

T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

OTONOM ARAÇLARIN TRAFİK AKIMI ÜZERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Doktora Tezi

Mehmet Çağrı KIZILTAŞ

Danışman
Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

İstanbul – 2024

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı Mehmet Çağrı KIZILTAŞ

Tezin Dili Türkçe

Tezin Adı Otonom Araçların Trafik Akımı Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Enstitü İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı İnşaat Mühendisliği

Tezin Türü Doktora

Tezin Tarihi 26.06.2024

Sayfa Sayısı 133

Tez Danışmanları Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

Dizin Terimleri Otonom araçlar, penetrasyon, algı tepki süresi, ivme, trafik davranışı

Türkçe Özet Bu tez kapsamında otonom araçların trafik seyir karakteristikleri deneysel yöntemlerle belirlenmiştir. Bu çerçevede R Studio programında yapılan sınıflandırma analiziyle otonom araç tipleri ve ivmeleri tespit edilmiş olup MATLAB ve SPSS programlarında yapılan analizlerle algı tepki süresi elde edilmiştir. Otonom araç ivmesinin konvansiyonel araçlardakinden daha şiddetli olduğu ve otonom araç algı tepki süresinin de konvansiyonel araçlardakinden daha kısa olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen 4 otonom araç tipi, VISSIM programına tanımlanarak, seçili bir trafik kesimi ve verileri üzerinden yapılan simülasyonla, %0-10-20-30-40 otonom araç penetrasyon oranları ayrı birer senaryo olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlarla otonom araç penetrasyonu arttıkça

trafikteki ortalama hız, trafik düzeni, kat edilen mesafe, trafik kesiminden geçen araç sayısı gibi parametrelerde ciddi iyileşmeler olduğu ortaya konulmuştur. Tez kapsamında otonom araçların trafik sistemine girişiyle birlikte on yıllarca devam edeceği öngörülen otonom araç-konvansiyonel araç heterojen trafiğinin planlanması yönünde bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Dağıtım Listesi

1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İmzası

Mehmet Çağrı KIZILTAŞ

T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

OTONOM ARAÇLARIN TRAFİK AKIMI ÜZERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Doktora Tezi

Mehmet Çağrı KIZILTAŞ

Danışman

Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

İstanbul – 2024

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Mehmet Çağrı KIZILTAŞ

26/06/2024



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Mehmet Çağrı Kızıлтаş'ın Otonom Araçların Trafik Akımı Üzerine Etkisinin
İncelenmesi adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği anabilim dalı,
İnşaat Mühendisliği bilim dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Prof. Dr. Abdullah Hilmi LAV

Üye

Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN
(Danışman)

Üye

Prof. Dr. Hilmi Berk ÇELİKOĞLU

Üye

Doç. Dr. Murat ERGÜN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 20..

İmzası

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu tezde otonom araçların trafik seyir karakteristiklerinin deneysel yöntemlerle belirlenmesi ve buna bağlı olarak geliştirilen otonom araç tanımının trafiğe dahil edildiği simülasyon senaryoları vasıtasıyla, trafiğe otonom araç penetrasyonlarının trafik temel karakteristikleri üzerindeki etkisinin analiz edilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda ilk olarak otonom araçların gelişim süreci ve küresel ölçekteki mevcut durumu detaylı tahlillerle ortaya konulmuştur. Ardından otonom araçların öne çıkan yönleri, avantajları, önemli donanımları ve takip karakteristikleri paylaşılmıştır. Sonrasında otonom araçlardaki gelecek eğilimleri çeşitli yönleriyle değerlendirilmiştir.

Ardından tez kapsamında otonom araç trafik seyir karakteristiklerinin saptanması adına ilk olarak, R Studio programında yapılan sınıflandırma analiziyle otonom araç tipleri ve ivmeleri belirlenmiş olup MATLAB ve SPSS programlarında yapılan analizlerle algı tepki süresi elde edilmiştir. Otonom araç ivmesinin konvansiyonel araçlardakinden daha şiddetli olduğu ve otonom araç algı tepki süresinin de konvansiyonel araçlardakinden daha kısa olduğu tespit edilmiştir. Otonom araç seyir karakteristikleri belirlendikten sonra, elde edilen 4 otonom araç tipi, VISSIM programına tanımlanmıştır. Seçili bir trafik kesimi ve verileri üzerinden yapılan simülasyonla, %0-10-20-30-40 otonom araç penetrasyon oranları ayrı birer senaryo olarak analiz edilmiştir. Her bir penetrasyon senaryosunda her bir otonom araç tipi eşit ağırlıkta sisteme dâhil edilmiştir.

Elde edilen sonuçlarla otonom araç penetrasyonu arttıkça trafikteki ortalama hız, trafik düzeni, kat edilen mesafe, trafik kesiminden geçen araç sayısı gibi parametrelerde ciddi iyileşmeler olduğu ortaya konulmuştur. Ortalama gecikmeler azalmakta, trafik düzensizliğine neden olan unsurlar azalmakta, araç başı kat edilen mesafeler artmaktadır. Sistemden geçen araç sayısı büyük artış göstermekte olduğundan dolayı toplam seyahat süresi de kısmen artmaktadır. Ancak görüldüğü üzere bu artış sistemdeki araç sayısındaki ve ortalama seyahat mesafesindeki büyük artışın tetiklediği dolaylı ve kısmi bir artıştır. Araç başına seyahat süresi ise artmamaktadır. Diğer taraftan otonom araçların trafiğe girmesiyle birlikte trafik güvenliğinde artış, sera gazı salımlarında azalma, otopark yeri tasarrufu gibi dolaylı

etkiler olduğu da gör÷lmektedir. Otopark yeri tasarrufu da araçların trafikte otopark yeri aramak için harcadığı zaman ve trafiğı işgallerini azaltacağı için ilave bir trafik düzeni katkısı ve trafik tıkanıklığı azaltma faydası gibi etkiler üretmektedir. Tez kapsamında otonom araçların trafik sistemine girişıyle birlikte on yıllarca devam edeceği öngör÷len otonom araç-konvansiyonel araç heterojen trafiğinin planlanması yönünde bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede sonuçlar ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Otonom araçlar, penetrasyon, trafik davranışı, seyir özellikleri, sınıflandırma



SUMMARY

The aim of this thesis is to analyze the impact of autonomous vehicle penetrations into traffic on the basic characteristics of traffic through simulation scenarios via developing of autonomous vehicle definition in terms of traffic Driving characteristics. In this context, firstly the process of development of autonomous vehicles and the current state on global scale were described in detail. The highlights, advantages, important equipment and driving characteristics of autonomous vehicles were then shared. Subsequently, future trends in autonomous vehicles were assessed in various ways.

Then, for the purpose of determining the driving characteristics of autonomous vehicles in the course of the thesis, firstly, the clustering analysis carried out in the R Studio program has determined the types and acceleration of autonomous vehicles, and the perception reaction time has been obtained with the analyses done in the MATLAB and SPSS program. It has been found that autonomous vehicle acceleration is severe than in conventional vehicles, and the autonomous vehicle perception reaction time is shorter than in conventional vehicles. After determining the driving characteristics of the autonomous vehicle, the resulting 4 autonomous vehicle types were defined in the VISSIM program. With a simulation from a selected traffic segment and data, the penetration rates of 0-10-20-30-40 % autonomous vehicles were analyzed as a separate scenario. In each penetration scenario, each autonomous vehicle type is integrated into the system with equal share respectively.

The results showed that as the penetration of autonomous vehicles increased, there were significant improvements in parameters such as average speed in traffic, traffic regularity, distance taken, number of vehicles passing through the traffic section. The average delays are decreasing, the factors causing traffic irregularities are reduced, the distances per vehicle are increasing, and the total travel time is increasing because of the large increase in the number of vehicles passing through the system. However, it appears that this increase is an indirect and partial increase triggered by the large increase in the number of vehicles in the system and the average travel distance. The travel time per vehicle does not increase. On the other hand, the

introduction of autonomous vehicles into traffic has indirect effects, such as increased traffic safety, reduced greenhouse gas emissions and saving parking space. Parking space savings also have effects such as reducing time spent by vehicles searching for a parking lot in traffic, thereby contributing to additional traffic regulatory and helping to reduce congestion. As part of the thesis, an analysis was carried out in the direction of the planning of heterogeneous traffic between autonomous vehicles and conventional vehicles, which is predicted to continue for decades with the introduction of autonomous vehicles into the traffic system. In this framework, results have been emerged.

Keywords: Autonomous vehicles, penetration, traffic behaviour, flow characteristics, clustering

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY	iii
KISALTMALAR	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ.....	xi
GİRİŞ	1
BİRİNCİ BÖLÜM.....	5
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
1.1. Ekonomik Boyut	14
1.2. Hukuki Boyut	15
1.3. Teknik Boyut.....	20
1.4. Kentsel Altyapı Boyutu.....	23
İKİNCİ BÖLÜM	32
OTONOM ARAÇ İLETİŞİM ALTYAPISI	32
2.1. Sensör Teknolojileri	32
2.2. Araç Takibi.....	37
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	40
GELECEK ÖNRÖRÜLERİ	40
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	49
OTONOM ARAÇ SEYİR KARAKTERİSTİKLERİNİN TESPİTİ VE VISSİM'DE SİMÜLASYON	49
4.1. Otonom Araçlarda İntikal Reaksiyon (Algı Tepki) Süresinin Tespiti .	49
4.2. İntikal Reaksiyon Süresi (Algı Tepki Süresi) İçin Tesla Anketi.....	49
4.3. Otonom Araçlarda İntikal Reaksiyon Süresi İçin Uzman Görüşlerine Dayalı Tanımlar ve Referanslar	53
4.4. MATLAB'in Automated Driving Toolbox'ının (Otomat Sürüş Araç Takımı) İntikal Reaksiyon Süresi Belirlenmesinde Kullanılması.....	54
4.5. MATLAB'de Otoyol Verisi.....	54
4.6. 20-10 m/sn.:	59
4.7. 20-5 m/sn.:	60
4.8. 25-10 m/sn.:	61
4.9. 25-5 m/sn.:	62
4.10. 30-10 m/sn.:	63
4.11. 30-5 m/sn.:	64
4.12. 36-10 m/sn.:	79
4.13. 36-5 m/sn.:	66

4.14.	Tepki (Reaksiyon) Süresi Elde Edilmesi:	68
4.15.	Elektrikli Araçlar ve Sınıflandırma Analizi	69
4.16.	Sonuçlar.....	70
4.17.	K Ortalama Yöntemine Göre Sınıf Sayısının Hesaplanması	70
4.18.	PAM Yöntemine Göre Sınıf Sayısının Hesaplanması	72
4.19.	Clara Yöntemine Göre Sınıf Sayısının Hesaplanması	74
4.20.	Genel Sonuçlar	76
4.21.	VISSIM’de Veri Girişi ve Sonuçlar	83
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		96
KAYNAKÇA		104
ÖZGEÇMİŞ.....		112



KISALTMALAR

AB	:	Avrupa Birliği
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
ACC	:	Adaptive Cruise Control
ADAS	:	Advanced Driving Assistance System
API	:	Anahtar Performans Göstergeleri
ASIL	:	Automobile Safety Integrated Level
AUS	:	Akıllı Ulaşım Sistemleri
AVM	:	Alışveriş merkezi
BA	:	Bağlantılı Araç
BGH	:	Bundesgerichtshof
BİT	:	Bilgi İletişim Teknolojileri
BRT	:	Bus Rapid Transit
CACC	:	Cooperate Adaptive Cruise Control
CLARA	:	Clustering of large applications
DARPA	:	Defense Advanced Research Projects Agency
DIN	:	Deutsches Institut für Normung
DSRC	:	Discrete Short Range Connection
EDS	:	Elektronik Denetleme Sistemi
ERTRAC	:	Europe Automotive Technology Platform
EUROSTAT	:	European Statistics
GM	:	General Motors
GPS	:	Global Positioning Systems
GSYİH	:	Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla
HGS	:	Hızlı Geçiş Sistemi
IEEE	:	Institute of Radio Engineers
IMU	:	Impulse Measurement Unit
ISO	:	International Organization for Standardization
ITF	:	International Transport Workers' Federation
KA	:	Konvansiyonel araç
KGM	:	Karayolları Genel Müdürlüğü

LIDAR	:	Light Detection and Ranging
MAGLEV	:	Magnetic Levitation System
MATLAB	:	Matrix Laboratory
NHTSA	:	National Highway Traffic Safety Administration
OA	:	Otonom araç
OGS	:	Otomatik Geçiş Sistemi
OPTICS	:	Ordering points to identify the clustering structure
PAM	:	Partitioning around medoids
POA	:	Paylaşımlı Otonom Araç
PTV	:	Planung Transport Verkehr
SAE	:	Society Of Automobile Engineers
SPSS	:	Statistical Package for the Social Sciences
SUV	:	Sport Utiliy Vehicle
TC	:	Türkiye Cumhuriyeti
TOGG	:	Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu
USK	:	Uyarlanabilir Seyir Kontrolü
VDE	:	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informations technik
VDI	:	Virtual Desktop Infrastructure
VISSIM	:	Verkehr In Städten – SIMulations modell
V2I	:	Vehicle to Infrastructure
V2V	:	Vehicle to Vehicle
V2X	:	Vehicle to X
YHD	:	Yüksek Hızlı Demiryolu
YZ	:	Yapay Zekâ

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Geleceğin Kenti Senaryoları	25
Tablo 2. Bir Araç İşletiminin Zaman Maliyetleri	47
Tablo 3. Tesla Otomatik Pilot Testi Anket Sonuçları	50
Tablo 4. Hızlara Göre Algı Sürelerinin Ortalama, Standart Sapma ve Varyans Değerleri ...	59
Tablo 5. 20-10 m/sn. Senaryosu SPSS Sonuçları.....	59
Tablo 6. 20-10 m/sn. Senaryosu Normallik testleri.....	60
Tablo 7. 20-5 m/sn. Senaryosu SPSS Sonuçları.....	60
Tablo 8. 20-5 m/sn. Senaryosu Normallik testleri.....	61
Tablo 9. 25-10 m/sn. Senaryosu SPSS Sonuçları.....	61
Tablo 10. 25-10 m/sn. Senaryosu Normallik testleri.....	62
Tablo 11. 25-10 m/sn. Senaryosu Normallik testleri.....	62
Tablo 12. 25-5 m/sn. Senaryosu Normallik testleri.....	63
Tablo 13. 30-10 m/sn. Senaryosu SPSS Sonuçları.....	63
Tablo 14. 30-10 m/sn. Senaryosu Normallik testleri.....	64
Tablo 15. 30-5 m/sn. Senaryosu SPSS Sonuçları.....	64
Tablo 16. 30-5 m/sn. Senaryosu Normallik testleri.....	79
Tablo 17. 36-10 m/sn. Senaryosu SPSS Sonuçları.....	79
Tablo 18. 36-10 m/sn. Senaryosu Normallik testleri.....	66
Tablo 19. 36-5 m/sn. Senaryosu SPSS Sonuçları.....	66
Tablo 20. 36-5 m/sn. Senaryosu Normallik testleri.....	67
Tablo 21. Araçların Sınıf Listesi	76
Tablo 22. Araç Sınıflarının Ortalama-Standart Sapma-Varyans Değerleri.....	82
Tablo 23. 12 Nisan 2021 KGM Verileri	85
Tablo 24. 13 Nisan 2021 KGM Verileri	85
Tablo 25. 14 Nisan 2021 KGM Verileri	85
Tablo 26. 15 Nisan 2021 KGM Verileri	85
Tablo 27. VISSIM’de Otonom Araç Penetrasyon Oranlarına Göre Trafik Akımındaki Değişim.....	88

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Avrupa Birliği'nde Ölümlü Trafik Kazaları	44
Şekil 2. Yakıt Ekonomisi-Hız İlişkisi	46
Şekil 3. Araçların 5 Parametreye Göre Dağılımları.....	70
Şekil 4. K-ortalama Yöntemine Göre Sınıf Sayısı.....	71
Şekil 5. K-ortalama Yöntemine Göre Sınıfların Gösterimi.....	72
Şekil 6. PAM'e göre Sınıf Sayıları.....	73
Şekil 7. PAM'e Göre Sınıfların Gösterimi.....	74
Şekil 8. Clara Yöntemine Göre Sınıf Sayısı.....	75
Şekil 9. Clara Yöntemine Göre Sınıfların Gösterimi.....	76
Şekil 10. Yol Hâlihazır.....	84
Şekil 11. Bölgenin Hâlihazır	84
Şekil 12. Yolun Hâlihazır ve Çamlıca Gişesi.....	84
Şekil 13. VISSIM Simülasyon Ekranı-1	86
Şekil 14. VISSIM Simülasyon Ekranı-2	86
Şekil 15. VISSIM Simülasyon Ekranı-3	87
Şekil 16. Ortalama Gecikme (saniye).	96
Şekil 17. Sistemden Geçen Araç Sayısı.....	97
Şekil 18. Toplam Gecikme (saat).....	98
Şekil 19. Toplam Seyahat Süresi (saat)	98
Şekil 20. Ortalama Hız (km/saat).....	99
Şekil 21. Toplam Mesafe (km).....	99

ÖNSÖZ

Yoğun emek ve gayret ile uzun vadeli ve değişken şartlar altında yazmış olduğum tezimi bilim dünyasına, bütün emek ve meslek ehline, ülkemizde trafik kazalarında ölen ve yaralananlara atfediyorum. Tezim süresince bana yaptığı rehberlikleri için tez danışmanım Prof.Dr. Mustafa Karaşahin Hocama çok teşekkür ederim. Tez jürilerim Prof.Dr. Hilmi Berk Çelikoğlu ve Prof.Dr. Abdullah Hilmi Lav'a teşekkür ederim. Ayrıca bana büyük destekleri olan eski iş arkadaşım Murat Konuklar'a çok teşekkür ederim. Yine benden hiçbir zaman yardımını esirgemeyen, her zaman fikir teatisinde bulunduğum iş arkadaşım Dr. Tarık Cevizci'ye çok teşekkür ederim. Yine İstanbul Teknik Üniversitesi'nden yüksek lisanstan Hocam Doç.Dr. Murat Ergün'e ve proje ekibinde yer alan Mustafa Bektaş'a ve Bektaş Kopal'a teşekkür ederim. Bununla beraber tezimin kritik noktalarında alakadarlığı ve getirdiği çözümlerle Çağrı Yüzbaşıoğlu'na ve değerli ekip arkadaşlarına teşekkür ederim. Ayrıca Dr.Mehmet Ali Silgu'ya da teşekkürü bir borç bilirim. Bunun yanı sıra benden ilgi, destek ve yönlendirmelerini esirgemeyen, İstanbul Medeniyet Üniversitesi'nden Prof.Dr. Vail Karakale Hocama teşekkür ederim. Yine çalıştığım kurum olan İstanbul Ticaret Üniversitesi'nden Prof.Dr. İsmail Ekmekçi Hocama maddi manevi destekleri için teşekkür ederim. Ayrıca yine kurumumdan eski Rektör Yardımcımız Prof.Dr. İbrahim Baz Hocama anlayış ve yol göstericiliği için teşekkür ederim. İstanbul Ticaret Üniversitesi'nden bir önceki birim direktörüm Ömer Cengiz Sezgin'e anlayış ve destekleri için teşekkür ederim. İşyerimdeki mevcut müdürlerim Prof.Dr. Necdet Şensoy Hocam ve Doç.Dr. Uğur Yasin Asal Hocama moral ve motivasyon destekleri için teşekkür ederim. Yine İstanbul Ticaret Üniversitesi'nden eski Rektör Yardımcımız ve eski Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürümüz ve mevcut ÖYSM Başkan Yardımcısı Prof. Dr. Necip Şimşek Hocama aynı kurumdayken gösterdiği alaka ve destek için teşekkür ederim. İstanbul Gelişim Üniversitesi'nde doktora başlamamda ve sonrasındaki süreçle ilgili her türlü fikir desteği ve yol göstermesinden dolayı Yıldız Teknik Üniversitesi'nden Prof. Dr. Mustafa Okutan Hocama teşekkür ederim. Yine Eskişehir İli Tepebaşı merkez ilçesi Belediye Başkan Yardımcısı Suat Yalnızoğlu'na yardımından dolayı teşekkür ederim. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nden Muhammet Salih Yiğit'e bu süreçteki bütün yönlendirmeleri, sabrı ve

ilgisi için teşekkür ederim. Daha adını zikredemediğim bütün mesai ve akademi paydaşlarıma, meslektaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.



GİRİŞ

Bu tezde otonom araçların (OA) özellikleri, gelişim süreci, ortaya çıkartan sebepler, itici güçler, küresel ölçekte mevcut durum, gelecek öngörülerini kapsamlı olarak ortaya konulmuştur. Ayrıca otonom araç tanımı yapılmış, farklı düzeyleri ele alınmış, otonom aracın avantajları, muhtemel kazanımları ortaya konulmuş ve otonom araç teknolojileri ve bağlantılı teknolojiler tartışılmıştır.

Otonom araçlar küresel düzeyde önemli gelişim kaydetmiştir. Birçok gelişmiş ülke ve gelişmekte olan ülkede üzerine çalışmalar ve test sürüşleri kamu kurumlarınca, özel şirketlerce ve kimi zaman da kamu özel ortak girişimlerinca yürütülmektedir. Ancak halen aşılması gereken konular vardır. Otonom araçlarla ilgili olan çalışmalar, hukuki, teknik, altyapıya dayalı, sosyal ve daha bir dizi yönü içermektedir. Bu ulaştırma türünde detaylı çalışma gereksinimi devam etmektedir. Çünkü otonom araçlar trafiğe girmeye başladığında hem küresel hem de ulusal ölçekte on yıllar boyunca otonom araçlar ve konvansiyonel araçlardan (otomobil) oluşan karma bir trafik devam edecektir. Konvansiyonel araçların (KA) trafikten tamamen çekilmesi on yıllar alan kademeli bir süreçtir. Bu aynı zamanda teknik, mali, altyapısal açıdan bir zorunluluktur. Bu ise detaylı analizi ve planlaması gerekli olan on yılları aşan karma trafik sınamalarını şimdiden zorunlu hale getirmektedir. Henüz karma trafiğin deneysel bir örneği sahada yoktur.

Birçok planlamanın önceden yapılması gerekliliği bulunsa da öte yandan bazı sınamalar karma trafik süreci başladığında yine de hukuki, teknik ve altyapı açılarından güncellemeyi gerektirecektir. Bu tez kapsamında otonom araçlar mevcuttaki bütün yönleriyle ele alındıktan sonra, trafik karakteristikleri açısından bir otonom araç tanımı yapılmıştır. Zira mevcut durumda trafik davranışları ve seyir özellikleri açısından tek ve nihayete ermiş otonom araç tanımından bahsedilemez. Bu bağlamda ilk olarak mevcut durumda piyasada muhtelif otonomi düzeylerindeki elektrikli araçlar üzerinde R Studio programında bir kümeli (sınıflandırma) analiz yapılmıştır. Bu program muhtelif kümeleme (sınıflandırma) yöntemlerini istatistiki hesaplamalarla yapan bir programdır. Otonom araçlar elektrikli araçlar olacaktır. Bu nedenle değişen otonomi düzeylerindeki elektrikli araçların istatistiki yöntemlerle R

Studio programında sınıflandırmasının yapılmasıyla mevcut otonom araçlar için 4 farklı sınıf olduğu tespit edilmiş ve ilgili sınıflar ortaya konulmuştur.

R programındaki istatistiki analizde söz konusu araç modellerinin her birisinin maksimum hız, ivme, menzil gibi parametreleri programa girilmiş ve hesaplama dâhil edilmiştir. Elde edilen sınıflardaki araçların ivmeleri, maksimum hızları esas alınarak her bir sınıf için ortalama ivme değerleri istatistiki hesapla belirlenmiştir. Ardından MATLAB programında girilen kodlamalarla otonom araç trafik karakteristikleri itibariyle tanımlanmıştır. Birbirini takip eden iki otonom araçtan (OA) oluşan tek şerit gidiş tek şerit gelişli bir yol şeklinde oluşturulan trafik çevresi üzerinde simülasyon gerçekleştirilmiştir. Birbirini takip eden otonom araç çiftleri için değişen hızlar belirlenmiş olup (takipçi aracın hızı takip edilen araçtan yüksek olacak şekilde) bu hız çifti senaryolarına göre MATLAB’de algı (intikal) süresi tespiti için çok sayıda simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Toplam 8 hız çifti senaryosunun her birisi için onlarca simülasyon yapılarak algı süresi elde edilmiştir. Akabinde otonom araçlar için tepki süresi ilgili kılavuzlardan alınmıştır. Böylelikle otonom araçlar için algı tepki süresi (intikal reaksiyon süresi) elde edilmiştir. Mevcut durumda otonom araçlar için ivme ve algı tepki süresi üzerinde uzlaşılmış ve kesin olarak belirlenmiş bir konu değildir. 8 farklı senaryo olduğundan 8 farklı algı tepki süresi ortaya çıkmıştır. Bu 8 farklı değer SPSS İstatistik programında normal dağılım testine sokulmuştur. Sonucunda normal dağılıma en uygun olan hız çifti senaryosu elde edilmiş olup bu senaryoya bağlı algı tepki süresi analize esas kabul edilmiştir.

Bütün bu çalışmalarla otonom araçlar için 4 ayrı sınıfta ivme değerleri ile ortak bir algı tepki süresi elde edilmiştir. Elde edilen bu trafik seyir karakteristikleri, PTV VISSIM Programında otonom araç tanımlaması için kullanılmaktadır. T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü’nden Çamlıca Gişeleri kesiminde elde edilen trafik sayımları baz alınarak PTV VISSIM programında otonom araç algı tepki süreleri ve otonom araç ivme değerleri üzerinden sisteme otonom araç tanımı yapılmıştır. Ancak 4 farklı otonom araç ivme değeri olduğundan dolayı sisteme 4 farklı otonom araç tanımı yapılmıştır. 4 otonom araç türü PTV VISSIM’de toplamda %0 otonom araç, %10 otonom araç, %20 otonom araç, %30 otonom araç ve %40 otonom araç

penetrasyonları oluşturacak şekilde eşit ağırlıklarla sisteme tanımlanmıştır. İlgili bütün veri girişleri tamamlandıktan sonra programda trafik simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda da sonuçlar ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlarla otonom araç penetrasyonu arttıkça trafikteki ortalama hız, toplam kat edilen mesafe gibi değerlerin arttığı, gecikme, bekleme, dur kalk ve benzeri bütün trafik düzensizliklerinin ise azaldığı açıkça görülmektedir.

