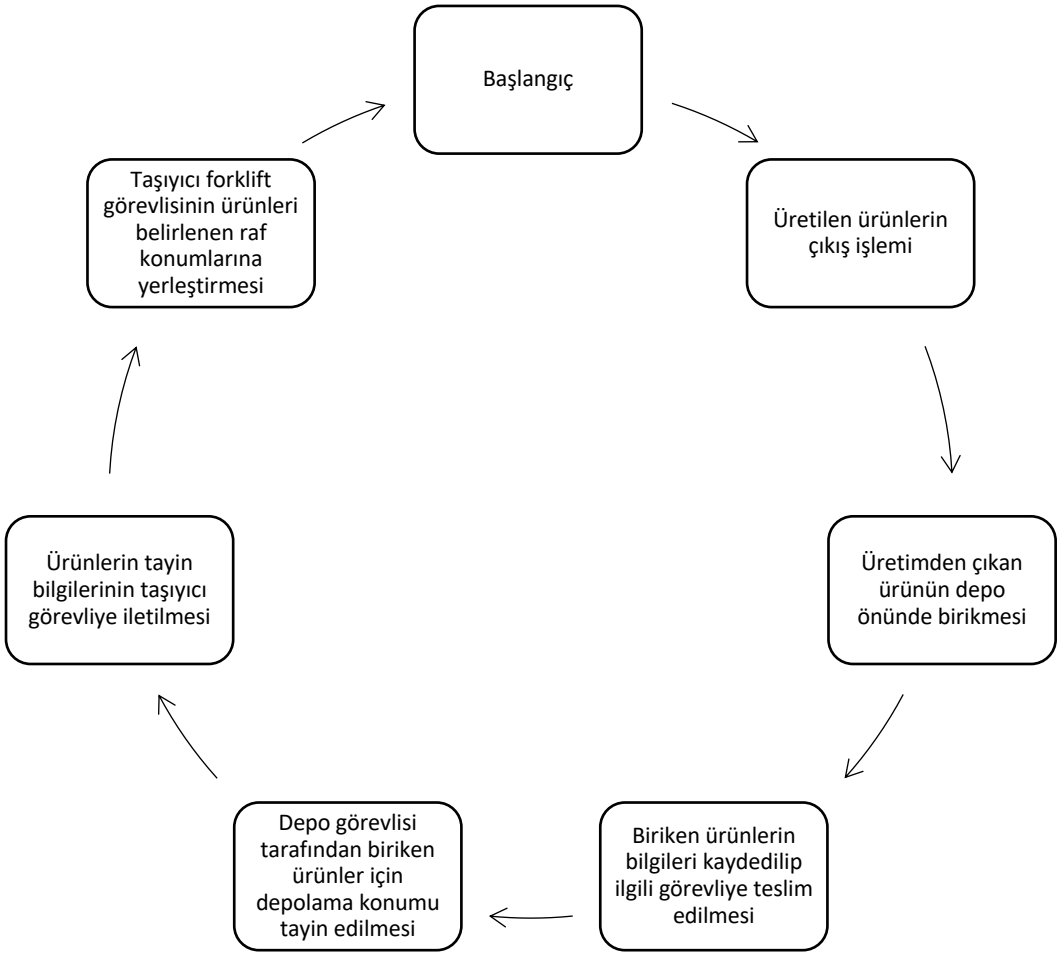
2. ODBS tanımı, çeşitleri ve önemi

ODBS'ler, 1950'lerde ortaya çıkmıştır. Çıkmış olduğu tarihten bu yana firmalar dağıtım merkezli veya üretim odaklı depolama ihtiyaçlarından dolayı ODBS'leri kullanmaktadırlar. ODBS depo raflarına ürünleri yerleştiren ve gerektiğinde bu ürünleri raflardan boşaltan aracı robotların birbirleriyle uyum içinde çalışmasıyla oluşur. Bu sistemlerde ürünü alacak paletler insan müdahalesi olmadan çalışmaktadırlar. Hem üretim hem de dağıtım ortamlarında ODBS'ler, ürünleri (örneğin, hammaddeler veya yarı bitmiş ürünler) depoya yerleştirmek ve bu ürünleri bir siparişi yerine getirmek için depodan boşaltmakta kullanılır. Bir ODBS tasarlarken, tüm artılarından tam olarak yararlanmak için birçok fiziksel tasarım ve kontrol sorunu doğru şekilde ele alınmalıdır (Roodbergen & Vis, 2009). Dördüncü sanayi dönemiyle gelişen bilişim teknolojisi bilginin aktarımı sorunlarını karşılayıp ODBS'lere teknolojik destek sağlamıştır. Ürün takibi ve anlık karar verme mekanizmaları bilişim teknolojileriyle sağlanmaktadır. ODBS'ler genellikle otomatik sistemlerle çalışan fabrikalarda, dağıtım merkezlerinde, sadece depolama amaçlı çalışan firmalarda ve üretim dışı ortamlarda kullanılan malzeme taşıma destek sistemleri olarak bilinirler. Temel olarak depolar üç türe sınıflandırılabilir. Bunlar:

- Dağıtım depoları,
- Üretim depoları,
- Sözleşmeli depolar.

Dağıtım depolarında, farklı tedarikçilerden ürünler alınır ve müşteriye teslim edilmek üzere saklanır. Üretim depoları genellikle hammaddeler, yarı mamuller ve mamuller bir üretim tesisinde üretimden önce depolamak için kullanılır. Sözleşme depolarında, depolama işlemleri bir veya daha fazla müşteri adına gerçekleştirilir(Hameed, 2019).

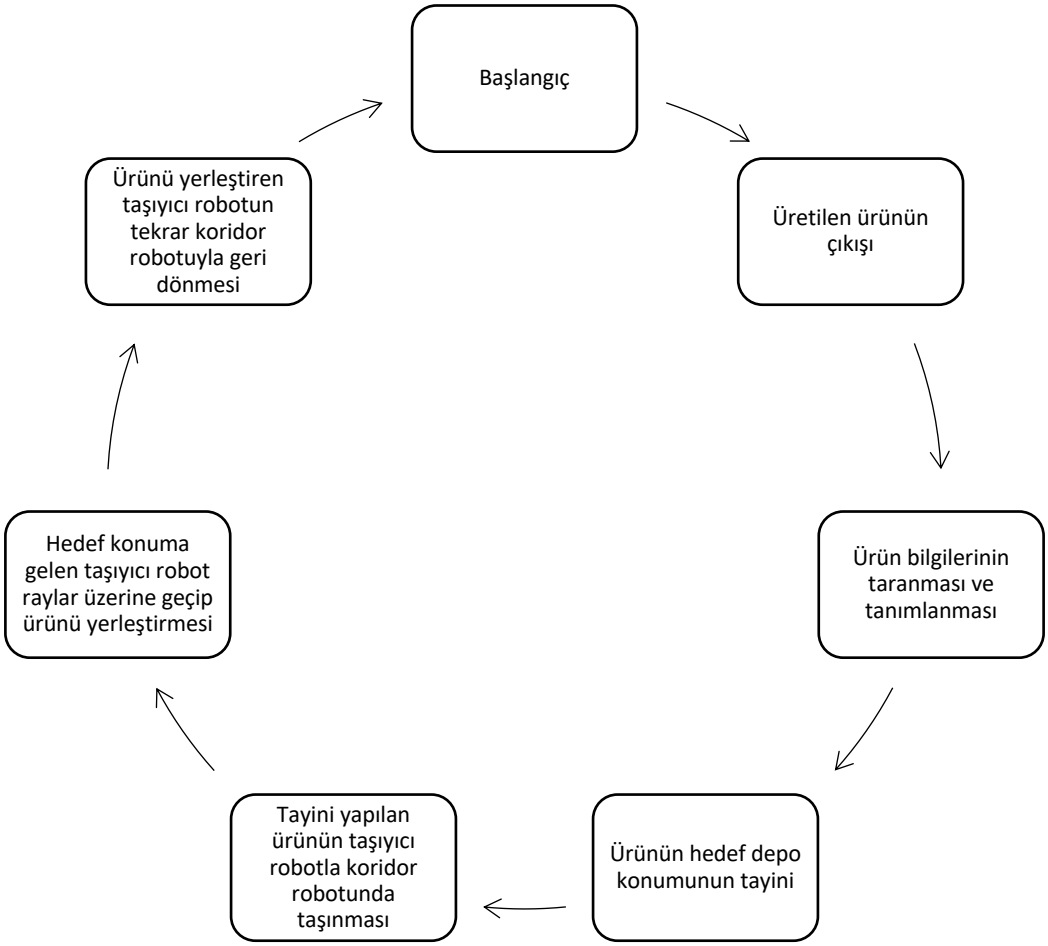
Ürünlerin depolama ve boşaltma işlemlerini yerine getirmek için insan merkezli sistemlerden yararlanılmaktadır. Fakat insan merkezli sistemlerde, kısa sürede yapılabilecek işlemin daha uzun sürede yapılması, ürünlerin zarar görmesi, ürünlerin hatalı yönlendirilmesi, ürünlerin rafta unutulması gibi aksaklıklar olabilmektedir. Bu gibi olumsuz durumlardan dolayı geleneksel depoların üzerinde tekrar çalışılarak Endüstri 4.0 döneminin getirdiği teknolojilerle ODBS tasarımı ve kurulumu gerekmektedir. ODBS geliştirilmeden evvel, ürünlerin depolama ve boşaltılma işlemi geleneksel depolar ile yerine getirilmekteydi. Bu sistemlerde üretilen ürünler depolanacak alanın önünde birikmektedir. Biriken ürünlerin bilgileri ilgili çalışanlara verilmektedir. Ürünlerin depodaki konumları belirlenip forkliftler aracılığıyla yerlerine yerleştirilmektedir. Geleneksel depoların işleyiş sırası Şekil 1'de ifade edilmiştir (Bilgin Sarı vd., 2019).



Şekil 1. Geleneksel Depolama için izlenen yol(Bilgin Sarı vd., 2019)

Endüstri 4.0 Dönemi teknolojilerini kullanarak üretilen ODBS, yazılım merkezli olmakla birlikte insanların doğrudan müdahale şeklinde değil de ürettikleri yapay zekâ ile birlikte kontrolü yapılmaktadır. ODBS işleminin ilk adımı paletleme işlemi yapılan robot ve ODBS'nin kesiştiği kısım olan konveyör hattıdır. Bu hattın bitiminde ürünlerin paletler üstüne yerleştirilerek bir araya toplanmakta ve bu paletler ray boyunca dizilmektedir. Dizilen paletlerin bilgileri veri tabanına kaydedilmektedir. Paletler raylar üstünden taşıyıcı robota geçirilmektedir. Koridor robotu veri tabanında kayıtlı olan ürünü algoritmayla hedef rafın ray kısmına getirir ve taşıyıcı robot ray üzerine çıkıp ürünü hedef adrese yerleştirir ve

aynı yollarla geri koridor robotuna geçer. ODBS işlemi bu adımlarla gerçekleşmiş olur. Bu işlemin adımları Şekil 2'de gösterilmektedir(Bilgin Sarı vd., 2019).



Şekil 2. ODBS işleyişi (Bilgin Sarı vd., 2019)

ODBS'lerin gelişmesi Endüstri 4.0 döneminde artmaktadır. Bu dönemde gelişim sağlayan nesnelerin interneti, otonom araçlar, bulut teknolojileri gibi yeni atılımlar depolama sistemlerinin akıllı hale gelmesine katkı sağlamıştır. Dördüncü sanayi devrimi her alanda olduğu gibi ODBS alanına da teknolojik destek sağlayıp bu alanı tam otonom hale getirmiştir. Geleneksel depolarda ürünlerin rafta durma süreleri çoğu zaman uzadığı için ve ürün hareketliliği yavaş olduğu için ürünlerden alınan verim de azalmaktadır. Ancak ODBS'ler ile birlikte ürünlerin rafta durma süreleri azalmıştır. Bu yüzden daha verimli ürün bekletme işlemi yapılmaktadır. Depo içi ürün taşıma işlemleri taşıyıcı robot ve taşıyıcı robotun entegre edildiği koridor robotuyla yapılmaktadır. Bazı sistemlerde ise konveyörler veya zincir sistemiyle taşıma sağlanmaktadır. Bu sistemler depo konumuna, inşa edilecek depo alanına ve ürünlerin fiziksel yapısına göre belirlenmektedir. Günümüzde ODBS'lerin ilk kurulum maliyetleri yüksek görülmektedir ama gelecekte teknolojinin ilerlemesi ve ilgili endüstrilerin yaygınlaşmasıyla bu maliyetlerin düşeceği öngörülmektedir(Yildiz vd., 2018).

ODBS'de adresleme algoritmaları için belirlenen sipariş toplama politikaları verimlilik elde edilmek istenen parametreye göre farklılık gösterir. Bu parametreler müşteri, üretim, alan,

rota, enerji, zaman ve maliyet olmak üzere otomasyon işletim sisteminde belirlenen parametrelerin optimizasyonları gerçekleştirilmektedir(Soyaslan vd., 2017). Böylelikle işletme tarafından istenen verimlilik parametresine odaklanan bir ODBS algoritması kullanılabilmektedir.

3. ODBS' de Kullanılan Yardımcı Elemanlar

ODBS'ler farklı teknolojilerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu yüzden birbirinden farklı teknolojik yapıları bünyesinde barındırmaktadır. Örneğin ürünleri taşıma ve hareket ettirebilmek için motorlar, PLC (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici), raylı hat sistemleri veya konveyör hatları kullanılmaktadır. Genel depo döngüsü yazılımlarla kontrol edilmektedir. (Gürgen vd., 2019). Bu yazılımların yüklü olduğu platform ise PLC üniteleridir. Motorlar ve motorları kontrol etmek için kullanılan sürücü kartları, hareket etme kabiliyeti kazandıran sensörler başta olmak üzere bütün sistem PLC ünitesiyle bağlantılı çalışmaktadır(Közkurt, 2012). Çalışmanın bu kısmında ODBS'de kullanılan yardımcı elemanlardan yaygın kullanılanları açıklanacaktır.

3.1 PLC (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)

Günümüzde üretim yapılan alanlarda otomasyon sistemler kullanılmaktadır. Otomasyon sistemlerin en temel elemanı ise Şekil 3'de görüldüğü gibi PLC'lerdir. PLC'ler 1970'li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. PLC'lerin üretimi endüstriyel olarak kullanılan otomasyon alanlarına uygun olarak yapılmıştır. Üzerlerinde hazır olarak kullanılmaya uygun giriş ve çıkışlar yer almaktadır. Sistemde çalışan motorlar ve sürücü kartları PLC'ye bağlanır ve buradan kontrolü yapılır. Ayrıca sistemde kullanılacak yazılım programlarının kodları PLC' ye yüklenip yazılım platformu olarak kullanılır(Dereli, 2014).



Şekil 3. PLC (Dereli, 2014)

3.2 Taşıyıcı Robot (TR) ve Koridor Robotu (KR)

ODBS'ler üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar Taşıyıcı Robot (TR) ve Koridor Robotu (KR), giriş ve çıkış noktaları ve son olarak ürünlerin yerleştirildiği raflardır. TR ve KR

ürünleri otonom olarak hareket ettirebilen, depolayıp boşaltabilen, tam otomatik makinelerdir. Bu makineler depolama raflarının aralarında çalışırlar. TR ve KR makinelerinin hareketleri endüstriyel PLC ile kontrol edilmektedir. Bu makineler en az üç adet olmak üzere bağımsız frekans kontrollü Alternatif Akım (AC) sürücüleri vardır. Bunların biri yatay hareket için, biri dikey hareket için ve diğeri ise mekik olarak adlandırılan yük taşıma işlemini yapan cihazı çalıştırmak içindir. TR makineleri parçaları bütün olarak taşıma görevi yapmaktadır (Pohjalainen, 2015). TR ve KR'lerin hareketleri elektrik motorlarıyla olmaktadır. ODBS'lerde kullanılan motorlar robotların farklılığına göre değişebilir. Günümüzde kullanılan en sık motorlar servo motor ve step motorlardır. Motor seçimindeki kriterler istenilen mekanik güç ve ürün özelliklerinin analizidir. Bu kriterlere bağlı olarak motorların konumlandırılması önemlidir. ODBS'lerde motorların kullanıldığı kısımlar taşıyıcı robotta ve koridor robotunda indirme ve kaldırma kısımları ve yürütme kısımlarıdır (Közkurt vd., 2012).

3.3 ODBS'de kullanılan robotların hareket ettikleri platformlar

ODBS'lerde kullanılan Koridor Robotlarının hareket ettikleri zemin için kullanılan en yaygın iki yapı vardır. Bunlardan biri konveyör hatları, diğeri ise raylı hatlardır. Bu platformların seçim kriterleri malzeme türüne ve üretim yoğunluğuna göre değişmektedir. Konveyör hatları birbirine paralel çalışan silindir metal yapılardan veya ürünün hareket edeceği yöne paralel yönde zincirli yapılardan oluşmaktadır. Zincirli konveyörlerde silindirik metal yapının görevini zincir hattı yapmaktadır. Zincirlerin dişleriyle taşıyıcı robotun alt kısımdaki dişler tahrik edilip hareket etmektedir. Bu tahrik işlemleri elektrik motorları ile yapılmaktadır. Tahrik sonucu bütün silindir metal yapılar veya zincir hatları aynı yöne doğru dönerek üstündeki taşıyıcı robotu veya doğrudan ürünü taşımaktadır. Konveyör hatlarının kontrolü motorların tahrik devir sayılarının değişmesiyle yapılmaktadır. Bu kontroller hareket algılayıcı sensörler ile yapılmaktadır. ODBS'lerde en sık kullanılan hatlardan biri raylı hatlardır. Raylı hat sistemleri ürünün hareketi yönünde zemine sabitlenmiş bir veya iki metal çubuğun üzerinde koridor robotunun alt kısmında bulunan tekerler vasıtasıyla hareket etmesiyle oluşan yapılardır. Bu sistemlerde hareket, koridor robotunun alt kısmında bulunan tekerlerin koridor robotu üzerindeki elektrik motorları vasıtasıyla tahrik edilmesiyle oluşur.

3.4 Raflar

ODBS'de ürünlerin yerleştirildiği yer raflardır. Ürün büyüklüğüne ve türüne göre rafların geometrik yapıları değişmektedir. Raf çeşitlerinin bazıları şunlardır:

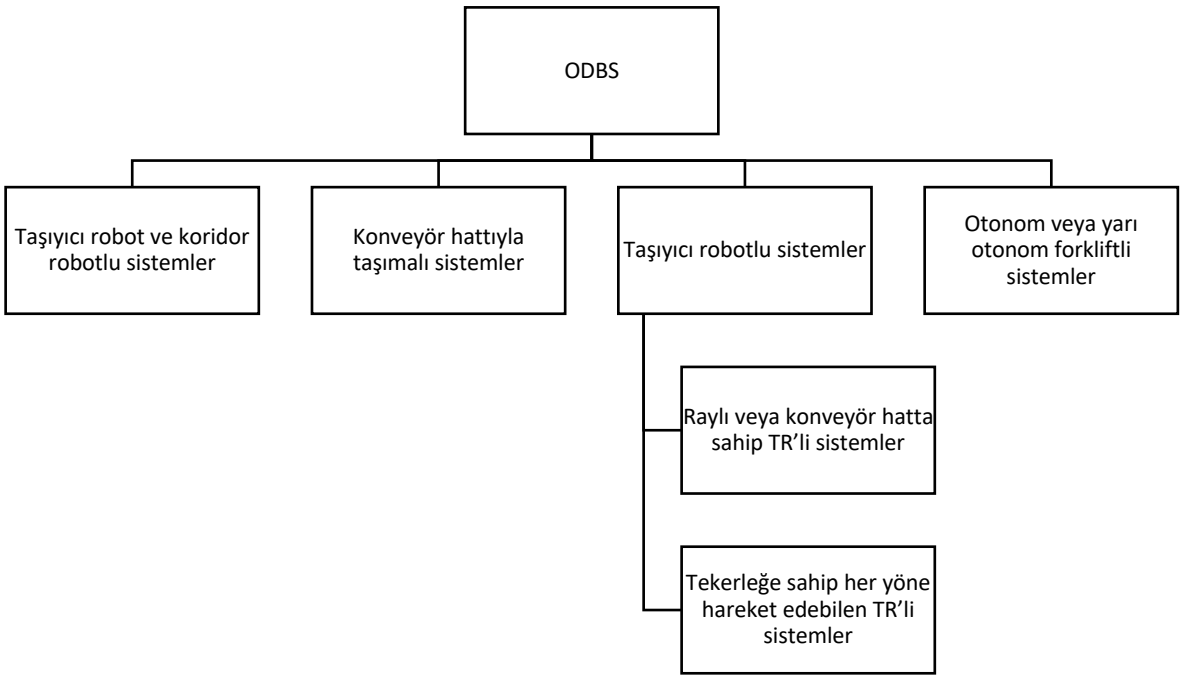
- Çift derinlikli raflar,
- Tek derinlikli raflar,
- Çok derinlikli raflar,
- Akış yönlü raflar,
- İçine girilebilir raflar,
- Hareketli raflar.

Çift derinlikli raflarda ön kısımda ve arka kısımda iki tane ürün bulunmaktadır. Bu ürünler genelde aynı türde olmaktadır. Tek derinliklide ise bir tane ürün yerleştirilir. Arkasında başka bir ürün bulunmaz. Çok derinlikli raflarda arka arkaya ikiden fazla ürün bulunmaktadır. Bu ürünler aynı parti üretim oldukları için aynı türdendirler. Akış yönlü

raflar ise üretim yoğunluğuna bağlı olarak raf derinliği değişen sistemlerdir. İçine girilebilir raf sistemi özel taşıyıcı araçlarla rafların içine girilip ürün yerleştirme imkânı olabilen sistemlerdir. Hareketli raflar gerektiğinde konumlarının değiştirilmesi mümkün olan raflardır. Bu raflar tek derinlikli halde iken çift derinlikli hale gelebilmektedir. Fakat bu sistemin pek kullanım alanı yoktur(Közkurt, 2012).

4. ODBS'lerde Kullanılan Robot Türleri

ODBS, ürünleri insan müdahalesi olmadan depolayan ve boşaltan tam otomatik sistemlerdir. Bu sistemler farklı yapılarda olabilmektedir. ODBS seçimi genellikle ilk kurulum maliyetine, kurulumu yapılacak depo alanına ve ürünlerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan ODBS türleri Şekil 4'de verilmiştir.

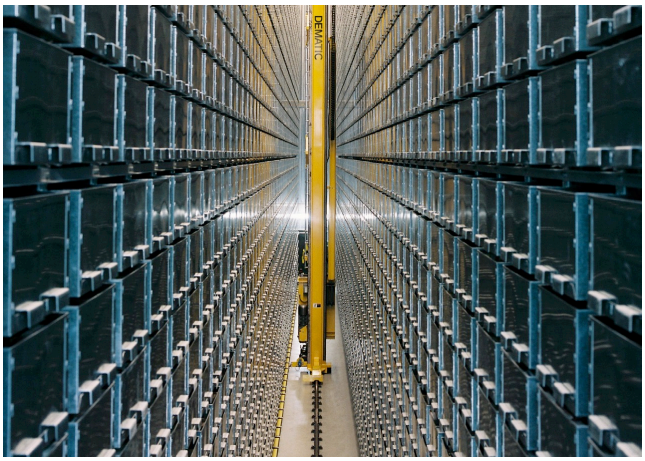


Şekil 4. ODBS türleri

4.1 Taşıyıcı robot ve koridor robotlu sistemler

Bu sistemler, raylı hatlar üzerine monte edilmiş KR'nin raflar arasında hareket etmesiyle oluşmaktadır. Bu robotun üzerine TR'de konumlandırılmıştır. Hareket KR'nin üzerindeki motorun robotun altındaki tekerleri tahrik edip bu tekerlerin raylar üzerinde ray boyunca gitmesiyle oluşmaktadır. Kullanılan TR üretimin yoğunluğuna göre seçilen depoların büyüklüğüne bağlı olarak iki eksenli, tek eksenli veya Kartezyen eksenli olabilmektedir. Tek eksenli sadece y ekseninde ilerlemektedir. İki eksenli robot x ve y ekseninde hareket edebilmektedir. Kartezyen robot ise x, y ve z olmak üzere üç eksende de hareket edebilmektedir(Közkurt, 2012). Bu sistemlerde KR'nin hareket ettiği platform olan raylı sistem tek raylı veya çift raylı olabilmektedir. Tek raylı TR ve KR'li sistemlere örnek olarak

Şekil 5'de görüldüğü gibi Dematic firmasının ürettiği Akıllı Kütüphane Sistemi KR'nin tek ray üzerinde hareket ettiği görülmektedir.



Şekil 5. Tek raylı TR ve KR'li sistem örneği (*Automated Library Systems | Dematic*, 2017)

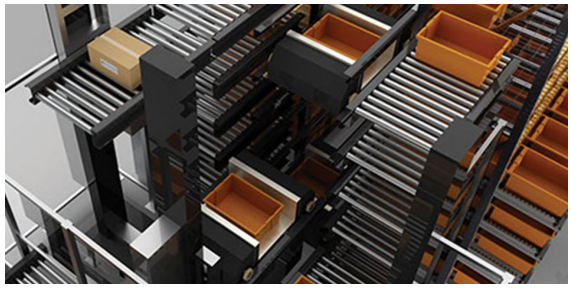
Çift raylı TR ve KR'li sistemlere ise Şekil 6'da görüldüğü gibi Temesist firmasının ilaç sektörü, lojistik sektörü, dağıtım depoları, hava kargo işletmeleri, elektronik ürün depolama, otomotiv sektörü olmak üzere birçok sektörde kullanılan ODBS örneği verilebilir.



Şekil 6. Çift raylı KR ve TR'li sistem örneği("AS/RS Otomatik Depolama | Temesist Depo ve Raf Sistemleri", 2017)

4.2 Konveyör hattıyla taşımalı sistemler

Bu sistemlerde sadece konveyör hatlarıyla taşınım sağlanmaktadır. TR konveyör hatlarıyla taşınmaktadır. TR'nin olmadığı sistemlerde bulunmaktadır. Ürün doğrudan konveyör hattında taşınmaktadır. Konveyör hatlarındaki hareket hariçteki motorlarla yapılmaktadır. TR ve KR'lerin kapasiteleri üretim büyüklüğüne, ilk kurulum maliyetine ve depo türlerine göre değişmektedir. Konveyör hattıyla taşımalı sistemlere Şekil 7'de görüldüğü gibi Honeywell firmasının ürettiği özellikle paletler, tepsiler, kutular veya kartonlar için tasarlanan ODBS örnek olarak verilebilir. Bu örnekte ürünler konveyör hattıyla taşınmaktadır. Ürünlerin dikey olarak yukarı ve aşağı hareketleri asansörlerle ve ara taşıma görevleri TR'lerle yapılmaktadır.



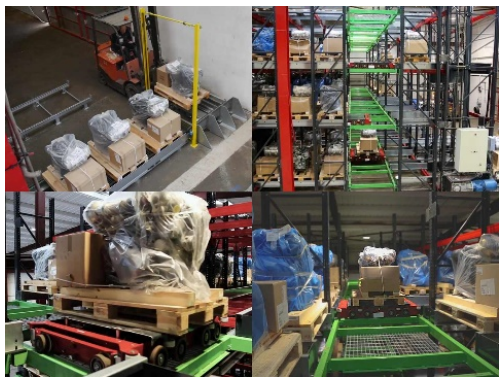
Şekil 7. Konveyör hattıyla taşımalı sistemler(*Honeywell AS/RS Systems*, 2021)

4.3 Taşıyıcı robotlu sistemler

Bu sistemlerde KR olmadığı için TR KR'ye entegre değildir. TR ürünü bulunduğu konumdan üzerine alır ve optimizasyon yöntemine sahip yollarla hedeflenen konuma taşımaktadır. TR'li sistemlerde ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan biri raylı hatta sahip TR'li sistemler, diğeri ise tekerleğe sahip her yöne hareket edebilen TR'li sistemlerdir.

4.3.1 Raylı veya konveyör hatta sahip TR'li sistemler

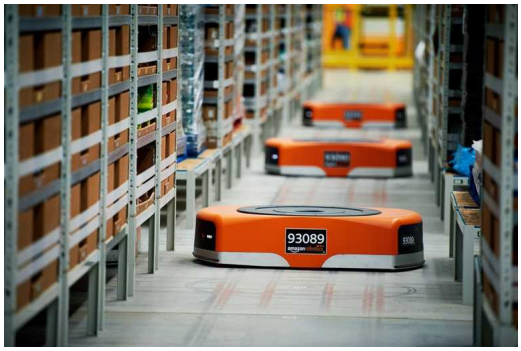
Bu sistemlerde TR rayların veya konveyör hattının belirlediği yönlerde hareket edebilmektedir. Şekil 8'de görüldüğü gibi TR'nin depo içinde hareket edebilmesi için raylı veya konveyör hattına ihtiyaç vardır. Bu yüzden bu sistemlerde depo kurulumu maliyeti yüksektir.



Şekil 8. Raylı hatta sahip TR'li Sistem (*Automated Pallet Storage | Pallet Shuttles | AS/R Systems, Inc.*, 2021)

4.3.2 Tekerleğe sahip her yöne hareket edebilen TR'li sistemler

Bu sistemlerde TR düz zeminde hareket etmektedir. Robotun hareketi tekerler vasıtasıyla olmaktadır. İzlenecek yol bağlı olduğu optimizasyon tekniğiyle yapılmaktadır. Robotun izlediği yol ise sensörlerle isabetli hale getirilmektedir. Şekil 9'da görüldüğü gibi OPLOG firmasının ürettiği tekerlekli TR örneği her yöne hareket kabiliyeti olan otonom bir robottur.



Şekil 9. Tekerleğe sahip otonom TR örneği ("Otonom taşıma aracı — OPLOG", 2019)

4.4 Otonom veya yarı otonom forkliftli sistemler

Bu depo türlerinde ürün taşıma işlemleri otonom veya yarı otonom forkliftler ile yapılmaktadır. Bu forkliftin dış görünüşü manuel forkliftlere benzemektedir. Manuel forkliftlerden en büyük farkı ürünü depolama ve boşaltma işlemini insansız yapabilmektedir. Forkliftin hareketi, üzerinde bulunan sensörlere bağlıdır. Bu sensörler ile ürün algılama işlemi yapılıp optimizasyon teknikleriyle hedef rafa ürün yerleştirilmektedir. Ve aynı metotla ürün boşaltma işlemi yapılmaktadır. Otonom forkliftlerin üzerinde operatör kabini yoktur. Yarı otonom forkliftlerde ise gerektiğinde insan müdahalesi için operatör kabini bulunmaktadır. Şekil 10'da görüldüğü gibi Robos firmasının ürettiği otonom forklift örneği verilmiştir.



Şekil 10. Otonom forklift örneği (*Otonom Forklift | Robos*, 2018)

5. Sonuç

ODBS'ler gelişen teknoloji, artan endüstriyel imkanlar, büyüyen küresel ekonomi gibi etmenler doğrultusunda gün geçtikçe hem yaygınlığını hem çeşitliliğini hem de daha özel ve verimli çözümler üreten yeni teknolojilerini artırmaktadır. Endüstri 4.0 döneminin getirdiği nesnelerin interneti, yazılım, bilgisayar gibi alanlardaki gelişmeler ODBS'lerin daha hızlı ve verimli hale gelmesini sağlamıştır. Ürün algılamada hassas haritalama yapabilen yüksek işlem hızlarına sahip işlemci ve algılayıcıların hızlı cevapları sayesinde minimum hatalarla çalışan stabil depolama ve sipariş toplama işlemleri yapılabilmektedir. Otomasyon programları hedeflenen optimal depo konumunun belirlenmesi için meta-sezgisel optimizasyon teknikleri içeren algoritmalar sayesinde daha hızlı ve doğru çözümler üretebilmektedir. Konum tayini işleminden sonra genellikle taşıyıcı ve koridor robotlarıyla taşıma işlemi yapılmaktadır. ODBS'de kullanılan robotların tasarım çeşitliliği müşteri,

üretim, alan, rota, enerji, zaman ve maliyet gibi depo parametrelerine bağlı olmaktadır. ODBS robotunun seçim kriterleri de ilgili parametrenin en yüksek verimliliğini sağlayacak şekilde depo kurulumu için önem arz etmektedir. İlgili parametrenin optimizasyonları da göz önünde bulundurulduğunda gelişmiş teknoloji ürünü ODBS robotlarının enerji, zaman ve maliyet açısından verimli çalıştığı Endüstri 4.0'a cevap veren IoT uyumlu insansız depoların yaygınlaşacağı açıktır. Ayrıca kullanılan ODBS'lerin daha geniş ürün çeşitliliğine olanak sağlaması için hacimsel yenilikler yapılması daha geniş alanlara açılmasını sağlayacaktır. Bu çalışmanın sonucunda bir ODBS'nin kurulumu aşamasında kullanılacak robot çeşidinin belirlenmesine endüstriyel olarak ışık tutulması hedeflenmiştir. Bu bağlamda literatürde yaygın olan ODBS robotlarının çeşitleri ve bileşenleri hakkında temel bilgiler verilmiştir.

6. Kaynaklar

AS/RS Otomatik Depolama | Temesist Depo ve Raf Sistemleri. (2017). Temesist® Endüstriyel Depo Ve Raf Sistemleri. https://temesist.com/asrs-otomatik-depolama-temesist-endustriyel-depo-ve-raf-sistemleri/

Automated Library Systems | Dematic. (2017). https://www.automatedlibrarysystems.com/

Automated Pallet Storage | Pallet Shuttles | AS/R Systems, Inc. (2021). https://asrsystems.com/automated-pallet-storage.php

Azzi, A., Battini, D., Faccio, M., Persona, A., & Sgarbossa, F. (2011). Innovative travel time model for dual-shuttle automated storage/retrieval systems. Computers & Industrial Engineering, 61(3), 600-607. https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.04.015

Bilgin Sarı, E., Özveri, O., & Şenyay, U. E. (2019). Endüstri 4.0'ın İş Süreçleri Yönetimine Etkisi: Akıllı Depolama Sistemi Uygulaması. Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi, 467-478. https://doi.org/10.33712/mana.596709

Dereli, İs. (2014). LOJİSTİK UYGULAMALAR İÇİN AKILLI DEPOLAMA SİSTEM TASARIMI VE OTOMASYONU. 74.

Gagliardi, J.-P., Renaud, J., & Ruiz, A. (2012). Models for automated storage and retrieval systems: A literature review. International Journal of Production Research, 50(24), 7110-7125. https://doi.org/10.1080/00207543.2011.633234

Gagliardi, J.-P., Renaud, J., & Ruiz, A. (2015). Sequencing approaches for multiple-aisle automated storage and retrieval systems. International Journal of Production Research, 53(19), 5873-5883. https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1012600

Gürgen, Z., Otacioğlu, H. C., & Kurt, H. O. (2019). AGV SAYISINA VE HATLARDAKİ STOK MİKTARLARINA KARAR VEREN BİR HAT BESLEME SİSTEMİ KURULMASI. Journal of Industrial Engineering, 18.

Hameed, H. M. (2019). The Automatic Storage and Retrieval System: An Overview. International Journal of Computer Applications, 177(16), 8.