Bu tez ulaştırmanın en yenilikçi unsurlarından birisine odaklanmaktadır. Otonom araçlar önümüzdeki 100 yıllık ulaştırma ve kentsel gelişim periyotlarını köklü bir biçimde etkileyecek ve şekillendirecek yenilik adımıdır. Endüstri devriminden sonra dijital devrimin de gerçekleşmesinin akabinde akıllı telefonların icadı da önemli bir aşamayı oluşturmaktadır. Zira akıllı telefonlar, bilgisayarı adeta bütün fonksiyonları ile birlikte ve de internet ağı imkânları paralelinde kendi bünyesinde toplamıştır. Bunun devamında da otonom araçlar ise adeta akıllı telefonların görsel ölçek olarak büyütülmüş ve mobilite işlevi kazanmış halini ifade etmektedir. Dolayısı ile de otonom araçlar zamanla geleneksel otomobilin sürüş imkânlarından daha öte ortaya çıkan ihtiyaçlara göre şekillenecek olan özelliklere de yönelecektir.

Diğer taraftan da kullanıcı araştırmaları ve ilgili sınamalar göstermektedir ki potansiyel olarak otonom araçlar gündelik ulaştırma ve trafik üzerinde önemli iyileşmeler sağlayabilir. Öyle ki daha az yer kaplaması, trafikte daha az manevra hatası dâhilinde düzenli bir seyre sahip olması, yine reaksiyon kabiliyetlerine bağlı olarak, geleneksel araçlara nazaran iki otonom araç arasındaki takip mesafesinin daha az olması, trafik içerisinde diğer araçlar ve de altyapı ile iletişime geçme imkânının bulunmasının sağladığı çok önemli faydalar bulunmaktadır. Bu bağlamda da özellikle de akıllı otopark sistemleri ile de eşgüdüm çerçevesinde otonom araçlar otopark veriminden çok ciddi oranlarda iyileşmeler kaydetmektedir. Diğer taraftan trafik güvenliği ve trafik düzenini arttırır iken trafik tıkanıklıklarını azaltmakta, ortalama olarak daha uzun kentsel seyahat mesafelerine ve hem de zamandan sağladığı ekstra tasarruflarla ulaşmaktadır.

Ancak bütün bunların hepsi kademeli bir süreçtir. Ürünün piyasaya çıkması, trafikte yer almaya başlaması, fiyatının uygun hale gelmesi, ulaştırma-trafik ve kentsel çevrenin buna göre yeniden şekillenmeye başlaması bu sürecin önemli alt başlıklarıdır.

Ürünün pazara nüfuz oranlarına göre trafiğin karma karakteri de dönüşümlü bir teşekkül yaşayacaktır. Ancak bütün bunlar münhasır değerlendirmeleri gerektirmektedir. Karma trafiğin kompozisyonuna göre trafik akımı, trafik düzeni, trafik güvenliği ve akım hızı gibi hususlar sürecin sürekli olarak yeniden yapılanmasını getirmekte olduğu için takip ve kapsamlı analizi gerektirmektedir. Otonom sürüşün etkilerinden bir tanesi ise ana sürüşten önceki ve sonraki söz konusu bu mesafelerin sürücü ile değil araç ile gerçekleştirilecek olmasıdır. Sürüş robotu aracı kendi münhasır park ettiği yerden araç sahibinin/kullanıcının bulunduğu yere aktaracak olup varış noktasına da ulaştıktan sonra nihai park etme yerlerine dağıtacaktır (RAND, 2014).

Bu tezde yazılım desteğiyle otonom araçların algı tepki süresi tespit edilmiş, yapılan sınıflandırma analizleriyle otonom araçların ivme değerleri elde edilmiştir. Buna göre VISSIM programında trafik davranışlarına dayalı olarak programa otonom araç tanımlanarak, farklı penetrasyon oranlarıyla trafik kesimine verilmiş ve otonom araçların trafiğe girdikçe oluşturduğu etki ölçülmüştür. Tez bu yönüyle alandaki diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Otonom araçların sisteme dahil oluşu ve uzun vadede yüksek penetrasyon oranlarına ulaşması ise şerit genişlikleri, altyapı, geometrik standartlar, sinyalizasyon, trafiğin teşekkülü, emniyet şeridi, kapasiteye göre şerit sayıları, refüj genişlikleri ve tasarımları, yaya yürüme yolları ve bisiklet yolları gibi pek çok hususu yeniden şekillendirecek gibi görünmektedir.

Yol genişliklerindeki değişim kayda değer bir parametredir. Zira toplamda bir ülkenin karayollarına ayırdığı toplam yüzölçümü hesaplandığında çok büyük arazi ölçeklerine ulaşabilmektedir. Söz gelimi Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) bütün karayollarının toplam yüzölçümü nerede ise Hollanda'nın toplam yüzölçümüne eş değer olmaktadır. Bu da altyapı, asfalt, bakım onarım, yapım, iş gücü, yenileme ve ortadan kaldırma bağlamında çok büyük masraf kalemlerine işaret etmektedir. Ve toplamda da yeniden planlanan bir mahal, alt kent, kent ya da bölge dâhilinde tasarım esasları değişen yollar, tasarruf edilen önemli miktarlardaki alanlara ya da ekstradan yola tahsis edilen büyük arazilere de tekabül edebilmektedir (Spieser K. e., 2014).

Zaman içerisinde otonom araçlar sisteme penetre ettikçe sahip oldukları özellikler itibari ile kenti genel olarak yeniden şekillendirmeye başlayacaktır. Öyle ki bir OA ile şu süreçlerin hepsinin gerçekleştirilmesi, tam otonomi seviyesinde söz konusu olabilecektir:

- Belirli bir araç paylaşım havuzundaki bir OA'ın bir noktadaki kullanıcı tarafından çağırılması
- Kullanıcının otonom araca (OA) binmesi ve sürücüsüz olarak seyahat etmesi
- Kullanıcının seyahat esnasında eğlence, dinlence, okuma, mesai, seyir, yeme içme, uyuma gibi etkinlikleri yerine getirebilmesi
- Otonom aracın (OA) kullanıcıyı talep ettiği yere talep ettiği sürede ulaştırması
- Kullanıcının otonom aracı (OA) mücavir alanda uygun bir yere park etmesi için aplikasyon ile yönlendirmesi
- Aynı otonom aracın (OA) kullanıcının talep ettiği saatte talep ettiği yerden kullanıcıyı alarak tekraren ilk kalkış noktasına (ev) ulaştırması

Otonom araçların yüksek penetrasyon oranları dâhilinde zaman içerisinde önce seyahat alışkanlıkları ve özellikleri, ardından tüketim kültürü, sonrasında gündelik yaşam ve nihayetinde de yaşam tarzı ve hayat kalitesinin değişmesi beklenebilecek bir durumdur. Otonom araçlar ile birlikte seyahatten beklentiler yeni bir şekil alacaktır (Yu, 2017). Küresel ölçekte otonom araçlarda öncü ülkelere bakıldığında Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) petrol zengindir. Çin de dünyanın en büyük ilk 20 petrol üreticisi arasında yer almaktadır. Otonom araçlar konusunda Brezilya, Hindistan, Endonezya, Malezya, Pakistan ve Türkiye gibi ülkelerden de girişimler beklenebilir. Yine yukarıdaki ülkelerden hemen hepsinde yerli otomobil üretimi söz konusudur. Ancak Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Almanya, Japonya, İtalya ve Güney Kore bu konuda sektörün küresel liderleri arasında yer almaktadır. Yine bilgi ve iletişim teknolojileri ise yukarıdaki ülkeler içerisinde Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Kanada, Çin, Japonya ve Almanya'da önemli gelişim göstermektedir. Bu konudaki askeri teknolojilerde ise Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Çin ve Japonya öncü konumdadır. İsveç, Kanada ve Hollanda'da ayrıca sürdürülebilirlik uygulamaları ön plana çıkmaktadır (Zhao Y. e., 2017).

Günümüz otonom araçları bir dizi sensör, kontrol teknikleri ve etkinleştirici ile donatılmaktadır. Bütün bu unsurların yüksek maliyetleri ise bir OA sisteminin gelişiminde çeşitli sınırları ifade etmektedir. Bunlar LIDAR, motor kontrolörleri, kodlayıcılar, mikro kontrolörler ve kontrol sistemlerini içermektedir. Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği (SAE) standardizasyonu da 6 adet sürüş otomasyonu düzeyi tanımlamaktadır (ORAD, Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles., 2021). Otonom araçlar konvansiyonel araçlara (KA_otomobil) nazaran daha güvenli ve düzenli bir trafiği temin etmektedir. Ancak bu durum otonom araçların trafiğe penetrasyonu arttıkça kendini gösteren bir durumdur. Tekil veya az sayıdaki otonom aracın trafiğe yansıtılabileceği, gözle görülür bir karakteristik olmaktan uzaktır. Söz gelimi %20 ile %30'luk penetrasyon oranlarına kadar otonom araçların trafikteki olumlu etkileri genellikle artarak devam eder ve %30'larda artık belirginleşmeye başlar ve doyuma ulaşır. Bundan sonraki penetrasyon oranlarında nispi trafik iyileşmeleri yansıtmakla birlikte artık ikinci zirve yükselişi trafikte baskın araç türü ve de nihai olarak homojen araç türü olduğunda gösterecektir (Jo, 2017).

Otonom araçlar otomobillere göre daha az yer kaplar. Reaksiyon süreleri daha kısadır, reaksiyon isabetlilik oranları daha yüksektir, hem zamana göre hem hıza göre takip mesafeleri daha kısa olmaktadır. Otonom araçların yol tutuşları daha iyidir, hızlanma ve yavaşlamaları daha kısa sürelerde daha düzenli ve güvenli bir şekilde gerçekleştirmektedirler. Trafikte seyirleri daha iyi, güvenli ve düzenli olarak gerçekleşmekte olup bu da trafiğin akımı, kapasitesi, verimi ve ortalama hızını daha iyi seviyelere yükseltmektedir. Dolaylı olarak güvenilirlik parametresi de artmaktadır. Halihazırda bilindiği üzere güvenilirlik (dakiklik) parametresi toplu ulaşıtırmada metro, kent içi raylı sistemlerin tamamı ve de BRT (bus rapid transit_hızlı otobüs taşımacılığı) gibi türlerde daha iyidir. Zira bunlar izli sistemlerdir ve/ya ayrık özel şeritlerde hizmet veren yüksek kapasite ve yüksek hızlı kent içi sistemlerdir. Karma olmayan trafikten kaynaklı ve de bunun da desteği ile daha düzenli bir trafikte seyretmelerinden hareketle güvenilirlik hizmet parametresi yükselmektedir. Yani zaman çizelgesinde belirtilen saat ve dakikalarda ilgili istasyonlara (duraklara) varabilmektedirler. Daha güvenli ve düzenli bir seyri daha verimli bir trafik akımıyla sağlayan otonom araçlar belirli penetrasyon oranları dâhilinde hem kendi güvenilirliklerini daha iyi ortaya koyabilecek ve hem de akan trafiğin genel güvenilirlik parametresine olumlu katkıda bulunabileceklerdir.

Otonom araçlara bütün bu avantaj ve üstünlükleri sağlayan ana bileşenlerden birisi sensörlerdir. Gelişmiş ve gelişmekte olan sensör teknolojileri otonom araçlara uzun mesafelerde, çok yönlü ve çok doğrultulu olarak algılama imkânı temin etmektedir. Söz konusu algı görsel odaklı olup birçok yöndeki ve görüş mesafesindeki çok çeşitli engelleri, nesneleri algılama imkânını temin etmektedir. Bu; trafikte önde, yanda, arkada seyir eden bir başka araç, yaya, bisikletli, yol çalışma alanı, trafik kaza alanı, hayvan, yol çevresinde ya da bir şekilde yola intikal etmiş ağaç ve türlü çeşit nesne olabilir. Yağmur ve benzeri hava durumları ile ilgili algılama da söz konusu olabilir. Söz konusu sensör algılaması (sensing) bütünü ile insan gözü detayında nesneleri çözümlemese dahi trafikte güvenliği temin edici ve düzenli akımı sağlayıcı düzeyde bir karşılığı olan tasnif esasını kullanmaktadır. Görüş alanına giren, saptadığı nesneleri boyutlarına, hareketli hareketsiz oluşlarına, hareket şekillerine, işlevlerine ve benzeri esaslara göre anlamlandırmakta ve buna göre bildirimlerde bulunarak sonraki eylemlere yön vermiş olmaktadır.

Sensörler bir nevi otonom araca eylemlerini gerçekleştireceği zemini sunmaktadır. Yani ilgili veri tabanını temin etmektedir ki söz konusu verilerin doğruluğu ve hassasiyeti bu noktada çok büyük önem kazanmaktadır. Tabi ki sensörlerin yetkinliği yani algılama mesafesi, açıları ve bunları tasnif kabiliyeti, bir nevi bu noktalardaki teknolojik gelişmişlik düzeyi çok önemlidir. Sensör teknolojileri günden güne ciddi mesafeler kat etmekte olup otomobillerde devreye giren ve otomobile birçok konuda asiste eden bu sistemler akabinde geliştikçe otonom araçlara giden yolu açan en önemli unsurlardan bir tanesine dönüşmüştür. İlk etapta otomobillerde sensörler vasıtası ile araç park edilmesi işleminde, geri istikametli sürüşte, araç kapı kilitleri, bagaj kilidi ve benzeri sistemlerde sensör desteği alınmış olup daha öncesinde ise sensörler gündelik hayatta otomobil dışında çeşitli önemli alanların güvenliğinde, aydınlatmada, garaj kapılarında, çeşitli yapıların giriş çıkışlarında ve benzeri birçok noktada kullanılmıştır. Zaman içerisinde gelişen söz konusu sensör teknolojileri en nihayetinde ise otonom araçların itici gücüne dönüşmüştür (Goldbeck, 2000).

Otonom araçlar konvansiyonel araçlara göre daha az yer kaplarlar. Reaksiyonları (tepki) insandan daha doğru ve reaksiyon süreleri de daha kısa olduğundan dolayı seyir mesafeleri daha azdır. Bu durum önündeki araç normal otomobil olsa da OA olsa da geçerlidir. Tabi iki durum arasında görece fark bulunmaktadır. Otonom araçlardan oluşan bir dizi, grup, alt küme, şerit ya şeritlerde ise söz konusu seyir mesafesi daha da azalmaktadır. Zira otonom araçların penetrasyon düzeyinin artması demek trafikte OA seyir karakteristiklerinin baskınlaşması da demektir. Öte yandan otonom araçlar muhtelif sistemler vasıtası ile birbirleri ile iletişime geçmektedir. Hele ki trafik kesiminde sayılarının artması ile adeta bir OA ağı, bir ormandaki ağaç köklerinin birbirleri ile iletişime geçmesi gibi bir bilgi akımı kümesi de oluşmaktadır. Buradaki bilgi akışı kümesi, katlanarak büyüyen bir kümedir. Adeta internet ağı gibi, bu ağın olmadığı yerlerde ise örneğin bluetooth gibi bir anlık güncellenen (saniye altı gecikmeler dâhilinde) veri akışı ve bilgi ağı kümelenmeleri oluşmaktadır.

Bu noktada ileri sürücü destek sistemi (ADAS) ve otomatik otoyol sistemleri ile başlayan, uyarlanabilir seyir kontrolü (USK) ile devam eden, günümüzde ise ayrık kısa mesafeli iletişim (DSRC) ve araçtan araca (V2V) ve araçtan altyapıya (V2I) iletişime kadar geliştirilen bir süreçten bahsedilebilir. Söz konusu teknolojik imkânların her

birisi otonom teknolojilerin gelişim aşamalarını da ifade etmektedir. Uyarlanabilir seyir kontrolü (USK) sistemleri ve araçtan araca (V2V) iletişim hız kontrolü ve manevra noktasında imkânlar sağlamaktadır. Uyarlanabilir seyir kontrolü (USK) sistemlerindeki söz konusu özellik, en öndeki aracın hızına göre hızın uyarlanması temelli olarak çalışmaktadır. Araçtan altyapıya (V2I) iletişim ise aracın hâlihazırdaki altyapı ile iletişime geçmesi sureti ile bulunulan ve bulunulması muhtemel yol kesiminin veya bölgenin hava durumu, yol durumu, trafik tıkanıklığı düzeyi vesaire ile ilgili olarak bilgi teminini sağlamaktadır. Hem araçtan araca (V2V) iletişim ve hem de araçtan altyapıya (V2I) iletişim trafik tıkanıklığı düzeylerinde azalmalar ve trafik tıkanıklığı kaynaklı zaman ve doğrudan ve dolaylı parasal maliyetlerden de tasarruflar sağlamaktadır.

Otonom araçlar sürüş ve yolculuk kapsamını ve ulaştırma talebinin içeriğini ciddi anlamda değiştirip dönüştürme potansiyeline sahiptir. Artık otonom araçlarla yolculuk esnasında sürüş koltuğunda; işle ilgili mesai yapmak, atıştırma molası vermek, dinlenmek, eğlenmek ve benzeri etkinlikler de mümkün olabilecektir. Otonom araçlar kullanıcıyı bir yere taşıdıktan sonra, kullanıcı bilgisi, onayı ve direktifleri dâhilinde, kalkış yaptığı noktaya, talep edilen herhangi bir noktaya ya da belirli bir mücavirlikteki otoparka gidebilecektir. Ve yine kullanıcısının istediği zaman dâhilinde geri dönerek kullanıcıyı alabilecektir. Ayrıca otonom araçların trafiğe çıktıktan sonra penetrasyonu süresince kullanıcı geri bildirimlerine göre yeni işlevlerle ve nitelikler ile donatılması da ihtimal dâhilindedir.

Bununla beraber Boston kenti ve dünyadaki çeşitli kentlerdeki testler ve kullanıcı anketleri ile beklentileri ve performansları öngörmek bir ölçüde mümkün olabilmektedir. Buna göre otomobil endüstrisinin yerli üretim bağlamında yıllardır yerleştiği ve otomobilin gerçekten bir kültür gibi özümsemiştiği; İtalya, Almanya, Japonya, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Fransa gibi gelişmiş ülkelerde insanların otonom araçlara olan talepleri; Hindistan, Çin, Singapur, Ürdün gibi gelişmekte olan ülkelerdeki söz konusu talebe göre daha aşağıda kalmaktadır. Zira gelişmekte olan ülkelerde hızla artan otomobil sahipliği, altyapıda hızlı kurulum süreci ve henüz oturmamış bir vaziyet, otomotiv endüstrisi kültürünün güçlü olmaması ve buna bağlı olarak kentlerindeki hızla artan trafik tıkanıklığı ve buna bağlı problemlere, yeterli planlama olmaması paralelinde hazırıcı çözümler bulma refleksleri öne çıkmaktadır.

Diğer bir taraftan ise yine belirtilen bölge ve kentlerde yapılan testlerde otonom araçların en büyük kazanımı olarak, otopark alanı kullanımında nerede ise yarı yarıya kaydedilen iyileşme ve tasarruflar öne çıkmaktadır. Trafik akımının ortalama hızı artmaktadır, ancak kentsel çeperlerde bu avantajlı durumun zayıfladığı görülmektedir. Hız artışı ve seyahat süresinde azalmalar kaydedilse de bu henüz otopark verimliliği kazanımlarının yanında ikincil düzeylerde kalmaktadır. Yine aynı seyahat süreleri dâhilinde kentin daha uzun mesafelerine yolculuk imkânının elde edildiği de, ulaşılan sonuçlar arasındadır.

Bununla birlikte Boston kenti ve benzeri diğer pilot çalışmalardan elde edilen bulgulara göre, halkın otonom araçlardan beklentilerinde otoparkta sağladığı kolaylık ve tasarrufların, hâlihazırda hız ve seyahat süresindeki potansiyel iyileşmelerin dikkate değer ölçüde önünde olduğu görülmektedir. Halk bunun yanı sıra otonom araçların konfor ve muhtelif araç içi seyir esnası çoklu işlevlerine de ciddi ilgi göstermektedir (Zhao L. S., 2013). Ayrıca söz konusu pilot uygulamalarda trafik güvenliği bağlamında da iyileşmeler kaydedildiği görülmüştür. Bu bağlamda şu da ifade edilmelidir ki kazanımlar arasında mevcut durumda en ileri düzeyde görünen otopark yeri tasarrufları konusu, akıllı otopark uygulamaları bağlamında günümüzde hızla altyapısı oluşturulabilecek bir konudur. Bu anlamda hâlihazır için dünyanın muhtelif bölgelerindeki; gelişmemiş, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki metropollerin ve büyük kentlerin en öncelikli problemlerinden birisi otopark sorunudur. Türkiye’de mevcut durumda söz konusu problemin ağırlığı bilinen bir gerçektir. Otopark yeri problemi; trafik güvenliğini, güvenliği, trafik ortalama hızını, trafikte kaybedilen otopark yeri arama sürelerini ciddi oranlarda, olumsuz anlamda etkilemektedir. Dolayısı ile günümüzde çeşitli uygulamalarla nispeten başlanılmış olan akıllı otopark uygulamalarının ilerletilmesi ile otonom araçların trafiğe penetrasyonu; eşgüdümlü ve entegre bir süreç dahilinde de algılanabilir. Bu da problemin daha hızlı ve verimli bir şekilde hafifletilmesine önemli katkılar sağlayabilecektir.

Otonom araçların gelişim süreci; ilk elden sürücü destek sistemleri ile başlamış olup takibinde araçlar arası etkileşim ve altyapı ile iletişime kadar ilerlemeler kaydedilmeye başlamıştır. Otonom araçların trafiğe girişi kademeli olarak gerçekleşecek olup bu da penetrasyon oranları ile ifade edilmektedir. Ancak kademeli olan bir başka nokta daha vardır. Şöyle ki araçların otonomluğu seviyeler halinde

ortaya çıkmakta olup bu aynı zamanda otonom araçlardaki küresel ve yerel gelişmeleri de ifade etmektedir. Yani otonom araçların trafiğe nüfuzu hem niceliksel penetrasyon bağlamında ve hem de niteliksel ilerleme anlamında kademeli bir şekilde gerçekleşecek gibi görünmektedir. Otonom araç seviyeleri şu şekilde değerlendirilebilir (Zhao L. S., 2013):

Düzy 1 Sürücü Asistanı: Araç çeşitli durumlarda direksiyon yönlendirmesi ya da hız konusunda sürücüye destek olabilir fakat yine de tüm sorumluluk sürücüye aittir.

Düzy 2 Kısmi Otonom: Araç izin verildiği durumlarda direksiyonu ve hızı tümüyle kontrol edebilir fakat sorumluluk yine de sürücüye ait olur.

Düzy 3 Koşullu Otonom: Araç direksiyonu ve hızı kontrol eder, sensörleriyle yolu takip eder fakat gerekli durumlarda müdahale etmek için insan hazır beklemelidir. Bu araçların direksiyonu bulunur. Bu seviyeye girebilecek otomobil sayısı oldukça az ve henüz dünyanın birçok yerinde bu duruma izin verilmemektedir.

Düzy 4 Yüksek Otonom: Araç her detayı kontrol eder, gerekli durumlarda insandan yardım ister, yanıt alamasa bile çalışmayı sürdürür. Bu araçlar henüz seri üretime girmediği gibi yasal olarak da kullanıma uygun değildir.

Düzy 5 Tam Otonom: Araç bir insanın yapabileceği her şeyi yapar. Bu tür araçlarda bir direksiyonun bulunmasına bile gerek yoktur. Henüz prototip aşamasında olan bu otomobiller de henüz yasallaşmış değildir.

Otomobillerde kısmi sürüş kontrolü ve asistan desteği kademeli bir değişim ve gelişimi temin etmiş olup bunun nihai noktası ise tam otonom araçların trafiğe girmesi olacak gibi görünmektedir. Sürücüsüz, tam otonom araçlarınsa trafikte tamamen hâkim ve homojen ulaştırma türü olması küresel ölçekte on yıllar alacak bir zaman dilimine işaret etmektedir. Dolayısı ile bütün bu süreçte karma trafiğin (otomobiller ve yarı otonom-tam otonom araçlar) nasıl bir akım ve düzene sahip olacağı noktası önemli olmaktadır. İşte bu geçiş döneminde; hâlihazırdaki altyapının otonom araçlara uyarlanması, trafikteki işaretlemeler ve düzenlemelerin sürece uyum sağlaması, geleneksel otomobiller ile söz konusu, çeşitli alt gruplardan oluşan otonom araçların karma bir trafikte birlikte seyri ve bu söz konusu heterojen akım, öne çıkan ve

özmlenmesi gerekli olan unsurları teşkil etmektedir. Bu çerçevede de söz gelimi intikal reaksiyon süresi (algı tepki süresi) gibi trafikteki kritik sürüş davranışlarının bir otonom araç ile insan sürücölü araç arasında ne yönde etkilendiğı ve nasıl değıştiğı gibi noktaların detaylı incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu da hâlihazırdaki ulaştırma sisteminde bir belirsizliğı beraberinde getirecektir. Yeni teknolojinin kullanımı vasıtası ile hâlihazırdaki ulaştırma sisteminin ne yönde ve nasıl gelişeceğı noktası ise henüz bütün yönleri ile bilinir bir durumda değildir. Yakın dönem çalışmalarında hâlihazırdaki ulaştırma sisteminde otonom araçların muhtemel etkileri ise trafik güvenliğı, trafik tıkanıklığı, seyahat davranışları, otopark ve araç sahipliğı üzerindeki etkiler gibi değeriendirilmektedir.

Gelişmenin erken aşamaları süresince, otonom sürüş terimi yaygın bir şekilde yarı OA için kullanılmakta olup bunların da uyarlanabilir seyir kontrolü (USK) adı verilen sürüş asistanı işlevine sahip olduğı da bilinmektedir. Otonom araçlar trafik güvenliğı ve trafik düzenini artırır iken trafik tıkanıklıklarını azaltmakta, ortalama olarak daha uzun kentsel seyahat mesafelerine ve hem de zamandan sağladığı ekstra tasarruflarla ulaşmaktadır. Ürünün piyasaya çıkması, trafikte yer almaya başlaması, fiyatının makulleşmesi, ulaştırma-trafik ve kentsel çevrenin buna göre yeniden şekillenmeye başlaması bu sürecin önemli alt başlıklarıdır. Ürünün pazara nüfuz oranlarına göre trafiğın karma karakteri de dönüşümlü bir teşekköl yaşayacaktır. Ancak bütün bunlar başlı başına ayrı değeriendirme konularıdır. Otonom araçların devreye girişı ve kademeli nüfuzu ile birlikte sosyal, kültürel, ekonomik, kentsel ve hukuki birçok değışim de beraberinde gelecektir. Otonom araçların, özellikle de tam otonom araçların insan sürücösüz özelliklerinden dolayı bir trafik kazasında sorumlulukların ve cezanın dağılımında yeni tanımlamalara gidilmesi ihtiyacı da açıktır. Zira bu noktada sürücösüz otonom aracın üretici şirketine düşen sorumluluklar ve suç tarafı olma ihtimali söz konusu olacaktır. Bunların hepsi mevcut hukukta sağlam dayanaklarla tanımlanmayı gerektirmektedir (Zhao L. S., 2013).

Otonom araçların erken dönem versiyonları ise hava durumu, yol durumu ve trafik yönetimi hakkında bilgi toplayan münhasır araç içi sensörlere dayanmaktadır. Bu söz konusu sensörlerin kalitesindeki dikkate değeri artışa karşın halen belirli aralıklara ve hassas sınırlara sahip olmaya devam etmektedir. Sonuç olarak otonom araçların performansı bu söz konusu sensör sınırlarına bağılıdır. Örneğın otonom

araçların maksimum hızları ise radar aralıkları ile sınırlandırılmaktadır. Bir radar sensörü belirli bir tespit aralığına sahiptir ve o aralıktan ötesini görüp tespit edememektedir. Dahası otonom araçların (OA) her zaman için tespit aralığından sonra bir bariyer olduğu kabul edilmektedir ve dolayısı ile de aracın maksimum yavaşlamasının hesaba katılması vasıtası ile maksimum hız hesaplanabilir (Zhao L. S., 2013).

Bağlantılı araçlar (BA) ve OA karayolu ulaştırma sisteminin geleceğini şekillendirecektir. Söz konusu bu teknolojiler; hareketlilik, güvenlik, konfor ve yakıt tüketimini arttırma eğiliminde iken salımları ise düşürmektedir (Talebpour A. H., 2011). Yapılan çalışmalarda simülasyon sonuçları karayolu kapasitesinin, heterojen akım dâhilinde bağlantılı ve otonom araçların pazar penetrasyon oranı arttıkça, yükseldiğini göstermektedir. Bağlantılı ve otonom araçlarda %30 pazar penetrasyon oranına kadar ise karayolu kapasitesi kademeli olarak artmaktadır. Bağlantılı ve otonom araçların pazar penetrasyonu oranı %30'u geçtiğinde ise büyüme oranı büyük ölçüde bağlantılı ve otonom araçların yetkinliği tarafından belirlenecektir. Yetkinlik arttıkça karayolu kapasitesi büyüme oranı da artmaktadır (Talebpour H. M., 2016).

Çeşitli çalışmalarda, değişen penetrasyon oranları altında karayolu kapasitesi üzerinde bağlantılı ve otonom araçların muhtemel etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Burada bağlantılı ve otonom araçların penetrasyon oranları %30'ları aştığında büyüme oranı ise geniş ölçüde istenen net zaman boşluğu üzerindeki bağlantılı ve otonom araçların yetkinliği tarafından karara bağlanmaktadır (D.J. Fagnant, 2015). Burada %2'lik bir pazar penetrasyon oranı için, otopark talebi kayda değer azalma gösterebilmektedir. 2015 yılında ise Uluslararası Ulaştırma Emekçileri Federasyonu'nun (ITF) çalışmasına göre %100'lük OA penetrasyon oranı durumunda yer tasarruflarının %85 ile %95'ler seviyelerinde gerçekleşmektedir. Bu bağlamda Fagnant ve arkadaşları toplam otopark talebinin bir paylaşımlı otonom araç (POA) başına yaklaşık 8 araçlık yer tasarrufu sağladığını önermektedir. 2017 yılında Zhang ve arkadaşları paylaşımlı otonom araç (POA) sisteminin %5'lik bir pazar penetrasyon değeri dâhilinde Atlanta'da otopark yerlerinde %4,5'lik bir azalmayı sağladığını ortaya koymaktadır (Kloostera, 2017). İngiltere'de M1'deki bir otoyol koridoru VISSIM'de tasarlanmıştır ve bağlantılı ve otonom araçları kontrol algoritmasının uygulanması için kullanılmıştır. Özellikle de hesaplanan trafik kararsızlıkları

bağlantılı ve otonom araçların %25'lik, %50'lik, %75'lik ve %100'lük penetrasyon oranları için sırası ile %12-47, %50-80, %82-92 ve %90-94'lük azalmalar göstermektedir. Son olarak sonuçlar bağlantılı ve otonom araçların varlığının verimli bir trafik akımını sağladığını göstermektedir (Fan R. e., 2013).

Günümüzde otomobilin özellikle Türkiye başta olmak üzere birçok ülkede bir statü olarak algılandığı bir gerçektir. Bunun yanı sıra otomobilin; Amerika Birleşik Devletleri (ABD), İtalya, Almanya, Japonya, Fransa, İngiltere gibi ülkelerde güçlü bir kültürü ve ekolü olduğu da bilinmektedir. Dolayısı ile bu söz konusu yerlerde, otonom araç (OA) her ne kadar piyasaya girip yüksek müşteri memnuniyeti oluştursa dahi, otomobilin hemen terkedilmemesi beklenebilir bir durumdur. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin bir kısmında, statü algısının da desteği ile otomobili, otonom araçların başarısı olsa dahi hemen terk etmeyebilir. Ayrıca yapılan araştırmalarda Çin, Hindistan, yakın doğu ülkeleri, uzak Asya ülkeleri gibi muhtelif ülkelerde otonom araçlara olumlu bakışın küresel ölçekte en yüksek seviyelerde seyrettiği de görülmektedir. Bunun temel nedeni söz konusu gelişmekte olan ve gelişmemiş kimi ülkelerde altyapının büyüme hızına yetişememesine paralel olarak trafik tıkanıklığı, otopark sorunu, kentsel plansızlık, özel otomobil sahipliğindeki artış, zararlı gaz salımları, trafik güvenliğindeki yetersizlikler gibi artan bir dizi ulaştırma trafik bağlantılı problemlere karşı, statü algısının yanı sıra, hazırcı çözüm refleksi bağlamında da otonom araçlara olan yüksek bir talepten söz edilebilir. Ancak gelişmiş ülkelerde ise otonom araçların öncüsü ve itici gücü olmasına karşın, konunun daha sistematik ve kapsamlı ilerlemesinden ötürü, otonom araçlara giriş belli düzeyde hızlı olsa da, tam tersine gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki memnuniyet ve talebe kıyasla daha düşük kalan bir memnuniyet düzeyi olabileceğinden söz edilebilir. Bu; gelişmiş ülkelerdeki insanların otonom araçlardan gerçek memnuniyet düzeylerinden çok algıdaki bir psikolojik eşik noktasındaki bir tutumunu yansıtmaktadır.

1.1. Ekonomik Boyut

Otonom araçların ilave maliyetlerinin miktarının hâlihazırda geriye kalan cevaplanmamış soruları ne yönde geliştireceği noktası önemlidir. Bu kapsamda analiz edilen senaryolar makul görünmekte olup hareketliliğin gelecekte daha ekonomik olacağı kabulü altında tartışmalar yürütülmektedir. Bunun ile beraber araçları

donatmak için gerekli ilave maliyet hesaplamaları hem satın alma ve hem de işletim maliyetlerinin başlangıçta önemli derecede artışlar göstereceği kabulünü yapmaktadır. Bunun yeni mücavir alan yapılar ve ulaştırma altyapısı uyarlamaları için kentsel idarelerde ilave maliyetlerle sonuçlanması ise alt kentlerin cazibesini arttırması sonucunu doğurabilir (Schoettle B. S., 2014).

Bütün bunların dışında ise aşamalar politikacılar, idareciler, ulaştırma işletimcileri ve gayrimenkul sektörü gibi yerel ve bölgesel paydaşlar için planlamada belirsizlikleri içermektedir. Özellikle de ulaştırma altyapısı ve kurulumunun gelişiminin uyarlamaları ise düzenleme ve finansmana karşılık gelenler de dâhil olmak üzere uzun vadeli bir yaklaşımı gerektirmektedir. Dolayısı ile otonom sürüş sırasında kentsel arazi kullanımındaki değişimler sadece caddedeki araçların çoğu otomat olduğu zaman beklenmelidir. Uzunca bir süre bu duruma ulaşılmayacaktır, trafik yoğunluğu önemli ölçülerde artmaya devam edecek, yolculukların planlanması zor olacak, otopark talebi yüksek devam edecek ve cadde genişlikleri etkisiz kalacaktır. En azından yerel trafik ve kentsel planlama alanındaki paydaşlar, dolayısı ile halen eylem ve karar almada önemli bir intibak yoksunluğu çekmektedir. Otonom sürüşün güncel olarak orta ve uzun vadedeki durumu ile ilgili olarak tek netlik yoksunluğu bu değildir.

Sürüşteki otomasyon dikkate değer potansiyel güvenlik faydalarını vaat etmesine karşın sürücüsüz araçların kapsamlı ticarileştirilmesi ancak, ‘teknolojik sistemlerden kaynaklı hasarlardan kim sorumlu ve yükümlü’ gibi etrafta dolaşan sorular cevaplandığında, söz konusu olabilecektir (Schamm, 2010).

1.2. Hukuki Boyut

Yüksek karmaşıklık düzeyli teknolojilere yönelik muhtelif tanımlamalar herhangi bir OA devreye girme durumunda azalmaktadır. Buna ilave olarak disiplinler arası kapsam çeşitli teknik rehberleri içermek durumundadır. Geliştiriciler, genel kabul gören iyi mühendislik uygulamaları, uygulamanın genel olarak fark edilen ve yasal olarak uyulması gereken kodları, sanayi standartları ya da gelişmişlik gibi standartlar ya da kılavuzlar dâhilinde kendi şartnamelerini oluşturmaya yetkindirler. 16/06/2009 tarihli karar ile Alman Federal Yargıtay Mahkemesi (BGH) otomotiv endüstrisi için gereklilikleri arttırmayı istemiştir ve şaşırtıcı bir şekilde en ileri gelişmişlik ve bilimsel

seviye terimini şekillendirmiştir. Bu da geliştiriciler için ilave zorluklar üretmektedir. Mevcut durumda bilimsel amaçlar için araştırma araçlarında uygulanabilir olan işlevler örneğin sıcaktan, soğuktan, titreşimden, kirden ya da sudan koruma gibi bir dizi üretim araçları için beklentileri karşılamaktan çok uzak laboratuvar koşulları altında bulunmaktadır.

Geliştiricinin bakış açısındansa, yeni karmaşık sistemlerin dikkatli bir gelişimi için bu söz konusu yasal gereksinimler sadece doğrulama testlerinden sonra tamamlanabilir. Bu ideal olarak uluslararası bir şekilde uyumlandırılmalı ve standartlaştırılmalıdır. 2009 yılından itibaren Alman BGH yargısı ise delilin korunumu için uzman görüşlerine temellenerek gelişmişlik düzeyi seviyesine dayalı olarak güvenlik için bütün muhtemel tasarım önlemleri dâhilinde üretim için ekonomik ve teknik uygunluk haricen söz konusu bu gelişim gereksinimlerini açıklamaktadır. (Bundesgerichtshof, 2009).

Buna ilave olarak daha önceki temel BGH yargısı, pazar başlangıcından önce risk ve faydaların değerlendirilmesi gerekliliği kararına varmıştır. Genel kabullü teknoloji kuralları teriminin bir açıklaması ise hukuk yapılandırılması bağlamında Alman Ceza Yasasının 330. Maddesi ile ilgili cezai gelişmeler dahilinde 1891 yılındaki karara dayalı olarak 1910 yılından bu yana Alman yargısında şekillenmiş bir durumdadır.

‘Teknolojinin genel kabul gören kuralları teknik sahadaki bütün deneyimlerin toplamından kaynaklı olarak ifade edilebilir olup kullanımda ispatlanmıştır ve sahadaki doğrulayıcı uzmanlar da bu duruma ikna olmuştur.’

Ürün sorumluluğuna göre teknolojinin genel kabul gören kuralları minimum gereksinimler ile ilgilenmektedir. Kurallara uymama, gerekli güvenlik derecesine ulaşılmadığı anlamına gelmektedir. DIN-VDE (Elektrikli Cihazlar Sertifikası) düzenlemeleri, DIN (Alman Standartlaştırma Enstitüsü) standartları, kaza önleme düzenlemeleri ve VDI (Alman Ürün Sertifikasyonu) kılavuzları ile ilgili diğer kılavuzlarda tanımlıdır (USAT, 2000). Alman Ürün Güvenliği Yasası 11/08/2011’deki revize versiyonunda, güvenlik gereksinimleri ve tüketici ürünleri üzerine kurallar getirmiştir. Bunun öncülü ise 01/05/2004 tarihli Donanım ve Ürün Güvenliği Yasası olup bu da sırası ile 24/06/1968 tarihli Donanım Güvenliği Yasası

ve 22/04/1997 tarihli Ürün Güvenliği Yasasının yerini almıştır. İlgili yasanın bölüm 3’ünde pazardan ürün temini için genel gereksinimler tanımlanmaktadır:

‘Bir ürün eğer ki kullanımı kişi güvenliğini ve sağlığı tehlikeye düşürmüyor ise pazarda yer alabilir’

Bir sav için, yasal temellerinden bağımsız olarak, ürün sorumluluğu terimi genel olarak kusurlu bir üründen ortaya çıkan hasarlar için bir üreticinin yasal sorumluluğu anlamında kullanılmaktadır. Bir üretici kim olursa olsun bir nihai ürüne, bir unsur ürününe, bir hammaddeye ya da isim veya marka adının üzerinde olduğu bir ürüne sahiptir. Almanya’daki ürün sorumluluğu için, savlarda iki ayrık temel söz konusu olmaktadır. Alman sivil kodunun 823 numaralı bölümünde görüldüğü üzere sorumluluğa dayalı kusurların ilk temeli ortaya konulmaktadır, ikinci temeli ise ürün yükümlülük yasasında ihtiva edildiği üzere haksız fiil işleyen kimse ile ilgili kusur ya da ihmalden bağımsız olarak sıkı bir sorumluluk sınırı çizmektedir. 2/15/1989 tarihli Ürün Yükümlülük Yasasının 1.bölümü kusurun sonuçlarını şu şekilde tanımlamaktadır:

‘Eğer ki bir insan öldürüldü ise ya da vücudu veya sağlığı zarar gördü ise ya da eğer ki bir ürünün kusuruna bağlı olarak bir mülkiyet hasar gördü ise, bir ürünün üreticisi herhangi bir kayıp için hasarlı kısımları telafi etmek ile yükümlü olmaktadır.’

Ürün kusurunun bir ihmal vasıtası ile ya da kasten olup olmadığından bağımsız olarak kusur Alman Ürün Sorumluluğu Kanunu’nun (ProdHaftG) 3. bölümünde şu şekilde tanımlanmaktadır:

‘Ürünün sunumunu dikkate almak sureti ile geniş bir kesim olarak öngörülen toplumda güvenlik yoksunluğu hissedildiğinde ürün kusurlu olarak sınıflandırılmaktadır. Ürün sirkülasyona girdiğinde ve ürünün kullanımında makul gerekçeler söz konusu olduğunda bu değerlendirmeler yapılmaktadır.’

Hasar kusurlu bir üründen ortaya çıkabilir, Ürün Sorumluluk Kanunu, üreticinin sorumluluğunu düzenlemektedir. İlk olarak bu, acı ya da sıkıntının telafisi, kişisel yaralanma, finansal kayıplar ya da mülk hasarı için sivil sorumluluklara potansiyel desteğe yol açmaktadır. Makul durumlarda tedarikçiler, ithalatçılar, dağıtıcılar ve satıcılar aynı zamanda sınırlama olmaksızın yükümlü durumuna geçebilirler (EC,

1985). Dahası yasal olarak cezai sorumlu bulunan durumlarda, eğer ki risklerin kabul edilebilir düzeylere indirgenmesinin söz konusu olmadığı ispatlanabilir ise üst yönetim ya da münhasıran işçiler için belli başlı sonuçlar söz konusu olabilir. Bir ihmalin sonucundaki bir suça bağlı olarak ya da ciddi bir eksiğin söz konusu olduğu durumlarda bu bir geliştiriciye karşın şahsi cezai takibatı içerebilir.

Potansiyel yasal sonuçlarının yanında üreticiler aynı zamanda dikkate değer ölçüde olumsuz ekonomik etkileri öngörmektedir. Medyadaki olumsuz manşetler ise kazanım ya da karlarda önemli kayıplara, imaj hasarına, güvende kayba ve en nihayetinde de pazar payında önemli kayıplara yol açmaktadır. Dolayısı ile yeni bir sistem geliştirilir iken hem potansiyel yasal sonuçlar ve hem de ekonomik riskler dikkate alınmalıdır.

Temelde genel tip onay gereksinimlerinin yanında günümüzde hâlihazırda bulunan otomat araçlar ile ilgili küresel bir ortaklaşma ve uyumlu yöntem bulunmamaktadır. Bunlar ise ISO26262 ile bağlantılı olarak ileri sürücü destek sistemlerinin (ADAS) tasarım ve değerlendirmesi için ADAS Uygulama Kodu Yükümlülük 3'e benzer bir şekilde kontrol listesi dâhilinde uluslararası yasal olarak bağlanan gelişim kılavuzunun kullanılması sureti ile üretilebilmektedir.

Gelecek kılavuzları hem günümüz gereksinimleri doğrultusunda oluşacaktır ve hem de bunların ileri ölçüdeki bir uyarlamasına konu olacaktır. Gelişim süresince risk değerlendirmesi yöntemleri ise araç kullanımı sırasında herhangi bir kabul edilemez insan tehlikesinin beklenmediği bir vasatı temin etmektedir. Dahası genel yasal geçerli gereksinimler, kılavuzlar, standartlar ve prosedürler gelişim işlemi süresince minimum gereksinimleri dikkate almak sureti ile oldukça az düzeylerde tutulmalıdır (J-C, 2015).

Tehlike analizi ve risk değerlendirme prosedürü etkinleştirilmiş enine ve boyuna işlevlerin gelişimi için ileri sürücü destek sistemleri (ADAS) uygulama kodu ile ilgili olanlarının yanı sıra karmaşık elektrik/elektronik araç sistemlerinin işlevsel güvenliği için ISO26262 Bölüm 3'de tanımlanmış ve şerh edilmiştir. Bilahare verilen örneklerde olduğu gibi yöntemlerin bir kısmı da aynı zamanda tehlike analizi ve risk değerlendirme prosedürüne vurgu yapmaktadır. Tehlike analizi ve risk değerlendirme prosedürünün amacı ise bizatihi tasnif ve hedeflerin tayini için hesaba katılan birimin potansiyel tehlikesini belirlemektedir. Bu da tehlikelerin önlenmesine imkân

tanınmaktadır dolayısı ile de genel kabul edilebilir bir risk düzeyini de temin etmektedir. Buna ilave olarak ise otomotiv güvenlik entegre düzeyi kategorize edilmiş ve bir ögenin güvenlik üzerindeki etkisine karar verilmiştir. Bu söz konusu öge karmaşık bir elektrik/elektronik sistem olarak ISO26262’de tanımlanmıştır ya da muhtelif teknolojilerin mekanik unsurlarını içerebilen bir fonksiyon olabilir. Otomotiv güvenlik entegre düzeyi (ASIL) muhtemel tehlike durumları ve işletim koşullarının sistematik bir analizi vasıtası ile onaylanmaktadır. Bu aynı zamanda da ortaya çıkış ihtimaliyeti ile ilgili olarak ağırlıklandırılmış zarar ölçeği vasıtası ile kaza şiddet düzeylerinin de aynı zamanda bir değerlendirmesini içermektedir (ISO, 2011).

Otonom araçların üretilmesi ve trafiğe girmesi hukuk ve etikte de karayolu trafiği bazlı değişiklikleri meydana getirecektir. Özellikle de trafik güvenliği ve trafik kazaları bağlamında hukukun tayin ettiği tarafları bile değiştirecek ve yeniden şekillendirecek bir potansiyel sahip olmaktadır. Ülkemizde iç hukukta halen otonom araçlara has bir düzenleme bulunmamakla birlikte bu konudaki Cenevre ve Viyana sözleşmelerine ise Türkiye taraftır. Bu anlamda otonom araçların Türkiye ulaştırma sistemine dahil bağlamında değişiklikler yapılması muhtemel kanun ve yönetmelikler ise de şu şekilde olmaktadır:

1. Yasalar:

- 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu
- 4925 sayılı Karayolu Taşıma Kanunu
- 5393 sayılı Belediye Kanunu
- 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu

2. Yönetmelikler:

- Karayolları Trafik Yönetmeliği
- Karayolu Taşıma Yönetmeliği
- Araçların İmal, Tadil ve Montajı Hakkında Yönetmelik
- Belediye Zabıta Yönetmeliği
- Büyükşehir Belediyeleri Koordinasyon Merkezleri Yönetmeliği
- Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik
- Tıp Yönetmelikler

1.3. Teknik Boyut

Avrupa Birliği (AB) sınırları dâhilindeki ÷lkelere yani bir başka deyişle birlik coğrafyasına bakıldığında denizcilik ve denizyollarına elverişli bir bölge olduğundan söz edilebilir. Havayolları gelişmiştir. Aynı zamanda engebese az olan düzlük olarak tanımlanabilecek geniş alanlar bulunmaktadır.

Avrupa Birliği (AB) sürdürülebilirlik perspektifi ulaştırma doğrultusunda şu şekilde özetlenebilir.

- Konvansiyonel demiryollarına (KD) yatırım
- Hızlı demiryolları (HD) ve yüksek hızlı demiryollarına (YHD) yatırım
- MAGLEV'e (manyetik iletim sistemleri) yatırım
- Alternatif ulaştırma türlerine yatırım
- Bisiklet ulaşımı ve yaya erişilebilirliğinin geliştirilmesi
- Çevre dostu ve yeşil dostu ulaştırma
- Yavaşlatılmış kent uygulamaları
- Özel otomobil sahipliği ve kullanımının azaltılması
- Petrole bağımlılığın azaltılması
- Alternatif yakıt türlerinin geliştirilmesi
- Yenilebilir enerjiye yatırım
- Çevre dostu enerji türlerinin geliştirilmesi
- Sera gazı salımlarının azaltılması
- Atık yönetimi ve geri dönüşüm sistemlerinin geliştirilmesi
- Atıktan enerji üretimi
- Elektrikle ve/ya diğer çevre dostu ve indirgenmiş maliyetli enerjiler ile çalışan otomobil üretimi
- Yenilikçi teknolojilere yatırım
- Akıllı ulaştırma sistemlerine yatırım
- Akıllı kent uygulamalarının geliştirilmesi
- Akıllı şebeke uygulamalarının geliştirilmesi
- Akıllı altyapı teknolojilerinin geliştirilmesi
- Akıllı aydınlatma sistemlerinin geliştirilmesi
- Akıllı atık yönetiminin geliştirilmesi

- Dengeli türel dağılımın geliştirilmesi
- Türler arası entegrasyonun geliştirilmesi
- Trafik güvenliğinin artırılması

Bütün bunlar doğrudan ya da dolaylı olarak sürdürülebilir ulaştırma ve dolayısı ile de sürdürülebilir kalkınmanın hedefleri doğrultusunda ve içerisinde yer almaktadır. Bütün bu çerçeve otonom araçların bu tabloda, yani Avrupa Birliği'nin sürdürülebilirlik perspektifi dâhilinde sürdürülebilir ulaştırma politikaları kapsamında çok anlamlı bir yere oturduğunu göstermektedir. Zira OA:

- Yer tasarrufludur
- Trafik akım kapasitesini artırır
- Trafik akım verimini artırır
- Trafik akım hızını artırır
- Güvenlidir
- Emniyetlidir
- Yenilikçi ve ileri teknoloji ürünüdür
- Akıllı ulaştırma sistemleri ve muhtelif akıllı sistemler ile ilintilidir
- Enerji verimlidir
- Trafik güvenliğini artırır
- Çevrecidir
- Sera gazı salımı yoktur
- Otopark yeri tasarrufunu ciddi oranlarda artırır
- Hızlı ulaşım sağlar
- Dakik ve güvenilirdir
- Trafik tıkanıklığını azaltır

Otonom araçların bu özelliklerinin büyük çoğunluğu Avrupa Birliği'nin (AB) ve genel olarak da sürdürülebilir ulaştırma hedeflerinin dâhilindeki hedeflerdir (Schnelle, 2016).

Otonom araçların ilk ve yaygın örneklerinin elektrikli araçlar olması nedeni ile ağırlıklı olarak düzlük arazilerden oluşan Avrupa kıta sahilinde tercih edilir olabileceği ve Avrupa Birliği (AB) politikalarında yer edineceği düşünülebilir. Avrupa Birliği

(AB) aynı zamanda Paris, Roma, Marsilya, Londra, Monaco, Milano, Napoli, Venedik, Viyana, Prag, Kopenhag, Berlin, Münih, Köln, Amsterdam, Rotterdam, Lahey, Anvers, Brugge, Brüksel, Madrid, Sevilla, Barselona, Zaragoza, Valensiya, Stockholm, Glasgow, Edinburgh, Birmingham, Göteborg, Malmö ve Helsinki gibi planlı ve düzenli çok sayıda büyük kente sahiptir.

Otonom araçların verimli, düzenli ve akıcı bir trafik akımı oluşturmalarından dolayı trafik tıkanıklığı ve kaynaklı kayıplardan tasarruf sağlanması muhtemeldir. Öte yandan ise belirli bir penetrasyon oranına ulaşp piyasa doyumu ve fiyat optimizasyonu ile karşılaştığında otomobil (konvansiyonel araç) sahiplik oranlarını azaltacaktır. Bu durumda aşağıdaki tasarrufları net bir şekilde sağlayacaktır:

- Sürücü personeli tasarrufu
- Yakıt tasarrufu
- Zaman tasarrufu
- Trafik tıkanıklığı kaynaklı kayıpların bütününden tasarruf
- Trafik kaza kaynaklı kayıplardan tasarruf
- Otopark yeri tasarrufu
- Mevcut altyapı uyarlamaları ile altyapı harcamalarından tasarruf
- Çevresel kayıplarda iyileştirmeler yolu ile tasarruf

Otonom araçlar ile ilgili çalışmalar 20 yıl öncesine kadar uzanmaktadır. Küresel ölçekte 2050 yılı itibari ulaştırma ve trafikte karakterini gösterecek kadar bir OA yaygınlığının yakalanması beklenmektedir. Son yıllarda Norveç, Finlandiya, Hollanda ve Singapur otonom araç teknolojisinde önemli ilerleme kat etmişlerdir. Toplam otomotiv sektörü büyüklüğünün 2030 yılı itibari ile 8 trilyon ABD Doları olması beklenmektedir. Yine 2030 yılı itibari ile satılan araçların %15'inin OA olması beklenmektedir. Söz konusu yıl itibari ile küresel ölçekte OA sektörünün 1,5 trilyon ABD Doları bir büyüklüğe ulaşması beklenmektedir. 2030'lu yıllarda toplu ulaştırma, konvoy sürüş ve yük taşımada tam otonomi öngörülmekte olup bireysel taşımacılıkta tam otonomi için 2050 yılı öngörülmektedir (Sherman, 2016).