Honeywell AS/RS Sistems. (2021). https://sps.honeywell.com/us/en/support/automation/resources/whitepapers/what-consider-successful-asrs-investment

Közkurt, C. (2012). SIVI GIDA ÜRETİM SEKTÖRÜ İÇİN AKILLI DEPOLAMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN KARTEZYEN ROBOTUN MEKATRONİK TASARIMI.

Közkurt, C., Fenercioğlu, A., & Akar, M. (2012). Otomatik Depolama Sistemlerindeki Robotlar için Servo Motor Seçimi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 1, 97-104.

Otonom Forklift | Robos. (2018). http://robos.com.tr/projeler/rbs-f-forklift-agv/

Otonom taşıma aracı—OPLOG. (2019). OPLOG | Depo Yönetimi, Lojistik Firması. https://oplog.com.tr/akilli-depo-sistemlerinin-e-ticaret-icin-avantajlari/

Pohjalainen, A. (2015). Control Policies of an Automated Storage and Retrieval System. 68.

Roodbergen, K. J., & Vis, I. F. A. (2009). A survey of literature on automated storage and retrieval systems. European Journal of Operational Research, 194(2), 343-362. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.038

Soyaslan, M., Kozkurt, C., & Fenercioglu, A. (2017). A new truck based order picking model for automated storage and retrieval system (AS/RS). Journal of Engineering Research, 5(4), Article 4. https://kuwaitjournals.org/jer/index.php/JER/article/view/2986

Soyaslan, M., Közkurt, C., & Fenercioğlu, A. (2015). Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri (ODBS): Depo Kurulumu ve Performans Çalışmaları Üzerine Araştırma. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 3(3), 8-26.

Yildiz, A., Ergül, E. U., GezegiN, C., & DiRiK, H. (2018). AKILLI DEPOLAR İÇİN PLC ÜNİTELERİNİN BULANIK TOPSIS YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ. 8.

Engelsiz Kentler Üzerine Bir Araştırma

Necla TEKTAŞ[1], H. Merve PEKER [2]

[1] Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi,

Bandırma, Türkiye

[2] Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

Bandırma, Türkiye

Sorumlu yazar haticepeker@ogr.bandirma.edu.tr

ORCID-https://orcid.org/0000-0002-8190-4532[1]
ORCID-https://orcid.org/0000-0003-0453-9057[2]

Özet

Artan nüfus ve çarpık kentleşme beraberinde birçok sorunu da getirmiştir. Bunlardan biri de şüphesiz ki ulaşım sorunudur. Bireysel araç sahipliğinin artışı, çevre kirliliği ve gürültüyü hayatımıza katarken diğer yandan trafikte bekleme süresini artırarak kozmopolit şehirleri daha da yaşanılmaz hale getirmiştir. Yakıt tüketimi artışına bağlı olarak havaya salınan karbon miktarının artışını azaltacak yönde yapılan çalışmalar, kazaların artışına bağlı olarak güvenli sürüş tekniklerinin geliştirilmesi vb. birçok şey ön plana çıkmaktadır. Tüm bu faktörlerin insanlara ve yaşadığımız çevreye verdikleri zararı minimize etmek amacıyla yapılan çevre dostu teknolojik projeler akıllı şehirleri inşa etmeye başlamıştır. Akıllı şehirler çözüm odaklı uygulamaları ile dışarıdan müdahale olmadan şehrin kendi kendisini yönetmesini sağlamakta ve hayatımıza kolaylık katmaktadır. Aynı zamanda bu şehirler tasarlanırken engelli grupların da hayatlarını kolaylaştırarak ve yaşam kalitelerini artıracak pek çok proje hazırlanmış ve uygulamaya geçirilmiştir. Ulaşımdan eğitime, sağlıktan kamusal alanlara, enerjiden altyapıya kadar birçok alanda hayatımızı kolaylaştıran uygulamaları barındıran akıllı şehirler, bu uygulamalarında engelli bireyleri de unutmayarak onların sosyal hayata daha kolay adapte olmalarını sağlamıştır. Engelli bireylere yönelik yapılan tüm bu çalışmalar akıllı şehirlerin oluşumunda önemli bir yer tutmaktadır.

Bu çalışmada Avrupa'da ve ülkemizde bulunan akıllı şehirlerde, özellikle ulaşım alanında engelli bireylerin hayatlarına dokunan uygulamalar araştırılmış ve yapılan bu çalışmaların engelli bireyler üzerinde sağladığı faydalar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı kent; ulaşım; engelli birey; teknoloji

Abstract

Increasing population and unplanned urbanization have brought along many problems. One of them is undoubtedly the transportation problem. The increase in individual vehicle ownership has added environmental pollution and noise to our lives, while increasing the waiting time in traffic, making cosmopolitan cities even more unlivable. Studies to reduce the increase in the amount of carbon released into the air due the increase in fuel consumption, the development of safe driving techniques due to the increase in accidents

[1] Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Balıkesir, Türkiye, ntektas@bandirma.edu.tr

[2] Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, Türkiye, haticepeker@ogr.bandirma.edu.tr

etc. many things stand out. Environmentally friendly technological projects made in order to minimize the damage caused by all these factors to people and the environment we live in have started to build smart cities. Smart cities with their solution-oriented applications, enable the city to manage itself without outside intervention and add convenience to our lives. At the same time, while these cities were being designed, many projects were prepared and implemented to make the lives of disabled groups easier and increase their quality of life. Smart cities, which contain applications that make our lives easier in many areas from transportation to education, from health to public spaces, from energy infrastructure, have not forgotten the disabled individuals in these applications and have enabled them to adapt to social life more easily. All these studies of disabled people have an important place in the formation of smart cities.
In this study, applications that touch the lives of disabled people in smart cities in Europe and our country, especially in the field of transportation, were investigated and the benefits of these studies on disabled individuals were evaluated.

Keywords: Smart city; transport; disabled person; technology

1. Giriş

Dünyanın büyük kentleri değişimle gelişir. Yeni insanlar, yeni fikirler ve yeni akımlar kenti kozmopolit yapar. Son yıllarda teknolojideki gelişmelerin bu kozmopolit düzene teknolojik bir dönüşüm sağladığı ve hayatımızı kolaylaştırdığı görülmektedir. Akıllı kent kavramı ile beraber özellikle engelli grupların da gündelik yaşamları kolaylaşmakta sosyal hayata daha kolay adapte olmaları sağlanmaktadır.
Genel olarak bakılacak olursa akıllı kent kavramının çözüm odaklı uygulamalar olduğu görülmektedir. Ulaştırma ve enerji başta olmak üzere, şehirlerin altyapı ve şebekelerinin dışarıdan bir müdahaleye gerek duyulmaksızın kendi kendine yönetilmesi ile insanların yaşam standartlarında önemli ölçüde iyileşme sağlanması hedeflenmektedir.

2. Akıllı Kent Kavramı

Dijitalleşmenin hayatımızda yer edinmesi ile beraber "akıllı şehir", "siber şehir", "dijital şehir", "elektronik şehir" gibi kavramlar ortaya çıkmıştır. Hızla artan nüfus özellikle büyük şehirlerde hayatı zorlaştırmakta ve yaşam kalitesini ciddi anlamda düşürmektedir. Akıllı şehir modeli bu noktada problemlerin üstesinden gelerek bizlere çözüm yolları sunmaktadır. Çünkü bu şehir mimarisinin amacı kentte yaşayan insanların hayatını kolaylaştırmak ve kaynakları daha verimli bir şekilde kullanmaktır.
Akıllı Şehir kavramı ile alakalı birden fazla tanım bulunmakta ve bu tanımlar çözüm aranan ihtiyaçlara göre şekillenmektedir.

- Akıllı Şehir; "yönetim, sağlık, kamu güvenliği, eğitim, emlak, ulaşım, enerji ve kamu hizmetleri gibi bir şehrin kritik öneme sahip olan altyapı bileşenlerini ve hizmetlerini daha bilinçli ve etkileşimli hale getirmek için bilgi ve iletişim teknolojilerini verimli ve etkili bir biçimde kullanan şehirdir" (Serdar et al., 2018).
- Akıllı Şehir; "mevcut tüm bilgilerin birlikte ele alınması ve kullanımı ile şehir faaliyetlerinin daha iyi anlaşılması, kontrol edilmesi ve sınırlı kaynağın etkin kullanılmasıdır." Diğer bir tanımı ise; "çok paydaşlı, belediye odaklı ortaklık temelinde BİT tabanlı çözümler ile kamu sorunlarını çözme yaklaşımını benimseyen şehirdir". Bir başka tanıma göre ise akıllı şehir, "statik bir sonuçtan ziyade, artan vatandaşlık katılımı, fiziki altyapı, sosyal sermaye ve dijital teknolojilerin şehirleri

daha yaşanabilir, esnek ve zorluklara daha iyi cevap verebilir hâle getiren bir süreçtir "(T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planına göre akıllı şehir, "paydaşlar arası işbirliği ile hayata geçirilen, yeni teknolojileri ve yenilikçi yaklaşımları kullanan, veri ve uzmanlığa dayalı olarak gerekçelendirilen ve gelecekteki problem ve ihtiyaçları öngörerek hayata değer katan çözümler üreten daha yaşanabilir ve sürdürülebilir şehirler" olarak tanımlanmıştır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019)



Şekil 7. Akıllı Kent Tasviri
Kaynak:(Serdar et al., 2018)

Akıllı şehirler ile ilgili farklı tanımlar olmasının yanı sıra yapısına ilişkin de farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar arasında Avrupa Birliği tarafından kabul edilen yapıya göre akıllı kentler 6 bileşenden oluşmaktadır (İTÜ Vakfı Yayın, 2017).

1. **Akıllı Hareketlilik/Ulaşım (Smart Mobility):** Bu bileşende, bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanıldığı bütünleşmiş ulaşım sistemleri yer almaktadır. Çevre dostu ve engelli bireylere yönelik ulaşım çözümleri getirmeyi hedefleyen bu bileşenin gerçek zamanlı trafik bilgilerini yolcular, araç sürücüleri ve operatörler ile paylaşımı öncelikleri arasında bulunmaktadır. Bu sayede engelli birey gitmek istediği yerin trafik yoğunluğunu veya toplu taşıma araçlarının yoğunluğunu rahatça öğrenebilmekte, akıllı ulaşım uygulamaları sayesinde hangi toplu taşıma aracında rampa bulunduğu, bu aracın hangi durağa saat kaçta geldiğini kolaylıkla bilebilmektedir.
2. **Akıllı Yaşam (Smart Living):** Bilgi ve iletişim teknolojileriyle insanların günlük yaşamları kolaylaşarak daha rahat ve güvenilir ortamlar sağlanmaktadır. Bu sayede engelli bireyler de yardıma ihtiyaç duymadan yaşamlarını rahatça idame ettirebilmektedirler.
3. **Akıllı Yönetişim (Smart Governance):** Bilgi ve iletişim teknolojileri sayesinde farklı seviyedeki kişiler arasında daha etkili iletişim kurulmaktadır. Engelli bireyler kendilerine ait işlemleri kamu kurumlarına gitmeden online olarak yapabilmektedirler.
4. **Akıllı Çevre (Smart Environment):** Yenilenebilir enerji sistemleri, akıllı şebeke uygulamaları, akıllı elektrik şarj üniteleri, akıllı sayaçlar, çevre dostu binalar, engelli rampaları ve asansörleri, akıllı sokak aydınlatmaları, akıllı trafik aydınlatma sistemleri, katı atık yönetimi gibi çözümleri içeren bu bileşende engelli bireyler de dikkate alınarak çalışmalar yapılmaktadır.
5. **Akıllı Ekonomi (Smart Economy):** Bilgi ve iletişim teknolojileri kullanılarak engelli bireylerin bulundukları yerden internet yardımıyla ekonominin içine karışmaları, online ticaret yapabilmeleri ve iş bulabilmeleri sağlanmaktadır.

6. **Akıllı İnsanlar (Smart People):** Bu bileşende, bireylerin teknolojiyi kullanarak üretim becerilerinin gelişmesi sağlanmakta ve bu sayede iş hayatı ve sosyal hayatlarında etkin rol almaları sağlanmaktadır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Akıllı Şehirler ve Eylem Planına göre akıllı şehirlerin amaçları arasında kentin hali hazırda ve gelecekte ortaya çıkması muhtemel sorunları ve beklentileri kent genelinde ve sistemlerinde tetikleyici bir rol üstlenmesini sağlamak, fiziksel, sosyal, dijital planlamayı bütün olarak ele almak, meydana gelen zorlukları sistematik ve sürdürülebilir bir şekilde karşılamak ve tanımlamak ve şehrin tüm yapıları arasında etkileşimi sağlayarak bütünleşik hizmet sunmak ve yenilik üretme potansiyelini ortaya çıkarmak yer almaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019).

3. Engellilik Kavramı

Engellilik, "bireyin yaşam aktivitelerini sınırlayıcı, kısıtlayıcı zihinsel-fiziksel bozukluklardır ve bireyin yeteneklerindeki ve gücündeki sınırlılık-eksiklik durumudur." Dünya Sağlık Örgütü (WHO) engelliliği, "kişiden ya da bir bütün olarak vücuttan beklenilen davranışlar, yetenekler ve görevler olarak ifade edilen normal aktivitelerin yerine getirilmesindeki eksiklik ya da sınırlılık", "bir yetersizlik veya özür nedeni ile yaşa, cinsiyete, sosyal ve kültürel faktörlere bağlı olarak kişiden beklenen rollerin kısıtlanması veya yerine getirilememesi" olarak tanımlamaktadır. Engelli; "doğuştan veya sonradan herhangi bir nedenle bedensel, zihinsel, ruhsal, duyusal ve sosyal yeteneklerini çeşitli derecelerde kaybetmesi nedeniyle toplumsal yaşama uyum sağlama ve günlük gereksinimlerini karşılama güçlükleri olan ve korunma, bakım, rehabilitasyon, danışmanlık ve destek hizmetlerine ihtiyaç duyan kişidir." Bir başka tanımda ise "kişinin bedensel, zihinsel ve ruhsal yetenek ve özelliklerinden bir kısmını sürekli olarak yitirmesi ve normal yaşamın gereklerine uyamaması durumuna engel, böyle kişilere de engelli denir" şeklinde tanımlanmaktadır. Bir diğer tanımda ise, "engellilik, bedensel fonksiyonlardaki hasarlar nedeniyle meydana gelen kayıpların yarattığı sosyal dezavantajlar" olarak görülmektedir(ÖZTABAK, 2017).

Ülkemizde bulunan engelli bireylerin verileri aşağıdaki tablolarda belirtildiği gibidir.

Tablo1. Veri sisteminde kayıtlı ve hayatta olan engellilerin engel gruplarına göre dağılımları*

Engel Durumu	Kişi Sayısı	Oran (%)
Görme	215.076	9,53
İşitme	179.867	7,97
Dil ve Konuşma	33.686	1,49
Ortopedik	311.131	13,78
Zihinsel	385.313	17,07
Ruhsal ve Duygusal	170.927	7,57
Süreğen Hastalık	917.259	40,63
Diğer	44.248	1,96
Not: Engelli Sağlık Kurulu Raporu almak için yetkili hastanelere başvurmamış ve hizmet almak için devletle temasa geçmemiş bireyleri kapsamamaktadır.		

Kaynak:(Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 2021)

Tablodaki verilere göre ülkemizin 2021 nüfusunun %3'ünü engelli gruplar oluşturmaktadır. Grubun yaşlara göre tablosuna bakılacak olursa genel olarak erkeklerin oranı kadınların oranını geçmektedir.

Tablo 2. Veri tabanında kayıtlı ve hayatta olan engellilerin yaş grubu ve cinsiyete göre dağılımları**

Yaş Grupları	Erkek	Kadın	Toplam
0-4	19.304	13.881	33.185
5-9	56.267	34.792	91.059
10-14	74.525	48.282	122.807
15-19	79.897	54.181	134.078
20-24	87.544	59.814	147.358
25-29	82.604	50.870	133.474
30-34	86.314	53.293	139.607
35-39	102.437	67.865	170.302
40-44	123.124	82.976	206.100
45-49	134.400	85.994	220.394
50-54	118.951	75.202	194.153
55-59	116.897	84.962	201.859
60-64	91.731	68.522	160.253
65-69	81.101	67.703	148.804
70-74	55.913	55.913	113.325
75-79	42.871	53.899	96.770
80-84	31.629	55.967	87.596
85+	36.374	89.420	125.794
Not: Engelli Sağlık Kurulu Raporu almak için yetkili hastanelere başvurmamış ve hizmet almak için devletle temasa geçmemiş bireyleri kapsamamaktadır.			

Kaynak:(Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 2021)

Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığının Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü Şubat 2021 verilerine göre; engelli bireylerin sayıları azımsanmayacak niteliktedir. Bununla beraber dezavantajlı bireyle yaşayan aile üyelerini de bu yüzdeliğe ekleyecek olursak etkilenen kişi sayısının oranı daha da artacaktır.

Engelli bireyler durumlarından dolayı günlük yaşamlarında önyargı, ayrımcılık başta olmak üzere birçok sıkıntı ile karşı karşıya kalmaktadır. Özellikle son zamanlarda akıllı kent mimarisi oluşturulurken engelli bireylerin sosyal hayatlarında karşılaştıkları bu sıkıntıları ortadan kaldıracak uygulamalar ön plana çıkmaktadır.

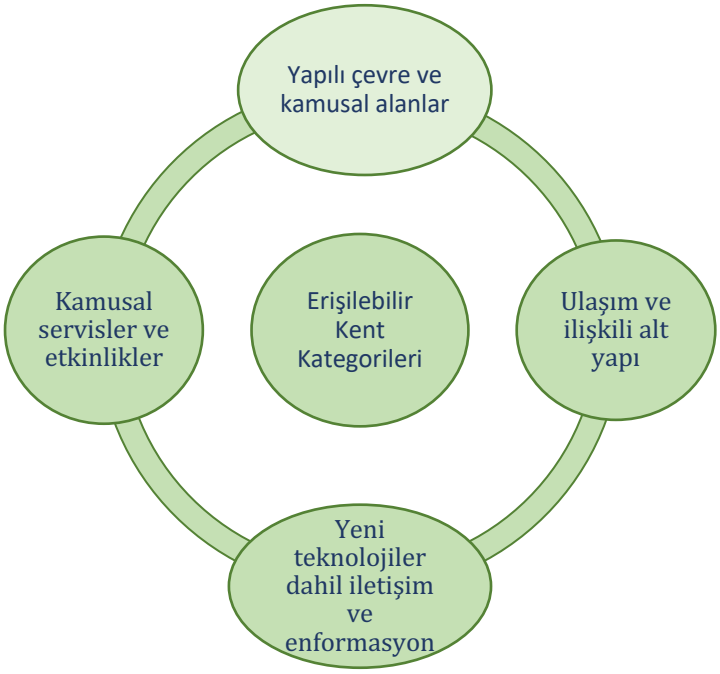
4. Engelsiz Akıllı Şehirler

Son dönemlerdeki gelişmelerden sonra teknoloji günlük hayatın ayrılmaz bir parçası haline gelmiş ve kentlerin planlaması oluşturulurken bilgi ve iletişim teknolojileri tabanlı çalışmalar yapılmıştır. Dolayısıyla belli bir noktada durması ya da belli bir hedefe ulaşması gibi bir durum söz konusu değildir. Teknoloji ilerledikçe ve ihtiyaçlar artıkça her geçen gün daha da gelişecek, insanların kullanımına sunulacaktır.

Akıllı kent uygulamaları engelli ya da engelsiz fark etmeksizin tüm bireylere eşit olanaklar sunmayı hedeflemektedir. Bu uygulamalar hayata geçirilirken özellikle engelli grupların da karşılaştıkları zorluklar göz önünde bulundurulup çözüm yolları üretilmekte, sosyal yaşamlarını rahat bir şekilde devam ettirebilmeleri yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Bu gruplar ilerleyen zamanlarda birçok alanda istedikleri bilgiye rahatça ulaşabilecek bir başka kişiye ihtiyaç duymadan gündelik yaşamlarını devam ettirebileceklerdir.

5. Dünyada Engelsiz Akıllı Şehirler

Avrupa Birliği 2010 yılından bu yana Avrupa kentlerinde, engelli ve yaşlı bireylerin sayılarının her geçen gün artışı sebebiyle kentlerin ihtiyaçlar doğrultusunda planlanabilmesi ve yönetilmesinin önemini vurgu yapmak için "erişilebilir kent" ödülleri vermektedir. Erişilebilir kent ödüllerine aday olan ülkeler şekil 2 de görüldüğü gibi yapılı çevre ve kamusal alanlar, ulaşım ve ilişkili alt yapı, yeni teknolojiler dahil iletişim ve enformasyon, kamusal servisler ve etkinlikler olmak üzere dört alanda değerlendirilmektedir(Güneş & Uslu, 2017).



Şekil 8. Erişilebilir Kent Kategorileri
Kaynak: (Güneş & Uslu, 2017)

Bu dört alanda aday olan kentler ise jüri tarafından aşağıdaki beş kategoride değerlendirilmeye alınmaktadır.

- Yapılan eylemlerin kapsamı
- Katılım seviyesi ve sahiplik
- Yaratılan etki
- Sonuçların niteliği ve sürdürülebilirliği
- Engelli ve ilgi gruplarının katılımı(Güneş & Uslu, 2017)

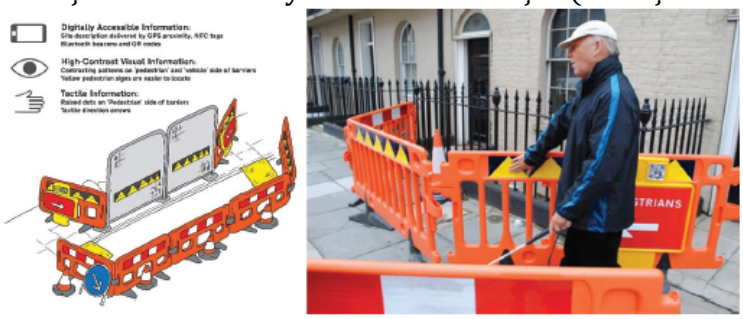
Erişilebilir kent ödülünü 2011 yılında aday 66 Avrupa kentinden İspanya (Avila) almaya hak kazanmıştır. 2012 yılında 114 başvuru arasından Avusturya (Salzburg) ödül almıştır. Daha sonraki yıllarda ise sırası ile Almanya (Berlin-2013), İsveç (Gothenburg-2014), İsveç (Boras-2015), İtalya (Milan-2016), Birleşik Krallık (Chester-2017), Fransa (Lyon-2018), Hollanda (Breda-2019), Polonya (Warsaw-2020), İsveç (Jönköping-2021) erişilebilir kent ödülünü almışlardır (European Network for Accessible Tourism, 2021).

Avrupa'da herkes için erişilebilir kent yaklaşımının temelinde evrensel tasarım ilkelerinin, tasarım ürünü olarak kentin planlama ve tasarımda uygulanması önerilmektedir. Aynı zamanda süreklilik, ilgili personelin ve kamunun bu konuda eğitilmesi de önem arz etmektedir. Örneğin İsveç'in Stockholm kentinde, "Herkes İçin Erişilebilir Kent Stockholm " hedefi için 1999 yılında başlayan çalışmalar, 2010 yılında resmi olarak planlamaya alınmış ve 2030 yılı için 20 yıllık eylem planları oluşturulmuştur(Güneş & Uslu, 2017).

Özellikle görme engelliler için teknolojiden yararlanılarak geliştirilen ve farklı yerlerde uygulanan uygulamalar, kişinin bağımsız bir şekilde hareket etmesini sağlamaktadır. Bu uygulamaların bazı örnekleri aşağıda verilmiştir.

- **Yol Çalışmaları İçin Dokunsal Ögeler**

Dilimize "işaret çizgisi" olarak çevrilen ve görme bozukluğu bulunan kişilerin etraflarını daha iyi anlayabilmeleri için kamu kullanımına açık alanlarda onlara yardım etmek amacı ile dokunsal yol çalışması işaretleri ve bariyerler tasarlanmıştır(Güneş & Uslu, 2017).



Şekil 9. Yol Çalışmaları İçin Dokunsal Ögeler
Kaynak: (Ross Atkin Associates, 2021)

- **Duyarlı Kent Mobilyaları**

Ross Atkin tarafından geliştirilen Londra Tasarım Müzesi'nin 'Yılın Tasarımları' isimli sergisinin bir parçası olan Responsive Street Furniture projesi, sokaktaki ışık seviyesini artıran lamba, nerede olduğunu söyleyen ses sistemi ve oturma alanı da sunan ışıklandırılmış harita olmak üzere 3 bölümden oluşan bir sistemdir. Kaydı bulunan kullanıcılar mobilyaya yaklaştıklarında onları tespit ederek ihtiyaçlarını karşılamak üzere yardımcı olmaktadır.
Görme ve işitme engelli kişilerin sokakta daha rahat hareket etmelerini amaçlayan sistemi kullanmak için akıllı telefon ya da tablet yeterli olmaktadır. Engelleri farklı olan yayaları tespit ederek yolculuklarını kolay ve güvenilir hale getirilmesini sağlamak amacıyla kullanılan bu mobilyalar, engelli bireyler için oturma alanının fazlalığı avantaj iken kaldırım genişliğini azalttığı için diğer insanlar için dezavantaj olabilmektedir(Güneş & Uslu, 2017)



Şekil 10. Duyarlı Kent Mobilyaları
Kaynak: (Ross Atkin Associates, 2021)

Londra, yapısı ve nüfusu itibari ile Avrupa'nın en büyük kentlerinden biridir. 2013 yılında belediye başkanlığı tarafından " Akıllı Londra Planı " yayınlanmıştır. Planın temel prensipleri açık veri ve şeffaflık, iş birliği ve katılımcılık, teknoloji ve yenilik, verimlilik ve kaynak

yönetimidir. Açık veri ve şeffaflık alanında geliştirilen çözümler arasında metro araçlarında görme engelli bireyler için geliştirilmiş navigasyon sistemleri de bulunmaktadır. Wayfinder isimli uygulama ile metrolarda görme engelli bireylerin yönlendirilmesi, gideceği yere ulaştırılması, istasyon içerisinde bulunan yol gösterici mekanizmalar ile etkileşime geçerek sağlanmaktadır.

- **Sağlık Hizmetlerinde Yardımcı Teknoloji ve Robotik**

İnsan hareketlerini taklit eden ve yaşlılara bireysel olarak veya gruplar halinde egzersizler öğreten bir robot eğitmenidir. Sensörlerle geliştirilmiş, yaşlılara ve gençlere de aktif kalmaları için kişiselleştirilmiş yumuşak egzersiz rutinleri sunmaktadır. İnsanların egzersiz rutinlerini doğru yapmalarını sağlamak için hareket algılama teknolojisini kullanan proje; felç, Alzheimer, Parkinson gibi rahatsızlıkları olan yaşlılara fiziksel ve bilişsel tedavi sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda görme engellilerin öğrenme ve iletişim deneyimlerini de artırabilmeleri için hizmet vermektedir(Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019).



Şekil 11. Robot
Kaynak: (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019)

Singapur, Akıllı şehir uygulamalarının yürütülebilmesi için "Akıllı Ulus 2014", "Araştırma, İnovasyon ve İşletme 2020 Planı" gibi planlar oluşturmuştur. Singapur devleti bu uygulamaların geliştirilmesi için büyük destek olmaktadır. Devletin yanında özel sektörde de araştırma kuruluşları, özel, ulusal ve uluslararası kuruluş ve işletmeler beraber hareket etmektedir. Fiziksel Engelliler Derneği (SPD), Asya Pasifik Bilişim Topluluğu gibi sivil toplum kuruluşları da bu konuda destek vermektedir.
San Francisco, kentsel gelişme ve kaynaklarını daha verimli kullanma adına akıllı çözüm önerileri geliştirerek, ulaşım ve enerji konularında verimliliği arttırmayı hedeflemektedir. Erişilebilirlik konusunda pek çok kentte internet siteleri engelli bireylerin kullanımı için düzenlenmiş; günlük hayattaki ihtiyaçların gidermeye yönelik uygulamalara yer verilmiştir. Kentteki hizmetlerden kısa süreliğine yararlanacaklar için akıllı kent teknoloji uygulamaları, şehir rehberleri ve internet siteleri bulunmaktadır. Kentlerin internet sitelerinde kullanılan sesli ve görsel açıklayıcılar ile braille alfabesi, kenti ziyaret etmek isteyen engelli bireylerin de kendi seyahat planlarını hazırlayabilmesi ve kente gitmeden önce kent hakkında bilgi edinebilmesi için kolaylık sağlamaktadır.

6. Türkiye'de Engelsiz Akıllı Şehirler

Ülkemizde 2005'te AB'ye katılım müzakerelerinin başlamasından sonra uyum süreci kapsamında kentlerin bilgi ve iletişim teknolojileri desteği ile akıllı kentlere dönüştürülmesi önem kazanan bir husus olmuştur. Bu konuda çeşitli atılımlar yapılmış ve özellikle engellilerin gündelik hayatlarını kolaylaştıracak teknolojik altyapı ile donatılmış proje fikirleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu fikirlerin projelendirilmesi ve tek çatı altında toplanarak faaliyetlerin daha kolay sürdürülebilmesi, engelli vatandaşların ulaştırma ve haberleşme altyapılarını rahat ve yeterli seviyede kullanabilmeleri, demiryolu, denizyolu, havacılık, haberleşme gibi birçok birim ile ortak çalışmalar yürütmek ve koordinasyon sağlanması adına atılan en somut adım 2012 yılında Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı bünyesinde "Engelli Hizmetleri Daire Başkanlığı" kurulması olmuştur.

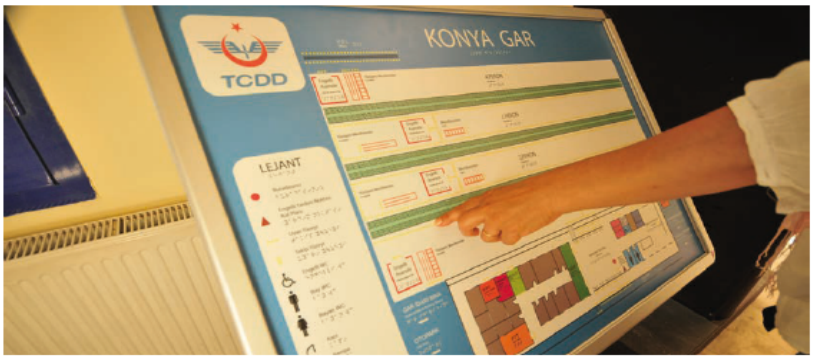
Ülkemizde ulaşım ve iletişim hizmetlerini her birey için erişebilir ve eşit kılmak için 23 Ağustos 2017 tarihinde "Türkiye'de Yolcu Taşımacılığı Hizmetlerinin Erişilebilirliği Projesi" başlatılmıştır. Projenin temel çıktısı birbiriyle bütünleşmiş taşımacılık hizmetlerine olanak sağlayan "Erişilebilir Yolcu Taşımacılığı Stratejisi" geliştirilerek, çalışmaların hayata en sağlıklı şekilde geçirilmesine olanak sağlayan kapsamlı bir yol haritası olmasıdır. Proje kapsamında "Eğiticilerin Eğitim Programı" için 160 eğitimciye ulaşımda erişilebilirlik eğitimi verilerek ülke çapında ulaşımda erişilebilirlik alanında uzman bir kadro oluşturulmuştur.

Ülkemizde ulaşım konusunda engelli vatandaşlarımız için yapılan diğer hizmetlerden biri de gar ve istasyon binalarının erişilebilirlik standartlarına uygun yeniden tasarlanması olmuştur. Görme engelli vatandaşlar için hissedilebilir yüzey alanlar oluşturularak rahat bir şekilde seyahat etmeleri sağlanmıştır(T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019)



Şekil 12. Konya Gar
Kaynak:(T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019)

Buna ilaveten garlarda engelli vatandaşlara yönelik Braille kabartmalı kat planları, wc, danışma, otopark ve rampalara yönlendirme tabelaları mevcuttur.



Şekil 13. Konya Gar Görme Engelli Yolcular İçin Kabartmalı Kat Planı
Kaynak:(T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019)

Ayrıca gar, istasyon, iş yerlerinde engelli vatandaşlar için binaların; giriş ve çıkışlarında rampalar, trenlere binmek ve inmek için platformlar, çağrı düğmeleri, yürüyen merdiven yanında ve bina içlerinde engelli asansörleri ile tekerlekli sandalyeler bulunmaktadır.



Şekil 8. Ankara Garı Asansör Merdiven
Kaynak:(T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019)



Şekil 14. Afyon Garı Engelli Yardım Butonu
Kaynak:(T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019)

Yüksek hızlı tren seferlerinin başlamasıyla yolcu taşımacılığının yoğun bir hal aldığı Ankara, Konya ve Eskişehir Garları olmak üzere birden çok bilet satış noktası bulunan yerlerde bir gişenin gazi ve engelli yolculara hizmet vermesine yönelik çeşitli düzenlemeler yapılmıştır. İşitme engelli yolculara daha iyi hizmet sağlayabilmek için gişe personellerine işaret dili eğitimi verilmiştir.
Ülkemizde engellilere yönelik yapılan çalışmalardan bir diğeri ise kolay ulaşabilecekleri noktalarda engelli otoparklarının yapılması olmuştur.



Şekil 15. Konya Garı Engelli Otoparkı
Kaynak:(T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019)

Gar ve istasyonlarda bulunan "Engelli Yardım Noktaları" vasıtasıyla engelli vatandaşlarımız kendileri için hazırlanan hizmetlere daha kolay ve başka desteğe ihtiyaç kalmaksızın erişim sağlayabilmektedirler.

7. Sonuç

Günümüzde insanlar sağlık, eğitim, istihdam gibi temel gereksinimlerini karşılamak için büyük kentlere yerleşerek daha konforlu bir yaşam arzulamaktadırlar. Kontrol dışı büyüyen şehirler ve artan nüfus ile paralel olarak kentlerin ihtiyaçları da artmakta ve dolayısıyla pek çok alanda çözülmesi gereken sorunlarda beraberinde gelmektedir. Kentlerdeki yaşamın rahat bir şekilde sürdürülebilmesi için ulaşım, çevre, sağlık, güvenlik, eğitim gibi tüm hizmetlerin senkronize bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Bu anlamda özellikle yerel yönetimlerin hizmetlerini etkin bir şekilde sunabilmeleri için bilgi ve teknoloji altyapısı ile donatılmış akıllı şehir uygulamalarına entegre olması kaçınılmazdır. Kentte yaşayan insanlara yüksek standartta bir hayat sunan akıllı şehirler, sorunlara bilgi ve teknoloji ile çözüm yolları üretirken aynı zamanda kentleri daha işlevsel hale getirmektedir.

Kontrolsüz büyüyen kentler, gündelik yaşamları zaten zor olan engelli vatandaşların da yaşam kalitesini düşürmekte ve karşılarına pek çok sorun çıkarmaktadır. Bu sorunların aşılmasında ve bu kişilerin de refah seviyelerinin yükseltilmesinde akıllı kentler vazgeçilmez bir çözüm aracı haline gelmektedir. Özellikle ulaşım konusunda meydana gelen sorunları aşmak adına ulaşım koordinasyonu sağlanırken birtakım hususların göz önünden bulundurulması gerekmektedir. Örneğin ulaşım araçlarında engelli vatandaşlara gerekli desteği vermeleri için bu konuda eğitim almış personeller yerel yönetimler tarafından görevlendirilebilir. Bunun yanında engelsiz akıllı ulaşım uygulamaları belli bir yaşın üzerindeki kişileri ve hamile kadınları da kapsayacak şekilde genişletilirse daha geniş bir kitleye hitap etmiş olacaktır.