Esasen otonom araçlar Avrupa Otomotiv Teknoloji Platformu (ERTRAC) tarafından hazırlanan 2050 Yılı Stratejik Planı çerçevesinde de değerlendirilebilir. Bu plana göre otonom araçlar ilgili enerji, ulaşım ve kent sistemleri dâhilinde akıllı kentler

ve akıllı yolların parçası olacaktır. Amerikan Otomotiv Mühendisliği tarafından tanımlanan 5 otonomi seviyesi dikkate alınır ise 1. ve 2.sinde sürücü tam sorumluluğu bulunur iken 3. ve 4.seviyelerde ise esasen sürücüsüz olan ancak sorun durumlarında sürücünün müdahalesine açık durumlar söz konusu olup 5.seviyede ise tam otonomiden söz edilmektedir. 2020’li yıllarda sorun durumunda sürücü desteği, 2020’li yılların sonunda kent içi sürüş ve konvoy sürüş desteği ve 2050’li yıllarda ise tam otonom sistemlerin dâhil olması beklenmektedir (Kalra, 2016).

1.4. Kentsel Altyapı Boyutu

Otonom araçların yüksek penetrasyon oranlarına ulaşıldığında, ulaştırma sisteminde bir kent için, toplu garajlardan ya da muhtelif büyüklüklerdeki birçok otoparktan ortak kullanım imkânı daha da artacaktır. Paylaşımlı otonom araçların park halinde bekletildiği büyük garajlar, merkezi yerlerdeki aktarma istasyonları ve erişilebilirliğin az olduğu yerlerdeki OA kümelenmelerinden bahsedilebilecektir. Bu durumda paylaşımlı otonom araçlar için etkin ve verimli otopark yeri kullanımının önü açıldığı gibi genel olarak, sahiplenilen otonom araçların da ilgili mahal, mücavir alan veya alt kentteki otoparklardan etkin ve verimli kullanımı söz konusu olabilecektir. Bu durumda bir OA sahibi oturduğu evinde ayrıca bir garaj ya da otopark yerine sahip olmak durumunda kalmayabilir. Çok daha verimli ve çözüme yönelik adımlar atılması mümkün olabilecektir. Bundan da öte yüksek penetrasyon oranlarında araç sahipliği oranlarında ciddi azalmalar kaydedilebilir. Zira otonom araçların piyasaya büyük ölçüde penetre ettiği durumlarda zaten konvansiyonel araç (otomobil) sayısı genel olarak azalmış olacaktır ancak otopark yeri arama, bulma ve park etme kolaylıklarından ötürü otonom araçlara sahip olma talebi de uzun vadede düşebilir. Bunun diğer nedenleri ise paylaşımlı bir otonom aracın yeterli sürüş konforu, emniyet, güvenlik, hız ve dakikliği (güvenilirlik) sağlayabiliyor oluşu ve talebi sistematik bir şekilde karşılayabilme yetkinliğidir. Ancak en temel neden ise tam otonomi dâhilinde otonom araçlar ile sürüş ve yolculuk mahiyetinin temelden değişimler gösterecek olmasıdır (Kalra, 2016).

Otonom araların penetrasyon oranlarının artışı ve en nihayetinde homojen bir OA trafiğine ulaşıldığında kent yapısı büyük ölçüde bu aşamadaki dönüşümünü tamamlamış olacaktır. Zira otomobilin icadı ve sonrasında da küresel ölçekte

yaygınlaşmasıyla birlikte ortaya çıkan otomobil odaklı kentlerde aşağıdakiler görülmüştür:

- Kent merkezi büyümüştür
- Çok merkezli kent yapıları oluşmuştur
- Güçlü arterler ve gelişmiş çevre yolları oluşmuştur
- Ev, iş, alışveriş ve diğer etkinlik alanları birbirinden ayrıklaşarak gelişme imkânı bulmuştur

Dolayısı ile otonom araçların devreye girmesi ve piyasada yerleşmesi ile birlikte de aşağıdakiler beklenebilir:

- Kent merkezleri çevreye doğru nüfus aktarır
- Çok merkezli kent yapısı daha da güçlenebilir
- Kentsel planlama daha da düzenli hale gelebilir
- Sera gazı salımları azalır
- İskân ve istihdam alanları birbirinden daha da ayrıklaşır ve aralarındaki mesafe artar
- Kentin daha kırsal bölgelerine düzenli kır evleri inşası ve insanların söz konusu bu bölgelerde iskânı artabilir
- Hem kent alanı ve hem de genel olarak il sınırları büyüyebilir.

Görüldüğü üzere otonom araçların devreye girmesi hem ulaştırma sistemi ve hem de kent yapısı üzerinde derin değişimler meydana getirebilme potansiyeline sahiptir (ORAD, SAE J3016: Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems. , 2016). Ancak bu uzun vadede net ve görünür olarak okunabilecek bir etkidir. Yine geçmişten günümüze otomobilin icadı, demiryollarının icadı, uçağın icadı da ulaştırma sistemi ve kentsel altyapı üzerinde ciddi etkiler bırakmış ve önemli değişimler oluşturmıştır (Akesson, 2006).

Yenileyici ve akıllı kent senaryolarında ağlandırma fikri net bir şekilde kentsel yer üzerinden yürütülmektedir. Çok türlü aktarma merkezleri, örneğin araçtan (elektrikli) toplu ulaşırmaya türler arasındaki basit aktarmalar ve fiziksel ağlandırmaya imkân tanımaktadır (Treiber, 2013). Bu, aynı zamanda toplu ulaştırma filosunun bir parçası olarahtan ilişkide olan otonom araçlarda ve hareketlilik

merkezleri ve tesisleri civarında organize edilen kentsel bölgeleri ifade etmektedir. Otopark ve onun kentsel yerleşime olan etkisi ise aynı zamanda hemen hemen bütün senaryolarda oldukça muhtelif yollar ile tartışılmaktadır. Yenileyici kent senaryosunda, özel araçlar ve yerel otopark alanı yönetiminin azalan sayıları bağlamında geleceğin akıllı kentinde, toplu ulaştırma ile bağlantılanabilen özel araç kullanımı başarılabacaktır ve yeni park et ve git alanları hareketlilik merkezlerinde ortaya çıkacaktır (Nobis, 2014).

Tablo 1. Geleceğin Kenti Senaryoları (Nobis, 2014)

Senaryo	Otonom sürüş şekli	Kentsel arazi kullanımı	Sürüş unsuru
Yenileyici kent	-Kentsel hareketliliğin bel kemiği olarak esnek, çok türlü ve ağlandırılmış toplu ulaştırma	--Türler arası hareketlilik merkezlerinin teşekkülü	-Teknolojik gelişme
	-Yarı otonom araçlar	-Yeni otopark sistemlerine dayalı olarak kentsel otopark yerleri için arazi tüketiminde azalma	-Kaynakların sorumlu ve bilinci kullanımı
			-Devlet mevzuatı ve benimsenme
Hiper hareketli kent	-Yüksek ağlandırılmış toplu taksi sistemleri	-Yüksek yoğunluklu kent merkezleri	-Yaşam tarzı ve ticari kabulüne dayalı olaraktan bilgi ve iletişim teknolojilerinin artan kabulü
	-Kılavuzlu şeritlerde ev iş güzergâhları boyunca ya da yüksek toplu ulaştırma hacmi dâhilindeki otoyollarda otonom araçlar	-İndirgenmiş yoğunluklu alt kent gelişimi	-Gerekli bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) gelişiminde kamu ve özel sektör işbirliği
Daimi kent	-Araç baskın yapı	-Alt kent gelişimi	-İdari döngüde sınırlı devlet yaptırımı
	-Toplu ulaştırma dâhilinde indirgenmiş ağlandırma düzeyi	-Kurulum yoğunluklarındaki genel düşüş	-Kümeli alanlardaki verimlilik gelişimlerini sınırlayan teknolojik gelişme
	-Otomat sürüşte kayda değer gelişme olmayan durum		

Yukarıda görülmektedir ki kapsamlı muhtelif seçenekler ortaya konulabilir. İlk olarak otonom özel araç gelişimi tarif edilmekte olup bu da, araç altyapı iletişimi vasıtası ile trafik akımında entegre edilen ya da bir oto pilot sistemi tarafından herhangi bir dış destek olmaksızın kontrol edilen senaryoya bağlı olmaktadır. İkinci olarak ise senaryolar otonom sürüşü toplu ulaştırma arzının entegre bir parçası olarak tasavvur etmektedir. Şu kabul edilebilir ki kentsel oluşumu üzerindeki etkiler, otonom ulaştırma sisteminin teşekkülüne ciddi bir şekilde bağlıdır. Dolayısı ile de bunun takibinde her iki oluşum ayrı olarak algılanıp değerlendirilmelidir.

Genel olarak ev önü araç otoparkı için gerekli alandaki beklenen değişimler kurulum yapısının tipine göre değişmesine karşın genelde küçüktür. Otopark yerlerinin ev ile aynı parselde olduğu tekil aile evlerinin mücavir alanındaki meskûn mahallerde herhangi bir değişim beklenmemektedir. Sadece, söz edilen bu elverişli otopark yeri başka bir araç tarafından yani OA tarafından işgal edilmiş olacaktır. Kent içi bölgeler gibi daha yüksek yoğunluklu alanlarda ise mücavir alan otopark yerleri ya da toplu garajlar, mücavir alanda belirlenmiş besleme havzalarındaki boş yeri bulmak için münhasıran sadece otonom araçlar için ortaya çıkacak ya da geliştirilecektir (Noll M, 2012).

Otopark maliyetlerine gelecek olunursa bunun otonom sürüş dâhilinde nasıl değiştiği hususu daha net hesaplanamamıştır. Bir taraftan varış noktasında yolcuyu indirmek ve bilahare kentteki başka herhangi bir yere park etmek para tasarrufu sağlayabilir. Diğer bir taraftan ise otopark tesisleri ve altyapısının iyileştirilmesi ve yeniden yapılandırılması ayrıca kendi maliyetlerini oluşturmaktadır (Jahresberichte, 2014).

Çeşitli çalışmalar, otonom sürüş elverişli olduğunda alt kent meskûn mahallerinin cazibesinde bir artışa işaret etmektedirler (Jahresberichte, 2014). Bu argümana göre bir otonom aracı kullanan hane halkı, otonom araçlar yerleşimlerin dezavantajlarını telafi edeceğinden dolayı, kent merkezinden uzaktaki indirgenmiş ev fiyatlarına sahip olan yeşil alanlarda yaşamayı tercih edebilirler. Bir sonucu da son yüzyılın ikinci yarısındaki alt kent gelişimine benzer bir şekilde nispeten indirgenmiş yoğunluklu yeni meskûn mahallerin türemesi olabilir. Bu ise güçlü bir şekilde motorlu taşıt artışı, altyapı, ayırık kullanımlı ve dağınık kentlerin bir politik yaklaşım

planlaması ve kırsal alanda yerleşmeye karar veren hane halkı tarafından desteklenmektedir. Sonuçlar halen günümüz arazi kullanım unsurları üzerinden görülmektedir.

Kentsel arazi kullanımı üzerinde otonom araçlar dâhilindeki bir toplu ulaştırma sisteminin etkileri ise oldukça ileri düzeyde olabilir. Otonom araçların kullanımı, araç belirli bir mesafeye kadar otopark istasyonu için seyrüsefere gerek duymadığından dolayı diğer taraftan da bir sonraki yolcu için sürüşü kolaylaştırdığından dolayı kent merkezlerinde otopark alanı inşa gereksinimlerini dikkate değer ölçülerde azaltacaktır. Dolayısı ile araçlar sürekli hizmette de olabilecektir. Otopark yeri için talep azalacaktır. Bunun; hizmetteki araçların temizlenmesi, bakımı, yakıtının doldurulması-şarj edilmesi ve tamiri için yerel bir depo olarak kurulması gerekmektedir. Kentsel arazinin kullanımındaki bir diğer değişim ise özellikle toplu ulaştırmanın diğer teşekküllerine aktarma noktaları başta olmak üzere ana hareketlilik merkezlerinin özelliklerini daha da geliştirecek olan indi bindi istasyonlarının kurulumudur. Bu yerlerin yeniden şekillendirilmesinden de öte kullanımdaki değişimler aynı zamanda ana aktarma merkezlerindeki hizmet tesisleri ve geleneksel alışveriş merkezlerinin büyük bir yoğunlaşması gibi, beklenen bir durumu ifade etmektedir.

Kentsel alanlardaki hareketlilik, ulaştırma ve arazi kullanım unsurları birbirleri ile yakın bir ilişkiye sahiptir. Kentsel şekillenme; hane halkı ve işyeriyle ilgili hareketlilik kararlarında önemli bir rol oynamaktadır ve ulaştırma türü seçimlerine önemli ölçülerde dikte etmektedir. Yüksek yoğunluklu ve karma kullanımlı sıkı kentsel oluşum, kısa mesafeli seyahatler ve verimli toplu ulaştırma için iyi ön koşullar temin etmekte, yürüme ve bisikletli sürüşü teşvik etmekte, sıklıkla da gerekli olmayan araç kullanımını azaltmaktadır. Kentsel yayılma sırasında ise seyrek nüfuslu arazi kullanımları bağlamında, diğer taraftan yaya ve bisiklet kullanımı arka planda kalır iken araç kullanımı öne çıkmaktadır. Dolayısı ile elverişlilik ve belirli ulaştırma türlerinin kullanımı kent oluşumunu ve gerek duyulan altyapıyı güçlü bir şekilde etkilemektedir. Son yüzyılın ikinci yarısının meskûn alt bölgeleri, motorlu yolcu ulaştırması için araç elverişliliği ve ulaştırma altyapısının yayılımı tarafından ciddi anlamda tetiklenmiştir.

Tam otomat aracın elverişliliğinin hareketlilik ve kentsel arazi kullanımı arasındaki bağlantıyı bütünüyle yeniden belirleyip belirlemeyeceği konusu önemli olmaktadır. Birkaç istisna hariç bu soru halen cevapsız kalmaktadır. Hâlihazırda kentsel ulaştırma sisteminde OA entegrasyonunun vizyonu, halen esasen araç teknolojisinin bizatihi kendisinin gelişini ve trafik akımı üzerine etkisini ifade etmektedir (Angel, 2011).

Çekirdek dokümanlarda tanımlanan senaryolar esasen 3 tip altında tasnif edilebilir:

- Yeniden üretilebilir/akıllı kent
- Hiper hareketli kent
- Daimi kent

Bu kapsamdaki senaryolar daha detaylı olarak da ele alınmaktadır. Bir dizi gelecek çalışması; muhtemel bir gelecek planlaması olarak yenilenmeli (rejeneratif) olarak kentlerin gelişimine ışık tutmaktadır. Bu çalışmalar 2030'dan 2050 yılına kadar kentsel gelişimin kalbi ve itici gücü olarak verimli ve çevre dostu bir mantıkta kaynakları kullanan teknolojik gelişmeleri incelemektedir (Litman, 2014). Analizi yapılan bir dizi çalışma göstermektedir ki Londra gibi kentler hâlihazırda çoktan kentsel altyapının dönüşümü adına ve de ulusal bir politika gerekmeksizin enerji yönetimi ve atık yönetimine yenilikçi ve merkez kaça dayalı yaklaşımlar uygulanması adına imkânlar içermektedir (Mitchell, 2010). Kentler yerleşimlerin kalitesini geliştirmek için aktif bir şekilde çözüm arayan politika ve kent idaresi arasında rekabetin itici gücü ile kendi kendilerini dönüştürmektedir.

Otonom araçların tasarlanabilirliği dâhilinde bir ulaştırma sistemi boyunca ardışık bir dönüşümün nasıl olacağı noktası önem arz etmektedir. İlk olarak piyasaya sürülmedeki makul senaryoların ne olduğu konusuna değinilmelidir. Burada hâlihazırdaki altyapının sadece nasıl dönüştürüleceği değil aynı zamanda da mevcut durumdaki önceliklendirme ve ulaştırma araçları ile muhtelif ulaştırma türlerinin rollerinin süreç içerisinde nasıl değişeceği konusunun da netleşmesi gerekmektedir. Otonom araçlardaki artış ve özel trafik şeritlerinin ortaya çıkışı dâhilinde muhtelif ulaştırma türleri arasındaki işlev ayrıklaşması daha da artacaktır. Bu aynı zamanda da otonom araçların yoğun trafik akımının bir sonucu olarak caddeyi geçmek adına diğer

ulaştırma kullanıcıları için artan bir zorluk durumuna da işaret edebilir. Bu da otonom sürüşün kendi etkisi dâhilinde gelecekte yönetilmesi gerekli olan muhtelif ulaştırma türlerinin bir kompozisyonuna doğru ne kadar yol kaldığı sorusunu gündeme getirmektedir (FHWA, 2004).

Otomotiv üreticilerinin büyük çoğunluğu ise bağlantılı ve otonom araçlar ile ilgili olarak ise devam eden projelere sahiptir ve de saha işletim muayeneleri ise hem kentsel çevrede ve hem de otoyollarda icra edilmiştir. Söz konusu bu muayeneler ispatlamaktadır ki bağlantılı ve otonom araçlar yeni zorluklar dizisini ortaya çıkaracak ve de hâlihazırdaki karayolu ağına çok yönlü bir dönüşümü de beraberinde getirecektir. Örneğin hâlihazırdaki otoyollar, kentsel altyapı bağlantılı ve otonom araçları tamamen ortaya çıkaracak bir şekilde düzenlenebilir durumdadır. Buna ilave olaraksa iletişim standartları ve birleştirilmiş protokol hâlihazırdaki altyapı ile bağlantılı ve otonom araçlar arasında söz konusu olup henüz netliğe kavuşmuş değildir. Ayrıca muhtelif bağlantılı ve otonom araç üreticilerinin yazılımları arasındaki uyurlanabilirlik net değildir ve de bu da onların bir ağ ya da koridor düzeyindeki işletimsel ve de etkileşimli kararlarını etkileyebilmektedir (Gong, 2018).

Bu anlamda 2013 yılında ise Burns ve arkadaşları kullanıcılar (bekleme süresi) ve işletimciler (üretim maliyeti) için paylaşımlı otonom araçların faydasını hesaplamaktadır. Yerel şartnameler; seyahat uzunlukları, hız, filo boyutu ve araç maliyet unsurları gibi değişkenlere göre hesaplamalar yapmaktadırlar. Model şu kabulü yapmaktadır ki araç hızı sabittir ve kalkış varış seyahatleri de çalışma alanı boyunca üniform yayılmaktadır. Buna da ilaveten farklı boyutlardaki 3 Amerika Birleşik Devletleri (ABD) kenti olan Ann Arbor, Babcock Ranch (Florida) ve Manhattan'daki (New-York) bir uygulamaysa, otonom araçların (OA) ekonomik potansiyelini de tasdiklemektedir (Abraham, 2017).

2014 yılında Spieser ve arkadaşları ise Singapur'daki paylaşımlı otonom araçlar tarafından özel araçların yerine toplam ikamenin etkilerini analiz etmişlerdir. Paylaşımlı otonom araçların hizmet ömrünün ise 2,5 yılın üzerinde olduğu kabul edilmekte olup bu da eğer ki sürüş paylaşımı hesaba katılırsa 1,5 yıla indirgenebilmektedir. Satın alma maliyetleri ise yaklaşık olarak 15.000 ABD Dolarıdır. Dolayısı ile paylaşımlı otonom araçların maliyetleri ortalama olarak,

otomobillerin 11.315 ABD Doları/yıl olan maliyetinden daha az olup 9728 ABD Doları/yıldır. Paylaşımlı otonom araçların ortalama bir 5,5 dakikalık bekleme süresi için zamanın değerinin entegre edilmesi sureti ile de boşluk maliyetleri dahi önemli olmaktadır. Buna da ilave olarak otopark yerini kentin çarşı merkez alanlarından daha ücra köşelerine taşımaksa önemli tasarruflara imkân tanımaktadır. 2017 yılında Zhang ve arkadaşlarının çalışmasındaki öneriye göre, paylaşımlı otonom araç sistemi %5'lik bir pazar penetrasyon değeri dâhilinde Atlanta'da otopark yerlerinde %4,5'lik bir azalmayı temin etmektedir. Daha da ilerisi ise, istasyonların yerlerini ve kapasitelerini belirleyen kentsel kısıtlar, elektrikli araç durumunda dahi bütünüyle dikkate alınmış değildir. Araç paylaşımına benzer bir şekilde iki hizmet dağılımı muhtemel olmaktadır: istasyon bazlı ve serbest dalgalı. Serbest dalgalı olan, istasyon bazlı olanın kullanımından daha geniş bir çeşitlilikte kullanılmaktadır. Sabit istasyonların ve serbest dalgaının terkihi ise az yoğunluklu alanlardaki istasyon yerleşimleri ve bekleme sürelerini azaltabilmektedir. Dinamik otopark maliyetlerinin kullanımı bu şekilde tayin edilebilir (Davidson, 2015).

Benzer bir şekilde ise OA kullanımından kaynaklı yeni yolculuklar hesap edilenin ciddi anlamda altında kaldığında ise karayollarında hâlihazırdaki altyapı kapasitesine sahip olan araştırma kentleri ise yeni/teşvik edilen talebin biriktirilmesi için yeterli olmaktadır. Bu durum ise söz konusu yetkinliklerin desteklenmesi için tasarlanan trafik sinyalleri ile araçtan altyapıya (V2I) iletişim sistemlerini içeren kamu altyapı yatırımlarının yanı sıra etkin kapasite artışları (ortak uyarlanabilir seyir kontrol vasıtası ile (CACC) ve trafik tıkanıklığı azaltma özellikleri (trafik düzgünleştirme algoritmaları gibi) sayesinde gerçekleştirilmektedir. Bunun ile de beraber kentsel yayılma, sera gazı salımları ve sağlık endişeleri gibi olumsuz etkiler ise kolaylıkla azaltılabilir bir durumda değildir (Schrack, 2012). Dünya genelindeki 27 kentte 5500 tüketici ile yapılan bir araştırma; potansiyel OA kullanıcılarının birçok parametre arasında, trafik tıkanıklıklarından kaçınmak ve araç içinde üretken olmak ile ilgilendikleri sonucuna ulaşmıştır. Şaşırtıcı bir şekilde araştırma, otonom araçların tek en önemli faydasının park yeri aramak zorunda kalmamak olduğunu ifade etmektedir (BCG, 2018).

Boston kenti dâhilindeki işbirliği çerçevesinde; 3 tür tüketici dalgası araştırması yapılmıştır. Bir 2015 yılı tüketici çalışması; bir otonom aracı sürebileceği görülen deneklerden %60'ı dâhilinde dünya genelinde otonom araçlara ciddi bir ilgi olduğunu

göstermektedir. Yeni teknolojinin algılanan çoğu faydalarının arasında kent sakinlerinin en çok değer verdiği otonom araçlardır çünkü park etme sıkıntısı devre dışı kalmış olmaktadır. Temmuz 2016'da otonom araçların katalize edilmesi ve hareketlilik hedeflerinin başarılması için ve bir kentin bu söz konusu teknolojiye nasıl odaklanabileceğinin stratejisinin kurulması için, kentteki otonom araçların etkisinin değerlendirilmesi adına Boston belediyesi ile ortaklık halinde bir çalışma yürütülmüştür. Bu bağlamdaki bulgular ise dünya genelindeki kentler için önemli göstergelere sahiptir. 2017 yılında ise bütün bir kentin daha kapsamlı bir trafik modeli adına daha elverişli veriyi teşkil ettiğinden dolayı özel araçlar, taksiler, özel otonom araçlar ve paylaşımlı otonom araçların türel karışımının projelendirilmesi de dâhil olmak üzere birleşik analiz sonuçları elde edilmiştir. Bu noktada ise 3 önemli bulgu ortaya çıkmaktadır (BCG, 2018):

- Paylaşımlı otonom araçlar caddelerdeki araç sayısını azaltacak ve kentte kat edilen toplam seyahat süresini de azaltacaktır. Bulgular ise karayolundaki araç sayısının %15 azalır iken toplam seyahat kilometrelerinin ise %16 artacağını göstermektedir. Bununla beraber ortalama seyahat süresi ise sadece %4'lük bir iyileşme olup bu oran diğer çalışmalardaki kadar etkileyici bir sonuç olmayıp en nihayetinde yine de bir gelişme anlamına da gelmektedir.
- Otonom araçların devreye girmesi kentin alt bölgelerindeki trafik tıkanıklık düzeylerini daha da ağırlaştıracak olup bunun en temel nedeni ise bu söz konusu araçların kısa mesafe toplu ulaştırma araçları yerine ikame olarak seçilmesidir. Boston'un alt kent bölgelerinde seyahat süresi %5,5'lik bir artış göstermektedir. Kentsel çekirdeğin mücavir alanındaki bir yerleşim olan Allston'da ise talepte hareketlilik türleri, temelde toplu ulaştırmadan ziyade ciddi anlamda özel araç kullanımının yerini almış durumda olup buradaki seyahat sürelerinde %12,1'lik düşüşler kaydedilmiş bir durumda görünmektedir (BCG, 2018).
- Yeni türel kompozisyon ile Boston yaklaşık olarak cadde ve otoparktakilerde dâhil olmak üzere hâlihazırdaki otopark kapasitesinin yarısı ile otopark sorununu çözebilecektir. Otonom araçlar kentin caddelerinin külliyatlı tasarımını yeniden düşünmek için bir fırsat sunmuş olmaktadır (BCG, 2018).

İKİNCİ BÖLÜM

OTONOM ARAÇ İLETİŞİM ALTYAPISI

2.1. Sensör Teknolojileri

İnsan sürücülere benzer bir şekilde otonom araçlar sürekli olarak kendi mücavir alanlarını gözlemleyebilmekte ve de net ve doğru bir şekilde hem yerel ve hem küresel ölçekte konumlarını tayin edebilmektedir. Otonom araçları söz konusu bu yetkinlikler ile donatmak için sensörler aracın içine ve çevresine kurulmaktadır.

Genel bir inceleme olarak otomotiv algısı 3 ana kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar ise kendinden algı, konumlanma ve mücavir alanı algılamadan meydana gelmektedir. Kendinden algı; araç hızı, ivmesi, savrulması ve devrilme açısı dâhil olmak üzere, tam otonom aracın mevcut durumunun ölçülmesi için ön algı sensörlerini kullanmaktadır. Bu çerçevede ön algı bilgisi genellikle; kilometre sayacı, atalet ölçü birimi (IMU), cayroskop ve kontrolör alanı ağı otobüsünden temin edilen bilgi gibi ön yüklemeli ölçü birimlerini kullanmak sureti ile tayin edilmektedir. Bu kapsamda konumlanma ise GPS gibi harici sensörler ya da IMU okumaları aracılığıyla gerçekleşmekte olup hesap pusulalarını kullanmaktadır ve aracın küresel ve yerel konumunu tayin etmektedir. Son olarak mücavir alan sensörü ise de diğer araçlar ve hatta sürücünün durumu da dâhil olmak üzere engellerin durumu, hava koşulları, trafik işaretleri, trafik eğimi ve trafik sinyallerini algılamak için harici intibaklı sensörler kullanmaktadır. Ön algı ve harici algı sensörleri hem aktif ve hem de pasif sensörler olarak sınıflandırılabilirler. Bu çerçevede aktif sensörler elektro manyetik dalgalar halinde enerjiyi yaymaktadır ve de mesafe gibi unsurların tayini için geri dönüş süresini hesaplamaktadır. Bunun örnekleri ise radar, deniz radarı ve ışık saptama ve mesafesini tayin eden lidar sensörlerini içermektedir. Bu anlamda pasif sensörler ise sinyal yaymamaktadırlar ayrıca civarda hâlihazırdaki elektro manyetik dalgaları daha iyi algılamaktadırlar. Hangi sensörler ya da sensör terkiplerinin OA için uygun olduğunun tayin edilmesi de zor bir konudur. Bu çerçevede bir sensör ya da sensör terkihi (kombinasyonu) seçilmeden önce şu gibi parametrelerin dikkate alınması önemli olacaktır: 1) gerek duyulan ön algı ya da harici algı bilgileri, 2) bir aktif ya da pasif sensörün kullanımının gerekip gerekmediği, 3) bütçe ve 4) tekil ya da çoklu sensörün kullanılıp kullanılmayacağı.

Konumlanma tipik olarak GPS, kilometre sayacı, atalet ölçü birimi (IMU) ve kameralar gibi sensörlerin bir ter kibini kullanmak suretiyle yüksek hassasiyetli sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktadır. Çoklu sensörlerden veri birleştirme ise münhasır sensörlerin eksikliklerini en aza indirebilmektedir ve sistemin de güvenilirliği ve sağlamlığını arttırmaktadır. Bütçeye bağlı olarak konumlanma için kullanılan sensörler ise çok pahalıdır ve GPS ve IMU sistemlerinin 3 boyutlu engel saptama sistemleri ile birleştirilebildiği terkiplere kadar çeşitlilikler gösterebilmektedir. Üretim araçları için de geliştiriciler genel olarak maliyeti minimize etmek ve güvenliğini maksimize etmeği amaçlamaktadır dolayısı ile de ikinci yöntem sıklıkla kullanılmaktadır (Jennie Lioris, 2018). Bununla beraber görsel tabanlı sistemler de kendi eksikliklerine sahiptirler. Görsel tabanlı sistemler ile ilgili bir endişe ise hesap mesafesi bilgisinin karmaşık algoritmaları gerektirmesi olup buradaysa aktif sensörler yüksek hassasiyet dâhilinde doğrudan bu bilgiyi tespit edebilirler.

Sensör teknolojisi, bir makinenin dışardan bir araçtan bilgi temininde ve makinenin görmesi, duyması, tatması, dokunması ve beyin bilişi, unsur bilişi ve doğal dil işleme için elektromiyografiyi ihtiva eden ana bir yolu meydana getirmektedir. Yapay zekâ (YZ) bir insan etkinliğinin simüle edilmesi ve insan bilgisinin çalışılması için bir robotun geliştirilmesini sağlamaktadır (Jennie Lioris, 2018).

Sensör birleşimi aynı zamanda çoklu sensörlerden kaynaklı verinin birleştirilmesi ile sınırlandırılmamaktadır. Bu anlamda sensör birleşimi aynı zamanda da daha güvenilir bir çıktı temin etmek için de tekil bir sensörün çoklu okumasından kaynaklı olarak veri birleşimi suretiyle de icra edilebilmektedir. Bununla beraber genelde ve daha geleneksel bir mantıkta sistem bolluğu vasıtasıyla sistemi daha güvenilir bir hale getirmek için tanımlı bir iş amacı dâhilinde iki adet sensör seçilebilir. Bu; rekabetçi birleşme olarak adlandırılmaktadır. Aynı zamanda da kapsamın arttırılması için iki bütünleyici sensör kullanılabilir. Buna örnek olarak da aracın daha geniş bir açısını kapsamak için bir aracın her köşesinde tamamlayıcı lidarın kullanılması verilebilir. Sensör birleşimi ise daha yüksek bir hesaplama maliyeti dâhilinde indirgenmiş başlangıç yatırımı, daha güvenilir veri çıktıları, daha fazla kapsam, uygulanabilirlik içeren bir dizi neden için geniş anlamda kullanılabilmektedir. En son neden ise sıklıkla sensör birleşiminin neden tekil kullanım ve yüksek hassasiyetli sensörlerden yana seçildiği ile ilgilidir.

Yüksek hassasiyetli bir sensörün başlangıç parasal maliyetiyle genellikle sensör birleşimi vasıtası ile tekil sensör algoritmalarına benzer daha iyi sonuçlar verebilen ikili indirgenmiş maliyetli sensörlerin maliyetlerinden daha yüksek olmaktadır. Yüksek hassasiyetli sensörlerin kullanımı genellikle diğer sensörler ile birleştirilmesinden de bağımsız olarak, iyi bir yöntemdir, temin edilen maliyet ise halen otomotiv uygulamaları için makul kalmaya devam etmektedir.

İleri sürüş destek sistemlerindeki (ADAS) önemli gelişmeler ise son on yılda kaydedilmiştir. Araç içi algı tespit etme gereçlerine dayalı akıllı sistemler karayolu güvenliğini geliştirmeyi desteklemektedir. İleri sürüş destek sistemlerinin (ADAS) geliştirilmesinde bir sonraki adım ise kooperatif akıllı ulaşım sistemlerini ifade eden bir şekilde mücavir alandaki araçlar ile ilgili olarak daha ileri ve güvenilir bir bilgi temin etmek için araçtan araca iletişime (V2V) işaret etmektedir. Telsiz iletişiminin kullanılması sureti ile potansiyel risk durumları, çarpışmaların önlenmesine yardım etmek için daha erkenden tespit edilebilir ve de diğer araçların hareketleri hakkındaki daha ileri bir bilgi ise araç kontrol performansının gelişimine katkı sunabilir. Araştırma projeleri uygun araç sistemi ve onun muhtemel uygulamalarının gereksinimlerini belirlemek için dünya genelinde icra edilmektedir.

Araçtan araca (V2V) kooperatif AUS uygulamalarının çoğu, çarpışma önleme ve güvenliğin geliştirilmesine odaklanmasına karşın ticari olarak elverişli uyarlanabilir seyir kontrolü (ACC) sisteminin gelişmesi ile ulaşılan ortak uyarlanabilir seyir kontrolü (CACC) sistemi ise otoyollardaki trafik tıkanıklığını azaltmak sureti ile trafik akım kapasitesi ve düzenliliğini artırmak için yüksek bir potansiyele sahip olmaktadır. Araçtan araca (V2V) iletişimin devreye girmesi ile birlikte, araç sadece ACC sistemlerinde olduğu gibi öndeki araçtan değil aynı zamanda da öndeki aracın önündeki araçtan da bilgi temin etmektedir. Bu ön bilgiye dayalı olarak ise önceki araçtan kaynaklı hız değişimlerine dayalı salımlar ciddi azalmalar gösterebilmektedir. Uyarlanabilir kontrol sistemlerindeki (ACC) iletişimin içerdiği faydalar ise yakın geçmişte ciddi anlamda çalışılmaya başlanmıştır (Rödel, 2014).

Sabit bir zaman boşluğu araç takip stratejisi ise ticari uyarlanabilir seyir kontrolüne (ACC) benzer bir şekilde uygulanmaktadır. Fakat bu oldukça kısa zaman boşluğu dâhilindeki bir elverişlilikte gerçekleşmektedir. Bu başarılabilirdir çünkü

araçtan araca (V2V) iletişim, araç yerleşiminin daha sıkı kontrolüne imkân tanımaktadır ve dizi dengesini garanti etmektedir, böylelikle de araçlar arası zaman boşluğu oluşumu, sürücüler için daha konforlu ve kabul edilebilir olan, üretilen uyarlanabilir seyir kontrolü (ACC) zaman boşluğundan oldukça kısa olmaktadır. Ardından bütün bir sistem, araçlarda kurulan üretilmiş uyarlanabilir seyir kontrolü (ACC) performans karşılaştırması için gerçek zamanlı senaryoda test edilmektedir. Giriş ve çıkış manevraları aynı zamanda günlük trafik durumlarını simüle eder bir şekilde konvansiyonel trafik sınırlılıkları altında kontrolörü değerlendirmek için test edilmektedir (Schoettle B. e., 2015).

Daha önceden de vurgulandığı üzere bir fabrikasyon kurulumuna sahip uyarlanabilir seyir kontrolü (ACC) kontrolörü araçlarda elverişli bir hale getirilmiştir. Bu kontrolör ise araç etkinleştiricilerine hedef hız komutlarını göndermektedir. Aynı kontrol değişkeni ortak uyarlanabilir seyir kontrolü (CACC) sistemleri için de elverişlidir fakat örneğin indirgenmiş düzey kontrolörü gibi fren pedalı ve gaz pedalını kontrol eden ticari bir sistem vasıtası ile etkimeyi gerektirmektedir. Araç kontrol mimarisi 3 aşamaya ayrılan klasik bir robot kontrol mimarisinden meydana gelmektedir (Schoettle B. e., 2015).

- 1) Algı: Araçta kurulan sensörlerden temin edilen bilginin bütününe bu aşamada ulaşılmaktadır. Burada iki kaynak öne çıkmaktadır. Bir taraftan telsiz güvenlik birimi sisteminden gelen bilgi söz konusu olup burada hız, ivme, öndeki araca olan mesafe, hâlihazırdaki zaman boşluğu, kontrol etkinleştirilmesi ve benzerleri dâhilinde dizideki diğer araçlar ile bütün veriler iletişim halinde olmaktadır ve de veri yapısına erişip dâhil olmaktadır. Bu veriler aynı zamanda dizideki araç konumu silsilesinin saptama ve atamasında da yer almakta olup daha geniş bir alan arttırma sisteminin değişimli doğrulaması dâhilinde küresel konumlanma sistemini (GPS) kullanan bir telsiz güvenlik birimi vasıtası ile icra edilmektedir. Diğer taraftan bilgi, fabrikasyon lidar ölçütleri, odyometre (kilometre sayacı, mevcut hız üzerinden) ve ivme ve bayrak işaretleri üzerinden araç üzeri sensörler ile temin edilmektedir. Dönen tekerleğin sağ tarafında yer alan sürücü ara yüz düğmeleri ise aynı zamanda CACC kontrolörü için de kullanılmaktadır.

- 2) Planlama: Bu aşama yüksek düzey kontrolörü ihtiva etmektedir. Örneğin hem ticari uyarlanabilir seyir kontrolü (ACC) ve hem de yeni geliştirilen ortak uyarlanabilir seyir kontrolü (CACC) sistemi testler süresince elverişli durumdadır böylelikle de sürücü gerçek zamanlı olarak bu ikisi arasında geçiş yapabilmektedir. Geçiş için kontrol kodu örneğin ekonomik sürüş türü, spor türü, standart tür ya da kar sürüşü türü gibi vitesli tür seçimlerinden gelen bilgiyi okumaktadır. Spor türü seçildiğinde ise yüksek düzeyli kontrolör, CACC kontrolör çıktısını alacaktır. Diğer türlerden herhangi birisi seçildiğinde, ACC kontrolör çıktısı ise indirgenmiş düzeyli kontrolöre gönderilecektir. Ortak uyarlanabilir seyir kontrolü (CACC) kontrolör kodu MATLAB/Simulink'te üretilmiştir ve hedef hız komutlarının gönderildiği yer vasıtası ile araca bağlanan dSpace MicroAutoBox'ı kullanan bir araca yüklenmektedir. Ortak uyarlanabilir seyir kontrolü (CACC) kontrolörü ise hem sürücü ara yüz düğmesinin kullanılması ve hem de fren pedalına basılması sureti ile ticari ACC ile aynı yöntemle pasifleştirilebilir.
- 3) Etkinleştirme aşaması ise planlama aşamasından gelen hedef referans komutların uygulanmasıyla olmaktadır. Daha önce de ifade edildiği üzere bu indirgenmiş düzeyli kontrolör ise fabrika üretimi ticari ACC kontrolörünü kullanmak sureti ile hız ve pedal etkinliklerindeki hedef hız komutlarını dönüştürmekle gerçekleşmektedir.

Ortak uyarlanabilir seyir kontrolü (CACC) kontrolörünün hedefi ise hem düzenlilik ve hem de netlik dâhilindeki herhangi bir trafik kısıtında öndeki araç ile istenen boşluğa sürücüyü uyarlamaktır. Uyarlanabilir seyir kontrolü (ACC) sürücü ara yüzü ise ortak uyarlanabilir seyir kontrolünü (CACC) yönetmek için kullanılmaktadır. Aracın önünde herhangi bir araç tespit edilmediği durumlarda uyarlanabilir seyir kontrolü (ACC) kontrolörünün açılması ve kapanması, üç boşluklu kurulum ve de seyir kontrol hızının kurulum, artış ya da azalış seçenekleri için düğmeleri ihtiva etmektedir. Uyarlanabilir seyir kontrolü (ACC) imalat sistemi içinse elverişli boşluk oluşumları ise 1,1, 1,6 ve 2,2 saniye olmaktadır. Ortak uyarlanabilir seyir kontrolü (CACC) sistemi içinse en kısa boşluğu 0,6 saniye olarak meydana gelmektedir. Bu değerse genel kamudaki sürücüler tarafından kabul edilen daha önceki testlerin yanı sıra acil durumlar altında kaza önlemeye yardımcı olmak için gerekli olan ayırık

tahminlere dayalı olarak seçilmektedir. Diğer iki elverişli CACC boşluk oluşumu ise 0,9 ve 1,1 saniye olmaktadır (Schoettle B. e., 2015). Ortak uyarlanabilir seyir kontrolü (CACC) kontrolörünün tasarımında iki kısıt söz konusu olmaktadır, bunlar ise indirgenmiş düzey kontrolörüne erişmek ya da onu geliştirmenin mümkün olmamasıdır (S. Shladover, 2010).

2.2. Araç Takibi

Yakın geçmişte araç takip konusu trafik mühendisliği ve güvenlik araştırmalarında artan bir öneme sahip olmaya başlamıştır. Aynı şeritteki mücavir araçlar arasındaki tipik etkileşimi tanımlayan bu olgunun modelleri, mevcut durumda çoğu önemli araştırma alanının köşe taşı oluşturmakta olup bu alanlar ise a) ağdaki araç hareketini kontrol eden araç takip modeline dayalı simülasyon modellemesi, b) insan hataları haricen sürücü davranışlarını taklit etmek için sürüş güvenlik desteği gibi ileri araç kontrol ve güvenlik sistemlerini içermektedir. Bu noktada artık öne çıkan, araç takip modelinin tercihindeki elverişli seçenek aralığını açıkça değerlendirmek ve çalışmanın halen ne düzeyde olduğu ve basit bir işleme dönüşmesi için gereken zamanı ele almaktır (Mark Brackstone, 1999).

Trafik akımında diğerlerini takip eden sürücüler tarafından işlemi tanımlanmış olan araç takip modelleri neredeyse yaklaşık 50 yıldır çalışılmaktadır. Bununla birlikte birçok elverişli bağıntı genellikle hamdır ve birçok zaman da kesin bir şekilde anlaşılmış ya da ispatlanmış olmamaktadır. Araç takibinin kendisi bütün mikroskobik simülasyon modellerinde ana işlemlerden bir tanesini teşkil etmektedir bunun yanı sıra ise bireysel sürücü düzeyi ve daha makroskobik ölçekte ise küresel davranış arasındaki etkileşimi çözümleme teşebbüsünde bulunan modern trafik akım teorisinde de ana işlemlerden bir tanesini meydana getirmektedir. Yakın geçmişte bu gibi modellerin önemi, ileri araç kontrol ve güvenlik sistemlerinin işlevsel tanımlamaları bazlı olarak normal davranış modellerini meydana getirmesi dâhilinde daha da artmaktadır. Otonom seyir kontrolü (ACC) gibi diğer sistemler gaz pedalının kısmi kontrolü vasıtasıyla insan sürücü davranışını taklit ederken diğer taraftansa sürücünün yanlış algılama ve reaksiyon süresi kaynaklı olarak ortaya çıkabilen potansiyel tehlikeleri de ortadan kaldırmaktadır (J. Ploeg, 2011).

Trafiğe otonom araçların kademeli girişi ile birlikte trafik akımında ve ilgili karakteristiklerde değişimler meydana gelmesi beklenmektedir. İlgili trafik kesimindeki muhtelif penetrasyon oranlarına göre trafikteki

- Hacim
- Kapasite
- Ortalama hız
- Güvenlik
- Güvenilirlik
- Verim
- Takip mesafesi
- Takip süresi

Ve benzeri özelliklerin ne yönde ve nasıl değiştiği irdelenmektedir.

Bu anahtar sürecin detaylı anlaşılması, mevcut durumda elverişli hale gelmiş olan yeni tekniklerin ve teknolojilerin kullanılması için bir fırsatı teşkil ettiğinden dolayı artan bir öneme sahip olmaktadır. Araç takip modelleri dâhilinde bulanık mantığın kullanımı hassas bir şekilde tanımlanan sürücü davranışına teşebbüs etmede bir sonraki mantıki adımı ifade ettiğinden dolayı da gelişimdeki en son belirgin aşamadır. Araç takip karar alması karmaşık ve dinamik bir kentsel çevrede otonom araçlar için karmaşık bir sürüş görevi olması anlamında kritiktir. Karmaşık ve dinamik bilgi, otonom araçların araç takip kararı üzerinde büyük bir etkiye sahip olmaktadır (Xue-Mei Chen, 2016).

Günümüze dek araç takip davranışları önemli ölçüde trafik performansı ve güvenliğini etkilemekte ve OA karar alması üzerindeki temel araştırma konularından bir tanesini ifade etmektedir. General Motors laboratuvarı ciddi miktarda bir çalışma gerçekleştirmiş olup araç takip modeli temelli araştırmaları büyük ölçüde teşvik etmiştir, yeni bir mikroskobik sürüş davranışı araştırma yöntemini başlatmıştır. Ardından çoğu araştırmacı ise OA araç takip karar almasının mekanik bir süreci ifade etmediğini ortaya koymuştur. Michaels ve diğerleri orijinal olarak psikolojik teori ve sürücü karakteristiğine ayalı olarak araç takip davranışını incelemekte olup bu da göstermektedir ki sürücü unsurları aynı zamanda araç takip karar alması ile ilgili de dikkate alınmalıdır. Günümüze AUS ve kendiliğinden sürüş araçlarının gelişmesi ile

birlikte OA karar almasının pek çok unsuru hesaba katılmıştır ve karmaşık kentsel çevrenin çalışılması için bir temel teşkil etmektedir (Xue-Mei Chen, 2016).



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GELECEK ÖNRÖRÜLERİ

Otonom araç (OA) gelişiminin yanı sıra, daha kişisel gereçler ve altyapılar OA ağına dâhil edilecek olup bu da potansiyel olarak otonom araçlarda daha fazla zayıf noktayı ortaya çıkartacaktır. Bu bağlamda gelecekte üzerine düşülmesi gereken muhtelif ucu açık konular ise şu şekildedir:

- Araç içi emniyet otonom araçlar için halen zorlu bir konudur. Bir araç hekleme tecrübesi kaydedilmiş olup göstermektedir ki elektrikli araçlar kolaylıkla uzun kumanda ile mobil uygulamalar vasıtası ile kontrol edilebilmekte, araçlar ileri ya da geri yönde hareket ettirilebilmekte ve hız sınırlandırılabilir. Buna ilave olarak bateri durumu, konumu ve diğer özel araç okumaları ise saldırganlar tarafından elde edilebilir. Gelecek araştırmaları harici saldırılara karşı OA araç üzeri sistemleri koruma konusu üzerine odaklanmalıdır.
- Akıllı şehirlerde emniyet zorlukları: Akıllı kentlerdeki çok yönlü bağlantılar otonom araçlara daha fazla bağlantı temin etmektedir fakat aynı zamanda daha fazla zorluğu da beraberinde getirmektedir. Araçtan her şeye (V2X) iletişim emniyetinin temin edilmesi ise oldukça önemlidir çünkü otonom araçlara yönelik saldırılar, akıllı altyapıya yayılabilir. Örneğin elektrikli araçlara yönelik bir saldırı, elektrik şarj ekipmanından temin sistemlerine vasıtası ile güç nakil şebekesi altyapısına yayılabilir. Emniyet iletişiminin ve savunma mekanizmasının geliştirilmesi bu alandaki gelecek araştırmalarının örneklerini ortaya koymaktadır.
- Güvenlik ve emniyet önlemlerinin tutarlılığı: Araç güvenlik analizi ve emniyet analizi sıklıkla ayrı olarak icra edilmektedir. Sonuç olarak güvenlik ve emniyet önlemleri belirlenmekte ve de bağımsız olarak geliştirilmektedir. Çoğu durumda güvenlik ve emniyet önlemleri birbirini tamamlayıcı ve tahkim edici olmaktadır. Örneğin işlem süresi izlemesi, sistem özelliklerini kontrol etmektedir ve ihlallerin saptanmasına yardımcı olabilmektedir. Bunun ile de beraber daha önce ifade edildiği üzere önlemler arası çelişki muhtemeldir. Dolayısı ile de OA güvenlik ve emniyet önlemleri arasında bağlantılar arasılık ve tutarlılık üzerine gelecek dönemde araştırmalara ihtiyaç vardır.

- Güvenli ve emniyetli karma trafik sistemleri: Devlet yollarında otonom araçların güvenlik gelecek hareket planları için bir anlaşmaya ulaşmak için düzenli araçlar, bisikletliler ve yayalar gibi karayolu kullanıcıları ve diğer otomat kullanıcılar ile işbirliği ve etkileşime gerek duymaktadır. Dahası otonom araçlar araç üzeri kullanıcılar ile de iletişim halinde olmak durumundadır. İnsan-OA etkileşimi ve karma trafik çevresinde otonom araçların emniyet ve güvenlik entegrasyonu ile ilgili gelecek araştırmaları noktasında ise acil bir ihtiyaç bulunmaktadır (S.S. Manvi, 2017).

Hâlihazırdaki algılama sistemleri ise de düzey 1'den düzey 3'e kadar uygulanıyor olmakta olup araç güvenliğini arttırdığı gösterilmesine karşın bütün otonom araçlar kamuya açık hale getirilmeden önce ise halen kaydedilmesi gerekli olan çok gelişme bulunmaktadır (Bustamante, 2016). Bu kapsamdaki çalışmalar dâhilinde gelişmesi gerekli olan 3 ana alan ortaya konulmaktadır: 1) algılamadaki belirsizliklerin azaltılması, 2) algılama sistemlerindeki maliyetlerin azaltılması ve 3) algoritmalar ve sensörler için güvenliğin işletimi. Araştırmacılar sürekli olarak tayin ve tasnifin verimliliğinin, konumlama ve haritalamanın verimliliğinin ve diğer algı ile ilgili OA algoritmalarının verimliliğinin arttırılmasını hedeflemektedir. Sonuç olarak OA algı sistemlerinde daha ileri araştırma ve geliştirmeler dâhilinde yakın gelecekte sürüş güvenliği, sürdürülebilirlik ve hareketlilik arttırılır iken bir diğer taratan ise de otonom araçlar devlet yollarında sürüşe başlayacak gibi görünmektedir (Ziegler, 2014).

Uyarlanabilir seyir kontrolü (ACC) aracın önüne göre araç hareketindeki hızı kontrol etmek suretiyle sürüşte sürücüyü desteklemek için kullanılmaktadır. Yüksek hız ACC, indirgenmiş hız ACC ve tam ACC gibi bir dizi ACC sistem çeşidi bulunmaktadır. Muhtelif sistemler sürücüye bir ACC sistemi temin etmek için kullanılabilmektedir. Mevcut durumda en yaygın olarak kullanılan sensör ise ACC'ye dayalı radardır. Bu da sürücünün, önündeki araçla olan mesafeyi bulmak için radarı kullanmaktadır ve aynı zamanda da yaklaşan ve uzaklaşan araç oranını hesaplamaktadır. Bu söz konusu hesaplamayı kullanmak suretiyle sistem, öndeki araçtan olan mesafe dizisini korumak için aracın hızını ayarlamaktadır. Eğer ki şeritte farklı bir araç hareket ediyorsa ACC, hesap mesafesine dönmek için hızı

ayarlayacaktır. Araçlar arası mesafeyi bulmak için ayrıca lazer teknolojisini kullanan lidar tabanlı sistemler de bulunmaktadır (Bishop, 2007).

Bir OA dizisinin hareket kontrolü, ortaya çıkan trafik tıkanıklığı problemlerine dayalı olarak mevcut akıllı trafiğin merkezi konularından birisini ifade etmektedir. Öncül güvenlikte az boşluklu aynı güzergâh boyunca bir araç sürüş listesi tarafından tanımlanmaktadır. Bir OA dizisinin hareket kontrolü sadece araç sürüşünün belirlenmesi ve karayolu kapasitesinin artırılması değil aynı zamanda da trafik akımını etkin bir şekilde artırma noktasında kabiliyet sağlamaktadır (Wang Qiu, 2015).

OA güvenliği yakın geçmişte önemini arttıran bir konu haline gelmiştir. Otonom araçlar insan hatalarını bertaraf etmek sureti ile karayolu güvenliğini arttıracaktır. Bunun ile beraber bütün otomobil çarpışmaları da önlenemez. Otonom araçlar önlenemez bir çarpışma ile karşılaştığında olaya has geliştirilmesi gereken bir stratejiye ihtiyaç duyulmaktadır. Dahası aracın, araç davranışından etkilenmesi muhtemel herhangi diğer bireylerin yanı sıra kendi kullanıcılarının güvenliği noktasında da sorumluluk alması bir gereklilik olmaktadır (Wang Qiu, 2015). Bununla beraber CACC araç bağlantısallığı, belirli düzeyde otonomi ve karmaşık bir koordinasyon taslağını gerektirmektedir. Yakın gelecekte bütün bu araçların söz konusu özellikler ile donatılması ve karayollarında karma bir trafik beklenmemektedir (Nianfeng Wan, 2019).