8. Kaynaklar

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2019). *Akıllı Şehirler Beyaz Bülteni*. https://www.akillisehirler.gov.tr/2019/11/28/beyaz-bulten/

Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü. (2021). *Engelli ve Yaşlı İstatistik Bülteni Şubat 2021*. https://www.ailevecalisma.gov.tr/media/73073/eyhgm_istatistik_bulteni_subat2021.pdf

European Network for Accessible Tourism. (2021). *Accessible Cities in Europe*. https://www.researchgate.net/publication/327622170_ENGELSIZ_AKILLI_SEHIRLER_UZERINE_GENEL_BIR_ARASTIRMA

Güneş, M., & Uslu, A. (2017). *Engelsiz kentler-Herkes için erişilebilir kentler*. https://www.researchgate.net/publication/326507607_Engelsiz_Kentler-_Herkes_Icin_Erisilebilir_Kentler

İTÜ Vakfı Yayın. (2017). *Akıllı Şehirler*: *77*. https://www.ituvakif.org.tr/dergi/sayi_77.pdf

ÖZTABAK, M. Ü. (2017). Engelli Bireylerin Yaşamdan Beklentilerinin İncelenmesi. *FSM İlmi Araştırmalar İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, *9*, 355–375. https://doi.org/10.16947/FSMIA.323388

Ross Atkin Associates. (2021). *City – Ross Atkin Associates*. http://www.rossatkin.com/wp/?portfolio_category=city

Serdar, H., Uzun, Y., Ergün, H., & Arıkan, H. (2018). *Engelsiz akıllı şehirler üzerine genel bir araştırma*. https://www.researchgate.net/publication/327622170_ENGELSIZ_AKILLI_SEHIRLER_UZERINE_GENEL_BIR_ARASTIRMA

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2019). *2020-2023 Ulusal akıllı şehirler stratejisi ve eylem planı*. https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2019). *Erişilebilir Ulaşım ve İletişim*. https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/bakanlik-yayinlari/erisilebilir-ulasim-ve-iletisim.pdf

Akıllı Sistem Teknolojilerini Kullanarak Ticari Taksilerin Pandemik Hastalıklarda Çalışma Devamlılığının Sağlanabilmesine Yönelik Bir Öneri

Merve KARTAL[1], Bilal KARTAL[2], Necla TEKTAŞ[3], Mehmet TEKTAŞ[4]

[1]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, İİBF, Ekonometri, Bandırma, Türkiye

[2]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği, Bandırma, Türkiye

[3] Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, İİBF, Ekonometri, Bandırma, Türkiye

[4] Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği, Bandırma, Türkiye

[1]merve.kartal@ogr.bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0002-7682-2639

[2]bilalkartal@ogr.bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0003-1457-7815

[3]ntektas@bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0002-8190-4532

[4]mtektas@bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0001-9564-8069

Özet

Ulaşım, yaşam şartlarını zorlayan, insan sağlığını olumsuz etkileyen salgın hastalıkların yoğun olduğu dönemlerde en önemli temel ihtiyaçların arasında yer alır. Hasta ve hastalık taşıyan birçok kişi ulaşım aracı olarak hastane önündeki taksileri tercih etmektedir. Bu ulaşım tercihi şoförler ile araç içerisindeki kişilerin aynı havayı solumasına ve şoförlerin hastalığı kapıp hastalık halinden bulaştırıcı hale dönüştürmesine sebep olmaktadır. Bu durumda hastalığın yayılması, hastanelerin içinde olduğu kadar, hastanenin dışında da artmasına sebep olmaktadır. Bu konuyla ilgili olarak yapılan çalışmalarda sadece dezenfektasyonun, plastik veya çeşitli malzemelerden yapılan şeffaf koruma kabininin yeterli olmadığı görülmüştür. Araç içerisindeki aynı havanın hem şoför tarafından hem de araçtaki kişi/kişiler tarafından solunmaması için havanın değiştirilmesi, aracın içinin havalandırılması gerekli iken bu durum genellikle mümkün olmamaktadır. Bu çalışmada, akıllı şehircilik uygulamalarından yararlanarak araç içi havanın sirküle edilmesi ve havanın temizlenmesini gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Akıllı uygulamaya sahip cihazla uzaktan kontrol edilebilen aracı kullanan sürücüler ve yöneticiler tarafından görüntülenmesi sağlanabilecektir.

Anahtar kelimeler: pandemi, ticari taksi, medikal ozon, UV-C lamba

A Suggestion for Ensuring the Continuity of Operation of Commercial Taxis in Pandemic Diseases by Using Smart System Technologies

Abstract

Transportation is one of the most important basic needs in times of intense epidemics that strain living conditions and negatively affect human health. Many people who are sick and carrying diseases prefer taxis in front of the hospital as a means of transportation. This transportation preference causes the drivers and the people in the vehicle to breathe the same air and causes the drivers to catch the disease and turn it from disease to infectious. In this case, the spread of the disease causes the epidemic to increase inside the hospitals as well as outside the hospital.

In the studies conducted on this subject, it has been seen that only disinfection and a transparent protection cabinet made of plastic or various materials are not sufficient. In order not to breathe the same air in the vehicle by both the driver and the person(s) in the vehicle; Although it is necessary to change the air, ventilate the interior of the vehicle, this is usually not possible.

In this study, it is aimed to circulate the air inside the vehicle and to clean the air by using smart urban applications. It will be able to be viewed by drivers and managers who use the vehicle, which can be controlled remotely with a device with a smart application.

Keywords: severe epidemic, commercial taxi, medical ozone, UV-C lamp

1. Giriş

Salgın hastalıkların yaygın olduğu pandemi dönemlerinde, grip ve nezle gibi bulaşıcı hastalıkların yaygın olduğu kış aylarında hastalık taşıyan birçok kişinin, hastaneden dönerken araç olarak sağlık kurumunun önünde hizmet veren araçlardan faydalanmaktadır. Bu ulaşım araçlarını kullanan hasta veya hastalığı taşıyan kişiler ve şoförler araç içerisinde aynı havayı teneffüs etmesi sonucunda, şoförlerin hastalığı kapıp hastalık halinden bulaştırıcı hale dönüştürmesine sebep olmaktadır. Bu durumda hastalığın yayılması, hastanelerin içinde olduğu kadar hastane dışında yani hastanelere geliş-gidişler sonucunda artışa neden olmaktadır. Durum ile ilgili yapılan çalışmalar ele alındığında sadece dezenfektasyonun, plastik veya çeşitli malzemelerden yapılan şeffaf koruma kabininin kullanıldığı ve bunların yeterli olmadığı görülmüştür.

Risk altında olan taksi sürücüleri ve benzeri durumda olan sürücüler için öneri olarak hazırlanan çalışma; araç içi havanın sirküle edilmesi ve temizlenmesi olarak ele alınacaktır.

2. Araç İçerisindeki Havanın Sirkülasyonu ve Mikropların Yok Edilmesi

Havanın sirkülasyonu için medikal ozon kullanılmaktadır. Ozon, Yunanca ‘‘ozein’’ sözcüğünden türetilmiş olup ‘‘Koklamak’’ anlamına gelmektedir. İlk olarak 1840 yılında Christian Fricdrich Schönbein tarafından keşfedilmiştir (Ünal ve Sel, 2019). Ozonun bugüne kadar 250 farklı patolojinin tedavisinde kullanıldığı bilinmektedir. Ozon uzun yıllardır tıp

alanında: oftalmoloji, akut ve kronik bakteriyel veya viral hastalıklarda; iskemik, ortopedik, dermatolojik, pulmoner, renal, hematolojik ve nörodejeneratif hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır (Boğaç ve Erkmen, 2019). Medikal alanında ozon uygulamalarında; Martinez-Sanchez ve ark. da yaptıkları çalışmada diyabetik ayak gelişmiş hastalarda ozon tedavisinin etkinliği değerlendirilmiş; ozon tedavisi uygulanan hastalarda antibiyotik tedavisi alanlara göre yara iyileşmesinin hızlandığı, hastanede kalma sürelerinin kısaldığı, kan şekeri düzeylerinin daha iyi kontrol edildiği ve antioksidan enzim düzeylerinin arttığı bulunmuştur (Boğaç ve Erkmen, 2019). Ozonun beyin fonksiyonunu iyileştirdiği, dolayısıyla inmede etkili bir seçenek olduğunu gösteren çalışmalarda mevcuttur (İkizek ve Uzuntarla, 2020).

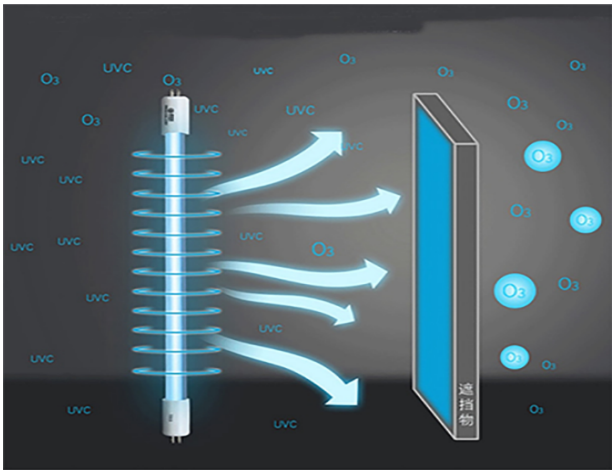
Dondo ve arkadaşlarının somon balıkları üzerinde yaptığı çalışmada, balıkların yıkandıkları su ve muhafaza edildikleri buza 2 mg/l ozon ilave edilmiş ve somon balığı örneklerinin, kontrol grubu balık örneklerine göre raf ömründe % 25'lik bir artışın olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Boğaç ve Erkmen, 2019).

Meyve ve sebzelerde raf ömrünü etkileyen en önemli mikroorganizma grubu küfler ve mayalar olmakla birlikte toprak kaynaklı patojenler ve kirli sulardan bulaşabilen fekal kontaminantlar da bulunabilmektedir. Bu riskleri önlemek amacıyla ozonun, yıkama suyunun patojen kontrolünde, depo atmosferindeki patojen ve zararlıların yok edilmesinde, organik ve inorganik kalıntıların uzaklaştırılmasında kullanıldığı görülmektedir (Muştu, 2020).

Martínez-Sánchez ve arkadaşları tarafından ozon tedavisinin potansiyel sitoprotektif (hücre koruyucu) etkisini incelemek amacıyla 74 orijinal araştırmayı kapsayan derleme niteliğindeki çalışmasında. Ozonun, SARS-COV-2 hastalarında ideal bir tedavi olmasını sağlayan biyolojik özellikleri vardır(İkizek ve Uzuntarla, 2020).

3. Araç İçerisindeki Havanın Temizlemesi ve Mikropların Yok Edilmesi

Havanın temizlenmesi ve mikropların yok edilmesi için UV-C lamba kullanılmaktadır. Ultraviyole ışınlarının kontrolsüz kullanımı, insan dersine direkt temasının kansere yol açabileceği bilinmektedir. Bu durumu önlemek amacıyla ultraviyole ışınlarını zararsız ve etkili kullanılabilmesi için UV-C lambalar etkili olabilir.



Şekil 16. UV-C lambanın çalışma prensibi

(Kaynak: https://www.aydinlatmateknik.com/uv-c-lambasi-nedir-faydasi-ve-zarari-nedir-tehlikesi-nedir.html ,2021)

Ultraviyole ışınları, UV-C kullanım alanları genel olarak kapalı mekânların havalandırma sistemlerinde kullanılan hava, filtrasyon sistemleri ile temizlenir. Havanın içindeki toz ve partikül filtreler ile tutulur. Havanın içinde asılı olarak dolaşan ve normal filtrasyon sistemleri ile tutulamayan ve mikroskop altında görülebilen bakteri gibi virüsler insan sağlığını tehdit ederek sürekli olarak ortamda bulunur. Virüsler, bakteriler, mantar ve mayalar, kapalı alanlarda imalatı yapılan ürünler üzerinde etkisini gösterir. Hava sistemlerinde oluşan tüm bu bakteriyel olumsuzlukları engellemek için UV-C ışınları ile UVC havanın sterilizasyonunu yapılır ve UVC ışınlarının yaşam alanı ya da çalışma ortamlarında bakterilerden kaynaklanan kokuları giderilerek daha sağlıklı bir hava ortamı sağlanır (UV-C ışını hava sterilizasyonu, 2021). Yapılan çalışmalar sonucunda Covid 19 öksürük damlacıklarının gerçek zamanlı hava dezenfektasyonunu sağlamada UV-C lambası umut verici sonuçlar verdiği görülmüştür (Peña-Monferrer, Antao ve Manson-Sawko, 2021).

Taksilerde ve özellikle hastane önündeki toplu taşıma araçlarında uygulanarak virüsün yayılımını azaltmanın önemi ortaya çıkmaktadır. Bireylerin aşılanması koruyucu bir önlem olup, hastalığın yayılımını azaltmamaktadır.

4. Ticari Taksilerin Pandemik Hastalıklarda Çalışma Devamlılığının Sağlanabilmesine Yönelik Bir Öneri

Araç için dezenfektasyon, şeffaf kabin gibi önlemlerin yanı sıra aracın USB portuna, şarj portuna veya sigorta kutusundan enerji alınarak sürücü mahalline montaj edilen ve ozon gazı yayan küçük hava temizleyici sistem modülü kullanarak oksijen üretimi ile araç içerisinde dönen havanın oksijenle temizlenmesi sağlanarak, hasta bireylerin dışarı bıraktığı havanın, sürücü tarafından daha solunmadan temizlenmesi sağlanabilecektir. Araç klimasında dönen araç içindeki havadaki pandemik virüslerin etkisinin izole edilmesi veya temizlenmesi için ise araç klima filtresi önüne yerleştirilecek UV-C lambalı akıllı sistemin kullanılabilir. Bu sayede çözüm sisteminin doğru ve stabil çalıştığını gösteren Android veya IOS tabanlı bir yazılım ile toplanan veriler, tıbbi ozon ve UV-C dezenfeksiyon cihazlarının sağlık bilgileri de taksi personelinin cep telefonundan monitörize edilmiş olarak görülebilecektir. Ayrıca cihazlar veriyi mobil telefona, bluetooth teknolojisi ve radyo frekansı (RF) kablosuz haberleşme ile iletecektir. Bu sayede, araç klimasının filtre kısmına takılan içeride sirküle edilen havayı temizleyen akıllı UV-C lamba sistemi ve medikal ozon gazı üreteç cihazı ile aracın içindeki hastalık bulaşma riski en aza indirgenmesi sağlanacaktır.

5. Sonuç ve Öneriler

Servis araçları, toplu taşıma araçları ve özellikle sağlık kurumları yakınından devamlı yolcu alan ticari taksiler gibi ulaşım araçlarının pandemi dönemlerinde çalışma devamlılığının sağlanması çok önemlidir. Bunun gerçekleştirilebilmesi için akıllı şehircilik sistemlerinin uygulamalarından faydalanarak çözümler bulunabilmektedir. Bu akıllı uygulamalar ile akıllı ulaşım sistemlerine uyarlamış UV-C ışınları kullanılan modern hava sterilizasyon cihazı ve içerdeki havanın kalitesini arttıran, araç çakmaklığına takılan, portatif, mini ozon gazı jeneratör cihazlarının tek bir akıllı mobil uygulama üzerinden kontrolü gerçekleştirilerek, ulaşımda akıllı sistemler kullanılarak yolcu taşımacılığı sürdürülebilir hale getirilecektir.

Yapılacak olan bu uygulama, çok karmaşık olmayan, ekonomik ve uygulanabilir akıllı cihazlar ile kurulduğundan, kablosuz bağlantılarla kolay erişilebilir olması açısından önemlidir. Oluşturulan uygulama ile araç sürücüleri ve yöneticiler tarafından kolaylıkla uzaktan kontrol edilebilirdir. Pilot uygulama olarak gerçekleştirilen bu uygulama ilerleyen

zamanda geliştirilerek, yolcuların uzun süre bulunduğu şehirlerarası otobüsler ve otobüs terminalleri, gemi ve üstü kapalı limanlar gibi uzun süre insan yoğunluğu olan hava limanlarına uyarlanabilir olması bakımından önem taşıyan bir çalışmadır.

6. Kaynaklar

Boğaç, P., Erkmen, E. (2019), Ozon uygulaması ve oral cerrahideki yeri: Derleme, Turkish Journal of Clinics and Laboratory, 10(4), 519-525

C. Peña-Monferrer, S. Antao, R., Manson-Sawko. (2021) Numerical investigation of respiratory drops dynamics released during vocalization. Physics of Fluids 33:8, 083321

Gücükoğlu, A., Küplülü, Ö. (2005). Su ve Gıda Güvenliğinin Sağlanmasında Ozon Kullanımı. Akademik Gıda, 3 (5), 5-9. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/akademik-gida/issue/55848/764993

İkizek, M., Uzuntarla, Y. (2020). Medikal Ozon Tedavisi ve COVID-19. Sağlık Akademisyenleri Dergisi, 7 (4), 304-310. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/sagakaderg/issue/58002/813714

Muştu, Ç. (2020). Yiyecek ve İçecek İşletmelerinde Ozon Uygulamaları. Aydın Gastronomy, 4 (1), 45-53. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/aydingas/issue/52081/680132

"Uv-C Lambası Nedir? Fayda ve Zararları Nedir? Tehlikesi Nedir?" https://www.aydinlatmateknik.com/uv-c-lambasi-nedir-faydasi-ve-zarari-nedir-tehlikesi-nedir.html , Erişim: 5 Mayıs 2021

Ünal, D., Sel, T. (2019). Ozon Uygulaması ve Veteriner Hekimlikte Kullanımı, Avrasya Sağlık Bilimleri Dergisi, Ek sayı, 182-190. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/avrasyasbd/issue/51285/667775

Akıllı Ulaşım Sistemlerinde LoRaWAN Teknolojisi ve Akıllı Parklar

Mehmet Akif KARTAL

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi,
10200 Bandırma, Türkiye
mkartal@bandirma.edu.tr
ORCID: 0000-0002-9156-8907

Özet

Son zamanlarda teknolojinin ve de gelişmişlik düzeyinin de artmasıyla birlikte konvansiyonel anlamdaki şehircilik kavramının yerine daha modern ve teknolojiyi kullanan çevreye duyarlı ve enerji tüketimi bakımından daha düşük seviyelerde olan akıllı şehircilik kavramı doğmuştur. Akıllı şehircilikte, var olan kaynakların daha doğru ve etkin kullanımı çevre dostu ve enerjiyi az tüketen sistemlerin varoluşuyla açıklanabilir. Enerji ve çevre dostu bu sistemlerden faydalanılması, elektronik verilerin sensörler vasıtasıyla toplanarak şehrin yönetilmesinde kullanılarak akıllı şehircilik uygulanabilmektedir. Bazı ülkelerin akıllı şehircilik uygulamalarını çokça benimsediği bazılarının ise mesafeli olarak yaklaştığı ifade edilebilmektedir.

Bu çalışmada, akıllı şehircilik uygulamalarındaki veri aktarım sistemlerinde kullanılan; uygun maliyet, uzun menzil ve düşük güç tüketimi gibi ihtiyaçların bulunduğu endüstriyel uygulamalarda görülen LoRaWAN protokolü incelenmiştir. LoRaWAN'ın öne çıkan yanları, akıllı şehircilik uygulamalarındaki yeri ve gelecek zamanlarda yerleşeceği konum hakkında değerlendirmeler yapılarak, çalışmanın ileriki Ar-Ge çalışmalarına rehberlik edeceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: LoRaWAN protokolü; veri aktarımı, akıllı şehir, akıllı park

LoRaWAN Technology and Smart Parks in Intelligent Transportation Systems

Abstract

Recently, with the increase in technology and the level of development, the concept of smart urbanism, which is more modern and uses technology, is environmentally friendly and has a lower level of energy consumption, has emerged instead of the conventional concept of urbanism. Smart urbanism can be implemented by making use of that energy and environmentally friendly systems, collecting electronic data through sensors and using them in the management of the city. It can be stated that some countries have adopted smart urban applications, while others approach it with a distance.

In this study; used in data transfer systems in smart urban applications are called the LoRaWAN protocol which is seen in industrial applications where needs such as cost-effectiveness, long range and low power consumption, are examined. It is thought that the study will guide future R&D studies by evaluating the prominent aspects of LoRaWAN, its place in smart city applications and its position in the future.

Keywords: LoRaWAN protocol; data transfer, smart city, smart parking

1. Introduction

In the globalizing world where technology is constantly developing, both cities and countries are connected to each other by countless ties, especially economy. Cities are equipped with a large number of technological products in order to create a competitive environment open to development, to ensure the welfare of the people living there and to make this sustainable. Due to the increasing urban population and the consumption habits that are difficult to meet the needs of the increasing population, an efficient urbanization approach has become a necessity. This is where smart parking systems come into play. The use of smart city applications in reducing city traffic and density and preventing local accumulation provides convenience in terms of time and budget.

Cao et al. worked on the smart parking system based on a wireless sensor network. They aimed to use the parking spaces more efficiently by detecting empty parking spaces by means of sensors, determining the full-empty ratio and similar criteria and reporting them periodically. According to the study of Khan et al., they worked on the determination of real-time occupancy rates in an integrated manner into the smart parking application using cameras that act as sensors [1-5]. In the study conducted by Abdullah et al., the most appropriate system solutions for parking in Istanbul are planned. Methods such as prepaid cards and credit cards that will work in integration with these systems are mentioned, and some solutions and studies are examined and evaluated [6-7]. According to Şahin, the example of Merter underground parking was examined, with an emphasis on the development of parking lots with smart applications [8]. In the study of Şimşek, Park & Ride in our country determined the user profile and formed the patterns of the target audience behavior, examined the system feasibility with examples in the world [9]. In the study of Fukuda et al., parking problems in historical places of Istanbul were examined. Park management policies were selected by making analyzes based on the statistical data of the park behavior characteristics of the areas [10].

The existence of smart cities means easy access to data. Through the data obtained from smart city elements, more livable technological cities, more social areas and an environment with more parking areas can be created. Through smart parking systems, modern systems supported by technological infrastructure can be made, allowing maximum vehicles to fit in minimum space. Thus, time, space and energy are saved. In this study, the LoRaWAN protocol used in data transfer systems in smart urban applications has been examined. Evaluations were made about its prominent aspects, its place in smart urban planning applications and its location in the future.

2. Material and Method

As a result of the increasing population from the past to the present, the narrowing of the living areas, and the increase in purchasing power with the development of technology, parking spaces have started to become a problem. From the studies on the subject, Stavrakakis [11] proposed a theoretical model game to see if drivers prefer to race for limited parking spaces. As a result of this, it is obtained that the decision of driver's reached three results: Drivers who went directly to the private parking lot decided to park on the street and raced with other drivers because of this decision and finally found a parking space, and drivers who could not find a parking spot on the street despite their search and gave up

and then parked in the private parking lot. According to the study of Papadaki et al. [12], they concluded that by examining a car park information supported system, they observed that the number of vehicles on the opposite side and the status of the existing parking spaces were effective in the formation of the driver's decision to act.

In another study by DasGupta et al. [13-14] in which park competition was measured, in the observation that the parking decision is designed with a gravity-based parking algorithm and a game theory model, if the driver leaves the others behind according to the size of the data obtained as a result of calculating the parking space allocated to him according to the gravity value of the driver, himself and his neighbors. With it, the game is concluded. Garg et al. [15] suggested using city buses to disseminate information. It is a plus that the routes of the buses are planned and regularly determined in advance. In addition, the parking requirement in the areas where vehicles can park may differ from the requirements in the parking areas reserved for buses. The incentive element always includes a fundamental link with all crowdsourcing platforms [16-17-18]. If any tool in the infrastructure-supported crowdsourced service system does not transmit any message, it will be included in a lower-version protocol such as a single-hop broadcast [19]. Mascolo et al [20] introduced a topic-based Broadcast-Communication paradigm to opportunistically disseminate information in vehicle networks. A subscription system has been created from the vehicle's navigation system to know the driver's destination and current location. As a result of the simulation of vehicle mobility using realistic traffic traces in the area, performance values at the display points of the network such as the broadcast rate of the message, the overhead and the number of replications have been reached. According to the study of Ioannou et al. [21], they determined that the data that can be useful information only when the driver is in a very close position to the parking lot is real-time parking availability data, which includes the problem of information dissemination in the parking guide system.

Limtrairut et al. [22] used ultrasound sensors to locate vehicles. However, they concluded that these systems are not very resistant to physical weather conditions, and that there will be problems such as generating sufficient security data for parking systems due to temperature and weather changes. On the other hand, Cha et al. [23] examined the use of acoustic sensors and observed that not very reliable data could be obtained in areas with heavy traffic and noise pollution. Mohandes et al. [24], proposed an image-based free parking space detection system using camera sensors. Here, they concluded that the camera can be used as a sensor for empty parking space or vehicle detection, and that it cannot provide a healthy and safe data flow in areas with dark and low light intensity.

2.1 Smart city elements

The most important element that creates a smart city is to obtain data. The transmission of data also takes place via the internet connection. Therefore, it is very important to equip the city with wi-fi networks. Both city dwellers and tourists should have easy access to the internet. Car parking is a big problem in crowded cities with heavy traffic. Instead of searching for a parking place by touring for minutes, it will provide great convenience in terms of time and space, thanks to smart parks, being able to easily find the parking place closest to the driver's location.

The use of buses with zero carbon emissions, which do not harm the environment, in public transportation, buying tickets from the application thanks to mobile tickets, using electric bicycles, sharing cars going on the same route to reduce traffic density can be counted among the elements of smart transportation. On the other hand, the fact that street lamps start to illuminate the place where people are when they go out and the sensors have a perception to illuminate the place where people walking can be encountered in smart cities where energy-friendly and stylish designs that can be seen on the streets of smart cities occur.

Smart buildings; Equipped with sensors that measure consumed resources such as electricity and water. In this way, consumption expenditures of households are controlled and reduced and the environment is protected. As for Smart Traffic, it is known that the traffic problem abroad is solved with smart traffic. Traffic lights that work in a way to interfere with traffic density constitute one of the most important elements of smart traffic.

It can be said that the security of the city is ensured with the cameras of the smart city located in numerous places. Considering that these cameras are both deterrent to crime and storing evidence to clarify the crimes committed, it can be said that there are great differences in crime rates between the periods before and after the cameras.

In the smart waste application, which is one of the smart city applications, sensors are placed in the trash cans to determine which bins are full. In this way, excessive accumulation, spreading of garbage and bad odors can be prevented by directing the garbage trucks to the location of the filled trash can.

Another important smart city application is the smart city mobile application. In this way, the traffic flow, the locations of the buses, the departure, arrival and departure times, the news of cultural and social events and similar smart city applications that work like a data bank for the newcomers, tourists and locals in the city prevent the chaos environment and at the same time and in a very short time. That applications, which will provide access to millions of people in a short time, have great importance in smart urbanism and are an integral part of it. In addition, in smart city applications, thanks to the digital kiosks located in various parts of the city, citizens can convey their questions to the city administration via the kiosk and receive instant answers to their questions.

2.2 Intelligent parking systems in intelligent transportation systems

One of the most important reasons why smart park applications are preferred by big cities and organizations, providing a flexible and easy solution provides an increase in the rate of application and preference. Due to the practicality and flexibility of IoT initiatives and smart parking applications, they are rapidly crossing their borders and have started to find applications in shopping malls, campuses, hospitals as well as in big cities.

With the use of smart parking applications in smart urbanism, short-term results can be achieved thanks to long-term planning and decision-making mechanisms. For example, with the use of smart traffic lights, the continuation of traffic flow patterns and the management of traffic lights in the city thanks to real-time data can provide a much better driving experience for drivers. With smart parking applications, traffic management can be done in a planned way by monitoring certain area usage data. Today, the issue of finding a parking lot has become more important than the systems inside the car parks. This brings up smart parking applications that enable the driver to make quick decisions by showing the

occupancy rate of the parking lot in the nearest region and prevent the driver from wandering and wasting time. Smart parking applications can create positive effects not only on the economy but also on the environment. Looking at the monitoring reports, it has been observed that idling in parking searches and the situation that can vary according to the drivers are caused by delays and restrictions up to 30% of the traffic flow. Due to the increasing effect of this traffic congestion on the amount of carbon emissions, the environment is negatively affected, and various measures and restrictions are applied in various European countries.

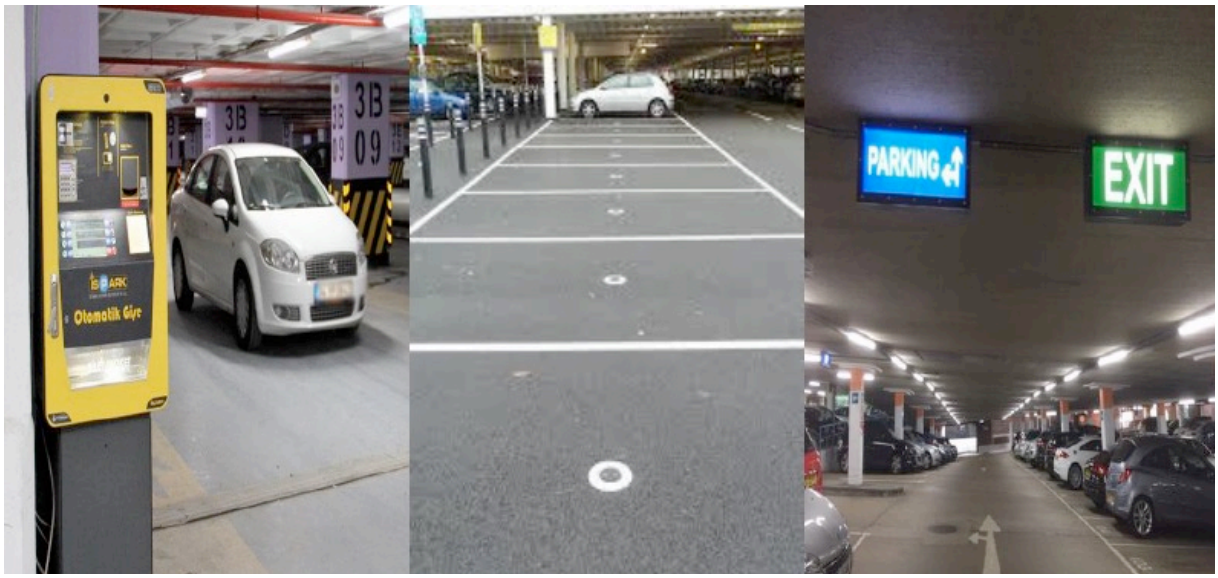


Figure 1. Automatic payment system, smart sensors and guiding light boards [26]

The automatic payment system, smart sensors and guiding light boards for smart parking applications are shown in Figure 1. Using low-cost, battery-powered sensors and smart parking applications to collect real-time data; It is used to direct drivers to available parking spaces. Accuracy and timely vehicle detection are two important factors to consider when examining smart parking solutions. Because this is key data for minimizing the time spent idling and traveling around finding a parking space. In addition to these, it can create asset profiles, make long-term plans and investments in the future, and have periodic usage amounts, supply/demand ratios with regular data processing.

In addition to the benefits of smart parking applications, the results such as helping drivers find a parking space as soon as possible, enabling people to get to where they want to be faster, scanning the environment with fewer vehicles and reducing the density, causing less stress around, reducing the traffic load. ; With these datas, smart parking applications can go beyond efficiency and create a domino effect for parking lot owners and local businesses and enable them to enter a rapid transition and transformation process.

If we talk about the disadvantages of smart parking applications; Management, installation and maintenance costs can be higher than the revenues of parking spaces. These systems may not be suitable especially for smaller cities. Therefore, it can be considered as a more suitable model in metropolitan cities. These systems may not be suitable for groups of people who are far from technology. Intelligent parking systems that are not used effectively can cause the investment made to become systems that have been made in vain or that cannot

be operated at full capacity. On the other hand, these systems may not be suitable for use in high-density areas where vehicles are parked for long periods and in cities. The potential for greater efficiency is high in short-term parks with high circulation. Moreover, since regular maintenance agreements must be made, it may not seem appropriate for every city as it may seem low in terms of both cost and return.

2.3 Extension of parking time

Parking in crowded cities becomes more and more annoying when there are parking fees, or due to the fact that there is a fee for time parks, and the loss of time by waiting in line. At this point, smart parking solutions come into play. Thanks to smart parking applications, annoying negative situations will be eliminated with the development of a system that will let you know when the parking time is up soon and allow you to extend parking times with their phones. As a result, receiving a notification from the parking attendant, paying for a 30-minute extension, and receiving a notification with payment information will eliminate many problems. As a result, while it is a positive experience for the driver and the potential to come back, it can be a goodwill indicator for the officer.

2.4 LoRaWAN technology in smart transportation systems

IoT (Internet of Things) allows millions of devices to be connected, measured and monitored to automate processes, enabling better decision making. There are many technologies and communication protocols for different applications in the IoT market. The LoRaWAN protocol stands out in industrial applications where needs such as cost-effectiveness, long range and low power consumption are required.

LoRaWAN is a global standard for low-power wide area IoT networks. LoRaWAN protocol is the standard network protocol that offers long range (several kilometers) bidirectional communication with very low power consumption. Communication range varies according to obstacles and environmental conditions between devices. LoRaWAN uses unlicensed ISM radio bands for cost-effective network deployments. The frequency plan used in LoRaWAN networks differs according to local regulations. E.g; 863-870 MHz frequency range is used in European countries and Turkey, and 470-510 MHz frequency range is used in China.

LoRaWAN uses very low current (less than 50 mA) when sending and receiving data. For this reason, the power consumption of devices using LoRaWAN technology is very low. Low power consumption allows up to 10 years of battery life. LoRaWAN sensors can be powered by a coin cell CR2032 battery. LoRaWAN's bidirectional communication infrastructure makes it possible to use it in various applications such as street lighting, home automation, irrigation systems and energy optimization. LoRaWAN has high penetrating ability indoors. In this way, it is possible to use it in sensors that monitor underground water and gas meters. Since LoRaWAN networks use unlicensed ISM bands, there is no need to obtain a license for a certain frequency from any service provider.

The LoRaWAN protocol is supported by the LoRa Alliance, a non-profit association. LoRa Alliance has more than 500 members, including mobile network operators, base station suppliers, sensor manufacturers and system integrators. The LoRaWAN standard is based on an open source approach to run all LoRaWAN networks with each other. LoRaWAN architecture consists of many nodes, gateways and central servers. Objects with embedded communication device are called nodes. For example, a streetlight with a LoRaWAN module

on it is a node. A gateway is a device that receives data from and sends data to a large number of nodes. The server is connected to the gateway using a 3G, 4G or ethernet connection. All data is collected on the server and network management is organized. The connection between the user and the system is also provided by the software on the server. The cost per node in LoRaWAN networks is less than $15. LoRaWAN networks are highly secure with 128-bit end-to-end encrypted communication. LoRaWAN technology is not suitable for applications that need real-time data. Small packets can be sent in just a few minutes on a LoRaWAN network. It is not possible to make phone calls or send photos and videos using LoRaWAN technology.