İnsanlar araçlarını işe, alışverişe, arkadaş ziyaretine ve daha birçok yere gitmek için kullanmaktadırlar. Çocuklar okula gitmek için otobüse binerler. Ekonomi büyük ölçüde tırlarla teslimatı yapılan mallara dayanmaktadır. Bu hareketlilik genellikle çoğu insan tarafından ulaşılabilir ve de söz konusu ulaştırma ciddi anlamda sahip olunan uygarlık düzeyine temellenerek gerçekleşmektedir. Kentler büyüdükçe ve nüfus arttıkça daha fazla trafik üretilmekte olup bunun da birçok olumsuz etkisi bulunmaktadır. Uygun bir ulaştırma sistemine sahip olmamak insanlara güvenlik, zaman ve parasal maliyetler olarak yansımaktadır. Daha verimli, dengeli ve güvenli bir ulaştırma sistemine olan ihtiyaç ise açıktır. Bu söz konusu ihtiyaç muhtemelen otonom ulaştırma sistemlerinin uygulanması ile en iyi bir şekilde karşılanabilir olacaktır. Gelecekte otomat sistemler kazaları önlemek ve trafik tıkanıklıklarını

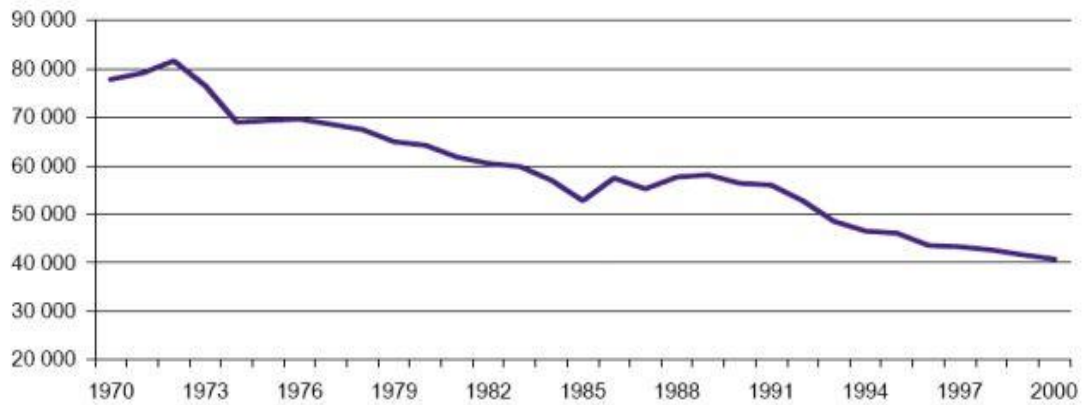
azaltmak için destek olabilecektir. Gelecekteki araçlar en iyi güzergâhı belirleme noktasında ve koşullar hakkında birbirlerini uyarma konusunda yetkin olacaktır. Çoğu şirketler ve kurumlar gelecekteki ulaştırma ağları ve akıllı araçların uygulanması için sayısız projede birlikte çalışmaktadır (FHWA, 2004).

Otonom araç teknolojisi hem araştırma ve hem de ticari araçlarda ileri sürüş desteği sistemlerinin (ADAS) bir şekli olarak toplumda önemli bir görünürlük ortaya koymaktadır (Bengler K, 2014). Bu teknolojiler ise altyapının daha verimli bir şekilde kullanımı, salımların azaltılması, yaşlı ve engelli insanlar için hareketliliğin artırılması, kazaların şiddeti ve miktarının azaltılmasını hedeflemektedir. Otonom araç teknolojilerinin gelişimini hızlandıran ana motivasyonlardan birisi ise de ulusal otoyol trafik güvenliği idaresi (NHTSA) tarafından tamamlanan bir istatistikî saha çalışmasına göre de hâlihazırdaki kazaların yaklaşık olarak %94'ünü oluşturan dikkat dağılması, yorgunluk ve sinirlilik gibi insan bağlantılı hatalara kapalı olmasıdır. Otonom araç teknolojileri ile ilgili olarak araştırma, test etme ve araç kullanımı dünya sathında artarken standart hale getirilmiş olan kılavuz ve düzenlemeyse toplumda güvenliğin temin edilmesi için de bir ana odak halini almaktadır. Bu bağlamda Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Ulaştırma Departmanı ve ulusal otoyol trafik güvenliği idaresi (NHTSA) yakın bir dönemde, otonom araçları düzey 0'dan düzey 5'e kadar tayin eden otomasyon düzeyleri için otomotiv mühendisleri uluslararası standartları birliği çatısı altında uyarlamıştır. Mevcut durumda ise uygun sensörlerin yüksek maliyetleri ve sınırlılıklarına bağlı olarak sabit sürücü dikkat ve kontrolü gerektirmekte olan münhasıran en çok düzey 1'den düzey 2'ye ticari araçları içermekte olan bir yapıya sahiptir (Levin S. H., 2017). Bu araçlardaki otonomi özellikleri ise genel olarak acil fren, kör nokta tayini ve/veya şerit disipliniinden oluşmaktadır. Bunun ile de beraber düzey 3 otonom özellikleri ise de Tesla Model S ve Model X'te elverişli bir haldedir. Bunun ile de beraber ise yakın dönemdeki trafik kazaları teknolojinin güvenle kullanımının yetkinliği ve sürücünün kavrayışı ile ilgili soru işaretlerini ortaya çıkarmıştır (Jaradat, 2013).

Otonom uygulamalarda kullanılan teknoloji birçok otomobil üreticisi için öncelik halini almaktadır. Bu da ACC ve şerit disiplini destek sistemleri gibi sistemlerin gelişimi ve uygulamaları yolu ile belirginleşmektedir. Bunlar hâlihazırda sadece görevler dâhilinde sürücülerin desteklenmesi için kullanılmaktayken bir diğer

taraftansa süregelen araştırmalarsa eninde sonunda bütün araç tipleri için tam otonom bir yapının entegrasyonuna öncülük edecektir. Bu çerçevede tanımlanan muhtelif sistemler tam otonom bir sistemin temin edilmesi için çeşitli temelleri ve sütunları teşkil etmektedir. Bu söz konusu parçaların birleştirilmesi ise işin tamamlanması için nihai adım olarak donanımdan faydalanılması için yazılım programları ile terkip edilmektedir. Zor olan kısım ise bozulmaya karşı dirençli olan ve bozulma karşısında tam bir güvenli refleksle sahip olan algoritmaların oluşturulmasıdır. İnsanlar sadece bir bilgisayarın araçlarını sürdüğüne inandığında mevcut mükemmelerle yakın olduğu da ispatlanmış olacaktır. Bu durum da mevcut ürün zaman içerisinde geliştirildikçe söz konusu olacaktır. Normal araçtan otonom araca geçiş için bir düğme yoktur fakat yeni araçların yavaş yavaş teşekkül ettiği uzun bir süreç vardır. En nihayetinde ise yollar üzerinde az sayıda insan sürücülü araç kalacaktır ve çoğunluğu insan sürücüsüz olacaktır.

Emniyet konuları bütün ulaştırma problemlerinin dışında günlük hayattaki en ciddi etkilere sahiptir. Trafik kazaları ekonomi üzerinde oldukça büyük olumsuz etkilere sahip olmaktadır. Örneğin Avrupa Birliği'nde (AB) 1,3 milyon trafik kazası/gün dâhilinde 40.000 trafik kazası ölümü/gün meydana gelmektedir. Bu kapsamda Şekil 1'de Avrupa Birliği'nde 1970 ile 2001 yılları arasındaki ölçümlü trafik kazası olaylarının sayıları gösterilmektedir (Levin M. B., 2016).



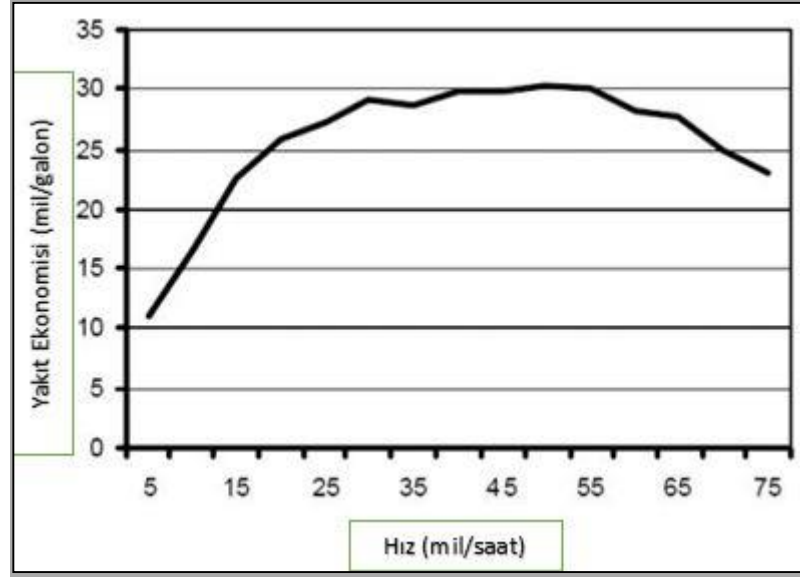
Şekil 1. Avrupa Birliği'nde Ölümlü Trafik Kazaları (Levin M. B., 2016)

Bu 1,3 milyon trafik kazası ise yılda 200 milyar Euro bir maliyete neden olmakta olup bu da AB gayri safi yurtiçi hasılasının (GSYİH) %2'sine karşılık gelmektedir. Karayolu aracı ile seyahat hâlihazırda dünya genelinde yıllık 1 milyonun üzerindeki

ölümle ulaştırmanın en yüksek ölümlü şeklini oluşturmaktadır. Bu neden ile de ulaştırma sektöründeki araştırma projelerinin çoğunluğu emniyet sistemlerinin geliştirilmesine yoğunlaşmaktadır. Almanya’da yapılan bir araştırmaya göre ise insan hataları %90’ın üzerindeki bir oran ile en büyük trafik kazası sebebinin oluşturmakta olup %75’in üzerindeki bir oran ile de tek başına kaza nedeni olmaktadır. Bir örnek olarak yakın dönem araştırmalarında şu sonuca varılmıştır ki 50 km/saat hıza sahip bir araç seyahatinde frenlemeyi 0,45 saniye daha erken uygulamak çarpma enerjisini %50 azaltmaktadır. Fakat Almanya’daki trafik kazaları üzerine bir analiz ise göstermektedir ki sürücülerin %39’u çarpışmadan önce frene basmamaktadır ve de %40’ı ise freni etkin bir şekilde uygulamamaktadır. Bu veriler de açıkça göstermektedir ki insanlar mükemmel sürücü olmaktan oldukça uzaktır.

Otonom araçların uygulanması, trafik kazalarının %90’ı insan hatasından kaynaklandığından dolayı çarpışma sayılarını büyük ölçülerde azaltabilir. Mevcut durumda kullanımda olan akıllı emniyet sistemleri sürücülere kaza önlemede yardımcı olmada çoktan başarısını ispatlamış bir durumdadır. EUROSTAT verilerine göre Avrupa Birliği’ndeki karayolu ölümlü kaza sayısı 1991 yılında 2001 yılına kadar yıllık bazlı olarak 56.027’den 39.849’a düşmüştür. Bu söz konusu veri ise %30’luk bir azalmaya işaret etmekte olup bu da daha önceki nesil araçlar ile kıyaslandığında yakın dönem araçlarının daha iyi bir emniyet performansına sahip olduğunu göstermektedir (Ge, 2014).

Yakıt tasarrufu oranları, daha iyi bir trafik akımı koşulu eklendiğinde daha yüksek miktarlara bile çıkabilecek bir durumdadır. Araçlar çok hızlı seyrettiklerinde ya da sürekli bir dur kalk trafiğine maruz kaldıklarında ortalamadan daha fazla yakıt harcamaktadırlar. Şekil 2’de ise araçların ortalama yakıt verimliliğinin hız ile olan ilişkisi gösterilmektedir (Heinrichs & Grunenberg, 2012).



Şekil 2. Yakıt Ekonomisi-Hız İlişkisi (Heinrichs & Grunenberg, 2012)

Burada açık bir şekilde görülmektedir ki yakıt verimliliğinin en yüksek olduğu hız 40 km/saat ile 105 km/saat (25-65 mil/saat) aralığındadır. Bu da çoğu hız sınırlaması ile örtüşmektedir. Hâlihazır durumdaki sürüş koşullarında sürücülerin çoğu genellikle kötü trafik tıkanıklık düzeylerinden ötürü oldukça yavaş sürmekte ya da sıklıkla durmaktadır ya da varış noktalarına erken varmak için otoyollarda oldukça hızlı sürmektedirler. Tam otonom sistemin uygulaması dâhilinde araçlar otoyolların yanı sıra kentsel alanlarda da oldukça verimli bir sürüş gerçekleştirebileceklerdir. Bu da araçların kent içi sürüş kilometrelerini %30 daha fazla olan otoyol sürüş kilometrelerine yaklaştıracaktır. Buna karşın kentsel alanlardaki verimlilik oranlarını otoyollara tamamıyla eşitlemek imkânsızdır, ancak yine de kentlerdeki trafiği verimli bir akımı kolaylıkla %10'luk bir yakıt tasarrufunu temin edebilir. Otonom güvenlik sistemlerinin uygulanmasının bir sonucu olarak daha üst düzey bir yakıt verimliliğinin temini ise mümkündür.

Arttırılan yakıt verimliliği vasıtası ile başarılabilecek olan toplam tasarruf çeşitli kabuller yapmak sureti ile hesaplanabilir:

- Daha verimli bir sürüşün sonucu olarak %10 tasarruf
- Ortalamadan 300 pound (yaklaşık 135 kilogram) daha hafif olan araçların bir sonucu olarak %5 tasarruf
- Daha verimli bir trafik akımının sonucu olarak ise %10 tasarruf

Yukarıda yapılan kabullere göre ise OA uygulaması ile yakıt tasarrufu yaklaşık olarak %25 dolaylarında olabilecektir. Bu kapsamda yapılan hesabın kullanılması yolu ile ise Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) yıllık toplam tasarruf 2004 değerleri bazlı olaraktan 104 milyar ABD dolarını bulabilecektir. Bu çerçevede daha düzenli bir trafik akımının temin edilmesi sureti ile yeni sistem büyük bir zaman tasarrufu temin edecek olup bu da iş ya da eğlence için kullanılabilir olmaktadır. Aşağıda Tablo 2 ise bir araç/saat işletiminin zaman maliyeti birim oranlarını göstermektedir (Ackermann, Loose, & Reining, 2014).

Tablo 2. Bir Araç İşletiminin Zaman Maliyetleri (Ackermann, Loose, & Reining, 2014)

Araç Kategorisi	Maliyet Birim Oranları		
	Almanya (2000 yılı)	Birleşik Krallık (2000 yılı)	ABD (1997 yılı)
Ortalama yolcu aracı	11 Euro/saat	13 Euro/saat	8,9 Euro/saat
Ortalama tır	32 Euro/saat	14 Euro/saat	16,5 Euro/saat
Ortalama otobüs	66 Euro/saat	82 Euro/saat	--

Tablo 2'de ticari araçlar için kullanılan maliyet birim oranı 32 Euro/saat ve gezi amaçlı araçlar için ise 9 Euro/saat olarak alınmaktadır. Otobüsler ticari kabul edildiğinden dolayı daha yüksek maliyetlerdeki bir işleme sahip olacak gibi görünmektedirler. Otonom araçların bir diğer önemli zaman tasarrufu aşaması ise kullanıcılarına seyir esnasında çalışma ya da dinlenme imkânını sağlıyor olmasıdır. Bu şekilde her bir karayolu seyahati hem de uçak motorunun gürültü rahatsızlığı olmaksızın birinci sınıf bir uçak seyahatine dönüşecektir. Otonom araçların uygulamaya geçmesi ile birlikte insanlar artık okula çocuklarını almak için gitmek üzere işlerini bırakmak durumunda da kalmayacaklardır. Kendinden park etme özelliği de aynı zamanda otomatik bakım özelliğinin yanı sıra ciddi miktarlardaki zaman tasarruflarını temin edebilmektedir.

Otonom araçların uygulaması insanların bilgisayarlarla yer değiştirmesi ile birlikte çeşitli istihdam problemlerini gündeme getirecektir. Toplumda hemen bir değişim meydana gelmeyecektir ancak bu araçlar topluma entegre olmaya başladıķça, zamanla görünür bir hal almaya başlayacaktır. Yollarda günden güne daha fazla araç otonom olmaya başladıķça gündelik hayattaki etkileri daha görünür olmaya başlayacaktır (Süßbauer, 2010). Yolculuklarda daha az zaman harcanmaya başladıķça ve de daha önceden bir insanı gerektiren işleri otonom araçların icra edebilmesi sureti ile daha az para harcandıkça bu durum çoğu şirketteki verimlilik artışı ile sonuçlanacaktır. Bu aynı zamanda da bütün dünya genelinde binlerce kişinin işten çıkarılması sonucunu da doğuracaktır. Toplum içinde bunun sonucunun ortaya çıkmasından önce bu konu ile ilgili bir planlama geliştirilmesi gerekliliği görölmektedir. Bu da tam otonom araçların yavaş gelişiminin ve bu konudaki ilgi eksikliğinin arkasındaki önemli nedenlerden birisini ifade eder görönmektedir. Eğer ki bu sorun da çözölür ise yakın gelecekte tam otonom bir sistem görünür hale gelebilecektir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

OTONOM ARAÇ SEYİR KARAKTERİSTİKLERİNİN TESPİTİ

VE VISSIM'DE SİMÜLASYON

4.1. Otonom Araçlarda İntikal Reaksiyon (Algı Tepki) Süresinin Tespiti

Trafik seyrinde ve buna bağlı olarak araç ve yol kesiminin trafik güvenliği ve trafik tıkanıklık düzeylerini (dolayısıyla trafik hizmet düzeylerini) analiz etmede, intikal reaksiyon süresi temel ve belirleyici bir parametredir. İntikal reaksiyon süresi (algı tepki süresi) İvme, hız, takip aralığı, takip süresi gibi temel karakteristiklerle doğrudan bağlantılıdır. Trafik mühendisliğinde intikal reaksiyon süresi üzerine çok sayıda çalışma geliştirilmiş olup ülkelerin karayolları trafik şartnamelerinde esaslara konu olmuştur. Otonom araçlar henüz geliştirilme aşamasındadır. Otonom araçların sadece fiziksel, mekanik, teknolojik ya da hukuki yönleri üzerine değil trafik seyir karakteristikleri üzerine de yoğun çalışmalar devam etmektedir. Otonom araçların intikal reaksiyon süreleri ile ilgili olgunlaşmış ve birleştirilmiş bir görüş bulunmamaktadır. Bu konuda yerleşik görüşler elde edilmesiyle otonom araç trafik seyir modeli elde edilebilir. Elde edilen söz konusu araç takibine dayalı olarak otonom araçların trafikte muhtelif penetrasyonlara göre bulunmaları dâhilindeki trafik senaryolarının tıkanıklık düzeyleri ve OA trafik performansı analiz edilebilir. Bu tezde otonom araç intikal reaksiyon süresinin elde edilmesi için birden fazla yöntem üzerinden bir sınama yürütülmektedir.

4.2. İntikal Reaksiyon Süresi (Algı Tepki Süresi) İçin Tesla Anketi

Tesla şirketinin internet sitesinde yer alan bir makine ile intikal reaksiyon süreleri, kullanıcıların akıllı telefonlarından (veya masa/diz/el bilgisayarları) tuşlara dokunmaları ile elde edilmektedir. Söz konusu test ile farklı yaş, cinsiyet, günün zamanı gibi kıstaslara göre bir intikal reaksiyon süresi anketi gerçekleştirilmiştir. 120 katılımcıyla gerçekleştirilen anketin kaynağı olan Tesla testine Tesla şirketinin internet sitesi linkinden ulaşılabilir (Tesla, 2023). Anket sonuçları aşağıda Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Tesla Otomatik Pilot Testi Anket Sonuçları (*Tesla, 2023*)

No	Cinsiyet	Yaş	Zaman(saat)	Süre(mili sn.)
1	Erkek	30	10:48	444
2	Erkek	30	11:48	648
3	Erkek	30	13:00	400
4	Kadın	33	14:41	282
5	Erkek	33	14:42	340
6	Kadın	30	14:43	389
7	Erkek	33	15:02	223,6
8	Erkek	55	11:23	94
9	Erkek	50	11:39	338
10	Erkek	59	12:55	399,4
11	Erkek	35	13:07	629
12	Erkek	35	13:12	477,75
13	Erkek	59	13:01	487
14	Erkek	68	12:50	594
15	Erkek	68	13:57	549,33
16	Erkek	68	08:29	931
17	Erkek	35	15:39	484
18	Erkek	38	11:24	283
19	Erkek	35	10:54	299
20	Erkek	38	10:43	606
21	Erkek	38	10:45	324
22	Erkek	39	10:46	439
23	Erkek	38	10:48	309
24	Erkek	50	10:51	536
25	Kadın	33	16:37	813
26	Kadın	33	12:23	513
27	Kadın	32	17:05	949
28	Kadın	28	17:08	485
29	Kadın	33	17:53	490
30	Kadın	24	11:46	461
31	Kadın	21	11:50	417
32	Kadın	32	04:24	590
33	Erkek	39	10:42	613
34	Erkek	39	10:48	658
35	Erkek	39	11:45	670
36	Erkek	39	11:46	476
37	Kadın	32	11:39	523
38	Kadın	22	12:11	451
39	Kadın	27	12:15	599
40	Kadın	25	12:18	329

41	Kadın	24	12:39	669
42	Kadın	32	12:42	424
43	Kadın	26	12:50	545
44	Kadın	25	13:06	684
45	Kadın	24	13:07	553
46	Kadın	19	13:16	356
47	Kadın	26	13:18	339
48	Kadın	19	13:20	419
49	Kadın	25	13:21	510
50	Kadın	28	13:22	687
51	Kadın	37	13:35	396
52	Kadın	28	13:46	578
53	Kadın	26	13:47	507
54	Kadın	26	13:59	447
55	Kadın	25	14:00	394
56	Kadın	22	14:08	474
57	Kadın	29	14:30	560
58	Kadın	30	14:35	422
59	Kadın	21	14:37	670
60	Kadın	28	14:38	548
61	Kadın	29	14:45	624
62	Kadın	30	14:49	669
63	Kadın	30	14:50	524
64	Kadın	25	14:51	406
65	Kadın	29	14:51	371
66	Kadın	32	14:53	520
67	Kadın	23	14:55	351
68	Kadın	23	15:30	641
69	Kadın	29	15:32	635
70	Kadın	26	15:44	437
71	Kadın	26	15:47	732
72	Kadın	27	15:48	390
73	Kadın	21	16:12	662
74	Kadın	25	16:31	537
75	Kadın	21	16:31	479
76	Kadın	26	16:36	598
77	Kadın	29	17:07	623
78	Kadın	27	17:09	559
79	Kadın	28	17:11	563
80	Kadın	29	18:23	568
81	Kadın	25	18:35	397
82	Kadın	46	18:43	644
83	Kadın	13	18:46	581
84	Erkek	16	18:47	449

85	Kadın	25	19:57	363
86	Erkek	30	19:59	593
87	Kadın	24	20:06	584
88	Kadın	25	20:30	620
89	Kadın	27	20:38	492
90	Kadın	25	20:38	799
91	Kadın	29	20:40	544
92	Erkek	32	20:40	505
93	Kadın	32	22:34	478
94	Kadın	34	16:44	557
95	Kadın	31	17:10	635
96	Kadın	34	13:35	644
97	Kadın	29	12:59	474
98	Kadın	29	11:52	499
99	Kadın	23	11:45	453
100	Kadın	28	11:41	905
101	Kadın	25	11:43	349
102	Kadın	26	10:41	685
103	Erkek	35	11:32	658
104	Kadın	35	11:25	231
105	Kadın	52	10:14	579
106	Kadın	28	10:30	438
107	Kadın	20	10:16	599
108	Kadın	29	09:49	468
109	Kadın	26	01:20	508
110	Kadın	30	08:34	571
111	Kadın	27	09:10	136
112	Kadın	25	13:04	631
113	Kadın	27	11:47	744
114	Kadın	29	12:24	378
115	Kadın	28	22:09	692
116	Kadın	30	22:26	351
117	Kadın	28	10:22	493
118	Kadın	33	16:11	1499
119	Kadın	22	16:25	277
120	Kadın	23	16:29	465
	Ortalama	30,96		521,51

Katılımcıların yaş ortalaması 30,96 ve intikal reaksiyon süresi ortalamaları ise 521,51 mili saniye, yani 0,52 saniye olarak gerçekleşmiştir.

Tesla Anketinde İntikal Reaksiyon (Algı Tepki) Süresi: 0,52151 saniye

4.3. Otonom Araçlarda İntikal Reaksiyon Süresi İçin Uzman Görüşlerine Dayalı Tanımlar ve Referanslar

İntikal reaksiyon süresi (algı tepki süresi) bir çevredeki bir uyarıcıyı sürücünün ya da otonom aracın algılaması ve ona tepki vermesi için geçen toplam süredir. Otonom araçlar kapsamında intikal reaksiyon süresi araç sensörleri için çevreyi algılama ve yorumlamanın yanı sıra araç için de aynı zamanda karar alma ve cevabı başlatma için geçen sürenin toplamını ifade etmektedir.

ABD Ulusal Otoyol Trafik Güvenliği İdaresi (NHTSA) raporuna göre insan sürücüler için ortalama intikal reaksiyon süresi yaklaşık 1,5 saniyedir. Bununla beraber bu değer yaş, dikkat dağınıklığı, yorgunluk gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Buna karşın otonom araçlar insan sürücüden daha hızlı bir şekilde bilgiyi işleyebilen hesaplama gücü ve ileri sensörlerle donatılmış olduklarından dolayı daha küçük intikal reaksiyon sürelerine göre tasarlanmaktadır.

Alandaki bazı uzmanlar otonom araçlar için intikal reaksiyon sürelerinin saniye yerine mili saniye ile ölçülmesi gerekliliğini önermektedir. Örneğin Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) Akıllı Ulaşım Sistemlerindeki Faaliyetler dergisinde bu konu detaylı olarak incelenmektedir ve araştırmacılar tepki süresini 100 mili saniyenin altına çekme hedefi dâhilinde gerçek zamanlı sürüş senaryolarında otonom aracın intikal reaksiyon süresinin ölçülmesiyle ilgili yöntemler önermektedirler.