A unique gateway otherwise base station can cover overall cities or hundreds of square kilometers through that The advantage of LoRaWAN technology is its long range. However, LoRa and its MAC layer LoRaWAN have a larger link budget than other standardized communication technologies, the range is significantly dependent on the environment or obstacles at a particular location. It is stated that the initial determinant in identifying the range in a given environment is link budget, typically given in decibels (dB).

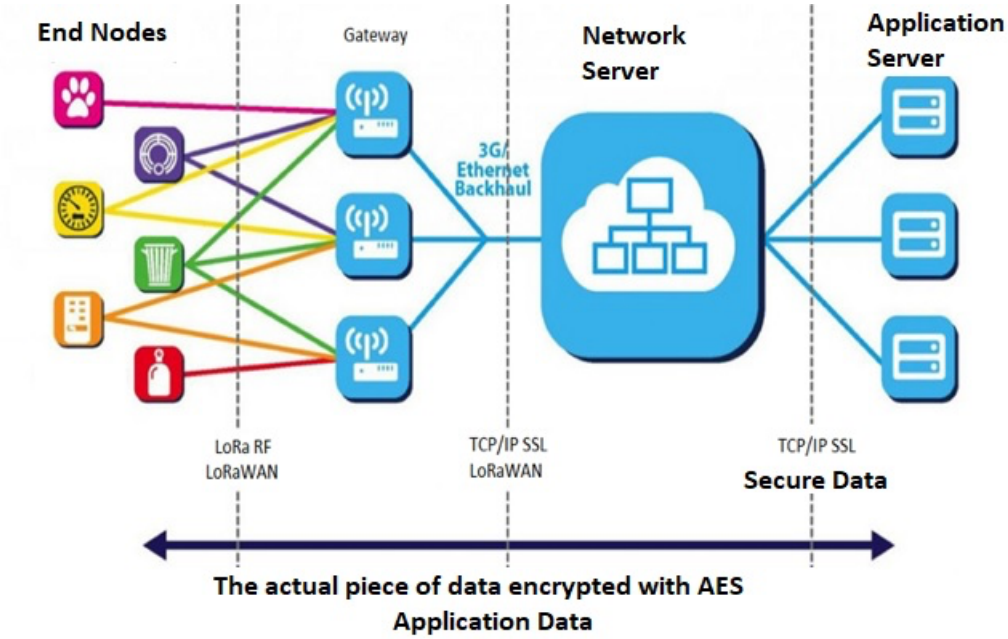


Figure 2. LoRa Communication Technology Structure [25]

The application of the data piece encrypted with AES is shown in Figure 2. Accordingly, the application starts from the sensor points respectively; It takes place between the gateway, the network server, and the application server. In low-current data transmission and reception, LoRaWAN significantly reduces the power consumption of the devices and extends the battery life up to 10 years. LoRaWAN, which enables it to be used in a wide variety of usage areas, in two-way communication, in many different types of usage areas that require sending and receiving; It can also show itself in areas such as street lighting, smart irrigation, energy optimization or home automation. In addition, LoRa is known to allow deep indoor penetration and radio modulation, and has the capability to reach sensors that monitor underground water or gas meters. The LoRaWAN standard is administrated by the LoRa Alliance, which is based on an open protocol approach and oversees the improvement of the standard and ensures interoperability between all LoRaWAN networks.

The LoRaWAN protocol, which is actively supported by the LoRa Alliance, an open and non-profit member association, with more than 500 members; It is the fastest growing technology ecosystem, including base station suppliers, sensor manufacturers, Mobile network operators and system integrators.

LoRaWAN networks distributed in cost-free ISM bands (EU 868, AS 923, US 915 Mhz) are given the opportunity to distribute and operate with no having to license any frequency of any service provider. Therefore, being this way provides a lot of convenience in terms of cost, and by working synchronously with integrated units, the installation costs and time are considerably reduced and facilitated. In this respect, when free operating frequencies and low-cost base stations are combined with the LoRaWAN open standard, it will be possible for operators to activate and use their networks in a few months and with minimal investment. Network triangulation is enabled by LoRaWAN's ability to passively locate any LoRa device, and when compared to GPS, new tracking applications score in providing lower cost and better battery life optimization.

3. Conclusion and recommendations

Rising in the population living in cities, improvements in information and communication technologies and environmental elements change the understanding of cities. Nowadays, more than half of the world's population lives in cities. If the growth trend of cities continues at this rate, it is predicted that more than two-thirds of people will live in cities by 2030. Most of these urban areas are also located in industrial societies, with 82 percent of the North American population and 73 percent of the European population living in cities. In Africa and Asia, although rural areas are still in the majority, it is seen that they are in the rapid urbanization trend. With the increasing urban population and density and changing society expectations in Turkey, the need to take steps in this regard has become inevitable. It is seen that the concept of "smart city", which has been discussed for the last two decades, has become increasingly popular in the scientific literature and international politics. On the other hand, there is no standard definition or sequence of terminology for smart cities. The International Telecommunication Union report published in 2014 analyzed more than one hundred definitions of smart cities. As a result of this analysis, smart city is a modernist city that uses economical, social and environmental instruments to meet at the present time's and forthcoming demands by rising knowledge and communication technologies, standard of life, efficiency and competitiveness of urban operations/services. On the other hand, smart transportation, smart life, smart governance, smart environment, smart economy and smart society/human are the elements of the smart city. With these components, new smart city subheadings/models such as ecological, safe, resilient and calm cities have been derived.

In Turkey, smart city and other emerging city management trends are of great importance in terms of both catching global developments and meeting the evolving needs of the society. Although there have been some limited initiatives and successful local practices in the past, there is currently no comprehensive initiative in Turkey. However, the necessity of catching this trend has been realized by the managers and a national smart cities strategy and action plan as well as pilot implementation projects have been put forward for now. More than 80 technoparks, more than 500 R&D companies and around 172 thousand R&D employees in Turkey should become stakeholders of the smart cities approach. Smart cities will have a global market share of $2.2 trillion by 2025. Turkey, which enters this market relatively early

and takes strategic steps, can become a global exporter by producing domestic and national smart city technology models.

Domestic goods should be supported in the production and purchase of smart city technologies. In this context, the private sector should be supported with tax exemptions and similar practices to prevent technology imports and support domestic production. Ecological solution proposals such as zero waste constitute one of the important components of the smart city approach. With the dissemination of the zero waste initiative, which is currently under the auspices of the Presidency, many gains such as prevention of environmental pollution, protection of natural resources and energy savings are achieved. At this point, government institutions and municipalities should come to the fore as role models. Taking the smart city approach as a basis in urban transformation will be beneficial if smart cities and infrastructure designs are "human-centered". In addition, smart city applications should be designed to avoid the difficulties of urban life and to meet the needs of the city and the people living there in a practical way and to meet these needs. Therefore, smart city applications are constantly fed by the elements that we encounter in urban life, that desire transformation and are open to this change, and the needed areas of the city can be transformed into smart cities, either partially or wholesale. The fact that these transformations are not lagged behind and carried out in reference to the developments in the outside world continuously contributes to the rise of people's living standards. In this respect, people and institutions fully embrace the transformation and changes and are open to innovations, accelerating the transformation with a participatory approach.

In the light of current developments, it is inevitable that population pressure will increase in cities. It is possible to ensure a healthier development of urbanization and to prevent rapid and irregular urbanization with smart and scientific urban planning practices. In this context, smart cities can be interpreted as the control of global-scale cities through technology in an environmentally friendly manner. It is to meet the needs of the population living in cities with its smart infrastructure and social equipment, with its smart design that is compatible with the environment, to increase the environmental quality, to carry out public services such as health, education and transportation in a regular manner with smart management and to meet the safe urban living spaces with the help of information technologies. In our country, smart cities, which is a concept based on sustainable development and handled with a technology-based approach, is a new perspective for our urbanization. In this context, it will be successful with the participation of everyone, from public institutions and organizations to private companies working on technology, from municipalities to citizens, on the way to smart cities, which started with e-municipal services and made significant progress.

4. References

[1] Tang V.W.S., Zheng Y., Cao J. Kablosuz Sensör Ağlarına Dayalı Akıllı Otopark Yönetim Sistemi. Yaygın Bilgisayar ve Uygulamalara İlişkin 1. Uluslararası Sempozyum, 2006.
[2] Yardım, M.S., Abdullah, D. Otopark yönetiminde entegre teknolojik uygulamalar: İstanbul örneği, Transist 4. Ulaştırma Sempozyumu, 2011.
[3] Ahad, A.,Khan, Z. Akıllı Park Sistemleri. Dünya Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, 4, 160-167, 2016.

[4] Amir O. Kotb, Yao-Chun Shen, Xu Zhu ve Yi Huang, Dinamik kaynak ayırma ve fiyatlandırmasına dayalı yeni bir akıllı otopark sistemi. Transactions On Intelligent Transportation Systems. 17:9. 2016.
[5] R. Elavarasi ve P. K. Senthilkumar, Akıllı park sistemi. Indian Journal of Science and Technology. 10:9. 2017.
[6] Yardım, M.S., Abdullah, D. İstanbul Otopark Yönetimde Akıllı Ulaştırma Sistemlerinin Kullanımı, 8. Ulaştırma Kongresi, 2009.
[7] Güngör, A., Erdinç Ö. Otopark sistemlerinde İstanbul kart uygulaması İspark örneği, Istanbul Ticaret Üniversitesi, Journal of Science. 16(31): 73-84, 2017.
[8] Şahin, A. Otopark geliştime analizi: Istanbul Merter yeraltı otoparkı örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2009.
[9] Şimsek, A.V., Sürdürülebilir ulaşım politikaları çerçevesinde özel araç sahiplerinin toplu taşımaya yönlendirilmesinde park et devam et yöntemi; İstanbul örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, 2014.
[10] Doğru, A., S. Malaitham, M. Okamura, A. Fukuda, and T. Fukuda, İstanbul Fatih ilçesinde davranış analizine dayalı park yönetim politikaları, Transportation Research Procedia. 25: 5205–5219, 2017.
[11] E. Kokolaki, M. Karaliopoulos, and I. Stavrakakis. On the efficiency of information-assisted search for parking space: A game-theoretic approach. In W. Elmenreich, F. Dressler, and V. Loreto, editors, Self- Organizing Systems, volume 8221 of Lecture Notes in Computer Science, pages 54–65. Springer Berlin Heidelberg, 2014.
[12] E. Kokolaki, G. Kollias, M. Papadaki, M. Karaliopoulos, and I. Stavrakakis. Opportunistically-assisted parking search: A story of free riders, selfish liars and bona fide mules. In 2013 10th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS), pages 17–24, March 2013.
[13] D. Ayala, O. Wolfson, B. Xu, B. DasGupta, and J. Lin. Parking slot assignment games. In 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, GIS'11, pages 299–308, 2011.
[14] D. Ayala, O. Wolfson, B. Xu, B. DasGupta, and J. Lin. Pricing of parking for congestion reduction. In 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems, SIGSPATIAL'12, pages 43–51, 2012.
[15] T. Pandey, D. Garg, , and M. M. Gore. Structured p2p overlay of mobile brokers for realizing pub- lish/subscribe communication in vanet. Scientific World Journal, 2014, 2014.
[16] B. Hoh, T. Yan, D. Ganesan, K. Tracton, T. Iwuchukwu, and J.-S. Lee. Trucentive: A game-theoretic incentive platform for trustworthy mobile crowdsourcing parking services. In 2012 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pages 160–166, Sept 2012.
[17] E. Kokolaki, G. Kollias, M. Papadaki, M. Karaliopoulos, and I. Stavrakakis. Opportunistically-assisted parking search: A story of free riders, selfish liars and bona fide mules. In 2013 10th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS), pages 17–24, March 2013.
[18] T. Chen, L. Zhu, F. Wu, and S. Zhong. Stimulating cooperation in vehicular ad hoc networks: A coalitional game theoretic approach. IEEE Transactions on Vehicular Technology (TVT), 60(2):566–579, Feb 2011.
[19] S. Panichpapiboon and W. Pattara-Atikom. A review of information dissemination protocols for vehicular ad hoc networks. IEEE Communications Surveys Tutorials, 14(3):784–798, 2012.

[20] I. Leontiadis and C. Mascolo. Opportunistic spatio-temporal dissemination system for vehicular networks. In 1st International MobiSys Workshop on Mobile Opportunistic Networking, MobiOpp'07, pages 39–46, 2007.
[21] T. Rajabioun and P. Ioannou. On-street and off-street parking availability prediction using multivariate spatiotemporal models. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, PP(99):1–13, 2015.
[22] A. Kianpisheh, N. Mustaffa, P. Limtrairut, and P. Keikhosrokiani. Smart parking system (sps) architecture using ultrasonic detector. International Journal of Software Engineering and Its Applications, 6(3):55–58, 2012.
[23] K. Na, Y. Kim, and H. Cha. Acoustic sensor network-based parking lot surveillance system. In Proceedings of the 6th European Conference
[24] J. Liu, M. Mohandes, and M. Deriche. A multi-classifier image based vacant parking detection system. In Electronics, Circuits, and Systems (ICECS), 2013 IEEE 20th International Conference on, pages 933–936, Dec 2013.
[25] L. Cunha. Rede de Sensores Sem Fio para Monitoramento de Variáveis de Ambiente. Proceedings of Computer on the Beach, v. 11, no. 1, 2020.
[26] http://www.earlsmann.co.uk/new-led-signs-improve-safety-bromley-car-park/

2015 Mersin Ulaşım Ana Planı'nın Akıllı Ulaşım Stratejileri Kapsamında Değerlendirilmesi

Mehmet Alim Umut Ağca[1*], Taylan Engin[2]

[1]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği, Bandırma, Türkiye

[2]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği, Bandırma, Türkiye

mehmetagca@ogr.bandirma.edu.tr

tengin@bandirma.edu.tr

ORCID-0000-0002-8841-3832 [1], ORCID- 0000-0001-6981-0683 [2]

Özet

Ulaşım, günümüzde metropol kentlerin en önemli sorunlarından birisidir. Yerel yönetimler kentlerdeki ulaşım problemlerini çözmek ve gelecekte oluşacak ihtiyaçları belirleyecek kısa, orta ve uzun vadeli bir stratejik plan olarak Ulaşım Ana Planları hazırlamaktadır. Hazırlanan ulaşım ana planlarında geleneksel yöntem ve yaklaşım tarzları kullanılmasının sonucu olarak benzer çözüm önerileri ortaya konulmuş olup gelişen teknoloji ve bilimden uzak kalmıştır. Akıllı Ulaşım Sistemlerden yeterince faydalanılmamıştır. Akıllı Ulaşım Sistemleri özellikle zamanın ve enerjinin daha verimli kullanılması için ve aynı zamanda küresel bir tehdit olan ulaşım kaynaklı karbon dioksit (CO2) salınımını azaltarak hem çevreye hem topluma faydalı bir sürdürülebilir ulaşım sağlanması için gereklidir. Bu sistemler ülkemizin kaynaklarını daha verimli kullanabilmek için merkezi yönetim tarafından her geçen gün daha fazla benimsenmektedir. Yerel yönetimler sürdürülebilir bir ulaşım sistemi için akıllı ulaşım sistemlerinden faydalanmalıdır. Kentlerde birçok akıllı ulaşım sistemi uygulaması denenmektedir. Yüksek maliyetlerle yapılan akıllı ulaşım sistem yatırımlarının atıl kalabildiği görülmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden birisi bu konuda plansız hareket edilmesidir. Kentin ulaşım ihtiyaçlarını belirleyen planların kapsamında akıllı ulaşım stratejilerinin oluşturulması gerekmektedir böylece kent içi ulaşım için sürdürebilir akıllı ulaşım sistemleri oluşturabilir. Bu çalışmada 2015 Mersin Ulaşım Ana Planı'nın Akıllı Ulaşım Stratejileri bakımından değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Akıllı Ulaşım Sistemleri, Ulaşım Planlama, Ulaşım Ana Planı, Akıllı Ulaşım Sistemleri Stratejileri

Evaluation of 2015 Mersin Transportation Master Plan within the Scope of Intelligent Transportation Strategies

Abstract

Transportation is one of the most important problems of metropolitan cities today. Local governments prepare Transportation Master Plans which are short, medium and long-term strategic plans and aimed at solving transportation problems and determining future needs of transportation systems. Due to the use of traditional methods and approaches in Transportation Master Plans, similar solution proposals have been put forward in general

and these plans have failed to keep up with technology and science thus Intelligent Transportation Systems have not been sufficiently utilized. Intelligent Transportation Systems are especially necessary for the more efficient use of time and energy, as well as for providing a sustainable transportation that is beneficial to both the environment and society by reducing the carbon dioxide (CO2) emission from transportation, which is a global threat. These systems are being adopted more and more by the central government in order to use the resources of our country more efficiently. Adapting Intelligent Transportation Systems to the Transportation Master Plan processes of local governments plays an important role in achieving the objectives of these plans. Local governments should benefit from intelligent transportation systems for a sustainable transportation system. Many Intelligent Transportation System applications are being tested in cities. At the same time, it is seen that high-cost smart transportation system investments can fail and stay inactive. One of the biggest reasons for this is the unplanned action in this regard. It is necessary to create intelligent transportation strategies within the scope of the Transportation Master Plan, which determines the transportation needs of the city, so that sustainable intelligent transportation systems for urban transportation can be created. In this study, the 2015 Mersin Transportation Master Plan was evaluated in terms of Intelligent Transportation Strategies.

Keywords: Intelligent Transportation Systems, Transport Planning, Urban Transport Master Plan, Intelligent Transportation System, Strategies

1.Giriş

Kentler için hazırlanan mekânsal planların aslında kentlerin ulaşım ihtiyaçlarını doğrudan etkilediği görülmektedir. Hemen hemen gelişen ve gelişmekte olan her kent için en önemli sorunlardan biri ulaşımdır. Bu sorunun temelinde hızlı nüfus artışı, araç sahipliğinin artması, köyden kente göç ve plansız kentleşme gibi kavramlar yer almaktadır. Kentlerde yaşanan ulaşımdan kaynaklı soruların temelini oluşturan bu kavramlar aslında kentlerde ulaşımın planlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Özellikle metropol şehirlerde bu ihtiyacın karşılanması için çevre, enerji, sürdürülebilirlik, ulaşılabilirlik ve sosyal denge kavramları ile ele alınan bilimsel yöntemlerin kullanıldığı ulaşım planlama çalışmalarına yer verilmesi gerekmektedir. Yerel yönetimler kentlerdeki ulaşım problemlerini çözmek ve gelecekte oluşacak ihtiyaçları belirleyecek kısa, orta ve uzun vadeli bir stratejik plan olarak ulaşım ana planları hazırlamaktadır (TBB, 2014).

5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanununun 7. Maddesine göre Ulaşım Ana planı yapmak veya yaptırmak Büyükşehir Belediyelerinin yasal sorumluluklarından biridir.

> "*Madde 7- büyükşehir belediyesinin görev, yetki ve sorumlulukları şunlardır:*
>
> *f) Büyükşehir ulaşım ana planını yapmak veya yaptırmak ve uygulamak; ulaşım ve toplu taşıma hizmetlerini plânlamak ve koordinasyonu sağlamak; kara, deniz, su ve demiryolu üzerinde işletilen her türlü servis ve toplu taşıma araçları ile taksi sayılarını, bilet ücret ve tarifelerini, zaman ve güzergâhlarını belirlemek; durak yerleri ile karayolu, yol, cadde, sokak, meydan ve benzeri yerler üzerinde araç park yerlerini tespit etmek ve işletmek, işlettirmek veya kiraya vermek; kanunların belediyelere verdiği trafik düzenlemesinin gerektirdiği bütün işleri yürütmek."*

5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanununa dayanılarak 09.06.2008 tarih ve 26901 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Ulaşımda Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelikte de daha genel bir tabirle şu şekilde;

> "*Madde 10 – (1) Büyükşehir belediyeleri ve büyükşehir belediyesi sınırları dışındaki belediyelerden Nüfusu yüz binin üzerinde olanlar ulaşım ana planı hazırlarlar. Bu planlar on beş yıllık süreler için yapılır ve her beş yılda bir yenilenir. Şehir planları ile sürdürülebilir kentsel ulaşım planları birlikte ele alınır.*" ifade edilmiştir.

Ülkemizde ulaşım ana planı yapmak veya yaptırmak yerel yönetimlerin yasal sorumluluklarından biri olmasına rağmen gerekli kriterlerin sağlandığı istenilen kapsamda ve derinlikte ulaşım planlama çalışmalarının ve düzenli olarak güncellemelerin yapılmadığı görülmektedir. Genelde yapılan ulaşım planlama çalışmaları belli ulaşım türlerine odaklanarak bütüncül bir anlayış sergileyememiştir. Çok az sayıda istenilen nitelikte yapılan kentsel ulaşım planlama çalışmaları da yeterince uygulanamamış ya da raflarda kalmıştır. Bu durum gösteriyor ki; ülkemizde kentsel ulaşım planlama çalışmalarının değeri hem yeterince anlaşılamamış hem de bu alanda yerel yönetimlerin bünyesinde yeterli nitelikte uzman personeller bulunmamaktadır (Özalp & Öcalır, 2008).

Hazırlanan ulaşım ana planlarında geleneksel yöntem ve yaklaşım tarzları kullanılmasının sonucu olarak benzer çözüm önerileri ortaya konulmuş olup gelişen teknoloji ve bilimden uzak kalmıştır. Akıllı ulaşım sistemlerinden yeterince faydalanılmamıştır. Sürdürülebilir kentsel politika için akıllı kent yaklaşımı odağında kentsel sistemlerin planlanması gerekmekte olup ulaşım odağında akıllı ulaşım sistemlerini kavramsallaştırmak yerine planlama sürece dahil edilerek tüm ayrıntılarıyla üzerinde çalışılmalıdır. Ülkemizde yerel yönetimlerin birçok farklı akıllı ulaşım uygulamasını herhangi bir plana veya fizibiliteye dayandırmadan uyguladığını görmekteyiz ancak genellikle bu sistemler ya atıl duruma düşmekte veya etkin kullanılamamaktadır. Şehrin ulaşım sistemlerinin planlandığı ulaşım ana planlarında bu sistemlerin bütüncül bir yaklaşımla planlara dahil edilmesi gerekmektedir (Özalp & Öcalır, 2008).

Akıllı Kent Sistemleri'nden biri olan Akıllı Ulaşım, ülkemizde Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi kapsamında ilk ele alınan akıllı kent politikası olmuştur. Dokuzuncu Kalkınma Planı, Onuncu Kalkınma Planı ve Onbirinci Kalkınma Planına bakıldığında Ulusal stratejik hedeflerin içerisinde sürdürülebilir kentsel sistemlerin kurulması ve bu kapsamda akıllı şehirlerin olgunlaştırılması planlanmaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019).

2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı kapsamında Akıllı Kent Sistemleri aynı zamanda önemli bileşenlerinden biri olan Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin özellikle yerel yönetimlerin stratejilerinin oluşturulmasına yön göstermek ve planlama süreçlerine dahil edilmesi önemsenmektedir. T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından 2020 yılında Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı hazırlanmıştır. Bu çalışmalar doğrultusunda kentlerin hazırda var olan ve uygulanan UAP çalışmalarının bu stratejiler açısından yeterliliği değerlendirilmelidir. 2015 Mersin Ulaşım Ana Planı üzerinde bir değerlendirme yaparak Akıllı Ulaşım Stratejileri açısından bir analiz yapılması ve ulaşım ana planı sürecinde AUS'un entegrasyonu nasıl yapılabilir sorusuna bir cevap olması açısından bu çalışma yapılmıştır. 2015 Mersin Ulaşım Ana Planı özelinde geleneksek ulaşım planlamasının AUS alanındaki eksikleri analiz edilmiş olacaktır.

2. Akıllı Ulaşım Sistemleri

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); seyahat sürelerinin azaltılması, trafik güvenliğinin arttırılması, mevcut yol kapasitelerinin daha verimli kullanımı, hareketliliğin arttırılması, enerji verimliliği sağlanması, emisyon değerlerinin düşürülmesi ve çevreye verilen zararın azaltılması amacıyla geliştirilen kullanıcı-araç-altyapı-merkez arasında çok yönlü bir şekilde veri alışverişi sağlayarak izleme, ölçme, analiz ve kontrol içeren sistemlerdir (Tektaş & Korkmaz, 2016).



Şekil 17. Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Tanımı

Kaynak: (T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020)

Kentlerde özel araç kullanımının her geçen gün artması ile beraber kentlerde bulunan Trafik Kontrol Merkezleri (TKM) ulaşımı planlaması açısından yetersiz kalmaktadır. Özel araç sayısının artması ile kent içerisinde sinyalizasyon sistemleri maksimum döngü süreleri ile çalışmakta olup verim sağlanamamaktadır. Ancak kentte bulunan tüm ulaşım modlarının yönetildiği sadece özel araçlar ve yayalar için değil toplu taşımanın da planlandığı alternatif ulaşım modlarınında kullanımını da cazip kılacak ve daha etkin bir ulaşım kontrol sistemi olan Ulaşım Kontrol Merkezleri'nin kurulması gerekmektedir. Özellikle AUS ile zamanın ve enerjinin daha verimli kullanılması adına ve küresel bir tehdit olan ulaşım kaynaklı karbon

dioksit(CO_2) salınımı azaltarak çevreye ve topluma faydalı bir sürdürülebilir ulaşım sistemi kurulması gerekmektedir. IEA verilerine göre ulaşım kaynaklı karbon dioksit(CO_2) salınımı % 25 olup bu oranın 2030 yılında % 50 ve 2050 yılına kadar ise % 80 oranında artması tahmin edilmektedir. Bu nedenle AUS' un hem ulusal yemde yerel yönetimler bazında ele alınması gerekmekte olup geleceğe yönelik kısa, orta ve uzun vadeli olarak planlanması gerekmektedir (Tektaş & Korkmaz, 2016).

Teknolojik gelişmelerin artması ile beraber AUS uygulama alanları artmaktadır. Disiplinler arası bir alan olan AUS ulaştırma, inşaat, elektrik ve elektronik, bilgisayar gibi mühendislik alanlarından uzmanlaşarak AUS uygulamaları kapsamında bir arada çalışarak farklı uygulamalar üretmektedir. Bu uygulamalar Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 6. AUS Uygulamaları

AKIILI ARAÇLAR	**AKILLI YOLLAR**
➢ Akıllı Navigasyon, 360 Derece Çevre Görüşü ➢ Sürücü Destek Sistemler ➢ Otomatik Park ➢ Otonom Araçlar	➢ Akıllı Kavşaklar ➢ Yolcu Bilgilendirme Sistemleri ➢ EDS, VMS, HGS, OGS, LCS, ACC ➢ Yeşil Dalga Kameralar ➢ Algılayıcılar (Sensörler)
AKIILI ŞEHİRLER	**EKONOMİ VE ÇEVRE**
➢ Akıllı Şehir Yönetim Merkezi ➢ Kaza ve Acil Durum Yönerimi ➢ Toplu Taşıma ve Filo Yönetimi ➢ Akıllı Otoparklar ➢ Güvenli Ulaşım Uygulamaları	➢ Akıllı Enerji Sistemleri ➢ Elektrikli Araçlar ➢ Çevreye Duyarlı Ulaşım Altyapısı
ENTEGRASYON SİSTEMLERİ	**BİLİŞİM VE GÜVENLİK**
➢ Tüm Ulaşım modlarının Entegrasyonu ➢ Ulaşım Kontrol Merkezi ➢ Kooperatif AUS ➢ Tüm Ulaşım İçin Ödeme	➢ Tüm Ulaşım Verisi, Büyük Veri ➢ Veri Güvenliği ve Paylaşımı ➢ Siber Güvenlik ➢ Haberleşme Sistemleri

Kaynak: (T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020)

2.1 Yerel Yönetimlerde AUS İhtiyaçları ve AUS'un Katkıları

Küresel ölçekte nüfusun artması ile beraber gelişmiş ülkelerde olduğu gibi gelişmekte olan ülkelerde de kentleşme artmaktadır. Kentlerde istidam, eğitim, sağlık ve sosyal vb. olanakların artmasıyla beraber köyden kente göç kent merkezlerinde bulunan nüfusun yoğunluğunu daha da arttırmıştır. Bu durum kent içi ulaşıma olan talebi arttırmış ve yerel yönetimlerin ulaşımda gelişen teknolojiler ile sorunlara çözüm bulması adına AUS'a duyulan ihtiyacı ortaya koymuştur (T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020).

Yerel yönetimler AUS sayesinde kent içi ulaşımına çözümler sunarak doğrudan ve dolaylı birçok fayda sağlamaktadır. Trafik ve yol güvenliğini arttıran sistemler ile kazalardan kaynaklı can ve mal kayıplarının oranında azalma sağlanmaktadır. Kentlerde taşıtlardan kaynaklanan zararlı gazların emisyonlarını azaltarak kentte yaşayan insanların sağlığına olumlu katkılarda bulunmaktadır. Enerji tüketimini azaltarak daha çevreci sistemlerin yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Afet veya acil durumlarda daha hızlı ve etkili çözümler sunmaktadır. Anlık ölçülen veriler sayesinde kent içi ulaşımında talep yönetimini yaparak ulaşım sistemlerini optimize etmektedir. Kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Alternatif ulaşım sistemlerinin kullanımını arttırmaktadır. Kurallara uyulup uyulmadığını denetleyerek kamu düzenini ve güvenliğini sağlamaktadır (Tufan, 2014).

2.2 AUS Uygulamaları Kapsamında Kullanılmakta Olan Teknolojiler

Ulaşım sistemleriyle bir araya getirilerek entegrasyonu sağlanmış telekomünikasyon, elektronik ve bilgisayar teknolojilerinin bir arada kullanılmasıyla AUS uygulamaları geliştirilmektedir. AUS uygulamalarında haberleşme teknolojileri, algılama teknolojileri ve kooperatif akıllı ulaşım sistemleri kullanılmaktadır (T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020).

2.2.1. Haberleşme Teknolojiler

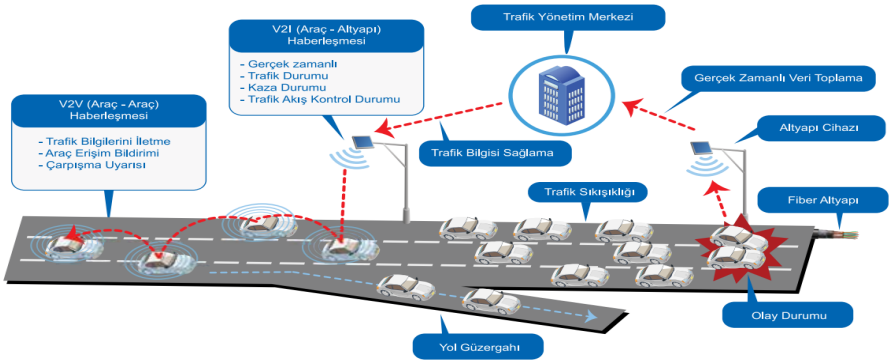
AUS uygulamalarında Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi (GNSS), Radyo Frekansıyla Tanımlama (RFID), Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (DSRC), Radyo Veri Sistemi (RDS), Yakın Alan Haberleşmesi (NFC), Hücresel Haberleşme Ağları, Sayısal Radyo Yayını (DAB) ve Düşük Güç Geniş Alan Ağı (LPWAN) Teknolojileri gibi birçok haberleşme teknolojileri kullanılmaktadır. Haberleşme teknolojilerinin AUS' ta kullanım alanları; araç takip sistemi, ücret ödeme sistemi, araç - araç (V2V), araç - altyapı (V2I) haberleşmesi, veri alış-verişi, navigasyon, araç içi bilgilendirme sistemi, yolcu bilgilendirme sistemi, acil durum anonslarının yapılması, akıllı otopark sistemi, anlık trafik bilgilendirmesi ve paylaşımlı bisiklet sistemleri gibi birçok şey sayılabilir (T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020).

2.2.2. Algılama Teknolojileri

AUS uygulamalarında lidar, ultrasonik, video kamera, radar gibi birçok çeşit sensörlerden oluşan algılama teknolojileri kullanılmaktadır. Bu sensörler bir araca kurulduğu gibi yol kenarlarında da bulanarak ulaşım sistemlerine veri üretmek amacıyla kullanılabilir. Algılama teknolojilerinin AUS' ta kullanım alanları; araç sayımları, emisyon ölçümleri ve otonom araç teknolojileri için veri üretmek gibi birçok şey sayılabilir (T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020).

2.2.3 Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri (K-AUS)

Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri, karayolu üzerinde bulunan ulaşım sistemlerinin verimliliğinin ve güvenliğinin çevreci bir şekilde performansını artırmayı amaçlayan iki veya daha fazla akıllı ulaşım sistemine ait alt bileşenlerin (yaya, araç, yol kenarları ve merkezleri) arasındaki iş birliğini daha iyi kalitede ve daha gelişmiş bir hizmet seviyesi ile sunan akıllı ulaşım sistemleri hizmetlerini oluşturur. K-AUS kullanımının en önemli faydası geliştirilmiş trafik ve yol güvenliğinin sağlayan AUS uygulamaları ile kazalardan kaynaklı can ve mal kayıplarının önemli oranda azaltılmasıdır. K-AUS, akıllı ulaşım sistemleri arasındaki iletişime odaklanır (Odak Arge, 2020).



Şekil 18. Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri

Kaynak: (T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020)

2.3. AUS Uygulamaları

Günümüzde gelişen teknoloji ve bilimle beraber AUS uygulamalarında çeşitlilik artarak ulaştırma sistemlerinde daha geniş alanlara yayılmaktadır. Ulaştırma sistemleri ve altyapılarının gelişmesi ile beraber hız, konfor, güvenlik ve ekonomik gibi ulaştırma mühendisliği için önemli olan parametrelerin seviyelerinde ciddi iyileşmeler sağlanmaktadır. AUS uygulamalarında bu parametrelere dayalı ulaşım sisteminin verimini arttıran birçok örnek mevcuttur.

TC. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'na göre en çok dikkat çeken ve yaygınlaşması muhtemel uygulamalar; Bir Servis Olarak Hareketlilik (MaaS), Yolculuk Paylaşımı (Ride Sharing), Araç Havuzu (Car Pooling), Park Et Devam Et (Park And Ride), İndir Devam Et (Kiss And Ride), Alan Trafik Kontrolü (Area Traffic Control), Araç Paylaşımı (Car Sharing), Sıkışıklık Ücretlendirme (Congestion Charging), Gelişmiş Taksi Uygulamaları olarak sıralanmaktadır (T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020).

2.4 Yeni ve Gelişen Teknolojilerin AUS Uygulamalarına Etkisi

Yeni ve gelişen teknolojiler yaptığı işler ve ürettiği sistemler ile sektörleri doğrudan etkileyen ve geleneksel teknolojilerin yerini alan kavramlar ortaya çıkarmaktadır. Ulaşım sektöründe de yeni ve gelişen teknolojiler inşaların ulaşım anlayışının değişmesine sebep olacağı gibi her geçen gün daha da köklü kavramlarla hayatımıza yeni katkılar sunacaktır. (T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020)

Otonom Araç Teknolojileri, Sarmal Arayüzler, Derin Öğrenme (Deep Learning), Nesnelerin İnterneti (IoT), 5.Nesil (5G) Mobil Ağlar, Bulut Bilişim (Cloud Computing), Büyük Veri (Big Data), Açık Veri (Open Data), Yapay Zeka (Artificial Intelligence), Blokzincir Teknolojileri (Blockchain), Makine Öğrenmesi (Machine Learning) ve Drone vb örnekler yeni ve gelişen teknolojilere örnek olarak sayılabilir (T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020).

3. Ulaşım Ana Planının AUS ile Adaptasyonu

Ülkemizde yerel yönetimler kent içi ulaşım problemleri konusunda daima büyük sorunlar yaşamaktadır. Yöneticiler bu sorunlara çözüm bulabilmek için bu kentin ulaşım sistemlerinde ciddi yatırım yaparak sorunların çözülebileceğini düşünüp popülist metotlar ile şehri katlı kavşaklarla ve yüksek maliyetli raylı sistem yatırımlarıyla donatmışlardır. Ancak gelişen metropol kentlerde görmekteyiz ki artan nüfus, araç sahipliği, ve köyden kente göç gibi unsurlar ile yüksek maliyetli bu yatırımlar çözüm olmaktan çıkmakta ve daha büyük

ulaşım sorunlarını da beraberinde getirerek arttırmaktadır. Bu durum ülkenin kıt kaynaklarının verimli kullanılmadığının bir göstergesi olmaktadır. Şehirlerde her geçen gün artan trafik ile seyahat süreleri, emisyon değeri, gürültü kirliliği ve ulaşım maliyetleri artmaktadır.

Genelde yönetimlerde bulunan yöneticiler ulaşım ana planlarına kentlerin ulaşıma yönelik özellikle yüksek maliyetli yatırımların yapılması için ihtiyaç duymuştur. Ulaşımın matematiksel bir yöntem kullanılarak bilimsel şekilde planlamak adına yapılması gereken bu çalışmalar öncesinde belirlenmiş koridorlarda ulaşım etüdü yapmak veya raylı sistem projeleri için fizibilite yapabilmek adına yapılmış amacına uygun olmayan çalışmalar olmuştur. Bu çalışmalar bir birine benzer çözüm önerileri sunarak aslında şehrin gerçek ihtiyaçlarından uzak bir ulaşım sistemi önermiştir. Bazı nitelikli amacına uygun çalışmalar ise uygulanma konusunda yetersiz kalmış ve raflarda sadece rapor olarak durmuştur.

Ulaşımın ana planları şehirlerin kısa, orta ve uzun vadede ulaşım ihtiyaçlarını planlayan 20-25 yıllık planlardır. Ulaşım ana planları şehrin imar planlarıyla entegre olan gelecekte o şehrin ulaşım ihtiyaçlarını karşılayabilecek makro ölçekte sürdürülebilir bir mühendislik çalışmasıdır. Bu çalışmalar kapsamında şehirlerde ulaşım verileri toplanır ve bu gelecek yıllara yönelik ön görülen nüfus verisi, şehrin gelişim bölgeleri ile ilgili bir model oluşturularak bir atama gerçekleştirilir. Bu atamalar sonucunda toplu taşıma sistemleri ve şehrin yol arterleri ile ilgili öneriler oluşturulur. Bu öneriler bir benzetim ile test edilir. Bu senaryolar ihtiyaçları karşılama oranına, maliyetine ve çevresel etkilerine göre birçok açıdan ele alınarak gelecekte sürdürülebilir, erişilebilir ve arazi kullanımlarıyla uyumlu bir ulaşım sistemi kurmak amacıyla değerlendirilir.

Gelişen bilim ve teknoloji ile beraber ulaşım sistemlerinde seyahat sürelerinin minimuma indirilmesi, trafik güvenliğinin maksimum düzeye çıkartılması, ulaşım sistemlerinin kapasitelerinin daha verimli kullanımı, hareketliliğin arttırılması, enerji kullanımın azaltılarak verimliliğin sağlanması, emisyon değerlerinin düşürülmesi ve doğaya verilen zararın azaltılması amacıyla AUS büyük önem kazanmaktadır.

Ülkemizin kaynaklarını verimli kullanmak adına AUS her geçen gün merkezi yönetim tarafından daha da benimsenmektedir. Ulaşım ana planlarının amacına yönelik hazırlanması adına ve Ulusal Stratejik Eylem Planları ile aynı hedef doğrultusunda AUS' un yerel yönetimlerin ulaşım ana plan süreçlerine adaptasyonu önemli bir rol oynamaktadır.

3.1 UAP ile AUS Adaptasyonun Yapılabilmesi İçin Mevcut ve Yeni Bilgilerin Oluşturulması

Yerel Yönetimler tarafın hazırlanan veya hazırlatılan UAP çalışmalarında öncelikle o kente ait verilerin toplanması gerekmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar genel olarak '' Mevcut Bilgilerin Toplanması '' ve ''Yeni Bilgilerin Oluşturulması'' şeklindedir. Mevcut Bilgilerin Toplanması raporunda kentin genel özellikleri, mevcut arazi kullanımı, demografik veriler, sosyoekonomik veriler, ulaşım altyapısı, o bölgede planlanan ulusal ve yerel ulaşım yatırımları dair bilgiler toparlanmaktadır. Yeni Bilgilerin Oluşturulması raporunda ise anket çalışmaları(hanehalkı anketleri, dış kordon anketleri, bisiklet anketleri, toplu taşıma anketleri, sürücü anketleri vb.), trafik sayım çalışmaları(kavşak sayımları, kordon sayımları, perde sayımları vb.) ve karayolu envanter bilgisinin toplanması dair bilgiler oluşturulmaktadır.

UAP kapsamında yapılan bu çalışmalarda kentin AUS uygulamaları için altyapısının mevcut durumu hakkında bilgilerde toplanmalıdır. AUS kapsamında kullanılan haberleşme

teknolojileri, algılama teknolojileri ve kooperatif akıllı ulaşım sistemlerinin altyapı bilgisi analiz edilmelidir. Bu çalışma ile kentin ulaşım sistemlerini oluşturan yolların, kavşakların, taşıtların ve kullanıcıların AUS altyapısına yeterliliği veya uygunlu için gerekli tespitler yapılmalıdır.

UAP çalışmasında birçok veride AUS' dan faydalanarak toplanabilir hatta bu verilerin sürekliliği sağlanabilir. Bu çalışmalarda verileri elde edebilecek kameralar, sensörler, haberleşme ve algılama teknolojileri sayesinde gerçekleştirilebilir. Ulaşım verilerinin analizinde, saklanmasında ve paylaşılmasında gelişmişmiş ve gelişmekte olan görüntü işleme, makine öğrenmesi, SQL yazılımlar, nesnelerin interneti, mobil ağlar, bulut bilişimi, açık veri, büyük veri ve blok zincir gibi birçok teknolojiden faydalanabilir. Örneğin sayım çalışmalarında kullanılan kameralarda görüntü işleme ve veri analizi teknolojileri kullanılarak taşıt sayımı yapıla bileceği gibi taşıt türü, taşıtın gidişi yönü gibi birçok veri doğrudan teknoloji ile elde edilebilir. Karayolu envanterini oluşturmak için üzerinde bir aracı 360 derece kamerası, lidar ve GPS teknoloji barındıran cihazlarla donatarak sahadan birçok veri toplanabilir hatta sürekli sahada olan belediye hizmet araçları ile rutin işler yapılırken güncellemeler yapılabilir. Böylece insan yerine teknolojiden yararlanarak burada bulunan çalışanlar başka alanda değerlendirilirken kaynakların daha verimli kullanılması sağlanabilir.

3.2 İhtiyaçların Tespiti

UAP kapsamında AUS adaptasyonu süreci ile beraber yerel yönetimler için AUS ihtiyaç tespitinde bulunulması gerekmektedir. İhtiyaçların tespiti yapılabilmesi için AUS sistemlerinin bir sınıflandırmaya göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada sınıflandırma yapılırken Tablo 2'de gösterildiği gibi "ISO AUS Mimarisi Hizmet Alanları ve Grupları" üzerinden sınıflandırarak özellikle Türkiye yerel yönetimler tarafından uygulanan AUS uygulamaları Yolcu Bilgilendirme Sistemleri, Trafik Yönetim Sistemleri, Toplu Taşıma Sistemleri, Acil Durum Yönetim Sistemleri ve Elektronik Ücret Ödeme Sistemleri olarak sayılabilir (Tufan, 2014). Her geçen gün artan ve değişen ulaşım ihtiyaçlarına AUS ile yeni uygulamalar geliştirilmektedir. Teknolojinin gelişmeyle daha sürdürülebilir bir kent içi ulaşım sistemi kurulabilir. İhtiyaç tespitleri şehrin dinamiklerine göre değişse bile asıl amacı entegre, denetlenebilir, yönetilebilir ve erişilebilir adil ulaşım sisteminin tüm kentli için oluşturmak olmalıdır.

Tablo 7. ISO AUS Mimarisi Hizmet Alanları ve Grupları

Hizmet Alanları	Hizmet Grupları
1.Yolcu Bilgisi	1.1 Yolculuk öncesi bilgi 1.2 Yolculuk sırasındaki bilgi 1.3 Yolculuk hizmetleri bilgisi 1.4 Yolculuk öncesi güzergâh rehberi ve navigasyon 1.5 Yolculuk sırasında güzergâh rehberi ve navigasyon 1.6 Yolculuk planlama desteği
2.Trafik yönetimi ve işlemleri	2.1 Trafik kontrolü 2.2 Ulaştırmayla ilgili olay yönetimi 2.3 Talep yönetimi

	2.4 Ulaştırma altyapısının bakım yönetimi
3.Araç içi sistemler	3.1 Ulaştırmayla ilgili görüş iyileştirme 3.2 Otonom araç işlemi 3.3 Çarpışma önleme 3.4 Emniyet hazırlığı 3.5 Çarpışma öncesi kısıtlamaların tertibi
4.Yük taşımacılığı	4.1 Ticari araç ön izin 4.2 Ticari araç idari işlemleri 4.3 Otomatik yol kenarı emniyet denetimi 4.4 Ticari araç içinde emniyet takibi 4.5 Yük taşımacılığı filo yönetimi 4.6 İntermodal bilgi yönetimi 4.7 İntermodal merkezlerin yönetimi ve kontrolü 4.8 Tehlikeli yüklerin yönetimi
5.Toplu Taşıma	5.1.Toplu taşıma yönetimi 5.2. Talebe duyarlı ve paylaşımlı toplu taşıma
6.Acil Durum	6.1 Ulaştırmayla ilgili acil durum duyurusu ve kişisel güvenlik 6.2 Acil durum araçlarının yönetimi 6.3Tehlikeli madde ve olay duyurusu
7.Ulaştırmayla ilgili elektronik ödeme	7.1 Ulaştırmayla ilgili elektronik mali işlemler 7.2 Ulaştırmayla ilgili elektronik ödeme hizmetlerinin entegrasyonu
8.Karayolu ulaştırması ile ilgili kişisel emniyet	8.1 Toplu taşıma güvenliği 8.2Savunmasız karayolu kullanıcılarının emniyetinin arttırılması 8.3 Engelli karayolu kullanıcılarının emniyetinin arttırılması 8.4 Akıllı kavşaklar ve bağlantı yolları
9.Hava ve çevre koşullarının izlenmesi	9.1 Hava durumunun izlenmesi 9.2 Çevre koşullarının izlenmesi
10.Afet müdahalesi yönetimi ve koordinasyonu	10.1 Afet veri yönetimi 10.2 Afet müdahale yönetimi 10.3 Acil durum merkezleri ile koordinasyon
11.Ulusal güvenlik	11.1 Şüpheli araçların izlenmesi ve kontrolü 11.2 Enerji tesisleri veya boru hatlarının izlenmesi

Kaynak : (Yokota, 2004)

3.3 Stratejik, Hedefler ve Güncelleştirme

Ulaşım ana planları 20-25 yıllık makro planlardır. Bu plan kapsamında kısa, orta ve uzun vadede şehrin ulaşım sistemlerine yapılacak yatırımlar belirlenir. Aynı zamanda UAP her beş yılda bir güncelleştirme çalışmalarıyla revize edilebilir. (TBB, 2014) UAP'ın AUS ile adaptasyonun yapılmasıyla beraber bazı sistematik değişiklikler ortaya çıkacaktır. Örneğin

sensörlerden gelen anlık veriler sayesinde daha dinamik bir UAP güncelleştirmesi yapılabilir. Ya da yapılan yatırımların verimliliğinin ölçülmesiyle hızlı bir şekilde analiz edilebilir. Aynı zamanda teknolojinin hızlı gelişmesi ile beraber önerilen AUS uygulamalarında da güncellemelere daha hızlı karar verilebilir. UAP kapsamında tespit edilen AUS Altyapısı Kurulumu, Personel Eğitimleri, Yönetim Merkezlerinin Kurulumu ve AUS Analiz ve Planlama Biriminin Oluşturulması çalışmaları kısa, orta ve uzun vadeli olarak planlanmalıdır.

Yerel yönetimin gelişmişlik düzeyine ve ihtiyaçlarına göre ulusal ve uluslararası politikaları da değerlendirmeye alarak stratejik amaçlarını belirlemelidir. Stratejik açıdan kısa dönem çalışmalarını veri toplama ve toplanan verinin sınıflandırılması açısından gerekli standartlarının oluşturulması, sürdürülebilir kent stratejisinin belirlenmesi, yaşanabilir toplum için bilinçlendirmeye yönelik eğitim, sürdürülebilir hareketlilik, erişilebilir ulaşım, yol ve sürüş güvenliği ve verimli ulaşım vb. konularında belirlenebilir. Stratejik açıdan orta ve uzun dönem çalışmalarını ise elde edilen verinin sürekliliği ve güvenliğinin sağlanması, karbonsuz kent ve alanların oluşturulması, tüm ulaşım modlarının entegrasyonları, K-AUS'un yaygınlaştırılması, elektrikli araç altyapısının hazırlanması, dijital hareketlilik, ve çok modlu ulaşımın optimizasyonu vb. konularında belirlenebilir (T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020).

AUS çalışmalarının doğrultusunda UAP'da toplumsal hedefler, ekonomik hedefler, çevresel hedefler, sistematik hedefler, teknolojik hedefler ve politik hedefler belirlenebilir. Bu hedefler doğrultusunda yapılacak çalışmaların bütüncül bir ulaşım sisteminin oluşturulması ile Akıllı Kent kavramının ulaşım kapsamında olgunlaştırılması en önemli hedeftir (T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020).

4. Geçmişte Hazırlanan Mersin Ulaşımına Yönelik Planlama Çalışmaları

Mersin Büyükşehir Belediyesi'nin ulaşımla ilgili kapsamlı bir şekilde hazırlatmış olduğu ilk çalışma 2000 yılında yapılan Mersin Ulaşım Etüdü olup Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaat Genel Müdürlüğü tarafından 06.06.2001 tarihinde onaylatılmıştır. (Mersin 2015 Ulaşım Ana Planı Raporları , 2016)

Mersin Büyükşehir Belediyesi 2010 yılında 2025 yılı hedefli Kent İçi ve Yakın Çevre Ulaşım Ana Planı'nı hazırlatmış ve bu plan Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü tarafından 23022 sayılı ve 25.12.2012 tarihli yazı ile onaylanmıştır. (Mersin 2015 Ulaşım Ana Planı Raporları , 2016)

Büyükşehir Belediyesi 2010 yılında hazırlanan Mersin Ulaşım Ana Planı'nın gerek çalışmanın doğası gerekse yasal mevzuat kaynaklı olarak önümüzdeki 15 yılı kapsayan bir zaman dilimi için yenilenmesine karar vermiş ve hedef yılı 2030 olan "Mersin Büyükşehir Belediyesi Kent içi ve Yakın Çevre Ulaşım Ana Planı Revizyonu Yaptırılması İşi" için 2015 yılında ihaleye çıkmıştır. 2015 yılında çalışmaları başlayan bu plan Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü tarafından 25812 sayılı ve 02.06.2016 tarihli yazı ile onaylanmıştır (Mersin 2015 Ulaşım Ana Planı Raporları , 2016).

Tablo 8. Geçmişte Hazırlanan Mersin Ulaşımı ile ilgili Planlama Çalışmaları

ÇALIŞMALAR	İDARE (YAZAN)	İDARE (TESLİM ALAN)	BAŞVURU	ONAY	KONU
2000 tarihli Mersin Ulaşım Etüdü	DLH	MBB		06.06.2001	Ulaşım Etüdü
2009 tarihli Mersin Ulaşım Ana Planı	AYGM	MBB	10.04.2012	19.06.2012	Mersin Ulaşım Ana Planı
	AYGM	MBB	10.10.2012	25.12.2012	Raylı Sitem Güzergah Onayı
2015 tarihli Mersin Ulaşım Ana Planı	AYGM	MBB	27.01.2016	02.05.2016	Mersin Ulaşım Ana Planı Onay
2015 tarihli Mersin Ulaşım Ana Planı	AYGM	MBB	30.06.2016	11.10.2016	HRS Ön Proje ve Fizibilite Raporu Onayı

Kaynak: (Mersin 2015 Ulaşım Ana Planı Raporları , 2016)

4.1 2015 MUAP Analizi

2015 Mersin Ulaşım Ana Planı (MUAP) çalışması geleneksel ulaşım planlaması yöntemiyle hazırlanmış olup bireysel araç kullanımını öne çıkaran trafik odaklı bir planlama anlayışı ile kentin belirli bölgelerinde fiziksel ulaşım altyapısının iyileştirilmesi ve genişletilmesi yoluyla ulaşım problemlerine çözüm ürettiği bir plan olarak karşımıza çıkmaktadır (Mersin 2015 Ulaşım Ana Planı Raporları , 2016).

2015 MUAP çalışma alanı, Mersin Büyükşehir Belediyesi'nin 5216 sayılı kanuna göre belirlenmiş sınırları içerisindeki kentsel mahalleleri kapsamaktadır. Mersin Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde 4 merkez (Akdeniz, Mezitli, Toroslar, Yenişehir), 9 çevre ilçe olmak üzere 13 ilçe bulunmaktadır. Yüzölçümü 15.853 km^2 olup, 2014 TÜİK ADNKS sonuçlarına göre, bu sınırlar içerisinde 1.727.2551 kişi yaşamaktadır. 2015 Mersin Ulaşım Ana Planı kapsamında 7.813'i hanede, 421'i yurtlarda olmak üzere toplamda 8.234 görüşmede yaklaşık 25.000 kişi ile görüşülmüştür (Mersin 2015 Ulaşım Ana Planı Raporları , 2016).

2015 MUAP çalışması kapsamında; 6360 Sayılı Kanuna göre büyükşehir sınırı çerçevesinde bir Ulaşım Ana Planı hazırlanmış olması ve Mersin ilinde yaşayan kişilerin en az % 4'e karşılık gelecek sayıda hane halkı anketinin yapılması ve değerlendirilmesi gerekmekteydi. (Mersin 2015 Ulaşım Ana Planı Raporları , 2016)

2015 MUAP raporları kapsamında Mersin Kentinin Genel Özellikleri, Mevcut Arazi Kullanımı, Ulaşım Altyapısı, Yönetim ve İdari Organizasyonu ilgili klasik alt başlıklar bulunmaktadır. Kentin arazi kullanımı ile ulaşım ilişkisini kurulması amacıyla yapılan çalışmaları içermemektedir (Mersin 2015 Ulaşım Ana Planı Raporları , 2016).

2015 MUAP raporlarında kullanılan imar planlarına dayalı nüfus projeksiyon tahmini kısa vadede dahil (2021 yılına kadar söz konusu olan nüfus tahminleri) büyük oranda sapmaların olduğu görülmektedir. Doğrudan imar planlarına göre hazırlanan bir ulaşım ana planı doğru projeksiyonu yansıtmayabilir. Uzun vadede yapılacak önemli yatırımların fizibilitesini yanlış yönlendirerek var olan kıt kaynakların verimsiz kullanılarak büyük israflara yol açmasıyla sonuçlanacaktır. Sürdürülebilir bir ulaşım sistemi oluşturulması için sürdürülebilir bir şekilde hazırlanmış imar planlarının olması gerekmektedir. Bu imar planları daima ulaşım

ana planları ile entegre bir şekilde uzun vadeli planlara uygun olarak oluşturulmalıdır. İmar planlarında önceden kesintisiz bisiklet yollarının var olduğu, yeterli miktarda genişliğe sahip yaya yollarının ve toplu taşıma ile ilgili önemli parametrelerinde (transfer merkezleri, durak konumları, toplu taşıma şeritleri vs) gelecekte bir arada planlanabileceği bir yapıda oluşturulması gerekmektedir. Yerel yönetimlerin genel olarak yaşadığı en önemli sıkıntılardan biri imar planlarında sadece araçlar için yeterli şerit genişliklerine sahip yollar olarak planlanmış yollara sonradan farklı ulaşım modlarının entegrasyonunu sağlamaya çalışmaktır (Mersin 2015 Ulaşım Ana Planı Raporları , 2016).

2015 MUAP Raporları'ndan yapılan çıkarımlara göre; kent içi toplu taşıma sisteminin önemli bir parçası olan lastik tekerlekli toplu taşıma sisteminin yeteri kadar üzerinde durulamadığı yüzeysel olarak bahsedildiği sonucuna varılmıştır. Gelişmiş bir toplu taşıma sisteminin en önemli unsurlarından biri entegrasyon kavramıdır. Entegre bir toplu taşıma sitemine sahip olmayan kent içi ulaşımında özel otomobil ve özel servis kullanımını artması kaçınılmaz olmaktadır. Özellikle zirve saatlerde trafikte mevcut karayolu kapasitesinin yetmediği görüldükten sonra kapasitenin arttırılması geçici bir çözüm yöntemi olmaktadır. Örneğin bu trafik yoğunluğunun azalması için yerel yönetimlerde popülist bir yaklaşım olan Battı-Çıktı projelerinin yapılması söz konusu olmaktadır. Bu anlayış otomobile dayalı ulaşım sisteminin bir paradoksu ile devam etme durumu kaçınılmazdır (Mersin 2015 Ulaşım Ana Planı Raporları , 2016).

5. Sonuç

Bu bölümde 2015 MUAP'ta çalışılan konulara göre başlık başlık AUS stratejileri değerlendirilmiştir. Yapılan analize göre 2015 MUAP kapsamında çalışılan konularda AUS içeriği bulunan ve AUS içeriği bulunmayan konular olarak iki gruptan oluşmaktadır. AUS içeriği bulunmayan konular; yaya ulaşım düzenlemeleri, karayolu ağı planlaması, kent merkezi düzenlemeleri ve transfer merkezlerinin oluşturulması konularından oluşmaktadır. AUS içeriği bulunan konular; toplu taşıma sistemlerinin planlanması, ara toplu taşıma sistemlerinin planlanması, otopark politikaları ve planlaması ve bisiklet ulaşımı düzenlemeleri konularından oluşmaktadır (Mersin 2015 Ulaşım Ana Planı Raporları , 2016).

Toplu taşıma sistemlerinin planlanması kapsamında sunulan AUS çözüm önerileri otobüs öncelikli uygulamalar ve akıllı ulaşım sistemlerinin kullanılması başlıklarından oluşmaktadır. Bu başlıklar altında sinyalizasyon sisteminde toplu taşımanın önceliklendirilmesi, yolcu bilgilendirme sistemleri ve elektronik ücret ödeme sistemleri önerilmiştir. Ara toplu taşıma sistemlerinin planlanması kapsamında sunulan AUS çözüm önerisi elektronik ücret ödeme sistemine geçiştir. Otopark politikaları ve planlaması kapsamında sunulan AUS çözüm önerisi otoparklarda ücret toplama sisteminin toplu taşıma ücret sistemi ile uyumlu olmasıdır. Bisiklet ulaşımı düzenlemeleri kapsamında sunulan AUS çözüm önerisi toplu taşımada kullanılan elektronik ücret sisteminin akıllı bisiklet sisteminde de geçerli olmasıdır (Mersin 2015 Ulaşım Ana Planı Raporları , 2016).

Mersin Büyükşehir Belediyesi'nin 2015 MUAP çalışmasından sonra UAP içeriğinde değinilmemiş AUS uygulamaları kurulmuştur. Bunlar dinamik kavşak kontrol sistemi ve filo yönetim sistemi gibi önemli AUS Merkezleri'dir. Bu durum gösteriyor ki, 2015 MUAP kısa vadeli planların gerçekleştiği bu aralıkta bile AUS açısından yetersizdir. Yeni yapılacak Ulaşım Ana Planı çalışmalarında AUS adaptasyonun sağlanması ve ihtiyaçların belirlenmesi gerekmektedir. Bu ihtiyaçlara yönelik stratejik hedeflerin oluşturulması ve güncelleştirme çalışmalarının yapılması Mersin kentini geleceğin akıllı kentleri arasında olmasını sağlayacaktır.

6. Kaynaklar

Bozkurt, A. (2013). Navigasyon, dünyada milyonlarca Türkiye'de ise ancak binlerce satılıyor. *Bilişim Dergisi*, 70-79.

Cirit, F. (2014). *Sürdürülebilir Kentiçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması.* Uzmanlık Tezi, TC.Kalkınma Bakanlığı, Ankara.

Göl, B. (2019). *Akıllı Toplu Ulaşım Sistemlerinin Geliştirilmesine Yönelik Model Önerisi.* Sakarya: T.C Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü.

Korkmazyürek, B., & Polat, E. (2019). Kentsel Ulaşımda Esnek, Akıllı ve Yeni Bir Planlama Yaklaşımı: Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planları. *Kent Kültürü ve Yönetimi Hakemli Elektronik Dergi, 12*(2), 225-240. doi:0000-0002-9889-7199

MAtchUP. (2021, 09 11). https://www.matchup-project.eu/cities/antalya/ adresinden alındı

(2016). *Mersin 2015 Ulaşım Ana Planı Raporları .* Mersin.

Odak Arge. (2020, 12 08). Odak Arge web sitesi: https://www.odakarge.com/kooperatif-akilli-ulasim-sistemleri-k-aus-nedir.html adresinden alındı

Özalp, M., & Öcalır, E. V. (2008). Türkiye'deki Kentiçi Ulaşım Planlaması Çalışmalarının Değerlendirilmesi (1). *METU Journal of the Faculty of Architecture, 25*(2), 71-97.

T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2020). *Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı.* Ankara.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2019). *2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı.* Ankara.

TBB. (2014). *Ulaşım Planlama Çalışmaları ve Ulaşım Ana Planı Hazırlama Kılavuzu.* Türkiye Belediyeler Birliği, Ankara.

Tektaş, M., & Korkmaz, K. (2016). Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Geleceği (Ekonomik ve Çevresel Faydaları). *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, 561-577.

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

Yokota, T. (2004). *ITS System Architectures for Developing Countries.* Washington: World Bank.

Hazırlanmakta Olan Adana Ulaşım Ana Planı'nın Akıllı Ulaşım Sistemi Stratejileri'nin Belirlenmesi

Buse AĞCA[1*], Taylan ENGİN [2]

[1]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği, Bandırma, Türkiye

[2]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği, Bandırma, Türkiye

* buseagca@ogr.bandirma.edu.tr

tengin@bandirma.edu.tr

0000-0002-4245-6271, 0000-0001-6981-0683

Özet

Kentlerde hızlı nüfus artışından dolayı işlevsel alan kullanımlarının genişlemesi ve çeşitlenmesiyle, insanların ulaşması gereken mesafelerin arttığı ve bunun bir sonucu olarak bireysel araç kullanımında artış gözlemlenmiştir. Seyahatte geçen sürelerin artmasından dolayı uzun araç kuyruklarının oluştuğu, yol güvenliğinin azaldığı ve birçok benzer ulaşım probleminin yaşandığı görülmüştür. Bu problemlerin çözülebilmesi ve "kentsel kalitenin" oluşturulması amacıyla ulaşım planlama çalışmalarına ihtiyaç duyulmuştur. Ulaşım ana plan çalışmaları nazım imar planlarına paralel bir şekilde kentin gelişime uygun olacak mevcutta yaşanan ve gelecekte nüfusun artmasıyla yaşanılması düşünülen ulaşım, trafik ve toplu taşıma problemlerinin çözmesi amacıyla yapılan kısa ve orta vadede ulaşım talebinin yönetildiği uzun vadede ise ulaşım öneri ve projelerinin oluşturuldu planlama çalışmalarıdır. Geleneksel ulaşım planlama çalışmalarında, ulaşım problemlerine çözüm önerileri getirse de "tahmin et ve çözüm üret" yaklaşımı ile çözüm üretilememiştir. Çözüm amacıyla yeni ulaşım politikalarının ve stratejilerin benimsenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu hedef doğrultusunda ülkemizde hızla yaygınlaşmakta olan Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin kullanılması büyük bir önem arz etmektedir. Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin kullanılmasıyla seyahat sürelerinde azalma, mevcut yol kapasitesinin maksimum verimde kullanılması, trafik güvenliğinin arttığı, motilite ve mobilitenin arttığı, enerji verimliliğinin sağlandığı görülmüştür. Ülkemizde Akıllı Ulaşım Sistemleri uygulamalarının yaygınlaşması ve yerel yönetimlerin yönlendirilmesi amacıyla gerekli stratejiler ve eylem planları oluşturulmuştur. Hazırlanmakta olan Adana Ulaşım Ana Planı'nın Akıllı Ulaşım Sistemi Stratejileri'nin Belirlenmesiyle daha kapsamlı, sürdürülebilir ve kaliteli bir ulaşım sistemi planlanması ve uygulanmasıyla ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Akıllı Ulaşım Sistemleri Stratejileri'nin Ulaşım Ana Planı içerisinde bütüncül bir şekilde ele almasıyla hazırlanacak olan ulaşım ana planları, yerel yönetimler için örnek teşkil ederek ve yeni bir anlayış kazandıracaktır.

Anahtar kelimeler: Adana, Ulaşım Ana Planı, Akıllı Ulaşım Sistemleri(AUS)

Abstract

It has been observed that with the expansion and diversification of functional area uses due to rapid population growth in cities, the distances that people need to reach have increased

and as a result, there has been an increase in individual vehicle use.Due to the increase in the travel time, it has been observed that long vehicle queues occur, road safety decreases and many similar problems are experienced. To solve these problems and to create "urban quality", transportation planning studies were needed.The Transportation Master Plan studies are carried out in parallel with the master zoning plans, in a way that is suitable for the development of the city and in order to solve the transportation, traffic and public transportation problems that are experienced in the current situation and that are thought to be experienced in the future with the increase in population. In these studies transportation demand is managed in the short and medium term, and transportation proposals and projects are created in the long term.Although transportation planning studies carried out by traditional means offer solutions to transportation problems, there is a lack of solution proposals with the "guess and solve" approach in these studies.Therefore, it was necessary to adopt new transportation policies and strategies to solve this situation. In order to achieve this goal, the use of Intelligent Transportation Systems, which is spreading rapidly in our country, is of great importance.With the use of Intelligent Transportation Systems, it has been observed that travel times are reduced, the existing road capacity is used at maximum efficiency, traffic safety is increased, motility and mobility are increased, and energy efficiency is provided. In our country, necessary strategies and action plans have been created in order to spread the implementation of Intelligent Transportation Systems and to guide local governments. It is anticipated that the Adana Transportation Master Plan, which is being prepared, will contribute greatly to the country's economy by determining the Smart Transportation System strategies, planning and implementing a more comprehensive, sustainable and high quality transportation system. For local governments, the holistic handling of Intelligent Transportation Systems strategies within the Transportation Master Plan will set an example for the transportation master plans to be prepared and will bring a new understanding to these plans.

Keywords: Adana, Transport Master Plan, Intelligent Transportation Systems(ITS)

1. Giriş

Geçmişten günümüze kent planlamasında yapılan hataların ve eksikliklerin bugünün ulaşım sorunlarını beraberinde getirdiği görülmektedir. Kent planlamasında arazi kullanımı ve ulaşım ilişkisinin etkili bir şekilde kurulması gerekmedir. Kentlerde mekânsal kullanımın ulaşım sistemlerinin kapasitesi ile önemli bir ilişkisi vardır. Ulaştırma Mühendisliği'nin önemi kentler henüz planlanırken ortaya çıkmaktadır. Günümüzde kentlerde artan nüfus ve araç sahipliği ile beraber ulaşım sorunları kendini göstermekte olup yanlış planlanmış her kent içinde kaçınılmaz olacaktır. Seyahatte geçen sürelerin artmasıyla, uzun araç kuyruklarının oluştuğu, yol güvenliğinin azaldığı vb. birçok problemin yaşandığı görülmüştür. Bu problemlerin çözülebilmesi ve "kentsel kalitenin" oluşturulması amacıyla ulaşım planlama çalışmalarına ihtiyaç duyulmuştur (TBB, 2014).

Geleneksel yöntemlerle hazırlanan ulaşım ana planı çalışmaları, nazım imar planlarına paralel bir şekilde kentin gelişime uygun olarak, mevcutta yaşanan ve gelecekte nüfusun artmasıyla yaşanılması düşünülen ulaşım, trafik ve toplu taşıma problemlerinin çözmesi amacıyla yapılan kısa ve orta vadede ulaşım talebinin yönetildiği uzun vadede ise ulaşım öneri ve projelerinin oluşturuldu planlama çalışmalarıdır (TBB, 2014).

Geleneksel yöntemlerle hazırlanan ulaşım planlama çalışmalarında, ulaşım problemlerine çözüm önerileri sunmuş olsa da " tahmin et ve çözüm üret " yaklaşımı ile çözüm üretilememiştir. Geleneksel ulaşım ana planı çalışmalarında trafik odaklı planlama anlayışı benimsenmiştir. Yaşanan ulaşım problemlerine, çözüm üretmek amacıyla akıcı bir trafik elde edilmesinin çözüm olacağı düşünülmüş bu amaç doğrultusunda yüksek maliyetli yatırımlarla mevcut yol kapasitesi arttırılmıştır. Uygulanan çözümler kısa vadede çözüm üretmiş olsa da, kullanıcıyı özel otomobil kullanımına ittiği için uzun vadede çözüm olamamıştır. Kısa ve orta vadede tek modluluğun hakim olduğu türler arası entegrasyonun sağlanmadığı ulaşım sisteminde tüm kullanıcıların ihtiyaçları karşılanamamaktadır. Toplu taşıma sistemlerinde iyileşmelerin sağlamaması ve yaygınlaştırılamaması ile hizmet kalitesinin azaldığı, sosyal ve çevresel sorunların birbirini tetiklediği belirgin halde görülmeye başlamıştır (Korkmazlar & Polat, 2019).

Gelinen bu noktada, geleneksel ulaşım ana planlarının eksiklerini gidererek çözüm üretebilmek amacıyla yeni ulaşım ana planı çalışmalarında sürdürülebilir ulaşım politika şemaları ve stratejileri, motilite ve mobilite kavramlarının benimsendiği Sürdürülebilir Hareketlilik Planları görülmeye başlanmıştır. İzlenen politikalarla sürdürülebilir ve daha verimli bir ulaşım sisteminin kurulmasıyla kentte yaşayanların hareketlilik ihtiyaçlarını karşılayan erişilebilir, entegre, esnek, akıllı, çevreci ve katılımcı değerlendirme ilkelerini içeren stratejik bir plan niteliği oluşturulması hedeflenmiştir. Geleneksel Ulaşım Planları ile Sürdürülebilir Hareketlilik Planlarına ait karşılaştırma Tablo1'de verilmiştir.