Diğer uzmanlar sadece intikal reaksiyon süresini değil, aynı zamanda da aracın cevabı planlaması ve uygulaması için gerekli zamanı da içeren otonom araçların toplam sistem gecikmesini dikkate almanın gerekliliğini belirtmektedir. Yine IEEE Akıllı Ulaşım Sistemlerindeki Faaliyetler (Transactions on Intelligent Transportation Systems) dergisinde bu noktaya da değinilmiş olup sistemsel gecikmenin otonom aracın güvenli ve güvenilir işletimi için kritik olduğu ve gecikmeyi minimize etmenin, algının karmaşıklığı, kontrol algoritmaları ve elverişli hesap kaynakları arasında dikkatli bir dengeyi gerektirdiği vurgulanmaktadır.

Genel olarak intikal reaksiyon süresi zaman ve güvenlik açısından aracın çevreyi algılama ve cevap verme yetkinliğini doğrudan etkilediğinden dolayı otonom araçların (OA) tasarımı esnasında dikkate alınması gereken kritik bir unsurdur. İleri sensörler

ve hesaplama gücü etkisiyle otonom araçlar insan sürücülerden daha küçük intikal reaksiyon sürelerini elde etme potansiyeline sahiptir fakat bütün bir sistem gecikmesinin güvenli ve güvenilir işletim esasına göre minimize edilmesini de temin etmektedir.

4.4. MATLAB'in Automated Driving Toolbox'ının (Otomat Sürüş Araç Takımı) İntikal Reaksiyon Süresi Belirlenmesinde Kullanılması

Bu literatürde orijinal bir hedefe işaret etmektedir. MATLAB'de Automated Driving Toolbox otonom sürüş sistemlerinin geliştirilmesindeki etkili bir araçtır. Aracın intikal reaksiyon süresinin hesaplanmasında Toolbox'tan temin edilen işlem algoritması ve sensör modelleri kullanılabilir. Başlangıç için birkaç adım şu şekildedir:

1. Sensör modellerinin tanımlanması: Toolbox, lidar (ışık tespiti ve uzaklık tayini), radar ve kamera sensörleri için sensör modelleri sağlamaktadır. Uygulama için uygun sensör modeli seçilir.
2. Sensör verisinin benzetimi (simüle edilmesi): Verili bir sürüş senaryosu için sensör verisini simüle etmek için sensör modelleri kullanılabilir. Bu yolla algı (intikal) algoritması için gerçekçi bir veri sağlanmış olur.
3. Sensör verisinin işlenmesi: Toolbox, evredeki nesnelerin saptanması ve sensör verisinin işlenmesi için algoritmalar sağlamaktadır. Bu algoritmalar, ise araç güzergâhındaki engellerin ve diğer nesnelerin saptanması için kullanılabilir.
4. İntikal reaksiyon süresinin hesaplanması: Bir engeli saptadıktan sonra aracın engele tepki vereceği süreyi hesaplamak mümkün olmaktadır. Bu da aracın intikal reaksiyon süresinin tespitinde bir fikir verebilir.

Bu adımlar hedefin başlangıcı için önemlidir.

4.5. MATLAB'de Otoyol Verisi

MATLAB'de Automated Driving Toolbox, otonom sürüş algoritmalarını test ve değerlendirmede kullanılabilecek olan muhtelif sürüş senaryolarını içermektedir. Bu senaryolardan birisi ise otoyol senaryosu olup her bir yönde iki şeritli bir otoyol kesimindeki sürüşü simüle etmektedir. Burada otoyol verisine erişim ve kullanımdaki adımlar ise şu şekildedir:

MATLAB programı açılır ve Automated Drvinig Toolbox app'lerden seçilir. Ardından yeni bir dosya açılır ve işlem kodları tek tek girilerek satır bazlı çalıştırılır (run edilir). MATLAB'de Automated Driving Toolbox'ın kullanımıyla bir aracın intikal reaksiyon süresinin nasıl hesaplanacağını gösteren bir kod örneği şu şekildedir:

- Sürüş senaryosu kodları girilmiştir.

```
scenario = drivingScenario;
```

- Şerit sayısı, şerit genişlikleri, yol merkezi tanımlanmıştır.

```
scenario.SampleTime = 0.01;
```

```
roadCenters = [0 0; 50 0; 100 0; 250 20; 500 40];
```

```
roadWidth = 7.2; % Two lanes, each 3.6 meters
```

```
road(scenario, roadCenters, roadWidth);
```

- Bir otonom araç tanımlanmıştır.

```
% Create an ego vehicle with sensors
```

```
egoCar = vehicle(scenario, 'ClassID', 1);
```

```
egoCar.Wheelbase = 2.7;
```

```
egoCar.Velocity = 10; (senaryolara göre değişim göstermektedir.)
```

- Takip edilen araç tanımlanmıştır.

```
leadCar = vehicle(scenario, 'ClassID', 1);
```

```
path(leadCar, [70 0; roadCenters(3:end,:)] - [0 1.8], 25);
```

```
%passingCar = vehicle(scenario, 'ClassID', 1);
```

```
%waypoints = [0 -1.8; 50 1.8; 100 1.8; 250 21.8; 400 32.2; 500 38.2];
```

```
%path(passingCar, waypoints, 35);
```

- Takip eden araç tanımlanmıştır.

```
% Add a car behind the ego vehicle
```

```
%chaseCar = vehicle(scenario, 'ClassID', 1);
```

```
%path(chaseCar, [25 0; roadCenters(2:end,:)] - [0 1.8], 25); % On right lane
```

- Otonom aracın ön ve arkasına tampon merkezine, sağ ve sol lastiklere kısa ve uzun erimli radar sensörleri tanımlanmıştır. Tampon ortalarına uzun erimli radar sensörleri ve arabanın 4 tekerleğine de kısa erimli radar sensörleri yerleştirilmiştir. Ön ve arka cama ise yüksek çözünürlüklü kameralar monte edilmiştir.

```
% DEFINE RADAR
```

```
%sensors = cell(8,1);
```

```
sensors = cell(1,1);
```

```
% Front-facing long-range radar sensor at the center of the front bumper of the car.
```

```
sensor = radarDetectionGenerator('SensorIndex', 1, 'Height', 0.2, 'MaxRange', 174, 'SensorLocation', [egoCar.Wheelbase + egoCar.FrontOverhang, 0], 'FieldOfView',[20, 5]);
```

```
% Rear-facing long-range radar sensor at the center of the rear bumper of the car.
```

```
%sensors{2} = radarDetectionGenerator('SensorIndex', 2, 'Height', 0.2, 'Yaw', 180, 'SensorLocation', [-egoCar.RearOverhang, 0], 'MaxRange', 174, 'FieldOfView', [20,5]);
```

```
% Rear-left-facing short-range radar sensor at the left rear wheel well of the car.
```

```
%sensors{3} = radarDetectionGenerator('SensorIndex', 3, 'Height', 0.2, 'Yaw', 120, 'SensorLocation', [0, egoCar.Width/2], 'MaxRange', 30, 'ReferenceRange', 50, 'FieldOfView', [90, 5], 'AzimuthResolution', 10, 'RangeResolution', 1.25);
```

```
% Rear-right-facing short-range radar sensor at the right rear wheel well of the car.
```

```
%sensors{4} = radarDetectionGenerator('SensorIndex', 4, 'Height', 0.2, 'Yaw',  
-120, 'SensorLocation', [0, -egoCar.Width/2], 'MaxRange', 30, 'ReferenceRange',  
50, 'FieldOfView', [90, 5], 'AzimuthResolution', 10, 'RangeResolution', 1.25);
```

% Front-left-facing short-range radar sensor at the left front wheel well of the car.

```
%sensors{5} = radarDetectionGenerator('SensorIndex', 5, 'Height', 0.2, 'Yaw',  
60, 'SensorLocation', [egoCar.Wheelbase, egoCar.Width/2], 'MaxRange', 30,  
'ReferenceRange', 50, 'FieldOfView', [90, 5], 'AzimuthResolution', 10,  
'RangeResolution', 1.25);
```

% Front-right-facing short-range radar sensor at the right front wheel well

% of the % car.

```
%sensors{6} = radarDetectionGenerator('SensorIndex', 6, 'Height', 0.2, 'Yaw',  
-60, 'SensorLocation', [egoCar.Wheelbase, -egoCar.Width/2], 'MaxRange',  
30, 'ReferenceRange', 50, 'FieldOfView', [90, 5], 'AzimuthResolution', 10,  
'RangeResolution', 1.25);
```

% Front-facing camera located at front windshield.

```
%sensors{7} = visionDetectionGenerator('SensorIndex', 7,  
'FalsePositivesPerImage', 0.1, 'SensorLocation', [0.75*egoCar.Wheelbase 0],  
'Height', 1.1);
```

% Rear-facing camera located at rear windshield.

```
%sensors{8} = visionDetectionGenerator('SensorIndex', 8,  
'FalsePositivesPerImage', 0.1, 'SensorLocation', [0.2*egoCar.Wheelbase 0], 'Height',  
1.1, 'Yaw', 180);
```

```
tracker = multiObjectTracker('FilterInitializationFcn', @initSimDemoFilter,  
'AssignmentThreshold', 30, 'ConfirmationParameters', [4 5]);
```

```
positionSelector = [1 0 0 0; 0 0 1 0]; % Position selector
```

```
velocitySelector = [0 1 0 0; 0 0 0 1]; % Velocity selector
```

% Create the display and return a handle to the bird's-eye plot

%BEP = createDemoDisplay(egoCar, sensor);

- Simülasyon gerçekleştirilmiştir.

%SIMULATION

toSnap = true;

tic;

while advance(scenario)

% Get the scenario time

time = scenario.SimulationTime;

% Get the position of the other vehicle in ego vehicle coordinates

ta = targetPoses(egoCar);

% Simulate the sensors

detections = {};

isValidTime = false;

[sensorDets,numValidDets,isValidTime] = sensor(ta,time);

detections = [detections; sensorDets]; %#ok<AGROW>

if ~isempty(detections)

perceptionTime = toc;

fprintf('The value of egoCar velocity is: %f\n', egoCar.Velocity);

fprintf('The value of leadCar velocity is: %f\n', leadCar.Velocity);

fprintf('The value of perceptionTime is: %f\n', perceptionTime);

end

end

Takip eden aracın hızı takip edilen aracın hızından büyük olacak şekilde muhtelif senaryolara göre araç hızları (20 m/sn-10 m/sn., 20 m/sn-5 m/sn., 25 m/sn-10 m/sn., 25 m/sn-5 m/sn., 30 m/sn-10 m/sn., 30 m/sn-5 m/sn., 36 m/sn-10 m/sn.) tayin edilmiş ve buna göre ortaya çıkan algı (intikal) süreleri elde edilmiştir. Araç hızları serbest akımlı bir yolda olabilecek hız değerleri dikkate alınarak seçilmiştir. Elde edilen ortalama algı süreleri aşağıdaki Tablo 4’te görülmektedir.

Tablo 4. Hızlara Göre Algı Sürelerinin Ortalama Değerleri

Senaryo	Araç Çiftinin Hızı(m/sn.)	Ortalama Algı Süresi(sn.)
1	20_10	0,044158
2	20_5	0,044529
3	25_10	0,048815
4	25_5	0,064683
5	30_10	0,046147
6	30_5	0,061159
7	36_10	0,045855
8	36_5	0,054534

Bu 8 senaryo için elde edilen algı (intikal) süreleri IBM SPSS istatistik programında normal dağılım analizine tabi tutulmuştur. Analiz sonucunda ise normal dağılıma en yakın sonuç 20 m/sn-5 m/sn. senaryosunda elde edilmiştir. Detaylı sonuçlar aşağıda görülmektedir.

4.6. 20-10 m/sn.:

Tablo 5. 20-10 m/sn. Senaryosu SPSS Sonuçları

Tanımlayıcılar				
		İstatistik	Std. Sapma	
S20_10	Ortalama		0,04438936	0,00041227
	Ortalama İçin 95% Güven Aralığı	Alt Sınır	0,04357225	
		Üst Sınır	0,04520647	

5% Ayıklanmış Ortalama	0,04402445	
Medyan	0,0435265	
Varyans	0	
Std. Sapma	0,00432394	
Minimum	0,03333	
Maksimum	0,069634	
Aralık	0,036304	
Kartiller Arası Bölge	0,00412	
Çarpıklık	2,291	0,23
Basıklık	10,433	0,457

Tablo 6. 20-10 m/sn. Senaryosu Normallik testleri

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	Df	Önem		İstatistik	Önem
S20_10	0,137	110	0	0,821	110	0
a. Lilliefors önem düzeltmesi						

- Çarpıklık ve basıklık değerleri -1,5 ve +1,5 aralığı dışında yer aldığı için normal dağılıma uymadığı tespit edilmiştir.
- Örneklem sayısı 50'nin üzerinde olduğu için Kolmogorov-Smirnov testini değerlendirmek daha uygun olacaktır.
- Kolmogorov-Smirnov testinde sig (p) <0,05 olduğu için normal dağılıma uymadığı tespit edilmiştir.
- Histogram grafiği incelendiğinde verinin normal dağılıma uymadığı görsel olarak da gözlenmiştir.

4.7. 20-5 m/sn.:

Tablo 7. 20-5 m/sn. Senaryosu SPSS Sonuçları

Tanımlayıcılar				
			İstatistik	Std. Sapma
S20_5	Ortalama		0,04453	0,00236
	Ortalama İçin 95% Güven Aralığı	Alt Sınır	0,03798	
		Üst Sınır	0,05108	

5% Ayıklanmış Ortalama	0,04438	
Medyan	0,04353	
Varyans	0	
Std. Sapma	0,00527	
Minimum	0,0388	
Maksimum	0,05292	
Aralık	0,01412	
Kartiller Arası Bölge	0,00875	
Çarpıklık	1,094	0,913
Basıklık	1,797	2

Tablo 8. 20-5 m/sn. Senaryosu Normallik testleri

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Önem	İstatistik	df	Önem
S20_5	0,235	5	0,200*	0,935	5	0,631
a. Lilliefors önem düzeltmesi						

- Çarpıklık ve basıklık değerleri -1,5 ve +1,5 aralığında yer aldığı için normal dağılıma uyduğu tespit edilmiştir.
- Örneklem sayısı 50'nin altında olduğu için Shapiro-Wilk testini değerlendirmek daha uygun olacaktır.
- Shapiro-Wilk testinde sig (p) >0,05 olduğu için normal dağılıma uyduğu tespit edilmiştir.
- Histogram grafiği incelendiğinde verinin normal dağılıma yakın olduğu görülmektedir.

4.8. 25-10 m/sn.:

Tablo 9. 25-10 m/sn. Senaryosu SPSS Sonuçları

Tanımlayıcılar				
			İstatistik	Std. Sapma
S25_10	Ortalama		0,04881	0,00061
	Ortalama İçin 95%	Alt sınır	0,0476	

Güven Aralığı	Üst sınır	0,05003	
5% Ayıklanmış Ortalama		0,04859	
Medyan		0,04784	
Varyans		0	
Std. Sapma		0,0062	
Minimum		0,03861	
Maksimum		0,06845	
Aralık		0,02985	
Kartiller Arası Bölge		0,01031	
Çarpıklık		0,481	0,239
Basıklık		-0,391	0,474

Tablo 10. 25-10 m/sn. Senaryosu Normallik testleri

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Önem	İstatistik	df	Önem
S25_10	0,095	102	0,025	0,957	102	0,002
a. Lilliefors önem düzeltmesi						

- Örneklem sayısı 50'nin üzerinde olduğu için Kolmogorov-Smirnov testini değerlendirmek daha uygun olacaktır.
- Kolmogorov-Smirnov testinde sig (p) <0,05 olduğu için normal dağılıma uymadığı tespit edilmiştir.
- Histogram grafiği incelendiğinde verinin normal dağılıma uymadığı görsel olarak da gözlenmiştir.

4.9. 25-5 m/sn.:

Tablo 11. 25-5 m/sn. Senaryosu Normallik testleri

Tanımlayıcılar				
			İstatistik	Std. Sapma
S25_5	Ortalama		0,06468	0,00415
	Ortalama İçin 95%	Alt Sınır	0,05603	

Güven Aralığı	Üst Sınır	0,07333	
5% Ayıklanmış Ortalama		0,06522	
Medyan		0,0766	
Varyans		0	
Std. Sapma		0,01901	
Minimum		0,03623	
Maksimum		0,08349	
Aralık		0,04726	
Kartiller Arası Bölge		0,03846	
Çarpıklık		-0,571	0,501
Basıklık		-1,72	0,972

Tablo 12. 25-5 m/sn. Senaryosu Normallik testleri

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Önem	İstatistik	df	Önem
S25_5	0,31	21	0	0,745	21	0
a. Lilliefors önem düzeltmesi						

- Örneklem sayısı 50'nin altında olduğu için Shapiro-Wilk testini değerlendirmek daha uygun olacaktır.
- Shapiro-Wilk testinde sig (p) <0,05 olduğu için normal dağılıma uygun olmadığı tespit edilmiştir.
- Histogram grafiği incelendiğinde verinin normal dağılıma uymadığı görülmektedir.

4.10. 30-10 m/sn.:

Tablo 13. 30-10 m/sn. Senaryosu SPSS Sonuçları

Tanımlayıcılar				
			İstatistik	Std. Sapma
S30_10	Ortalama		0,04615	0,00046
	Ortalama İçin 95% Güven	Alt Sınır	0,04523	
		Üst Sınır	0,04706	

5% Ayıklanmış Ortalama	0,04586	
Medyan	0,04518	
Varyans	0	
Std. Sapma	0,00435	
Minimum	0,03926	
Maksimum	0,06639	
Aralık	0,02713	
Kartiller Arası Bölge	0,00516	
Çarpıklık	1,482	0,255
Basıklık	4,374	0,506

Tablo 14. 30-10 m/sn. Senaryosu Normallik testleri

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Önem	İstatistik	df	Önem
S30_10	0,103	89	0,021	0,905	89	0
a. Lilliefors önem düzeltmesi						

- Çarpıklık ve basıklık değerleri -1,5 ve +1,5 aralığı dışında yer aldığı için normal dağılıma uymadığı tespit edilmiştir.
- Örneklem sayısı 50'nin üzerinde olduğu için Kolmogorov-Smirnov testini değerlendirmek daha uygun olacaktır.
- Kolmogorov-Smirnov testinde sig (p) <0,05 olduğu için normal dağılıma uymadığı tespit edilmiştir.
- Histogram grafiği incelendiğinde verinin normal dağılıma uymadığı görsel olarak da gözlenmiştir.

4.11. 30-5 m/sn.:

Tablo 15. 30-5 m/sn. Senaryosu SPSS Sonuçları

Tanımlayıcılar				
			İstatistik	Std. Sapma
S30_5	Ortalama		0,06116	0,00513
	Ortalama İçin 95%	Alt Sınır	0,05009	

Güven Aralığı	Üst Sınır	0,07223	
5% Ayıklanmış Ortalama		0,06119	
Medyan		0,05968	
Varyans		0	
Std. Sapma		0,01918	
Minimum		0,03877	
Maksimum		0,08295	
Aralık		0,04418	
Kartiller Arası Bölge		0,03742	
Çarpıklık		0,013	0,597
Basıklık		-2,242	1,154

Tablo 16. 30-5 m/sn. Senaryosu Normallik testleri

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Önem	İstatistik	df	Önem
S30_5	0,271	14	0,006	0,765	14	0,002

a. Lilliefors önem düzeltmesi

- Örneklem sayısı 50'nin altında olduğu için Shapiro-Wilk testini değerlendirmek daha uygun olacaktır.
- Shapiro-Wilk testinde sig (p) <0,05 olduğu için normal dağılıma uygun olmadığı tespit edilmiştir.
- Histogram grafiği incelendiğinde verinin normal dağılıma uymadığı görülmektedir.

4.12. 36-10 m/sn.:

Tablo 17. 36-10 m/sn. Senaryosu SPSS Sonuçları

Tanımlayıcılar				
			İstatistik	Std. Sapma
S36_10	Ortalama		0,04585	0,00055
	Ortalama İçin 95% Güven	Alt Sınır	0,04475	
	Aralığı	Üst Sınır	0,04696	

5% Ayıklanmış Ortalama	0,04562	
Medyan	0,04541	
Varyans	0	
Std. Sapma	0,0051	
Minimum	0,03311	
Maksimum	0,06409	
Aralık	0,03098	
Kartiller Arası Bölge	0,00475	
Çarpıklık	0,934	0,261
Basıklık	2,82	0,517

Tablo 18. 36-10 m/sn. Senaryosu Normallik testleri

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Önem	İstatistik	df	Önem
S36_10	0,135	85	0,001	0,92	85	0
a. Lilliefors önem düzeltmesi						

- Çarpıklık ve basıklık değerleri -1,5 ve +1,5 aralığı dışında yer aldığı için normal dağılıma uymadığı tespit edilmiştir.
- Örneklem sayısı 50'nin üzerinde olduğu için Kolmogorov-Smirnov testini değerlendirmek daha uygun olacaktır.
- Kolmogorov-Smirnov testinde sig (p) <0,05 olduğu için normal dağılıma uymadığı tespit edilmiştir.
- Histogram grafiği incelendiğinde verinin normal dağılıma uymadığı görsel olarak da gözlenmiştir.

4.13. 36-5 m/sn.:

Tablo 19. 36-5 m/sn. Senaryosu SPSS Sonuçları

Tanımlayıcılar				
			İstatistik	Std. Sapma
S36_5	Ortalama		0,05453	0,00512
	Ortalama İçin 95%	Alt Sınır	0,04338	

Güven Aralığı	Üst Sınır	0,06569	
5% Ayıklanmış Ortalama		0,0537	
Medyan		0,04295	
Varyans		0	
Std. Sapma		0,01846	
Minimum		0,03926	
Maksimum		0,0849	
Aralık		0,04564	
Kartiller Arası Bölge		0,03813	
Çarpıklık		0,809	0,616
Basıklık		-1,327	1,191

Tablo 20. 36-5 m/sn. Senaryosu Normallik testleri

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Önem	İstatistik	df	Önem
S36_5	0,273	13	0,009	0,757	13	0,002
a. Lilliefors önem düzeltmesi						

- Örneklem sayısı 50'nin altında olduğu için Shapiro-Wilk testini değerlendirmek daha uygun olacaktır.
- Shapiro-Wilk testinde sig (p) <0,05 olduğu için normal dağılıma uygun olmadığı tespit edilmiştir.
- Histogram grafiği incelendiğinde verinin normal dağılıma uymadığı görülmektedir.

Normal dağılıma en yakın istatistiksel gösterge 20 m/sn-5 m/sn. hız çiftinde elde edilmiş olup bu senaryonun algı (intikal) süresi ise 0,044529 saniye ortalama değerine sahiptir. Diğer hız çiftlerinde de nispeten normal dağılıma yakınsaklık tespit edilenler vardır. Normal dağılıma yakın olan hız çiftlerinin ortalama algı sürelerinin de birbirine yakın olduğu görülmektedir.

4.14. Tepki (Reaksiyon) Süresi Elde Edilmesi

Fren Tasarım ve Güvenlik kılavuzunda tepki süresi aşağıdaki alt bölümlere ayrılmakta olup bunların toplamı tepki süresini vermektedir. Bu kılavuzdan elektrikli araçlar için olan değerler güvenli tarafta kalınacak şekilde seçilmiştir.

- Temel tepki süresi: Engel algılandıktan sonra pedalın devreye girmesine kadar geçen süre: 0,22 saniye
- Pedal geçiş süresi: Pedal devreye girdikten sonra pedalın aktif olmasına kadar geçen süre: 0,15 saniye
- Fren tepki/uygulama süresi: 0,03 saniye
- Fren kitlenme süresi: 0,14
- Toplam Reaksiyon Süresi: 0,54 saniye (Limpert, 2011)

Algı Tepki Süresi (İntikal Reaksiyon Süresi): algı süresi + tepki süresi: 0,044529 +0,54=0,584529 saniye

Uzman görüşlerinde intikal reaksiyon süresi (algı tepki süresi) olarak 1,0 saniyenin altında değerler öngörülmektedir. Literatür araştırmasında ise 0,6 ila 0,8 saniye arası değerler tespit edilmiştir. Bu tezde elde edilen intikal reaksiyon süresi değeri ise 0,584529 saniyedir. Tezde elde edilen değer literatür ile örtüşmektedir ancak birden fazla yazılım programı ve deneysel yöntemlerin yardımıyla yapılan saptamalar olması nedeniyle daha hassas ve doğru bir değer elde edilmiştir. Literatürdeki çalışmalar genel olarak deneysel olmaktan çok çeşitli çıkarımlar ve öngörüler sonucu belirli aralıklar dâhilinde algı tepki süresi ortaya koymaktadır. Tezde yapılan çalışmada tepki süresi elektrikli araçlar için ilgili kılavuzdaki değerlerden derlenmek suretiyle hesaplanmıştır ve MATLAB ve SPSS analizleri sonucu elde edilen algı süresi ile toplanmıştır. Gelecek dönem çalışmalarında bütün adımlarda yapılacak daha detaylı deneysel sınamalarla otonom araç algı tepki süresi tespiti için daha duyarlı ve muhtemelen daha küçük algı tepki süreleri elde edimi de mümkün olabilecektir. Ancak bu çalışmada elde edilen otonom araç algı tepki süresi literatür için önemli bir yenilik ve basamağı teşkil etmektedir. Bu kapsamda MATLAB bazlı olarak elde edilen 0,584529 saniye değerindeki otonom araç algı tepki süresi VISSIM’de gerçekleştirilecek olan otonom araç penetrasyonu temelli simülasyonlarda otonom araç özelliği olarak girilecek ve analizlere devam edilecektir.