Tablo 9. Geleneksel Ulaşım Planları ile Sürdürülebilir Hareketlilik Planları'nın Karşılaştırılması

Geleneksel Ulaşım Planlaması	Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planları
Trafik odaklı planlama.	Bireylere ve aktivitelere odaklı planlama.
Amaç: Tıkanıklığı azaltmak ve hızı arttırmak, Öncelikli hedefleri: Trafik akış kapasitesi ve hızı, Hedeflere eksik veya geniş açıdan odaklanmak.	Amaç: Erişilebilirlik, yaşanabilirlik ve kamusal alanların kalitesini arttırmak, Öncelikli hedefleri: Erişilebilirlik, yaşam kalitesi, sürdürülebilirlik, ekonomik canlılık, sosyal eşitlik, sağlık ve çevre kalitesi, Ölçülebilir sonuçlar ve hedeflerin başarılmasına odaklanmak.
Moda odaklanma (belirli taşıma modlarına odaklanma).	İlgili tüm ulaşım modlarının dengeli gelişimi, daha temiz ve sürdürülebilir ulaşım modlarına geçiş.
Ulaşım ve altyapı odaklı.	Uygun maliyetli çözümler elde etmek için entegre eylemler kümesi, Sosyal eşitliği, çevresel kalite ve ekonomik kalkınmayı dengeleme ve politika sektörleri (çevre, arazi kullanımı vb.) arasında uygulama ve politikaların entegrasyonu.
Sektörel veya belirli bir kente odaklı ve paydaşların katılımı sınırlı.	İlgili politika alanlarını (arazi kullanımı, mekânsal planlama, sosyal hizmetler, sağlık, vb.) tamamlayan yüksek paydaş katılımlı planlama.
Kısa ve orta vadeli bir bakış açısıyla stratejik bir vizyon ve plan.	20-30 yıllık bir süreçte uzun vadeli bir vizyona gömülen, kısa ve orta vadeli strateji ve plan.
Teknik özelliklere ve trafik mühendisliğine öncelik.	Disiplinler arası planlama ekipleriyle entegre planlamaya öncelik; bölge, trafik, çevre vb.
Uzmanlarla planlama.	Paydaşların şeffaf ve katılımcı bir yaklaşımıyla planlama.

Yetki katmanları arasında işbirliği yetersizliği.	Yönetimin katmanları arasındaki entegrasyon (bölge kurulu, belediye vb.)
Geleneksel yol ağı ve altyapının geliştirilmesi	Toplu taşımayı, yürümeyi, bisiklete binmeyi teşvik etmek ve bu yönde önlemler almak.
Maliyet faydalarının göz ardı edilmesi.	Ulaştırma maliyetlerinin ve faydalarının politika sektörlerinde de gözden geçirilmesi.
Sınırlı etki değerlendirmesi	Yapılandırılmış bir öğrenme ve iyileştirme sürecini elde etmek için etkilerin düzenli olarak izlenmesi ve değerlendirilmesi.
Büyük kaynaklar gereksinen proje.	Kaynak kullanımında limit kavramı.
Siyasi yönetim ve kilit roldeki teknik personelin katılımı.	Katılımcı süreçler: Paydaşlar ve kent sakinlerinin rolü.

Kaynak: (Korkmazlar & Polat, 2019)

Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planları(SUMP) çalışmalarıyla, geleneksel ulaşım planlama çalışmalarında yaşanan eksikleri gidermek amacıyla insan ve çevre odaklı ulaşım sisteminin oluşturulması ve yaygınlaştırılması gerekmektedir.

SUMP ile sürdürülebilir kentsel ulaşım alt yapısını oluşturarak, kent içi ulaşılabilirliğin ve erişilebilirliğin arttırılması hedeflenmiştir. Bireysel araç kullanımını azaltmak amacıyla sürdürülebilir bir toplu taşıma sistemi oluşturulması ve teşvik edilmesi amacıyla tüm ulaşım modların birbiri ile entegrasyonunun sağlanması, daha az kullanılan ulaşım modlarının kullanım oranlarının arttırılması sağlanmalıdır.

Tüm kullanıcının adil olduğu ve plan süreci boyunca yer aldığı bir planlama süreci oluşturulmalıdır. Ayrıca şehrin ihtiyaçlarını karşılayacak toplu taşıma modunun seçilmesiyle yapılacak olan uygun yatırımların seçilmesiyle ülke ekonomisine katkı sağlanması hedeflenmektedir.

1.1 Adana Ulaşım Ana Planı Süreci

Ulaşım Ana Planları, kentsel alanlarda ulaşım sorunları çözmek amacıyla gerçekleştirilen yasal planlama araçlarından birisidir. Adana ili için yapılan ulaşım ana planı çalışması ilk kez 1992 yılında yapılmış olup ulaşım ana planı güncelliğini yitirmiştir. Adana Ulaşım Ana Planı (AUAP) aşağıda verilen kanun maddelerine göre yasal bir zorunluluk haline gelmiştir.

> *"5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanununun 7. Maddesinde büyükşehir belediyesinin görev, yetki ve sorumlulukları esas alınarak*
>
> *f) Büyükşehir ulaşım ana planını yapmak veya yaptırmak ve uygulamak; ulaşım ve toplu taşıma hizmetlerini plânlamak ve koordinasyonu sağlamak; kara, deniz, su ve demiryolu üzerinde işletilen her türlü servis ve toplu taşıma araçları ile taksi sayılarını, bilet ücret ve tarifelerini, zaman ve güzergâhlarını belirlemek; durak yerleri ile karayolu, yol, cadde, sokak, meydan ve benzeri yerler üzerinde araç park yerlerini tespit etmek ve işletmek, işlettirmek veya kiraya vermek; kanunların belediyelere verdiği trafik düzenlemesinin gerektirdiği bütün işleri yürütmek." ve*
>
> *5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanununa dayanılarak 09.06.2008 tarih ve 26901 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Ulaşımda Enerji Verimliliğinin Artırılmasına*

İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelikte de bu konuda düzenlemelere yer verilmiştir. Yönetmeliğin Kentsel ulaşım planları başlığı altında;

"Madde 10 – (1) Büyükşehir belediyeleri ve büyükşehir belediyesi sınırları dışındaki belediyelerden Nüfusu yüz binin üzerinde olanlar ulaşım ana planı hazırlarlar. Bu planlar on beş yıllık süreler için yapılır ve her beş yılda bir yenilenir. Şehir planları ile sürdürülebilir kentsel ulaşım planları birlikte ele alınır." esas alınarak hazırlanması gerekmektedir.

Ayrıca son yıllarda dünya genelinde benimsenmeye başlanan ve Avrupa'da pek çok şehirde kent içi ulaşım problemlerini çözmeye odaklanan Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planları (SUMP) kapsayıcı ve katılımcı bir yaklaşıma önem vermektedir. Türkiye'de büyükşehirlerde yıllardır uygulamaya konulan Ulaşım Ana Planları ise katılımcı bir sürece odaklanmak konusunda eksik kalmaktadır. Hazırlanacak olan Adana Ulaşım Ana Planı'nın, diğer ulaşım ana planlarından farklı olarak, toplumun ve aktörlerin katılımını önemseyen, onların talep ve görüşlerini dikkate alan ve onları sürecin belli aşamalarına dahil eden bir yaklaşımla hazırlanması hedeflenmektedir (Adana Büyükşehir Belediyesi, 2021).

2. Yeni Dönemde Akıllı Ulaşım Sistemleri Politikaları

Ülkemizde çeşitli politika belgelerinde ve yerel yönetim uygulamalarında akıllı kentler ve akıllı ulaşım sistemleri ile ilgili çalışmaların yer aldığı görülmektedir. İlk olarak, Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi'nde " Yaşam Kalitesinin Yükseltilmesi " amacıyla otonom araç teknolojileri, akıllı yol ve yol güvenliğinin oluşturulması amacıyla çeşitli politikalar belirlenmiştir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı , 2019).

Dokuzuncu Kalkınma Planı'nda; "Sürdürülebilir Kentsel Gelişme ve Eylem Planı" başlığı altında trafik güvenliğinin arttırılması ve toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu politikalar kapsamında 2010-2023 KENTGES Bütünleşik Kentsel Gelişme Stratejisi ve Eylem Planı hazırlanmıştır (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2006).

Onuncu Kalkınma Planı kapsamında " Kent içi ulaşımda trafik yönetimi ve toplu taşıma hizmetlerinde bilgi teknolojileri ve akıllı ulaşım sistemlerinden etkin bir şekilde faydalanılacaktır. " ibaresi yer verilmiş olup Akıllı Şehir ve Akıllı Şehir Bileşenlerini ilgilendiren politika ve eylemlere yer verilmiştir.

Onbirinci Kalkınma Planı'nda (2019-2023) mevcut karayolu kapasitesinin daha verimli bir şekilde kullanılması ve ulaşım talebinin doğru bir şekilde yönetilebilmesi için AUS Strateji Belgesi hazırlanması, AUS mimarisi geliştirilmesi ve AUS uygulamalarını yaygınlaştırma politikaları yer almaktadır (T.C. Kalkınma Bakanlığı , 2019).

Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı (2020-2023) ile ülkemizin Akıllı Şehir vizyonu, stratejik amaçları ve hedefleri tanımlanmış olup hedefleri gerçekleştirebilmek amacıyla öncelikli eylem planları oluşturulmuştur (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019).

Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı kapsamında AUS'un tanımı, AUS mimarisi, AUS alanında yer alan teknolojiler, dünyadaki ve ülkemizdeki AUS'un durumu ve uygulama örnekleri, ülkemiz için AUS stratejisi, vizyon, misyon, stratejik amaçları ve eylem çalışmaları üzerinde durulmuştur. Dünya'daki gelişen teknolojiden yararlanarak oluşan toplumsal ihtiyaçlara cevap verebilmek amacıyla ülkeler ve bölgeler kendi AUS yapılarını oluşturmaya başlamıştır.

Türkiye'de ileri bilişim teknolojileri ile insan ve çevre odaklı ulaşım sistemi oluşturulması amacıyla AUS stratejik amaçlarını ve eylemlerini ile ilgi çalışmalar yaygınlaşmakta olup ulusal düzeyde yerel yönetimler için yönlendirici bir hale gelmektedir.

Planlanan AUS stratejilerin yerel yönetim tarafından yaygınlaştırılması ve uygulamasıyla elde edilecek faydalar AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı'nda maddeler halinde sıralanmıştır;

> "*•Hareketliliğin artması,*
>
> *•Trafik sıkışıklığındaki azalma ve toplu ulaşıma olan katkılar,*
>
> *•Trafik kazaları ile buna bağlı ölümlerin, yaralı sayılarının ve maddi kayıpların azalması, • Ulaşımda geçen zamanın azalmasıyla yakıt tasarrufunun sağlanması,*
>
> *•Karbon salımı ve çevre kirliliğinin azalması,*
>
> *•Araçların yıpranma süresinin gecikmesiyle bakım maliyetlerinde tasarruf sağlanması,*
>
> *•Acil yönetim sistemlerinin verimliliğinin ve etkinliğinin artması,*
>
> *•Araç-araç, araç-altyapı, araç-merkez haberleşme sistemleri ile seyahat süresini azaltıp ulaşım kolaylığı sunması,*
>
> *•Trafik güvenliğine ve toplu ulaşıma katkı sağlayan Web-mobil uygulamalarının ortaya çıkmasının sağlanması,*
>
> *•Kameralar, algılayıcılar ve benzeri uygulamalar yardımıyla araç, çevre ve altyapıdan elde edilen büyük verinin analizi ile ulaşım kolaylığının sağlanması,*
>
> *•Elektrikli ve hibrit araçların artışına bağlı olarak akıllı enerji sistemlerine geçişle enerji tasarrufunun sağlanması,*
>
> *•Kameralardan ve benzeri uygulamalardan elde edilen verilerle kamu güvenliğinin sağlanması, • Gerçek zamanlı verilere dayanan mobil uygulamalar ve hizmetler sayesinde elde edilecek doğru ve anlık bilgiler ile yolcu ve yük hareketliliğinin optimize edilmesi*"
>
> (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019).

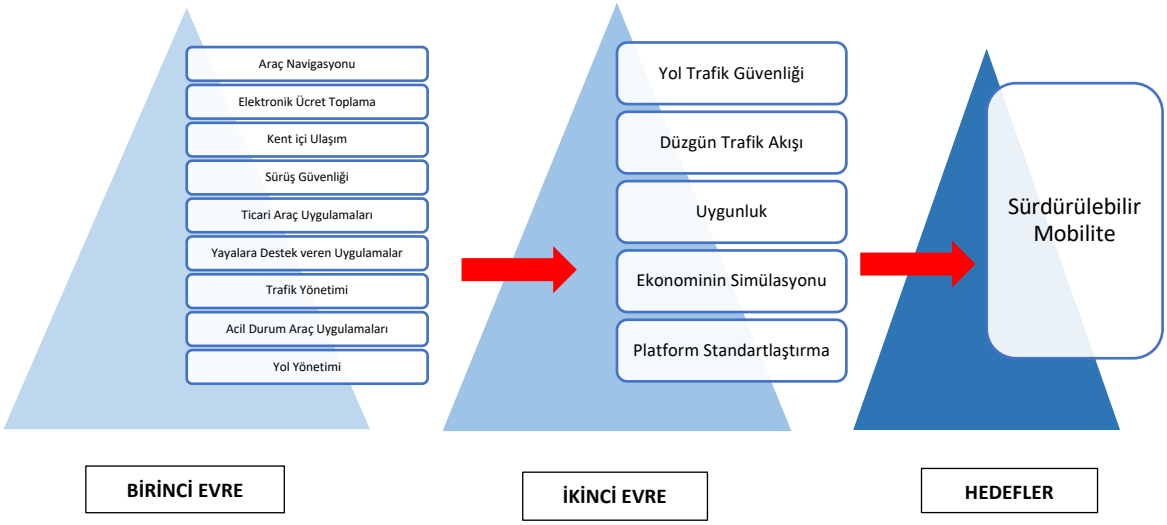
Ülkemizde AUS yaygınlaştırılması amacıyla birçok strateji belirlenmiş ve eylem planı hazırlanmıştır. Yapılan ana planların sürekliliğinin sağlanabilmesi amacıyla şehrin ihtiyaçlarını karşılayacak ulaşım ana planı hazırlanmalı ve uygun AUS politikaları belirlenmelidir. Bu çalışmada Hazırlanmakta Olan Adana Ulaşım Ana Planı'nın Akıllı Ulaşım Sistemi Stratejilerinin Belirlenmesi hedeflenmekte olup literatür çalışmalarına örnek olması hedeflenmiştir.

2.1. Akıllı Ulaşım Sistemleri Stratejileri Japonya Örneği'nin İncelenmesi

Japonya, Dünya sıralamasında 2. otomotiv üreticisi olup, Dünya'nın 3. Ekonomisi ve teknoloji transfer eden ülkesidir. Japonya'nın 2016 nüfusu 126.323.715 olup nüfusun %93,9'u kentlerde yaşarken %6,1'i kırsal alanlarda yaşamaktadır. Japonya'daki motorlu araç sayısı JAMA tarafından (2016) incelendiğinde otomobil 61.403.630,otobüs 232,321, kamyon 14.411.953 ve özel amaçlı araç 1.702.616 olmak üzere toplam 77.750.520 araç olarak açıklanmıştır (Tektaş & Tektaş, 2019).

Japonya sahip olduğu ekonomik gücü korumak amacıyla kendisine birçok farklı konuda stratejiler belirlemiş olup bu stratejilerden biriside AUS alanındaki çalışmalarıdır. 1995-

2015 yıllar arasında üç aşamalı AUS Eylem Planı Stratejisi belirlemiştir (TEKTAŞ & TEKTAŞ, 2019).



Şekil 19. Japonya 1995 -2015 Dönemi AUS Eylem Planı

Kaynak: (Tektaş & Tektaş, 2019)

1996-2004 yılları aralığı "Birinci Evre" olarak adlandırılmakta olup, 1996 yılında kapsamlı AUS Planı oluşturulmuş ve saha uygulamaları başlamıştır. 2004-2013 yılları aralığına "İkinci Evre" olarak adlandırılmış olup, otonom araç sistemlerinin entegrasyon basamaklarını ve otonom araç kullanımının arttırılmasına yönelik çalışmalar başlatılmıştır. 2013-2017 yılları aralığı "Üçüncü Evre" olarak adlandırılmış olup, ITS Japonya Taslak Planı çalışmaları içeriğinde "Sürdürülebilirlik ve Mobilite" kavramları başlığı kapsamında birçok çalışma başlatılmıştır.

Japonya AUS alanındaki yerini korumak ve 2018 sonrası stratejik eylem planlarına zemin hazırlamak amacıyla saha uygulamalarına ve yatırımlarına, Big data çalışmalarına, bilimsel araştırma ve yenilikçi projelerin oluşturulmasını ve sistem entegrasyonunun sağlanmasını hedeflenmiştir. Böylece AUS planlarına göre 2030 yılında oluşabilecek problemlere çözüm amaçlı stratejik hedefler belirlenmiş ve AUS eylem planlarını açıklamıştır (TEKTAŞ & TEKTAŞ, 2019).

Japonya, belirlediği stratejiler kapsamında haberleşme teknolojilerinden faydalanılarak VICS (Araç Bilgi ve İletişim Sistemi) ve ETC (Elektronik Geçiş Toplama Sistemi) kullanımlıyla ülke ekonomisine katkıda bulunmuştur. VICS, kullanıcıların açık ve ücretsiz verileri rota planlamalarında kullanarak mevcut yol kapasitesinin daha verimli kullanıldığı ve trafik sıkışıklığı probleminin önceki yıllara göre azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda 2009 yılında 35 milyon VICS satılarak çevreye verilen 2.4 milyon ton zararlı gaz emisyonu salınımının önüne geçildiği ispatlanmıştır (Tektaş & Tektaş, 2019).

ETC sistemi otoyol bölgelerinde kullanılmadan önce yapılan tüm geçişlerde araçlar geçiş kapılarında araçlar durmakta ve bu noktalarda uzun araç kuyruklarının oluşmasına sebep olmaktaydı. Japonya'da 2016 yılında tüm otomobillerin %87 'sini oluşturan 39 milyon otomobilde ETC kullanılmasıyla araç geçiş kapılarında yaşanan araç kuyruklarında %30 azalmanın olduğu hesaplanmıştır (TEKTAŞ & TEKTAŞ, 2019).

Japonya'da kullanılan AUS uygulamalarıyla mevcut yol kapasitesinin daha verimli kullanılmasıyla trafik sıkışıklığının, seyahatte geçen sürenin ve çevreye verilen zararlı gaz

emisyonlarının azaldığını ispatlanmıştır. Japonya AUS alanındaki çalışmaların dünyada pazarında büyük önem arz ettiğini ve AUS alanında zirvede kalmak amacıyla kendi politikalarını oluşturmuş ve hedefleri doğrultusunda yatırımlarını gerçekleştirilerek ülke ekonomisine büyük katkılar sağlamıştır.

3. Hazırlanmakta Olan Ulaşım Ana Planının Akıllı Ulaşım Sistemleri Açısından Değerlendirilmesi

Adana ilinde Ulaşım Ana Planı ilk kez 1992 yılında yapılmıştır. 1992 yılından 2020 yılına kadar herhangi bir ulaşım ana planı hazırlanmamış olup mevcut ulaşım ana planı güncelliğini yitirmiştir. Adana Ulaşım Ana Planı'nın hazırlanması yasal bir zorunluluk haline gelmiştir. Kentte yaşanan ulaşım problemlerini çözmek amacıyla mevcut durumun analiz edilmesi ve kentin imar planları doğrultusunda kısa, orta ve uzun dönemli ulaşım planlamaların yapılabilmesi amacıyla ulaşım ana planına ihtiyaç duyulmuştur.

Bu doğrultuda AUAP'nın 2020 yılında ihale aşaması tamamlanmış ve yeni bir ulaşım ana planı süreci başlatılmıştır. Hazırlanmakta olan Adana Ulaşım Ana Planı ülkemizde yapılan diğer planlara kıyasla yeni yeni benimsemekte olan paydaş katılım toplantıları içermektedir. Böylece toplumun katılımını önemseyen, talep ve görüşlerini dikkate alan ve sürecin belli aşamalarına dahil eden bir ulaşım ana planı hazırlanmaktadır. Hazırlanmakta olan AUAP raporlarından ilk olarak Mevcut Bilgilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi Raporu oluşturulmuştur.

Mevcut Bilgilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi Raporu'nun amacı; Adana kentinin mevcut yapısının açıklanmasına yardımcı olacak verilerin toplanması, değerlendirilmesi ve ilerleyen aşamalarda önerilerin geliştirilmesi için altlık oluşturmasıdır. Yolculuk talep tahmin modeli kurulması ve kalibrasyonu, dar boğazların belirlenmesi ve ulaşım ağına yönelik oluşturulacak önerilerin oluşturulması için gerekli olan, kente dair ekonomik, sosyal ve demografik özellikler elde edilerek bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Bu bölümde kent ile ilgili genel fiziki yapı; coğrafi konum, topoğrafik yapı, iklim koşullarının yanı sıra, ekonomik, sosyal ve demografik yapı; nüfus, istihdam durumu, gelir durumu, cinsiyet dağılımı, eğitim seviyesi, göç istatistikleri vb. veriler yer almaktadır. Ayrıca toplu taşıma, özel araç, bisiklet ve yaya ulaşımının envanterinin çıkarılması ve değerlendirilmesi de bu rapor kapsamında ele alınmıştır.

Ulaşım Dairesi Başkanlığı tarafından paylaşılan ulaşım verileri değerlendirildiğinde Adana ilinde AUS'nin yaygın olarak kullanılmağı tespit edilmiştir.

Karayolu ulaşımında Adana Büyükşehir Belediyesi Trafik ve Sinyalizasyon Şube Müdürlüğü'nden gelen veriler ışığında il genelinde henüz tamamlanan bir MOBESE sistemi, yeşil dalga koridor uygulamaları ve dinamik kavşak sistemleri yer almamaktadır. (Adana Büyükşehir Belediyesi, 2021).

Adana'daki toplu taşıma sistemleri incelendiğinde belediye otobüsleri, özel halk otobüsleri, hafif raylı sistem, minibüsler ve ticari taksiler hizmet vermektedir. Belediye otobüsleri, hafif raylı sistem, özel halk otobüsleri, dolmuş-minibüs taşımacılığında elektronik ücret toplama sisteminin kullanıldığı ama yolcu bilgilendirme sistemlerinin yaygın olarak kullanılamadığı bilgisine ulaşılmıştır. Ayrıca minibüs işletmeciliğinde yolcuların ücretlerini nakit bir şekilde ödediği, ödeme sisteminde bir bütünlük sağlanamadığın görülmektedir(Adana Büyükşehir Belediyesi, 2021).

Bisiklet ve Alt Yapısı incelendiğinde bisiklet yollarının olduğu fakat paylaşımlı bisiklet park istasyonlarının olmadığı görülmektedir. Paylaşımlı bisiklet park istasyonları planlama çalışmalarının devam etmekte olduğu ve kredi kartı ve/veya kent ulaşım kartları kullanılarak bisiklet kiralanmasını sağlayan akıllı üniteleri şehrin birçok noktasına yerleştirilmesi planlanmakta olduğu bilgisine ulaşılmıştır (Adana Büyükşehir Belediyesi, 2021).

Parkomat uygulaması değerlendirildiğinde şehir trafiğinin hareketli ve yoğun olduğu bölgelerinde 17 farklı noktada 2604 araçlık kapasite ile hizmet verildiği ödeme sisteminin ve yönlendirmelerin uygulamalarla değilde kişi ile yapıldığı kullanıldığı görülmektedir (Adana Büyükşehir Belediyesi, 2021)

4. Hazırlanmakta Olan Adana Ulaşım Ana Planı'nın Akıllı Ulaşım Stratejileri'nin Belirlenmesi

AUS uygulamalarının ülkemizde yaygınlaşması ve yerel yönetimleri yönlendirilmesi amacıyla gerekli stratejiler ve eylem planları oluşturulmuştur. Adana ilinde AUS uygulamaları incelendiğinde bu konuyla ilgili çalışmalara yeterince önem verilmediği görülmektedir. Örneğin kavşak yönetiminde deneme yanılma yöntemiyle sinyal düzenlerinin oluşturulduğu, çoğu kentte kullanılan paylaşımlı bisiklet uygulamalarının kullanılamadığı, modlar arasında ücret ödeme sisteminin entegre bir sistemin oluşturulamadığı, yolcu bilgilendirme sistemlerinin ve akıllı otopark sistemleri ile ilgili uygulamaların kullanılamadığı görülmektedir. AUS ile ilgili çalışmaların Adana ilinde yaygınlaştırılamamasının önemli nedenlerinden biri AUS altyapısının geliştirilmemiş olmasından kaynaklanmaktadır.

Hazırlanmakta olan AUAP içerisinde AUS altyapısının geliştirilmesiyle yol ve sürüş güvenliğinin sağlanması, yaşanabilir bir çevre ve bilinçli toplumun oluşturulmasıyla sürdürülebilir ve akıllı hareketliliğin sağlanması oluşturulacak olan verinin ücretsiz olarak paylaşılması ve veri güvenliğinin sağlanması stratejileri belirlenmelidir.

Hazırlanmakta olan AUAP kapsamında AUS stratejilerinin belirlenmesiyle sürdürülebilir, kaliteli ve entegre bir ulaşım planının oluşturulması sağlanabilir. '' Akıllı Ulaşım Bulut Sistemleri '' oluşturularak yapılan saha çalışmalarında oluşturulmuş ve oluşturulacak verilerin toplanması, analiz edilmesi saklanması, temizlenmesi, görselleştirilmesi, yorumlanarak paylaşılması sağlanmalıdır.

AUAP kapsamında '' Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Ağı '' nın oluşturulabilmesi amacıyla öncelikle kentiçi ulaşımın mevcut durumun ortaya konularak eksikliklerin belirlenmesi ve yolculuk taleplerine en uygun toplu taşıma stratejisinin belirlenmesi gerekmektedir. Adana ilinde ''Akıllı Toplu Ulaşım Sistemler'' alt yapısının oluşturulması ve toplu taşıma ağının tek bir merkezden yönetilmesiyle yolculuk taleplerinin incelenmesi ve modlar arası entegrasyon için sürdürülebilir bir toplu taşıma ağının tasarlanması hedeflenmelidir. Böyle bir planlama sürdürülebilir amacıyla Adana kentindeki tüm ulaşım modlarında tek kart uygulamasına geçilerek gün içinde yapılan yolculukların analiz edilmesi aktarma ve ücret politikalarının belirlenmesi gerekmektedir.

Kullanıcıların yolculuklarını yolculuk öncesinde ve sırasında planlamaları için gerekli bilgileri cep uygulamalarından edinebileceği gibi elektronik otobüs duraklarının online güncellenen takip ekranlarından da takip ederek planlamasına olanak sağlayan '' Yolcu Bilgilendirme Sistemleri '' kullanılmalıdır.

Adana'da yapılacak olan yolculukların büyük bir kısmında toplu taşıma araçları, bisiklet ve yaya olarak gerçekleştirilebilmesi amacıyla '' Park Et-Devam Et Uygulamalarının, Araç Paylaşımı ve Akıllı Bisiklet Uygulamaları '' nın yaygınlaştırılması hedeflenmelidir.

'' Toplu Taşıma Şeritlerinin Oluşturulması '' ve '' Toplu Taşıma Öncelik Sinyalizasyon Sistemleri '' ne öncelik verilerek seyahat sürelerinin azaltılması, hızlı, güvenli ve konforlu bir planlama sayesinde toplu taşıma sistemlerinin kullanılmasına teşvik edilmesi sağlanmalıdır.

'' Toplu Taşıma ve Hizmet Araçlarında Elektrikli Araçların Kullanılması ve Toplu Taşımanın Teşvik Edilmesi '' durak ve istasyonlarda kısa sürede şarj edilebilmesi sağlanmalıdır.

Adana'da ''Akıllı Otopark Uygulaması '' ile sürücülere mobil uygulama kullanımı ile boş park alanları, ücret ödeme şekilleri, alternatif yer bilgileri, uyarı ve yönlendirmeler yapılarak mevcut karayolunda yaşanan trafik sıkışıklığının engellenerek kapasitenin daha verimli kullanılması bununla birlikte yakıt tüketimi azaltılması ve yasadışı paklanmaların önüne geçilmesi sağlanmış olur. Ayrıca '' Elektrikli Araç Şarj İstasyon '' u noktaları tanımlanırken sürücülerin otoparklar alanlarında da araçlarını şarj edebilmesi amacıyla gerekli altyapının oluşturulması ve kullanılan mobil uygulamalara entegre edilerek kullanıcı bilgilendirilmesi sağlanmış olacaktır.

Adana'da '' Bisiklet Kullanımının Yaygınlaştırılması '' amacıyla; mevcutta var olan bisiklet yollarıyla birlikte kent içinde 135 km bisiklet yol ağının oluşturulması hedeflenmiştir. Böyle bir proje kapsamında akıllı ulaşım sistemlerinden yararlanılarak ''Akıllı Bisiklet Durakları '' planlanması ve mobil aplikasyon aracılığıyla konum bilgisi kullanılarak en yakın istasyon, doluluk bilgisinin, rota tanımıyla birlikte farklı modlarında kullanımını sağlayacak yolculukların planlamasına imkân verilmesi sağlanmalıdır. Ayrıca yapılan yolculuk verileri kullanılarak talep edilen yeni bisiklet yol ağlarının oluşturulmasında altlık oluşturabilmesi sağlanmalıdır.

Adana'da '' Trafik Kontrol Merkezi '' nin kurulmasıyla ve alt yapıların oluşturulmasıyla AUS tarafından gerçek zamanlı verilerin toplanması, toplanan verilerin arşivlenmesi ve yeniden kullanılması sayesinde pek çok ulaşım analizleri yapılarak mevcut yol ağı kapasitesinin etkin olarak planlanması ve Gerçek Zamanlı ve Dinamik Kavşak Yönetim Sistemleri yönetilmesi hedeflenmelidir. Anlık trafik yoğunluk verileri üretilerek yol bilgilerin sürücülerin anlık olarak Değişken Mesaj Sistemi (VMS) ve yoğunluk haritalarıyla kullanılarak bilgilendirilmesi ve zaman tasarrufunun sağlanabilmesi, yapılacak yolculuklar planlanabilmesi sağlanmalıdır.

Adana iline akıcı bir trafik akışının sağlanabilmesi ve kontrol edilebilmesi, trafikte kural ihlali yapan (kırmızı ışık-park ihlali-yaya yolu ihmal, yasa dışı parklanma vb) araçların önüne geçilebilmesi, can ve mal emniyetinin sağlanması için güvenli, '' Elektronik Denetleme Sistemlerinin (EDS) '' kurulması gerekmektedir.

Türkiye'de gelecekte büyük bir payı oluşturulacak '' Elektrikli Araçlar '' önemi giderek artmakta ve Adana'da bulunan üretim tesisinde olan TEMSA, elektrikli otobüslerde kullandığı batarya paketlerini üretmiş ve ilk elektrikli otobüs ihracını İsveç'e yapmıştır. 2025 yılına kadarda ihraç ettiği otobüslerin yarısının elektrikli olmasını hedeflemiştir (HABER7, 2021). Bu kapsamda Adana'da '' Yakıt Tüketimi ve Emisyonların Azaltılması '' amacıyla EA teknolojilerinin benimsenmesi ve günümüzde ulaşım tercihlerini değiştirdiği gibi gelecekte bu ulaşım sektöründe en büyük payı oluşturulacağı öngörülmektedir. Adana'da üretimi yapılan EA Türkiye'nin merkez üretim sahası boyutunda geliştirilerek ülkemizde elektrikli araç kullanımına teşvik edilmelidir.

Dünya gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde otonom sistemler üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar genellikle toplu taşıma sistemlerinde ve bireysel araçlarda test

edilmektedir. Adana'da " Otonom Araç " teknolojileri benimsenmesi ve test koridorlarının oluşturulması sağlanmalıdır. Böylece otonom araçlarda, araç diğer taşıtlar, mevcut altyapı ve diğer trafik bileşenleri ile sürekli iletişim kurması sağlayarak gelişmekte olan teknolojiye öncü stratejiler belirlenerek hayata geçirilmesi sağlanabilir.

Adana'da sanayi ve tarım faaliyetlerinin yoğun olduğu ve üretim sahasından çıkan ürün tedariğinin sürdürülebilir bir şekilde sağlanabilmesi amacıyla izlenmesi gerek AUS politikaları oluşturulmalıdır. Lojistik merkezlerinin uygun ulaşım modları entegrasyonu sağlanarak uygun rota planlaması ve lojistikte otonom ve elektrikli araçların kullanımına yönelik çalışmalar yapılması gerekmektedir.

5. Sonuç

" Hazırlanmakta olan Adana Ulaşım Ana Planı'nın Akıllı Ulaşım Sistemleri Stratejileri'nin Belirlenmesi " amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Adana ilinde Ulaşım Ana Planı ilk kez 1992 yılında yapılmıştır. 1992 yılından bu yıla herhangi bir ulaşım ana planı yapılmamış olup mevcut ulaşım ana planı güncelliğini yitirmiştir. Adana için Ulaşım Ana Planı'nın yapılması yasal bir zorunluluk haline gelmiş olup 2020 yılında Adana Ulaşım Ana Planı çalışmalarına başlanmıştır. Hazırlanmakta olan plan kapsamında 2021 yılı içinde Mevcut Bilgiler Raporu teslim edilmiştir. Hazırlanmakta olan Adana Ulaşım Ana Planı ülkemizde yapılan diğer planlara kıyasla yeni yeni benimsemekte olan paydaş katılım toplantıları içermektedir. Böylece toplumun katılımını önemseyen, talep ve görüşlerini dikkate alan ve sürecin belli aşamalarına dahil eden bir ulaşım ana planı niteliği taşımaktadır.

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle insan hayatını kolaylaştığı ve verimliliğin arttığı birçok alanda kullanılmaya başlandığı gözlemlenmiştir. Teknolojinin sağladığı faydalar sayesinde kentlerde yaşam kalitesinin attığı gözlemlenmiş olup akıllı kent kavramı hızlı bir şekilde yaşamımızın içerisinde yer almaya başlamıştır. Bu kavramın en önemli alt başlıklarından biri Akıllı Ulaşım Sistemleri'dir. Dünya üzerinde kullanılmakta olan iyi AUS uygulamaları incelendiğinde AUS kullanılmasıyla seyahat sürelerinin azaldığı, kullanıcı bilgilendirme sistemleri kullanılarak mevcut kapasitenin daha verimli kullanıldığı, modlar arası entegrasyonun sağlanması ve toplu taşıma öncelikli sistemlerinin daha aktif kullanılmasıyla bireysel araç kullanımının azaldığı, planlama çalışmalarında güncel verilerin toplanarak analiz edilmesi ve uygulama basamaklarında daha az kaynak kullanıldığı ve ülke ekonomisine çok büyük katkılar sağladığı ispatlanmıştır. Böylece ülkemizde de gelişmekte olan AUS sağladığı faydalarla daha çok desteklenmeye başlamıştır. Akıllı kent ve akıllı ulaşım sistemleri başlıkları ve konuyla ilgili kavramlar T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve T.C. Kalkınma Bakanlığı tarafından hazırlanmış olan, kalkınma planları, strateji ve eylem planlarında yer almasıyla yerel yönetimlerin doğru bir şekilde bilgilendirerek gerekli politikaları benimsenmesi amaçlanmıştır.

Hazırlanmakta olan Adana Ulaşım Ana Planı kapsamında teslim edilen Mevcut Bilgiler Raporu incelendiğinde AUS ile ilgili sistemlerin kentte yaygın olarak kullanılmadığı ve altyapı ile ilgili çalışmaların yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Adana ilinde yerel yönetimin AUS yaygınlaştırması amacıyla ilk olarak Hazırlanmakta olan Adana Ulaşım Ana Planı Akıllı Ulaşım Sistemleri Stratejilerinin belirlenmesiyle gerekmektedir. Böylece sürdürülebilir, kaliteli ve entegre bir ulaşım planının oluşturulması sağlanabilir. Adana Ulaşım Ana Plan sürecinde kentin ulaşımla ilgili mevcut ve gelecekte yaşayabileceği ulaşım problemleri değerlendirilerek kısa, orta ve uzun vadede çözüm stratejileri belirlenecektir. Kent için çeşitli ulaşım senaryoların değerlendirilmesiyle en uygun toplu taşıma sisteminin belirlendiği vizyon projesi hazırlanacaktır. Çözüm amacıyla uygulanacak olan projeler

yüksek maliyetler içereceği için doğru projelerin uygulanması ve ülke ekonomisine katkısı büyük önem arz etmektedir.

Akıllı Ulaşım Bulut Sistemleri oluşturularak yapılan saha çalışmalarında oluşturulmuş ve oluşturulacak verilerin toplanması, analiz edilmesi saklanması, temizlenmesi, görselleştirilmesi, yorumlanarak ve paylaşılması sağlanmalıdır. ‘‘ Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Ağı ’’ nın oluşturulabilmesi için en uygun toplu taşıma stratejisinin belirlenmesi gerekmektedir. Toplu taşıma araçlarında kullanılan kişiselleştirilmiş kart sayesinde yolculuk verileri ve saha çalışmalarıyla elde edilen veriler birlikte değerlendirilerek uygun ulaşım modları seçilerek entegrasyonu sağlanmalıdır. ‘‘ Akıllı Toplu Ulaşım Sistemler ’’ oluşturulması ve anlık olarak kullanıcının bilgilendirilmesi amacıyla Yolcu Bilgilendirme Sistemleri kullanılmalıdır. ‘‘ Toplu Taşıma Şeritlerinin Oluşturulması ’’ veya ‘‘ Toplu Taşıma Öncelik Sinyalizasyon Sistemleri ’’ kullanılmasıyla daha hızlı ve güvenilir bir sistem tasarlanmış olunacaktır. Park Et-Devam Et Uygulamalarının, Araç Paylaşımı ve Akıllı Bisiklet uygulamalarının yaygınlaştırılmasıyla ulaşım modlarının entegrasyonunun sağlanması planlanmalarıdır.

Toplu taşıma filolarında ve hizmet araçlarında elektrikli araçların kullanılması ve toplu taşımanın teşvik edilmesi ve elektrikli araç şarj istasyon noktalarının gelişmesiyle daha çevreci bir akıllı ulaşım sistemi oluşturulacak olup ülke için belirlenen politikalar için örnek olması sağlanacaktır. ‘‘Akıllı Otopark Uygulaması’’ ile trafikte geçirilen süre azaltılarak mevcut yol kapasitesi daha verimli kullanıldığı gibi daha az karbon emisyonu yayılmış olacaktır. ‘‘ Trafik Kontrol Merkezi ’’ kurulmasıyla sahadan anlık olarak gelen veriler analiz edilerek dinamik kavşak yönetim sistemleri ve değişken mesaj sistem sayesinde yol kapasiteleri en verimli şekilde kullanılacak olup yolculuk sürelerinde azalmalar sağlanmış olunacaktır. ‘‘ Elektrikli araç ve Otonom Araç ’’ konularında yapılacak çalışmalarla çevreci hem de ekonomik çözümler üretilmesiyle ülke ekonomisine destek sağlanmış olunacaktır. Adana ilinde özellikle lojistik sektöründe kullanılacak akıllı sistemler, otonom araçlar ve elektrikli araçlar sayesinde daha hızlı, ekonomik ve güvenilir operasyonların planlanması sağlanmalıdır.

Hazırlanmakta olan Adana Ulaşım Ana Planı’nın Akıllı Ulaşım Sistemi Stratejilerinin Belirlenmesiyle daha kapsamlı, sürdürülebilir ve kaliteli bir ulaşım sistemi planlanması ve uygulanmasıyla ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Yerel yönetimler için AUS Stratejileri’nin Ulaşım Ana Planı içerisinde bütüncül bir şekilde ele almasıyla hazırlanacak olan ulaşım ana planları için örnek teşkil ederek yeni bir anlayış kazandıracaktır.

6. Kaynaklar

Adana Büyükşehir Belediyesi. (2021).

AKI, M. Ö. (2017, Ekim). İzmir Sürdürülebilir Ulaşım Projesi. https://wrisehirler.org/arastirma/yayin/izmir-s%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir-ula%C5%9F%C4%B1m-projesi adresinden alındı

HABER7. (2021, 06 12). https://otomobil.haber7.com/otomobil/haber/3056675-temsadan-yerli-teknolojiyle-dunyaya-elektrikli-arac-hamlesi adresinden alındı

Kavşak Ağı. (tarih yok). Kavşak-Türkiye Kent İçi Ulaşım Ağı. *Sürdürülebilirlik & Güvenli*. https://kavsak.net/bilgi-bankasi/onemli-kaynaklar/ adresinden alındı

Korkmazlar, B., & Polat, E. (2019). Kentsel Ulaşımda Esnek, Akıllı ve Yeni Bir Planlama Yaklaşımı: Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planları. *Kent Ekonomisi*, 225-240. doi:0000-0002-9889-7199

MAtchUP. (2021, 09 12). Antalya. https://www.matchup-project.eu/cities/antalya/ adresinden alındı

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı . (2019). *2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı .* Ankara.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2019). *2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı .*

T.C. Kalkınma Bakanlığı . (2019). *Onbirinci Kalkınma Planı .*

T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2006). *Dokuzuncu Kalkınma Planı.*

T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2013). *Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018 .*

TBB. (2014). *Ulaşım Planlama Çalışmaları ve Ulaşım Ana Planı Hazırlama Kılavuzu.* Kılavuz, Türkiye Belediyeler Birliği, Ankara.

Tektaş, M., & Tektaş, N. (2019). Akıllı ulaşım sistemleri(AUS) uygulamalarının sektörlere göre dağılımı. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 32-41.

TEKTAŞ, N., & TEKTAŞ, M. (2019). Dünyada Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Gelecek Hedefleri Japonya Örneğinin İncelenmesi. *PARADOKS Ekonomi Sosyoloji ve Politika Dergisi*, 189-210.

Blok Zincir ve Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Uygulama Alanları

*Serhat Doğan[1], Mehmet Tektaş[2]

[1]Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bandırma, Türkiye

[2] Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği, Bandırma, Türkiye

* serhat.dogan@assanfoods.com.tr;serhat.dogan@ogrbandirma.edu.tr

Özet

Bilgi ve iletişim teknolojilerinin son zamanlarda hızla geliştiği dönemde, kripto paralar ile yaşamımıza giren Blockchain kavramı artık her anlamda kullanılmaya başlamıştır. Blokzinciri teknolojisi mevcut veri tabanı mantığından farklı olarak merkezi otoritedeki yetkilerin zincirdeki her bir düğüme dağıtılarak yetki ve sorumluluk paylaşımını sağlamaktadır. Blokzinciri kavramının insanların algıladığı gibi sadece dijital paralarla ilgili olmadığı, dağıtık yapısı, veri güvenliği ve şeffaflık gibi özelliklerinin yanında barındırdığı uzlaşma protokolleri, güvenlik yapıları ve akıllı sözleşmeler gibi teknolojiler ile birlikte kullanımının anlaşılması önemlidir.Şirketlerin gücünü belirleyen tedarik zinciri yapıları içinde Blockchain teknolojisinin girmesi ile operasyonlar daha hızlı,çevik ve akıllı hale gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: tedarik zinciri, akıllı ulaşım sistemleri, akıllı tedarik zinciri, akıllı konteynır

Abstract

In the period when information and communication technologies have developed rapidly recently, the concept of Blockchain, which has entered our lives with crypto coins, has now started to be used in every sense. Unlike the existing database logic, blockchain technology provides the authority and responsibility sharing by distributing the authorities in the central authority to each node in the chain. It is important to understand that the concept of blockchain is not only related to digital currencies as people perceive, but its use with technologies such as consensus protocols, security structures and smart contracts, as well as its distributed structure, data security and transparency. has become faster, more agile and intelligence.

Keywords: Blockchain, intelligence transportation systems, supply chain, intelligence container

Akıllı Tedarik Zinciri

1.1 Tedarik Zinciri

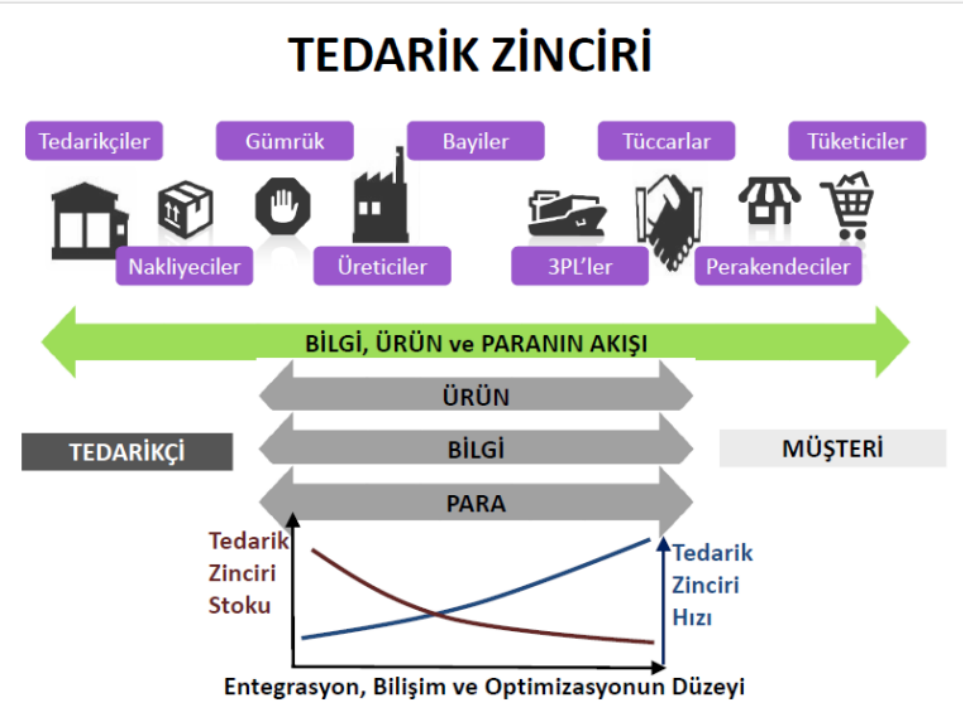
Tedarik zinciri, hammadde temini yapan, onları ara mal ve nihai ürünlere çeviren ve nihai ürünleri müşterilere dağıtan, üretici ve dağıtıcıların oluşturduğu bir ağdır [1].



Şekil 1. Tedarik Zinciri

1.2 Tedarik Zinciri Akışları

Tedarik zinciri yukarıda görüldüğü gibi temel 3 akıştan oluşan bir yapıyken hedefi nedir sorusu sorulduğunda, entegrasyon ile bilgi akışını hızlandırmak, artan bilgi hızıyla müşteri taleplerini daha sağlıklı karşılamak, yine bilgi akışı sayesinde geleceği tüm zincir için daha görünür hale getirmek böylelikle zincirin toplam maliyetini en azlarken, zincirin her halkası için karlılığı ve bittiği noktada müşteri memnuniyetini en fazlalamaktır. Böylelikle zincirin sürüdürülebilirliği de sağlanabilir olacaktır.

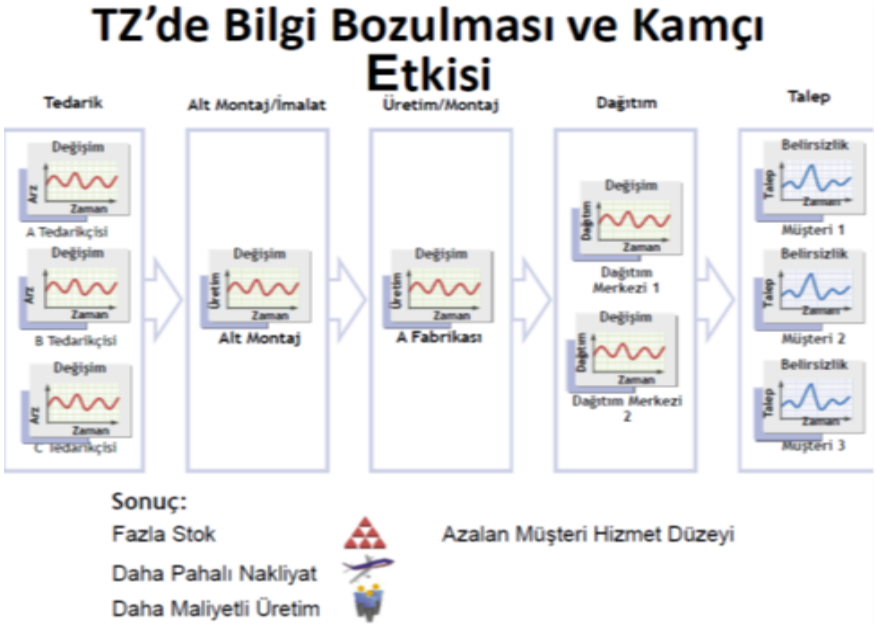


Şekil 2. Tedarik Zinciri Yapısı

1.3 Bilişim Sistemleri

Tedarik Zincirlerinde akışın sağlanması gereken en önemli alan verinin bilgiye, bilginin enformasyona dönüştüğü bilişim sistemleridir. Eğer bilgi akışı yeterli kalitede, sıklıkta ve doğrulukta değilse, şirket kamçı etkisi gibi etkilere maruz kalabilmekte ve bunun sonucunda yüksek stok veya yok satma gibi risklerle karşı karşıya kalabilmektedir. Bunun önüne geçebilmemiz için ihtiyacımız olan şey daha iyi iletişimdir. "Peki nasıl daha iyi iletişebiliriz?" sorusunu sorduğumuzda karşımıza cevap olarak TZY'de bilgi sistemleri uygulamaları çıktığını görürürüz.

Bir bilişim sistemin (BS) anlaşılmasındaki ilk adım bilgisayar ya da teknoljiyle aynı olmadığının belirtilmesidir. Bir BS verilerin toplandığı, işlendiği ve dağıtıldığı bir sistemdir. Evrak dosyalama sistemi bir bilgis sistemidir ve bazen pahalı veya yüksek teknolojiye dayanan bir sistemden daha iyi bir çözüm olabilir. Başka bir deyişle, bilgi yönetimini araçlarla karıştırmayın. Bilgisayarlar, net ve telekomünikasyon, sadece araçlardır. Bu yüzden onları kullanan insanların kullandıkları şekilde çalışırlar. Bilişim sisteminin yine ne kadar önemli olduğunu görmek için bilgi akışındaki bozulmaların kamçı etkisine nasıl sebep olduğunu da yine görmek gerekir. Dolayısıyla doğru bilişim sistemi doğru personel ve doğru bilgiye dayanarak işletilmelidir [2].



Şekil 3. TZ'de Bilgi Bozulması ve Kamçı Etkisi

Tedarik Zincirinde bilgi bozulmasının en önemli etkisi olan Kırbaç etkisi nedeniyle operasyonel anlamdan verimsizlikler, katma değeri düşük işlemlerin tekrarlanması, ara envanter değerlerinin yükselmesi ve nakit akışında bozulmalar gibi olumsuz etkiler yaratır. Kırbaç etkilerini en aza indirmenin en etkili yollarından biri Bilgi Sistemlerini maksimum düzeyde kullanarak anlık veriyi paylaşarak Tedarik Zincirini daha akıllı hale getirmektir. Anlık bilgi paylaşımı uçtan uca süreçlerde paydaşların bir önceki ve bir sonraki veriye ulaşımını hızlandırarak kırbaş dalga boyunu azaltmaktadır. Öyle ise; tedarik zincirini nasıl akıllı hale getireceğiz?

1.4 Akıllı Veri

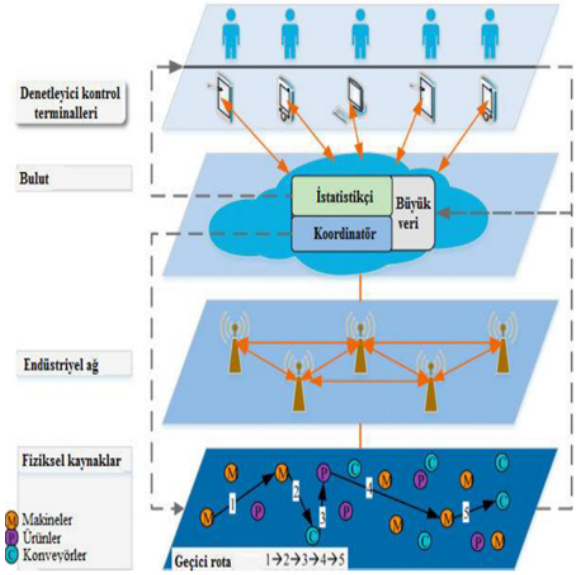
Tedarik süreçlerinin hızlı ve verimli gerçekleşmesi, karar mekanizmalarının sağlıklı ve doğru çalışması adına önemli network ağları kurulmaya başlanmıştır. Oluşturulan network ağları donanımsal (Güç Kaynağı, Anten, Kart Okuyucuları, Akıllı Kartlar vb.) ihtiyaçların yanında yazılım ihtiyaçlarını da beraberinde getirmiştir. Böylelikle 3D yazıcılar, bulut bilişim sistemleri, nesnelerin interneti (IoT), hizmetlerin interneti, siber fiziksel internet, RFID teknoloji ile haberleşen ekipmanlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişmeler envanter süreçlerinin takibi, hammadde ve mamullerin transfer süreçlerinin gerçek zamanlı izlenmesi ile hata riskini ortadan kaldırmaya yönelik fayda sağlamaktadır. Küreselleşen rekabetçi dünya ticaretinde dağıtım ve imalat süreçlerinin birçok karmaşık işlemlerinin bulunması, firmaların faaliyetlerini gerçekleştirmesini zorlaştırmaktadır. Firmalar mevcut bu karmaşık yapılarını daha güvenli yönetebilmek için teknolojik gelişmelerden faydalanmaktadırlar. Bu bağlamda, bilgisayarda dizayn edilen verilerin prototipe dönüştürülmesi 3D yazıcılar sayesinde yapılmaktadır. Geliştirilen ürünler, hizmetler veya veriler internet yardımı ile paylaşılmakta ve belirli bir şifre ile yine internet yardımıyla erişilir hale gelmektedir. Bulut bilişim sayesinde veri aktarımı ve erişimi de aynı kolaylıkla sağlanabilmektedir. Sektörel ihtiyaca yönelik yapay zeka ile çalışan sistemler, robotlar ve makinalarda yine Endüstri 4.0 kapsamında kullanılmaktadır.

Tedarik zincirinde bazı belirsizlikler bulunmaktadır. Bu belirsizlikler için bilişim Sistemleri teknolojisinin kullanılması sayesinde belirsizlikler giderilmekte ve belirsizliklerin olumsuz etkileri bertaraf edilebilmektedir. Nihai tüketici taleplerinin miktarı ne kadar büyük olursa olsun sipariş edilen ürünler zamanında teslim edilmelidir. Tüm bu çıktılara ilişkin, her bir iş emrinin ve kayıtlı envanter seviyesinin, kademeler arasında yeni iş emirlerine cevap verecek envanter seviyesinde tutulması gerekmektedir. Tedarik zinciri üretilen ürünün tam, zamanında ve doğru bir şekilde tüketiciye ulaşması firmalar açısından çok önemlidir. Bu bakımdan tedarik zincirinin en üst düzeyde yönetilmesi açısından sürekli yeni fikirler ortaya atılarak çalışmalar gerçekleştirilmektedir. İlk kez Almanya'nın Hannover şehrinde 2011 yılında düzenlenen fuarda yeni bir kavram olarak Almanlar tarafından tanıtılan Endüstri 4.0 (Yıldız, 2018: 547) kavramı, hayatımızdaki her sektörde yenilikler getirdiği gibi fabrikalardaki üretim süreçlerinin gerçekleşmesi bakımından da yenilikler ortaya koymuştur. Ortaya atılan bu kavramı diğer tüm kavramlardan ayıran özelliği, önceki kavramlarda sadece üretim süreçlerinin hızlanmasının sağlamaya çalışılmakta iken; Endüstri 4.0 kavramı aynı zamanda tüketicilerin ihtiyaçlarının sürekli farklılaşmasına yönelik yeni sistemlerin geliştirilmesini sağlayabilmektedir. Bu bağlamda insan gücünün giderek azaldığı üretimin akıllı robotlar ve internet veri tabanlı iletişim kuran nesneler tarafından gerçekleştirilen akıllı fabrikalar kurulmaya başlanmıştır. Üretim aşamasında işçinin olmaması nedeniyle bu tür fabrikalara karanlık fabrikalarda denilmektedir. Karanlık fabrikalara ilk örnek Çin'de cep telefonu modülü üreten fabrikada hayat bulmuştur. Bu şekilde faaliyetini sürdüren fabrika hatalı ürünlerin oluşma oranını %25'den %5'e kadar azaltmıştır.

Akıllı verilere dayalı yapılan bu üretim sistemlerinin sağladığı faydaları şöyle sıralayabiliriz; [3] (https://proente.com/akilli-cihazlar-akilli-fabrikalar)

- Depo yönetiminin etkili ve verimli kullanılmasının sağlanması,
- GPRS yardımı ile distribütörlere yapılacak sevkiyatların ve envanterlerinin takip edilmesi,
- Müşterilerin tedarik süreçlerinin takip edebilmesinden dolayı, müşteri memnuniyetlerinin artması,

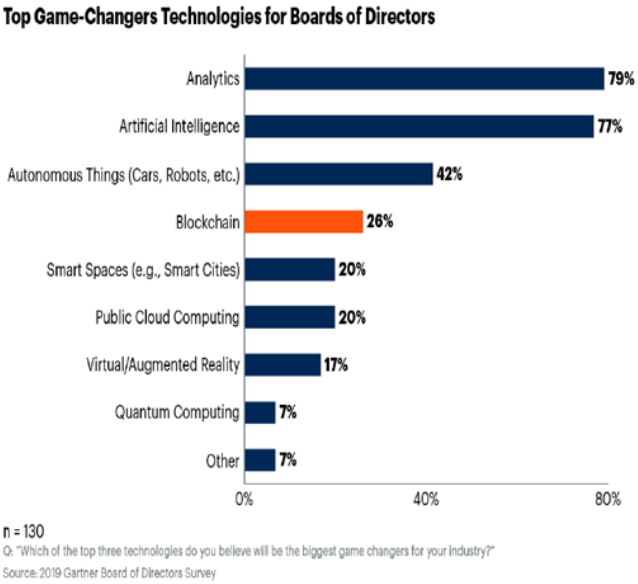
- Üretim aşamalarında oluşan hata paylarının minimize edilmesi,
- Üretimin akıllı robotlar tarafından yapılmasından dolayı, işçi maliyetlerinin azalması,
- Üretim süreçlerinin non-stop devam ettirilebilmesi,
- Üretim süreçleri belirli çerçeve ile çizildiğinden dolayı, standart üretim kalitesine ulaşılması,
- Üretim randıman oranlarının doğru bir şekilde hesaplanabilmesi,
- Tam otomasyon ile çalışan karanlık fabrikalarda zamandan tasarruf edilebilmesi [4]



Şek.4. Akıllı Fabrika Çerçevesi [5]

Akıllı Fabrika, Endüstri 4.0 ve Akıllı Ulaşım Teknolojileri içerisinde son zamanlarda kripto para olarak adlandırılan değerlerin yönetimi ihtiyacından çıkan Blockchain teknolojisi uctan uca süreç yapısı ile tüm akıllı teknolojileri kapsayacak bir biçimde gelişim göstermektedir. Bu kapsamda Tedarik zincirlerinin evrimi bu teknoloji üzerinden devam edecek gibi görünmektedir. Dijital olarak altyapısını güçlendiren Tedarik Zinciri organizasyonları Blockchain teknolojisine daha kısa sürede adapte olarak süreçlerini verimli ve daha az maliyetli operasyonlar olarak yapacaktır.

Global çapta Tedarik Zinciri ve Bilişim sektörleri içinde eğitim ve danışmanlık alanında faaliyet gösteren en büyük şirketlerden biri olaran Gartner'ın 2019 yılında 130 büyük şirketin Yönetim kurullarına bir anket vasıtası ile yönelttiği "Bulunduğunuz sektörde oyunun kurallarını değiştirecek 3 büyük teknoloji nedir?" Sorusuna verdikleri cevapların %26 sında Blok Zincir teknolojisi yer almıştır. Burada %79 Analitik Uygulamalar, %77 Yapay Zeka , %42 ile de Otonom Cihazlar (araçlar,robotlar , vs ...) almıştır.



Şek.5. Gartner 2019 Yönetim Anketi [6]

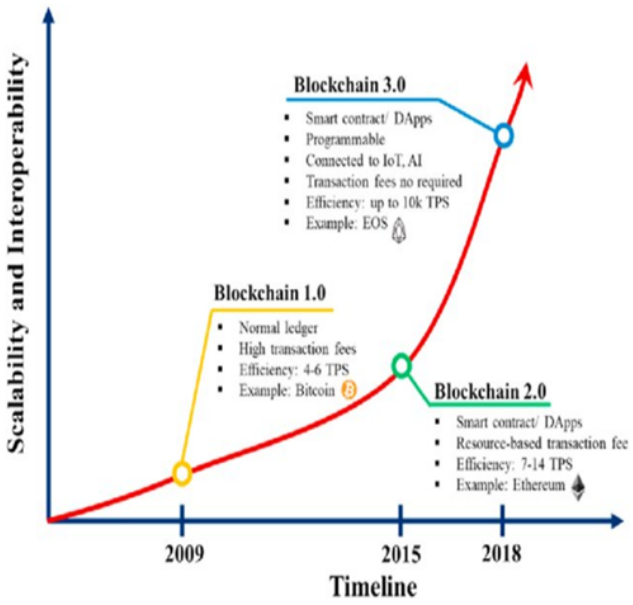
2.Blockchain (Blok Zincir) Teknolojisi

2.1.Blockchain Teknolojisi

Blokzincir için yapılmış tanımları ve alınyazın taramalarını incelediğimizde bununla ilgili son zamanlarda artış olsa da , fazla bir kaynak olmamaktadır. Blokzinciri kelimesi ilk kez gerçek kimliği henüz bilinmeyen Satoshi Nakamoto isimli bir yazarın "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" adlı makalesinde kullanılmıştır [7].

Nakamoto' ya göre blokzinciri, yapılan her işlem bilgisinin ağdaki katılımcılar tarafından kaydedildiği ve paylaşıldığı dağıtılmış bir veri yapısıdır. Beck' e göre ise blokzinciri, ağdaki çok sayıda düğüm tarafından güvenli ve tutarlı işlemlerin yapılmasını sağlayan bir veritabanıdır. Zheng vd. blokzincirini, onaylanan tüm işlemlerin blok listeleri halinde depolandığı ve yeni bloklar eklendikçe büyüyen bir veri defteri olarak tanımlamıştır. Reyna vd. göre blokzinciri, işlemlerin güvenirliğinin ağdaki paydaşlar tarafından doğrulandığı dağıtılmış, şeffaf, değiştirilemez ve güvenli bir veri yapısıdır. Glaser blokzincirini, kullanıcıları arasında paylaşılan ve bir aracı veya merkezi otoriteye ihtiyaç duymadan değerli varlıkların kayıtlarının kamuya açık ve takma isimlerle kaydedildiği bir veritabanı olarak tanımlamıştır. Tama vd. tarafından blokzinciri, amacı veri bütünlüğü sağlamak olan dağıtılmış bir yazılım sisteminin bir parçası olarak ifade edilmiştir. Bazı araştırmacılar blokzincirin ayrıntılı bölümlerini ihmal ederek sadece veri bütünlüğüne odaklanmaktadır. Örneğin Halpin vd. blokzinciri sadece kriptografik olarak doğrulanabilir bir veri listesi olarak tanımlamaktadır. Teknik açıdan bakıldığında blokzinciri, dağıtık bir veritabanı, merkezi olmayan mutabakat mekanizması ve kriptografik algoritmaların birleşimi olarak tanımlanması doğru olacaktır. Blokzinciri üzerinde yapılan işlem verileri kriptografik olarak birbirine bağlı ve potansiyel olarak sonsuz olan veri blokları dizisinde saklanır. Bu blokların oluşması, yapılan işlemlerin doğruluğunun ve geçerliliğinin merkezi olmayan zaman damgalı algoritmalar aracılığıyla katılımcı düğümler tarafından oylanması sonucu sağlanır. Zhao vd. blokzincirin en önemli özelliği olarak, insanların takibi ve kontrolü yerine ağa dayalı

hesaplamalar yoluyla güvenilir ve şeffaf işlemlerin desteklenmesini göstermiştir. Bu özelliği ile blokzinciri "etkileşimler için işletim sistemi" olarak düşünülebilir. Lewis' e göre blokzinciri ve geleneksel veritabanları arasındaki ana fark olarak, blokzincirinin yeni kayıt ekleme, bilgilerin doğrulanması ve dağıtılması gibi işlemleri için P2P ağı üzerinde mutabakat kurallarına dayalı çözümler sunan gelişmiştirilmiş bir veritabanı olması gösterilmiştir.



Şek.5. Blockchain gelişim eğrisi

Blockchain teknolojisinin gelişimi finansal ihtiyaçlardan çıkmış olsa da , literatürde 3 evreden oluştuğu varsayılır.1. evre Bitcoin para biriminin kullanılması ile başlamıştır. 2. Evrede Etherium para birimi kullanılmaya başlanılmıştır. Aynı zamanda Endüstri 4.0 teknolojisinde kullanılan internet of things (IoT) ve yapay zeka da işin içine girmiştir. Dijital toplum olarak da adlandırılan Blokzinciri 3.0, para, sözleşme, finansal uygulamalar dışında bilim, sanat, sağlık, eğitim, iletişim, yönetim ve denetim alanlarını da kapsamaktadır . Blokzinciri teknolojisinin gelecek vadeden en önemli uygulamalarından biri, akıllı yönetim, akıllı ulaşım, akıllı yaşam, doğal kaynakların akıllı kullanımı ve akıllı ekonomi gibi kavramların tümünü içeren akıllı kentlerdir. Nesnelerin interneti (internet of things) kapsamında makinelerin haberleşmesi (machine to machine) alanlarında blokzinciri teknolojisinden faydalanmak mümkündür. Dijital kimlik, bankacılık, siber güvenlik ve elektronik tıbbi kayıt sistemlerinde de blokzinciri teknolojilerinin kullanılması Blokzinciri 3.0 kapsamında değerlendirilebilir. Mevcut blokzinciri sistemleri Genel Blokzinciri, Özel Blokzinciri ve Konsorsiyum Blokzinciri olmak üzere üç kategoride sınıflandırılmıştır.

Genel (Public) Blokzinciri: Genel Blokzinciri, çeşitli kurumlara bağlı ya da bağımsız kişilerin katılımına, kayıt eklemesine ve madencilik yapmasına imkân veren açık bir platform sunmaktadır. Bu tür blokzincirlerinde herhangi bir kısıtlama yoktur ve bu yüzden izinsiz blokzinciri olarak da adlandırılır. Genel Blokzincirleri tamamen açık ve şeffaftır ve herhangi bir özel doğrulayıcı düğüm barındırmamaktadır. Blokzincirinde isteyen herkesin tüm zincir verilerini indirip madenciliğe başlayabilmesi, zincirin birçok aktif kopyasının olmasını sağlamaktadır. Bu da blokzincirin güvenliğini ve tutarlılığını arttırmaktadır. Bu şekilde herhangi bir kontrol mekanizması olmayan dağıtık yapılarda mevcut ağdaki veri boyutunun

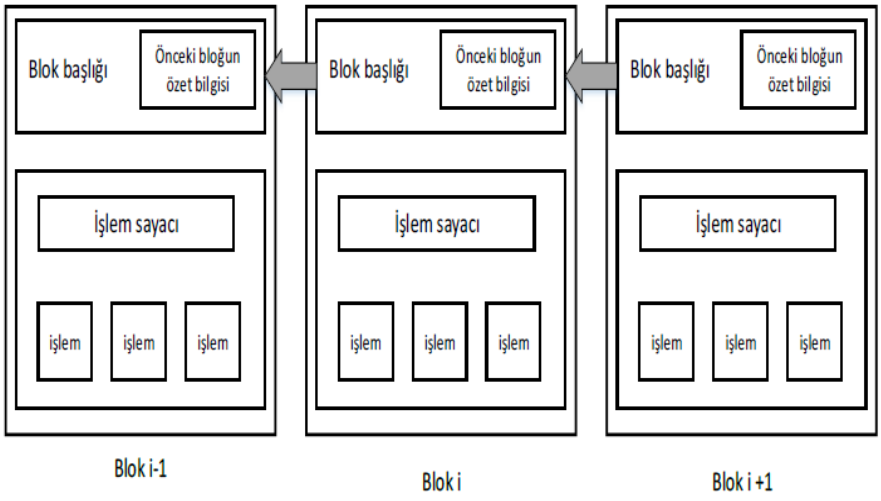
büyümesinden dolayı zincirde bir değişiklik yapılması sırasında uzlaşma protokollerine çok iş düşmektedir.

Özel (Private) Blokzinciri: Bir ya da birkaç organizasyondaki kişiler arasında paylaşım ve veri alışverişini sağlayan, bir kişi ya da grup tarafından yönetilen blokzinciri yapılarına Özel Blokzinciri denmektedir. Özel bir izni olmayan kişilerin zincire katılamadıkları için izinli blokzinciri olarak da adlandırılabilir. Ağa bir düğümün katılımı ve erişimi, ağı yöneten grup tarafından belirlenen kurallara göre yapılmaktadır. Bu da blokzincirinin merkezi olmayan ve şeffaf yapısına uygunluğu azaltmaktadır.

Konsorsiyum (Consortium) Blokzinciri: Konsorsiyum Blokzinciri, blok doğrulama ve uzlaşma işlemlerinde tek bir organizasyonun yerine önceden belirlenmiş bir grup düğümün karar verici olarak yer aldığı kısmen özel ve izinli bir blokzinciri olarak tanımlanabilir. Kimlerin ağa katılabileceğine ve kimlerin madencilik yapabileceğine bu düğümler karar vermektedir. Blok doğrulaması için, bir bloğun sadece yetkili düğümler tarafından imzalanmışsa geçerli sayıldığı çoklu bir imza şeması kullanılır. Ağın herkese açık olması ya da sınırlı olmasına ve ağdaki herkesin veri okuma ve yazma işlemlerine sahip olma durumlarına bir konsorsiyum tarafından karar verilir.

2.2. Blockchain Mimarisi

Blokzinciri, defteri kebir gibi gerçekleşen tüm işlemlerin kayıtlarının tutulduğu sıralı bloklardan oluşmaktadır . Şekil 7' de blokzinciri yapısının bir örneği gösterilmektedir. Bir blok sadece bir ana bloğa sahiptir ve her bloğun üst bilgisinde önceki bloğun özet bilgisi yer almaktadır. Blokzincirinin ilk bloğu, bir ana bloğu olmayan genesis blok olarak adlandırılır.



Şek.6. Blockchain Mimarisi

2.3. Akıllı Sözleşmeler

Akıllı sözleşme, ilk kez 1993 yılında Nick Szabo tarafından "bir sözleşmenin şartlarını yerine getiren bilgisayarla işletilen bir işlem protokolü" olarak tanımlamıştır. Blokzinciri teknolojisi ortaya çıkmadan önce bu teknolojik olarak imkânsızdı. Blokzincirin akıllı sözleşmeleri

desteklemek için ideal bir teknoloji olduğu ortaya çıkmıştır. Buna ek olarak akıllı sözleşmeler de blokzincirin gelişimine ve yaygınlaşmasına katkıda bulunmuştur. Akıllı sözleşmeler, blokzinciri 2.0 olarak bilinen ikinci nesil blokzincirin oluşmasını sağlamıştır. Akıllı sözleşmeler, güvenilir bir ortamda merkezi denetim olmadan klasik sözleşmelerin yerini alabileceğini vadetmektedir .Akıllı sözleşmeler, bir dizi olayın yürütülmesi için uzlaşma protokollerini kullanan blokzinciri sistemleri üzerinde çalışan bir programın parçalarıdır. Akıllı sözleşmelerin özelliklerinden bazıları şunlardır;

• Akıllı sözleşmeler, blokzinciri platformunda çalışan makine tarafından okunabilen yazılım kodu parçalarıdır.

• Akıllı sözleşmeler, olay odaklı programlardır.

• Akıllı sözleşmeler, oluşturulduktan sonra izlenmeye gerek duymadan otomatik olarak çalışır.

• Akıllı sözleşmeler, merkezi otoriteden bağımsız, dağıtılmış yapıdadır.

Akıllı sözleşmeler banka, noter ve benzeri üçüncü tarafları aradan çıkarmaktadır, dolayısıyla maliyet, hız ve güvenlik bakımından önemli avantajlar sağlamaktadır. Akıllı sözleşmelerde bütün işlemler bilgisayar sistemleri tarafından elektronik olarak yürütülmektedir. Bu durum iletişim sorunları, yazılım hataları (bugs), virüs, ağ saldırıları gibi durumlarda sistemin tamamen ya da kısmen çalışmaz hale gelmesine neden olabilir. Akıllı sözleşmelerin müşteriler ve katılımcılar tarafından yaygın olarak kullanılabilmesi için güvenliğinin ve doğru çalışacağının garanti edilmesi çok önemlidir. Gelecek yıllarda bu alanda yapılacak çalışmaların faydalı olacağı düşünülmektedir .Ayrıca geleneksel sözleşmelerde ölçülebilir olmayan hükümler ve koşullar yer alabilmektedir. Bu kapsamda geleneksel sözleşmelerin bilgisayar sistemleri tarafından temsil edilebilmesi ve çalıştırılabilmesi için akıllı sözleşmelere göre modellenmesi gerekmektedir. Ek olarak kullanıcılar için akıllı sözleşmelerin oluşturulması, incelenmesi ve anlaşılması için araçlara (uygulamalara) ihtiyaç duyulmaktadır.

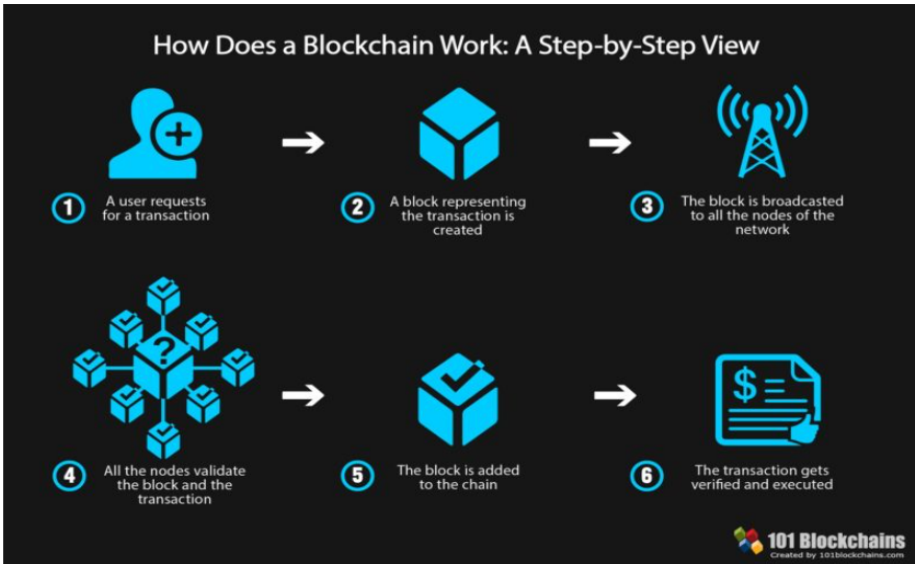
Akıllı sözleşmelerin kullanımı durumunda faydalı olabileceği alanlardan bazıları şunlardır;

Tedarik Zinciri Uygulamaları: Taşımacılık ve gıda gibi farklı alanlarda tedarik zinciri uygulamaları kullanılmaktadır. Blokzinciri sistemleri bu tür uygulamaların daha şeffaf, daha güvenilir ve merkezi otoriteden daha bağımsız hale getirmektedir. Bu uygulamalarda akıllı sözleşmelerin kullanılması durumunda şeffaflık ve güvenliğin yanında bir otomatizasyon da sağlanabilmesi mümkün olacaktır.

Nesnelerin İnterneti (İnternet of Things, IoT): Nesnelerin interneti gelecek vadeden araştırma alanlarından biridir. IoT cihazları daha az bellek ve işlem gücüne sahip cihazlardır ve sayıları çok hızlı artmaktadır. Blokzinciri tabanlı akıllı ev, akıllı şehir ve akıllı taşımacılık gibi araştırma konularında çalışmalar yapılmaktadır. Bu alanda akıllı sözleşmelerin kullanımı durumunda IoT teknolojileri daha etkili, daha özerk ve daha otomatik çalışır hale gelebilecektir.

Bunların dışında sağlık, sigorta, finans, gayrimenkul, telif hakkı gibi alanlarda akıllı sözleşmelerin kullanıldığı alanlar mevcuttur.

Özelikle bu çalışmada IBM Tradelens uygulamasını ve akıllı konteynır örneğini vereceğimiz için Tedarik Zinciri uygulamaları ve Nesnelerin İnterneti kısmı vurgulanmıştır.



Şek.7. Blockchain çalışma mantığı

3. Tedarik Zincirinde Blockchain Uygulamaları

3.1. TradeLens Uygulaması

Endüstri 4.0 kavramıyla beraber buna hızlıca uyum sağlayan Lojistik 4.0 , Endüstri 4.0 operasyonlarını tamamlamamaktadır. Bu kapsamda da uçtan uca oluşan bir izlenebilirlik ve teknoloji zinciri oluşmaktadır. Bu zinciri Blokzincir ile taçlandıran ve ileri götüren 6 örnek vardır şu anda. Bu örnekler içerisinde teknoloji devi IBM firması ile deniz taşımacılığının liderlerinde olan Maersk firmasının ortaklaşa geliştirdiği TradeLens Blokzincir platrformu şu anda bilinen en etkili Tedarik Zinciri araçlarından birisidir. Diğerleri ise;

• Skycell: Ürün bütünlüğünü etkin bir şekilde koruyan Nesnelerin interneti ve Yapay Zeka destekli Blok Zincir uygulaması. Özellikle tıp alanındaki ürünler için kullanılmaktadır. Üretim aşamasından, soğuk hava kargo takibine kadarki süreçlerin hepsinde izlenebilirlik ve hız sağlamıştır.

• Peloton: V2V (Vehicle to Vehicle) iletişim teknolojisi ile birlikte Blok zincir ve Nesnelerin interneti üzerine kurulmuştur. Nakliye operasyonlardaki araçları birbirleri ile iletişim haline sokmuştur.

• Vinchain: API (Application Programming Interface) teknolojisi ile program arayüzleri oluşturarak birbirinden farklı cihazları ortak bir blokzincir üzerinde takibi sağlamaktadır. Özellikle araç kiralama filolarında araç geçmişlerini ve bu araçların farklı cihazlar ile iletişimini sağlamaktadır.

• Sweetbridge: Lojistik faaliyetlerinin gerçekleşmesi için 4 temel öğe olan tanımlama – kimlik, yasal –mevzuat, muhasebesel işlemler ve ödeme protokollerinin tam anlamıyla şeffaflık ve güven tabanlı gerçekleşmesini sağlamaktadır.

• Cargowize: Avrupa çapında ortak bir Nakliye platformu oluşturmak için kurulmuştur. Geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

TradeLens, lojistik ve teknoloji endüstrisinin büyük oyuncuları Maersk ve IBM tarafından desteklenen Blockchain teknolojisi ile geliştirilen açık ve tarafsız bir endüstri platformudur.

İlk olarak Ağustos 2018'de duyuruldu. Proje özünde Blockchain teknolojisinin tedarik zincirine uygulanmasını hedefliyor. Bir ürünün tüm seyahati boyunca hayat hikayesini Blockchain'de tutmayı planlıyor.

TradeLens ekosistemi içerisinde, taşıyıcılar, limanlar, terminal operatörleri, 3PL'ler ve nakliye şirketleri dahil olmak üzere 100'den fazla farklı organizasyondan oluşmaktadır. Aynı zamanda dünyanın dört bir yanından gelen nakliyecilerden oluşur. Katılımcılar gönderici tarafından belirlenen dijital izin modelinde veri yayınlar ve abone olurlar.

TradeLens, bilgi paylaşımını ve şeffaflığı desteklemek için çeşitli tarafları bir araya getiren ve sektör çapında yenilikçiliği teşvik eden, daha verimli ve güvenli bir küresel ticareti teşvik etmek için tasarlanmış, blok zincir tabanlı bir nakliye çözümüdür.

TradeLens'in erken benimseme programının bir parçası olarak, IBM ve Maersk 94 kuruluşun aktif olarak projede yer aldığını veya açık standartlara dayanan TradeLens platformuna katılmayı kabul ettiğini açıkladı. TradeLens ekosistemi şu anda şunları içermektedir:

• PSA Singapur, Uluslararası Konteyner Terminal Hizmetleri A.Ş., Patrick Terminalleri, Hong Kong'daki Modern Terminaller, Halifax Limanı, Rotterdam Limanı, Bilbao Limanı, PortConnect, PortBase ve terminal operatörleri dahil olmak üzere tüm dünyada 20'den fazla liman ve terminal operatörü. Bu, TradeLens'e aktif olarak katılan veya katılacak olan dünya çapında yaklaşık 234 liman demektir.

• Pacific International Lines (PIL), Maersk Line ve Hamburg Süd, projeye global konteyner taşıyıcıları olarak katıldı.

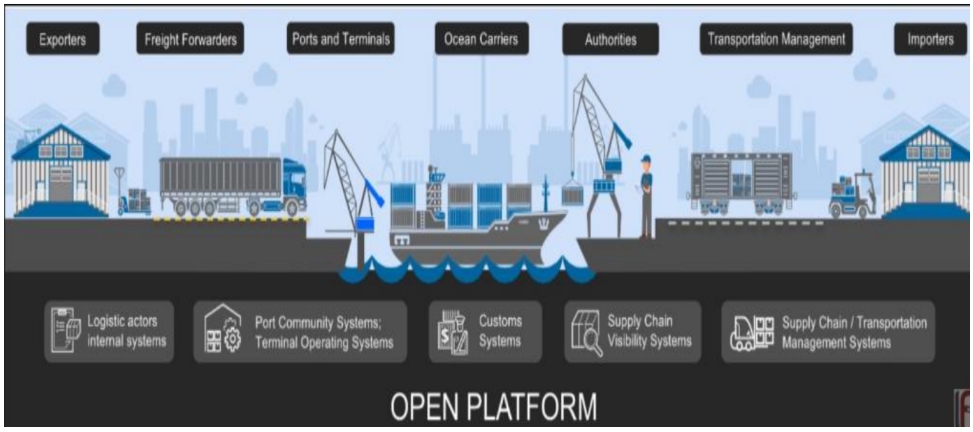
• Hollanda, Suudi Arabistan, Singapur, Avustralya ve Peru'daki gümrük müdürlükleri, Ransa ve Güler & Dinamik gümrük müşavirlikleri de projede yer alıyor.

• Agility, CEVA Lojistik, DAMCO, Kotahi, PLH Nakliye Şirketi, Ancotrans ve WorldWide Alliance gibi nakliye firmaları, nakliye ve lojistik şirketleri de katılıyor.

TradeLens, IBM Blockchain teknolojisini dijital tedarik zincirlerinin temeli olarak kullanır ve ayrıntılar, gizlilik veya gizlilikten ödün vermeden bir işlemin paylaşılan tek bir görünümünü oluşturarak işbirliği yapmalarını sağlamak için birden fazla ticari ortağı bir araya getirir. Göndericiler, nakliye hatları, nakliye şirketleri, liman ve terminal operatörleri, iç nakliye ve gümrük idareleri, sıcaklık kontrolünden konteyner ağırlığına kadar değişen IoT ve sensör verileri dahil olmak üzere, nakliye verilerine ve nakliye belgelerine gerçek zamanlı erişim yoluyla daha verimli bir şekilde etkileşime girebilir.

Blockchain akıllı sözleşmeleri kullanan TradeLens, uluslararası ticarete katılan birçok taraf arasında dijital işbirliğini sağlar. Beta programı kapsamında piyasaya sürülen ve ClearWay adı verilen ticari belge modülü, ithalatçı/ihracatçılara, gümrük komisyoncularına, Gümrükler, diğer devlet kurumları ve STK'lar gibi güvenilen üçüncü taraflara, tümü tarafından desteklenen kuruluşlar arası iş süreçlerinde ve bilgi alışverişinde işbirliği yapmalarını sağlar.

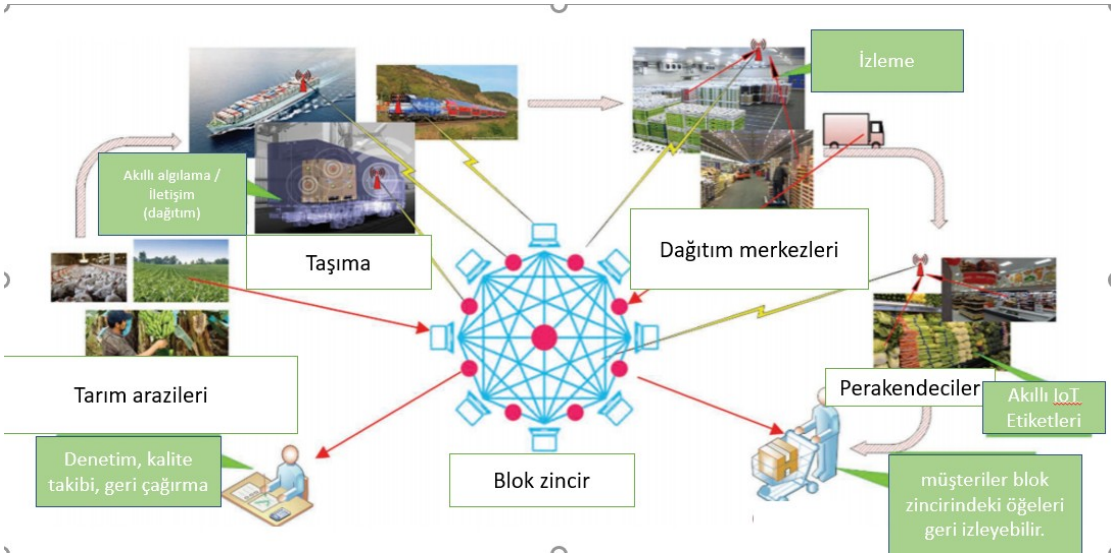
12 aylık deneme süresi boyunca, Maersk ve IBM, dokümantasyon hatalarından kaynaklanan gecikmeleri, bilgi gecikmelerini ve diğer engelleri önlemek için fırsatları belirlemek için düzinelerce ekosistem ortağıyla birlikte çalıştı. Bir örnek, TradeLens'in ABD'de bir paketleme malzemesinin sevkıyat süresini Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bir üretim hattına geçirme zamanını nasıl yüzde 40 azaltabileceğini ve binlerce dolara mal olmasını engellediğini gösterdi. Daha iyi görünürlük ve daha etkili iletişim araçları sayesinde, bazı tedarik zinciri katılımcıları "konteynerim nerede" gibi temel operasyonel soruları yanıtlamak için atılan adımları 10 adımdan beşe düşürdü [8].



Şek.8. IBM-Maersk blok zincir uygulaması

3.2. Soğuk Zincir Gıda Lojistiğinde Blok Zincirin Önemi

Soğuk zincirdeki ısı kaynaklı herhangi bir uygunsuzluk gıdanın bozulmasına, tüketicide gıda zehirlenmelerine neden olur. Dolayısıyla soğuk zincirde herhangi bir uygunsuzluk yaşanmamalıdır. Yaşanan herhangi bir uygunsuzluk zincirdeki son halka olan tüketiciyi etkiler. Avrupa'da gıda kaynaklı hastalıklar her yıl popülasyonun %1'ini etkiler [9]. Gıda ve Tarım Bakanlığı'na göre gıda üretiminin üçte biri hiçbir zaman son tüketiciye ulaşmamaktadır. Bu kayıpların yüzde ellisi kontrol ve sıcaklık yönetimi gibi hatalardan kaynaklanmaktadır. [10] Günümüzde tüketici de bu sebeplerden dolayı, tükettikleri ürünün nereden geldiğini, hangi işlemlerden geçtiğini, etiketlemeye güvenip güvenmemesi gerektiğini ya da herhangi bir gıda kaynaklı hastalık durumu olup olmadığını bilmek istiyor. Bu bilgiye blok zinciri teknolojisi ile ulaşılacaktır. Blok zinciri veri yapısı değiştirilemez bir yapıya sahiptir. Değiştirilemez bir yapıya sahip olması sebebiyle tüketici tarafından güvenilirdir. Blok zinciri teknolojisi gıda ürünlerinin üretim sürecinden tüketiciye ulaştığı ana kadar, tedarik zinciri boyunca uğradığı tüm aşamaların izlenebilirliğini sağlar [11]. Bu izlenebilirliğin sağlanabilmesi ile birlikte herhangi bir uygunsuzluk tespit edildiğinde, uygunsuzluğun kaynağı belirlenebilir ve ürün son tüketiciye ulaşmadan, tüketilmesinin önüne geçilmiş olur.

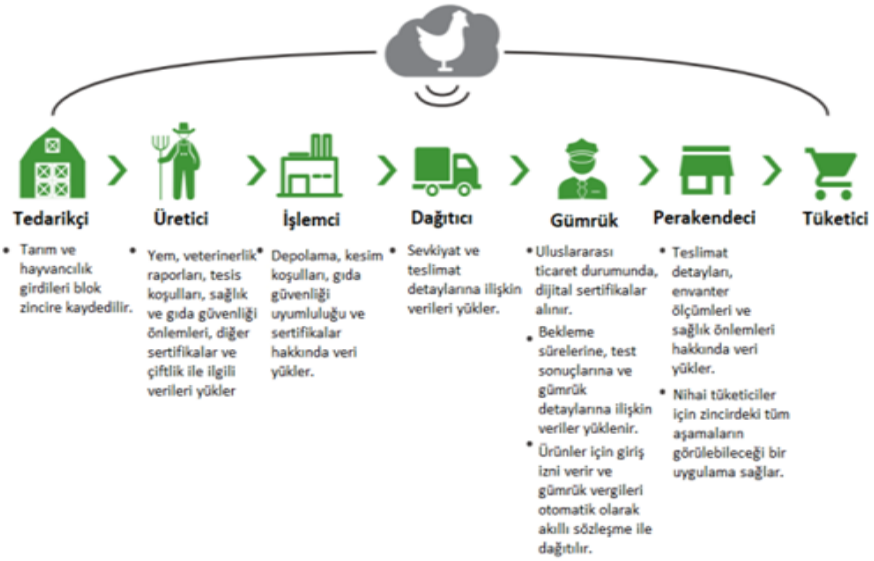


Şek.9. Blok zincir kullanarak gıda lojistiğinde bilgi paylaşımı ve takibinin bir örneği

Soğuk zincirdeki ürünlerdeki kayıp oranları incelendiğinde, gıda kayıplarının, bozulmalarının %20'sinin gıdaların taşınması sırasındaolduğu görülmektedir. Gıda kayıplarını azaltabilmek, tüketiciye sağlıklı gıda sunabilmek için gıda lojistiğinde blok zincir teknolojisi önemli bir yer tutmaktadır.

Tablo 1. Gıda Lojistiğinde Blok Zincir Teknolojisinin Sağladığı Veriler

Tedarik Zinciri Noktası	Blok Zincir Teknolojisinin Sağladığı Veri
Çiftlik	Tohum deposu, ekin ayrıntıları, tohumun çeşitliliği, tohumun yetiştirilme türü, hasat yöntemi, mahsül depolama bilgisi
Üretim Tesisi	Hammaddenin giriş durumu (ürün, zaman…), İşleme ayrıntıları, depolama, soğutma detayları
Sevkiyat	Sıcaklık, kalite, hasar, depo bilgileri
Teslimat	Sıcaklık,tüketim ayrıntıları, SKT



Şek.10. Blok zinciri yapısı ile oluşturulmuş bir tarımsal tedarik zinciri

Şekil 11'teki gibi ürün bilgilerinin blok zincirine kaydedilmesi ve bu bilgilerin değiştirilemez oluşu nedeniyle sahte gıda ve tağşişin önüne geçilmektedir.

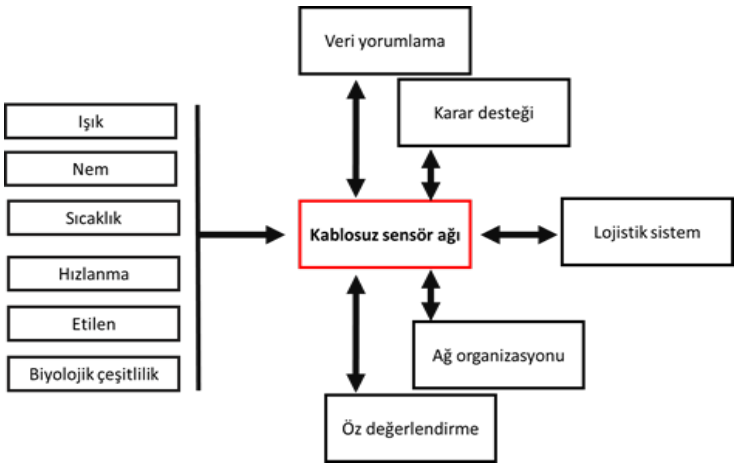
Gıda sektöründeki blockchain kullanım alanları aşağıdaki gibi verilebilir [12].

Tablo 2. Blokzincir teknolojisinin gıda sektöründeki uygulamaları

Firma	Uygulama
Wallmart	Blokzincir tabanlı bir sistem olup izlenebilirliğe olanak sağlayan IBM Food Trust yazılımını kullanmaktadır. Gıda ürünlerinin geçmişine ve sertifikalarına ait bilgiler sorgulanabilir.
Provenance	Balıklar, denizden ton balığı konservesine kadar blokzincirde doğrulanmış sürdürülebilirlik bilgileriyle izlenebilmektedir.
Intel Sawtooth Lake	Balıkçılardan restoranlara kadar olan süreçte balığa ilişkin bilgiler blokzincirde kaydedilir.
Everledger	Şarapların hareketinin izlendiği blokzincir tabanlı sistemde dijital veriler güncellenir ve depolama bilgileri kaydedilir.
Downstream	Bira üretiminde mayalama yöntemleri ve bileşenlerle ilgili bilgileri ortaya koymak için blokzincir teknolojisi kullanılmaktadır.
Aldo Cozzi	Makarnaların tedarik zincirine ait bilgiler (üretici, ürünler, kullanılan un,kurutma tipi, lojistik vb.) blokzincir tabanlı bir sistemde tanımlanmaktadır.
CyberSecurity	Süte ait tedarik zincirinde elde edilen verilerin blokzincir tabanlı sistemde otomatik işlenmesiyle gıda hilelerinin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.
San Domenico Coffee	Fidanlıktan fincana kadar olan süreçte kahvenin izlenebilirliği blokzincirin mutlak şeffaflık garantisiyle sağlanmaktadır.
JD	Sığır eti odaklı çalışan blokzincir tabanlı sistemin tedarik zincirine entegrasyonuyla gıda hilelerinin önüne geçilmeye çalışılmaktadır.
Arc-net	Alkollü içkiler için damıtma, tarım ürünleri için hasat odaklı blokzincir tabanlı izlenebilirlik sağlanmaktadır.
Ripe.io	Sensör verilerinden faydalanılarak gıdanın kaynağına ait veriler blokzincir tabanlı sisteme işlenerek tarladan çatala şeffaflık sağlanmaktadır.

3.2.1 Akıllı Konteynır

Akıllı konteynerler, içlerinde bulunan gıdanın kalitesi hakkında kullanıcılarına bilgi sağlar. Gıdanın raf ömrü için kalite bilgisi, akıllı konteynerdeki kablosuz sensör ağından, içerisindeki ürüne özel raf ömrü modeli ile gerçek raf ömrünün ölçülmesi elde edilir. Bu ölçüm yük denetim birimi,telematik birim ve lojistik süreçlerinin durumuna göre optimize etmek için oluşan ara yazılım ile sağlanır.Şekil 12 akıllı konteynerdeki bilgi akışını göstermektedir [13].



Şek.11. Akıllı konteynerdeki bilgi akışı

Akıllı konteynerler, içlerinde bulunan ürünlerin kalitesini hesaplayarak, sevk süresindeki ürünlerin müşteri siparişleri ile eşleştirilmesini çevrimiçi olarak sağlayabilir. Bu özellik akıllı konteyner kullanıcılarının FEFO (First Expire First Out) yaklaşımlarına dinamiklik kazandırır. Çünkü mevcut gıdanın durumuna göre konteynerlerin yeniden planlanması sağlanabilir.

Akıllı konteynerler, soğutma ünitesi dorğu ayar noktasını bağımsız olarak ayarlayabilir, güç kesintilerini algılayabilir ve kullanıcılarına uyarılar gönderir. Bu durum aşağıdaki avantajları da sağlar:

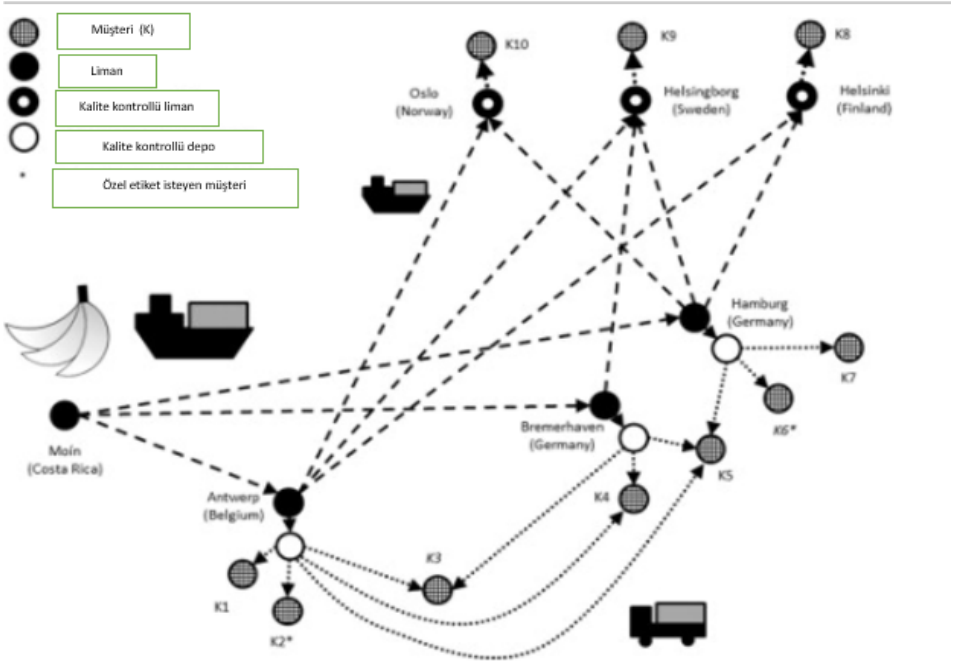
• Üreticiye geri bildirim: Akıllı konteynerde aynı çiftlikten gelen meyve ve sebzelerin bozulmaya başladığının fark edilmesi durumunda üreticiye haber verilerek, gelecek sevkiyatlar için gıda kayıplarının azaltılmasını, nakliye maliyetlerinde ve karbon emisyonlarında düşüşünü sağlar [14].

• Konteyner içinde olgunlaşma: Muz gibi meyvelerin, etilen doldurulan konteynırlarda sevk edilmesi, muzun olgunlaşma merkezinin atlanarak müşteriye doğrudan sevk edilmesini sağlar. Bu da maliyetlerden ve karbon emisyonlarından kazanıma sebep olur [15].

• Soğutulmuş veye dondurulmuş gıdalar için yetkililer ve müşteriler için soğuk zincirin bozulmadığını gösterebilecek bir kanıttır.

3.2.1.1 Akıllı Konteyner İle Gıda Lojistiğine Bir Örnek

Şekil 13,bir muz üreticisinin akıllı konteyner kullanarak muzun dağıtımını yaptığı lojistik ağ gösterilmiştir.Bu sevkiyat,akıllı konteyner yerine normal soğutmalı konteynerler kullanılarak gerçekleştirilseydi, müşteri siparişi ayırma noktası, depolar veya İskandinavya'daki limanlar olarak gerçekleşecekti.Fakat akıllı konteynır teknolojisi ile sabit ayrılma noktası kavramı ortadan kalkıyor ve kontrol edilebilen ürünün kaltesine göre siparişler değiştirilebiliyor.Aşağıdaki Şekil 5'te başlangıç noktası Moin/Kosta Rika'dır.Muz sevkiyatı için 10 planlı lokasyon vardır.2 ve 6 numaralı lokasyonlara özel etiketli muzlar verilecektir.Bu ağın Avrupa tarafı, Almanya'daki Bremerhaven ve Hamburg ve Belçika'daki Antwerp limanlarını kullanıyor. Bu limanlardan birinde bir konteyner boşaltıldığında, gemi ile Oslo, Helsingborg veya Helsinki'ye veya kamyonla olgunlaştırma tesisine nakledildikleri bir depoya aktarılabilir. Taşıma sırasında muzların durumu farklı yerlerde kontrol edilir.



Şek.12. Muz dağıtımındaki lojistik ağ

4. Sonuç ve Öneriler

Blokzincir kavramı bir çok uygulamada iş dünyasında yer almaktadır. Akademik bazda da literatürde çok fazla yayına rastlanmasa da son zamanlarda tez ve makale yazınlarında gözle görülür bir artış olmaktadır. Bu artışın AUS'a olan etkisini verdiğim örnekler ile analiz ederek yeni modellemeler yapmak gerekebilir. Görünen o ki; AUS için blokzincir teknolojisi özellikle Lojistik ve dış ticaret işlemlerinde kullanılacaktır. Burada bilinen en büyük platform olan TradeLens sisteminin iki büyük ortağının da teknoloji ve lojistik devleri olması da normal karşılanılması gereken bir durum olsa gerek. Yakın bir zamanda Blokzincir teknolojisinin de üniversitelerimizde ders olarak işlenmesi akademik ve sanayi süreçlerinde faydalı olacaktır. Blokzincir teknolojisi ile mümkün olabilecek güvene dayalı, doğru bilginin odak noktası (single point of truth) olacak, verinin blokzincir üzerinde tutulduğu (on-chain) çözümler ile yerelde gerekli olan verinin

blokzincir dışında tutulduğu (off-chain) çözümlerin bir arada yürütüldüğü geniş kapsamlı ve bütünsel bir çözüm sunan bir teknolojidir. Bu bütünsel ve güvene dayalı yaklaşım ile üniversiteler; sınır ötesi ticaretin bugün yaşanan tüm sorunlarına birden odaklanabilmekte ve zincirin her halkasının güçlü olmasını sağlayabilir.

Tedarik zinciri ve devamında akıllı ulaşım sistemlerini içerebilecek bir teknolojik yazılım ve bloklar kurulabilir.

5. Kaynaklar

Gartner 2020, Blockchain Will Fundamentally Change How BoardsOperate and Govern

İ. AKBEN, Akıllı ve Veriye Dayalı Tedarik Zincirleri,

İzer, D.A. Soğuk Zincir Lojistiği İçinde Risklerin Azaltılmasında Yeni Teknolojiler. Doktora Tezi, Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi, Maltepe Üniversitesi

Jedermann, R., Nicometo, M., Uysal, I., & Lang, W. (2014). Reducing food losses by intelligent food logistics.

Keleş, B., Ova, G. (2020). Gıda Tedarik Zinciri Yönetiminde Bilgi Teknolojileri Kullanımı, Adü Ziraat Dergisi, 2, (3), 13-27

Lang, W., Janßen, S., & Jedermann, R. (2014, January). The Intelligent Container-A Cognitive Sensor Net for Fruit Logistics. In International Conference on Sensor Networks

LEE, H.L. and C. BILLINGTON (1992), "Managing supply chain inventory: pitfalls and opportunities" Sloan eManagement Review, 33, (3), 65-73.

Rasmus Haass, Patrick Dittmer, Marius Veigt, Michael Lütjen, Reducing food losses and carbon emission by using autonomous control – A simulation study of the intelligent container, International Journal of Production Economics.

S. Sayar, Yüksek Lisans Tezi DİJİTALLEŞME İLE YENİ OLUŞAN KAVRAMLAR: ENDÜSTRİ 4.0, IOT VE BLOCKCHAİN UYGULAMALARI (https://proente.com/akilli-cihazlar-akilli-fabrikalar)

Tanrıverdi, M, (2019) Uysal M., Üstündağ M.T., "Blokzinciri Teknolojisi Nedir? Ne değildir? Alanyazı İncelenmesi", Gazi Üniversitesi Bilişim Teknolojileri Dergisi, 12, (3), 203-217. https://blockchaindanismanlik.com/tradelens-global-tedarik-zincirinin-dijitallesmesi/

Ünsal E., Kocaoğlu Ö. (2018). Blok Zinciri Teknolojisi: Kullanım Alanları, Açık Noktaları ve Gelecek Beklentileri. Avrupa Bilim ve Teknolojisi Dergisi.

Yıldırım C. ve Olcay O. (2020). Soğuk Zincirde İzlenebilirlik: Denizyolu Taşımacılığında Kullanılan Bir Teknoloji Örneği. Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi

YILDIZ, A, (2018). "Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22, (2), 546-556.