4.15. Elektrikli Araçlar ve Sınıflandırma Analizi

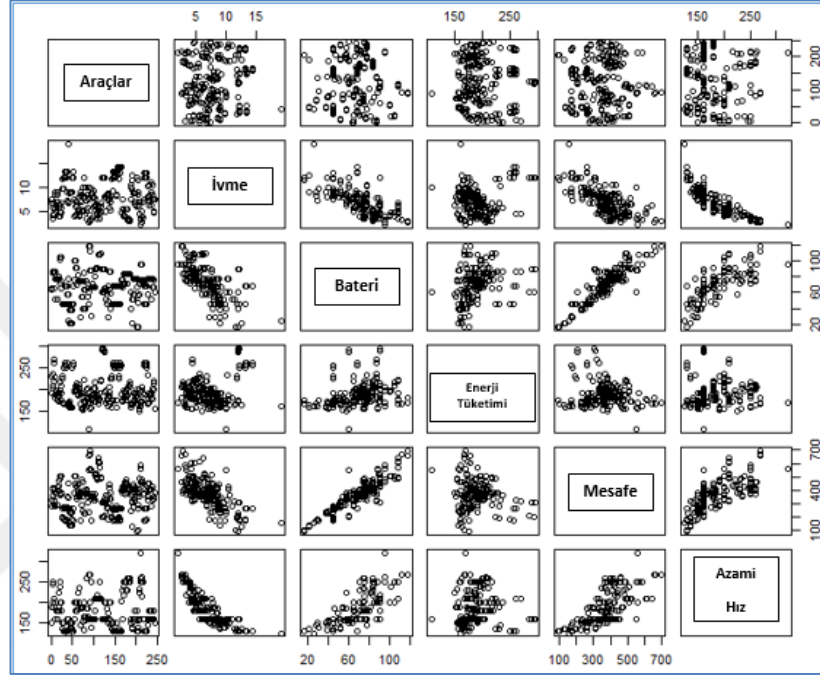
Dünyada muhtelif ülkelerde elektrikli araçlar üretilmekte ve karayolu trafiğinde yer almaya başlamaktadır. Bu konuda öncü ülkelere bir tanesi Amerika Birleşik Devletleri'dir (ABD). Otonom araçlar, elektrik enerjili araçlar olacaktır. Piyasadaki mevcut elektrikli araçların R Studio programında sınıflandırma analizi gerçekleştirilecektir. (Kassambara, 2017). Buna göre belirlenen sınıf sayısı ve her bir sınıftaki araçlar ve özellikleri listelenecektir. Her bir sınıfın ortalama ivme değeri de elde edilmiş olacaktır.

Sınıflandırma analizinin tek bir tanımı bulunmamaktadır çünkü çok sayıda sınıflandırma algoritması bulunmaktadır. Sınıf, bir grup veri nesnesi olarak düşünülebilir. Fakat muhtelif araştırmalarda kullanılan farklı sınıflandırma yöntemleri söz konusudur. Bunlar farklı algoritmalara temellenmektedir. Mevcut elektrikli araç havuzu R programında analiz edilmiştir. Sınıflandırma analizine tabi tutularak mevcut araçların ne şekilde sınıflandığı elde edilmiştir. Sınıflama yöntemleri; bağlantısallık, merkezilik, dağılımlılık, yoğunluk, alt kümelilik ve grafik bazlılık gibi özelliklerin birisini ya da birkaçını içermektedir. Hiyerarşik sınıflama, merkezi bazlı sınıflama, dağılım bazlı sınıflama, yoğunluk bazlı sınıflama, şebeke bazlı sınıflama gibi yaklaşımları içermektedir.

Sınıflandırma bir veri girdisinin herhangi bir kısmında doğal olarak oluşabilir. Birçok sınıflandırma algoritması söz konusudur ve doğrudan bunlardan birisinin üstünlüğünden bahsedilemez, ihtiyaç ve konulara göre algoritma ihtiyacı değişmektedir. K ortalama, OPTICS, ortalama geçişi (mean shift), PAM (Partitioning around medoids_ merkez çevresindeki dağılım), Clara (Clustering of large applications_büyük uygulamaların sınıflandırması), spektral sınıflama gibi birçok sınıflama algoritması bulunmaktadır ve bunlar R Studio, MATLAB, Python gibi programlarda kullanılmaktadır. K ortalama yöntemi, programlarda en yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir. R Studio programında K ortalama yöntemi, PAM ve Clara yöntemi en etkili sınıflandırma yöntemleridir. Bu çalışmada da R Studio programında bu sınıflandırma algoritmaları kullanılmak suretiyle bir istatistiki sınıflandırma analizi yürütülmektedir.

4.16. Sonuçlar

R programında ilk olarak veriler sisteme yüklenmiş ardından ilgili kodlama adımlarıyla analize hazır hale getirilmiştir. İlgili paketlerin kütüphaneleri yüklenmiştir (Kassambara, 2017). Veri seti program veri tabanına yüklenmiştir. Aşağıda Şekil 3’te araçların 5 parametreye göre birbirleriyle olan durumları görölmektedir.



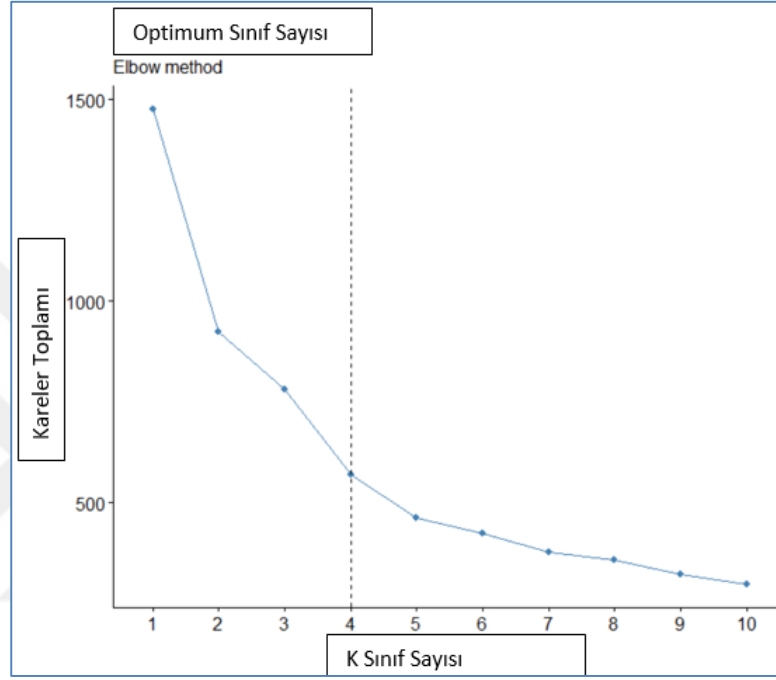
Şekil 3. Araçların 5 Parametreye Göre Dağılımları

Şekil 3’te göröldüğü üzere hız arttıkça menzil artmaktadır. Enerji tüketimi arttıkça pil kullanılabilirliğı azalmaktadır. Enerji azaldıkça kat edilen mesafe sınırlanmaktadır. Hızlanma (İvme) arttıkça batarya elverişliliğı azalmaktadır (Kabra, 2019).

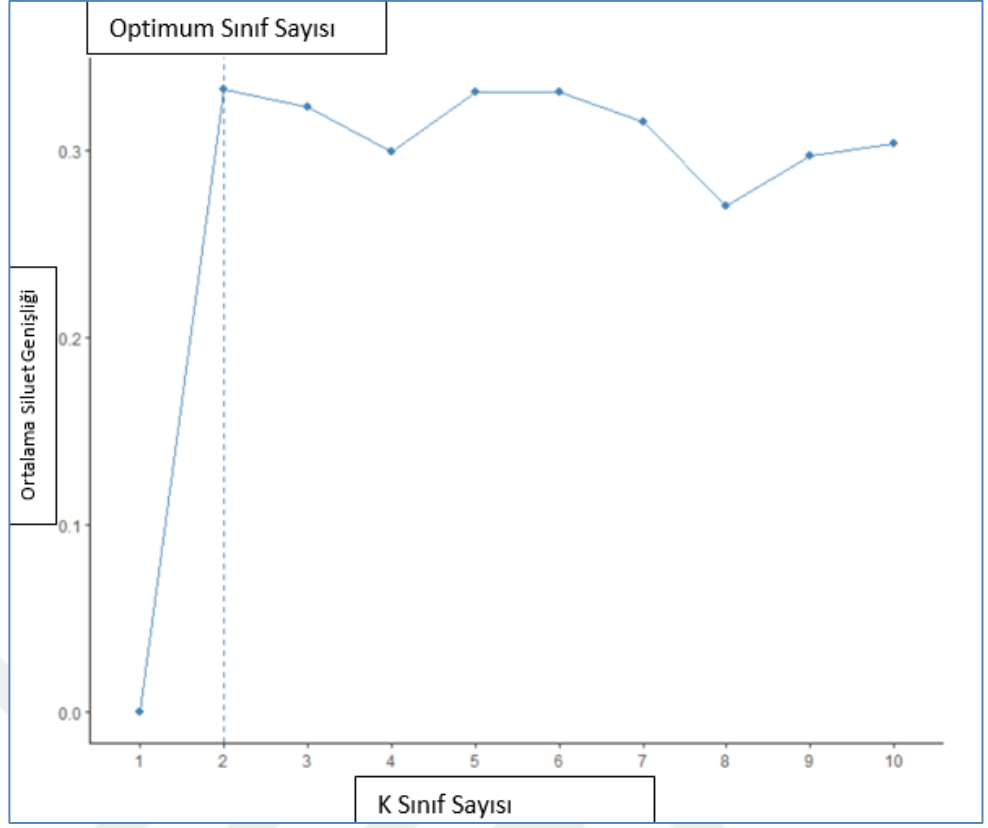
4.17. K Ortalama Yöntemine Göre Sınıf Sayısının Hesaplanması

K ortalama yöntemindeki sınıflamada esas olan, sınıfların sınıf içi benzerliklerinin olabildiğince fazla, sınıflar arası benzerliklerin ise en az olmasının sağlanmasıdır. Yani sınıfların mümkün olduğunca karakteristik olması istenmektedir. Sık kullanılan ve büyük veri kümelerini etkin şekilde sınıflayabilen bir algoritmadır. Algoritmada ilk olarak sınıf merkezleri (medoidler) belirlenir akabinde merkez harici verilerin mesafelerine göre sınıflar meydana gelmektedir. Sınıflandırmalara göre yeni

merkezler belirlenir ve denge sağlanana kadar işlem tekrarlı olarak sşrdşrşlşr, genelde 2-3 tekrarda denge durumu elde edilir. Aşağıda şekil 4'te K-ortalama (K-means) yşntemine gşre sınıflandırmaların dağılımı gşrşlmektedir. Buna gşre K-ortalama yşntemine gşre mevcut veri tabanında optimum sınıf sayısı 4 olarak gerçekleşmektedir. Yani veri tabanının derleme ve değerlemesinde 4 ana sınıf esaslı değerlendirmenin daha isabetli bir analiz sağlayacağı anlamına gelmektedir.

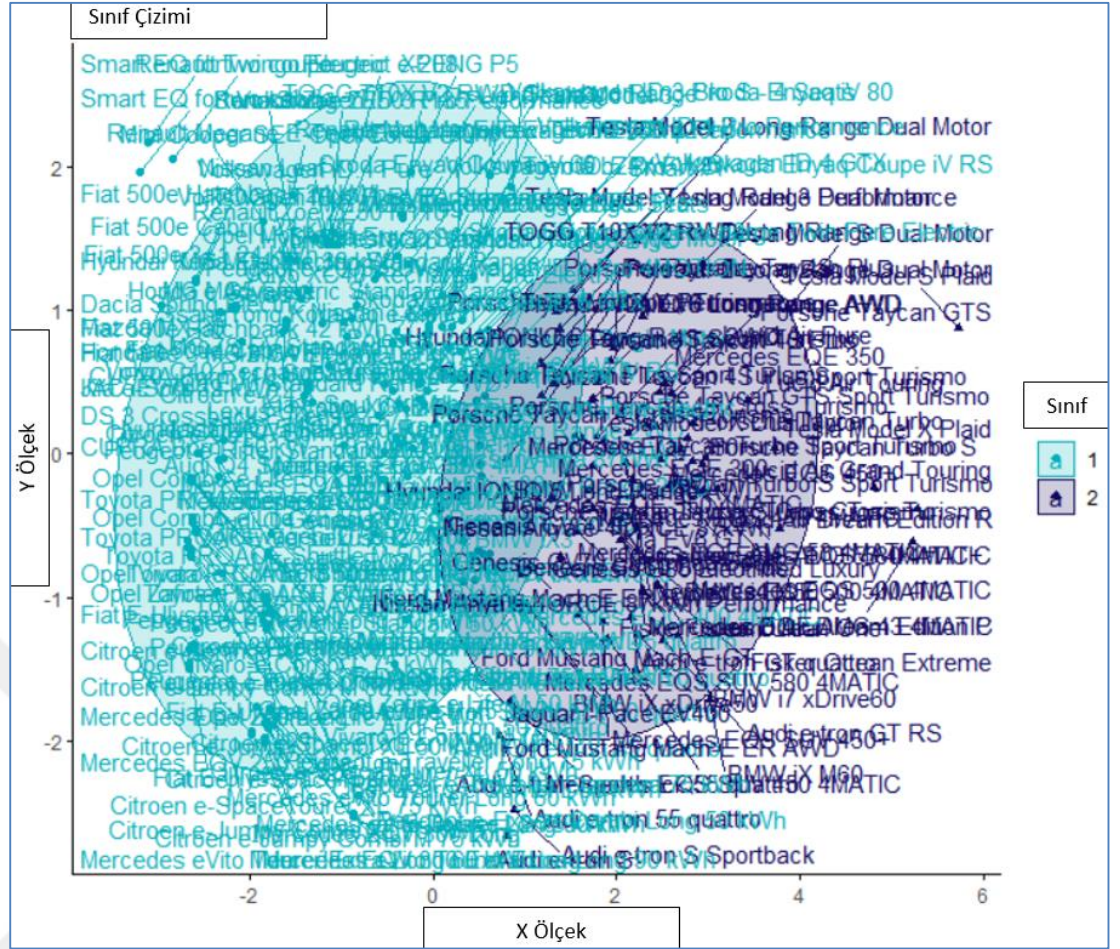


şekil 4. K-ortalama Yşntemine Gşre Sınıf Sayısı



Şekil 6. PAM’e göre Sınıf Sayıları

Şekil 6’da PAM yöntemine göre hesaplanan sınıf sayısı gösterilmiştir. Buna göre PAM yönteminde, veri tabanının en optimum sınıflandırma sayısı 2 olarak gerçekleşmektedir. Yani PAM yöntemine göre (silüet yöntemi ile bulunmuş olan) veri tabanının en etkili ve en iyi temsilli sınıflaması ancak 2 adet ana sınıf oluşturulması ile mümkün olabilmektedir.



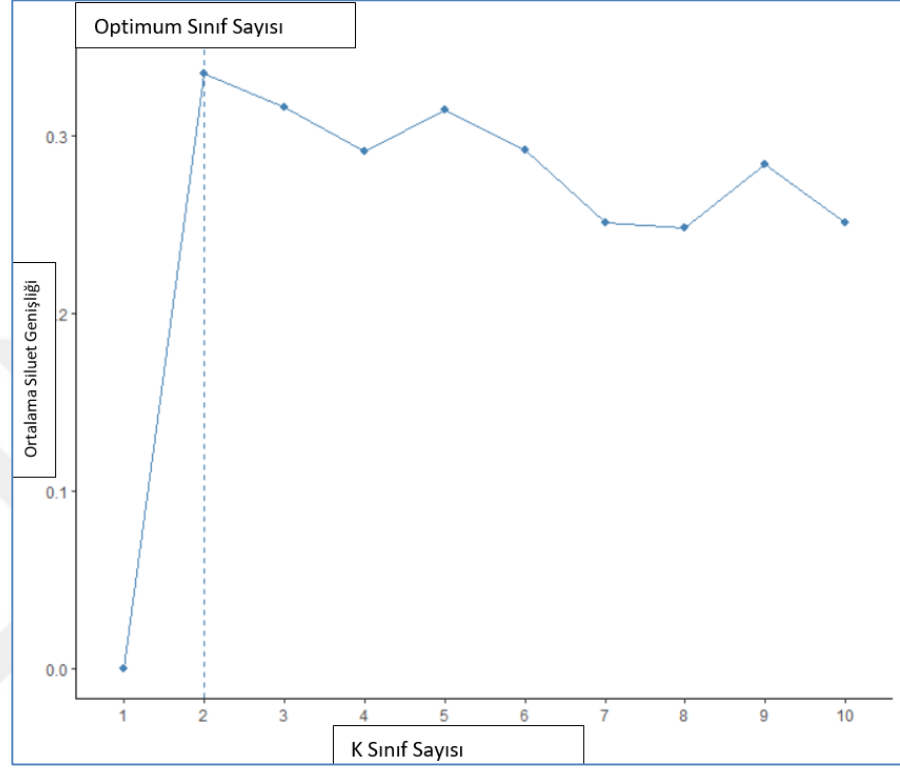
Şekil 7. PAM’e Göre Sınıfların Gösterimi

Şekil 7’de PAM yöntemine göre (silüet yöntemi vasıtasıyla) oluşturulan 2 sınıfın gösterimi verilmektedir. Fiat’ın, Lightyear’ın ve Tesla’nın çeşitli modelleri ise sınıflandırmaların dışında kalmaktadır. Yani outlier (ayrık) durumundadırlar. BMW’nin, Audi’nin ve Mercedes’in birçok modeli ise mavi lejantla gösterilen sınıfta sınıflandırılmaktadırlar. PAM yöntemine göre 1 numaralı sınıfın medoidleri Aiyways U5, AUDI e-tron 50 quattro ve AUDI e-tron 55 quattro’dur. 2 numaralı sınıfın medoidleri ise BMW iX3 ve Toyota PROACE Verso M 50 kwh’tır.

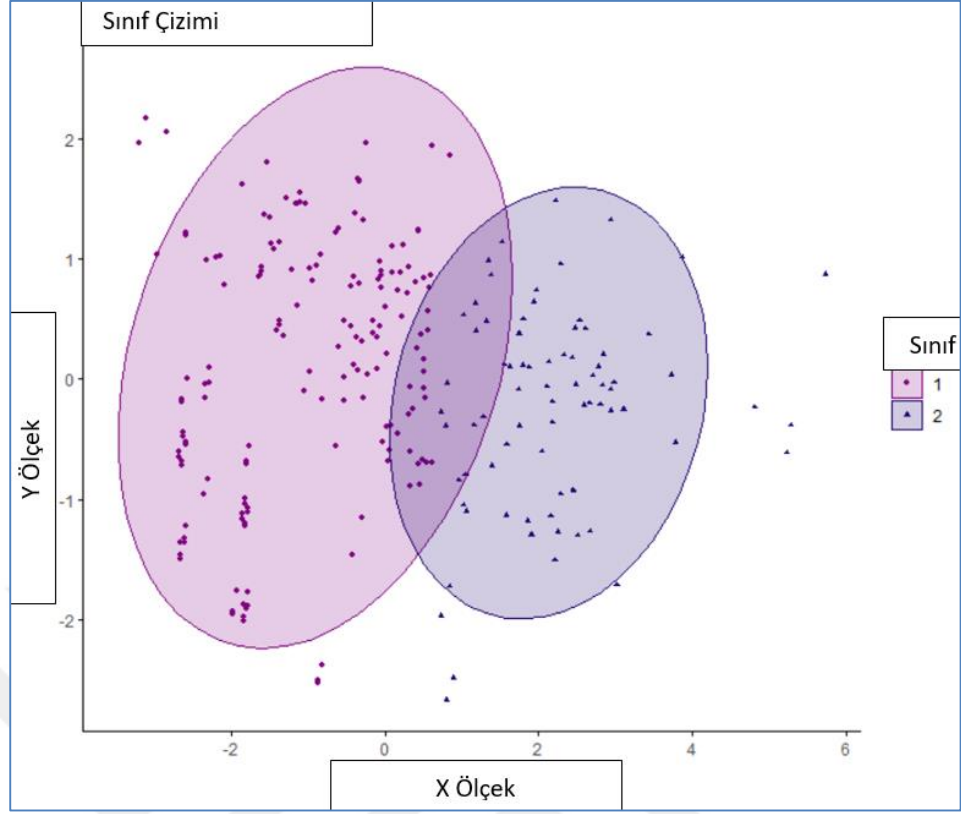
4.19. Clara Yöntemine Göre Sınıf Sayısının Hesaplanması

Clara, büyük uygulamaların sınıflandırması anlamına gelmektedir. Büyük veri dizilerini etkin bir şekilde sınıflandırabilmektedir. Veri içerisinden rassal bir örneklem seçer, örnekleme medoide göre karşılaştırma işlemi uygular ve bu işlemi tekrarlı sayıda gerçekleştirir. Minimum benzememe ölçütüne dayalı olarak en iyi sınıflamanın

gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Bu açıdan en iyi sınıflanma örneklemini elde edilip aynı algoritma diğer alt veri kümeleri için de uygulanmaktadır. Büyük veri dizilerinin sınıflandırmasında daha hızlı bir işlem imkânı sağlamaktadır. Clara yöntemine göre sınıfsal analiz sonucu elde edilen sınıf sayısı 2'dir.



Şekil 8. Clara Yöntemine Göre Sınıf Sayısı



Şekil 9. Clara Yöntemine Göre Sınıfların Gösterimi

4.20. Genel Sonuçlar

R Studio programında yapılan nihai toplulaştırılmış sınıflama analizine göre elde edilen sınıf sayısı 4'tür. Bu K ortalama yönteminde elde edilen 4 adet sınıf sayısı sonucunu doğrulamaktadır. K ortalama yönteminde elde edilen sonuçlara göre araçların ait oldukları sınıflara ve özelliklerine göre listesi Tablo 21'de görülmektedir (FullyCharged, 2024). Clara yöntemi, PAM ve K ortalama yönteminde farklı sınıf sayıları çıkmasının nedeni söz konusu 3 yöntemin hassasiyet düzeylerinin, yaklaşım şekillerinin, işlem adımlarının ve etkinlik gösterdikleri veri dizilerinin birbirinden farklı olmasıdır. K ortalama yöntemi bu çalışmadaki veri dizisi için oldukça uygun görünmektedir. Öte taraftan toplulaştırılmış sınıflama işlemi de K ortalama yönteminde çıkan sınıf sayısını bu veri dizisi için doğrulamaktadır.

Tablo 21. Araçların Sınıf Listesi (FullyCharged, 2024)

No	Araç	Sınıf	Batarya(kWh)	Enerji Tüketimi(Wh/km)	Menzil (km)	Maks. Hız (km/saat)	İvme (m/sn ²)
1	Aiways U5	4	63	191	330	150	3,7037

2	Audi e-tron 50 quattro	4	64,7	231	280	190	4,085
3	Audi e-tron 55 quattro	4	86,5	237	365	200	4,8733
4	Audi e-tron GT quattro	3	85	202	420	245	6,7751
5	Audi e-tron GT RS	3	85	210	405	250	8,4175
6	Audi e-tron S	3	86,5	270	320	210	6,1728
7	Audi e-tron S Sportback	3	86,5	262	330	210	6,1728
8	Audi e-tron Sportback 50 quattro	4	64,7	219	295	190	4,085
9	Audi e-tron Sportback 55 quattro	4	86,5	228	380	200	4,8733
10	Audi Q4 e-tron 35	1	52	182	285	160	3,0864
11	Audi Q4 e-tron 40	4	76,6	189	405	160	3,268
12	Audi Q4 e-tron 45 quattro	4	76,6	199	385	180	4,0258
13	Audi Q4 e-tron 50 quattro	4	76,6	199	385	180	4,4803
14	Audi Q4 Sportback e-tron 35	1	52	176	295	160	3,0864
15	Audi Q4 Sportback e-tron 40	4	76,6	180	425	160	3,27
16	Audi Q4 Sportback e-tron 45 quattro	4	76,6	192	400	180	4,0258
17	Audi Q4 Sportback e-tron 50 quattro	4	76,6	192	400	180	4,4803
18	BMW i4 eDrive40	4	80,7	172	470	190	4,8733
19	BMW i4 M50	3	80,7	186	435	225	7,1225
20	BMW i7 xDrive60	3	101,7	199	510	240	5,9101
21	BMW iX M60	3	105,2	217	485	250	7,31
22	BMW iX xDrive40	4	71	197	360	200	4,5537
23	BMW iX xDrive50	3	105,2	208	505	200	6,0386
24	BMW iX1 xDrive30	4	64,7	175	370	180	4,8733
25	BMW iX3	4	74	192	385	180	4,085
26	Citroen e-Berlingo M 50 kWh	2	45	225	200	135	2,3742
27	Citroen e-Berlingo XL 50 kWh	2	45	231	195	135	2,3742
28	Citroen e-C4	1	45	170	265	150	2,8637
29	Citroen e-C4 X	1	45	167	270	150	2,8637
30	Citroen e-Jumpy Combi M 50 kWh	2	45	250	180	130	2,2957
31	Citroen e-Jumpy Combi M 75 kWh	2	68	257	265	130	2,0886
32	Citroen e-Jumpy Combi XL 50 kWh	2	45	257	175	130	2,2957
33	Citroen e-Jumpy Combi XL 75 kWh	2	68	262	260	130	2,0886
34	Citroen e-SpaceTourer M 50 kWh	2	45	250	180	130	2,2957
35	Citroen e-SpaceTourer M 75 kWh	2	68	257	265	130	2,0886
36	Citroen e-SpaceTourer XL 50 kWh	2	45	257	175	130	2,2957
37	Citroen e-SpaceTourer XL 75 kWh	2	68	262	260	130	2,0886
38	CUPRA Born 110 kW - 45 kWh	1	45	164	275	160	3,1211
39	CUPRA Born 150 kW - 58 kWh	4	58	166	350	160	3,8052
40	CUPRA Born 170 kW - 58 kWh	4	58	168	345	160	4,2088
41	CUPRA Born 170 kW - 77 kWh	4	77	171	450	160	3,9683
42	Dacia Spring Electric	1	25	161	155	125	1,4543
43	DS 3 Crossback E-Tense	1	45	173	260	150	3,1928
44	Fiat 500e 3+1 24 kWh	1	21,3	158	135	135	3,0864
45	Fiat 500e 3+1 42 kWh	1	37,3	159	235	150	3,0864

46	Fiat 500e Cabrio 24 kWh	1	21,3	158	135	135	3,0864
47	Fiat 500e Cabrio 42 kWh	1	37,3	162	230	150	3,0864
48	Fiat 500e Hatchback 24 kWh	1	21,3	158	135	135	3,0864
49	Fiat 500e Hatchback 42 kWh	1	37,3	159	235	150	3,0864
50	Fiat E-Ulysse L2 50 kWh	2	45	250	180	130	2,2957
51	Fiat E-Ulysse L2 75 kWh	2	68	257	265	130	2,0886
52	Fiat E-Ulysse L3 50 kWh	2	45	257	175	130	2,2957
53	Fiat E-Ulysse L3 75 kWh	2	68	262	260	130	2,0886
54	Fisker Ocean Extreme	3	100	196	510	200	7,1225
55	Fisker Ocean One	3	100	196	510	200	7,1225
56	Fisker Ocean Sport	4	75	197	380	160	3,7538
57	Fisker Ocean Ultra	3	100	198	505	200	6,6138
58	Ford Mustang Mach-E ER AWD	4	91	209	435	180	4,7893
59	Ford Mustang Mach-E ER RWD	4	91	200	455	180	3,9683
60	Ford Mustang Mach-E GT	3	91	214	425	200	6,3131
61	Ford Mustang Mach-E SR AWD	4	70	206	340	180	4,4092
62	Ford Mustang Mach-E SR RWD	4	70	197	355	180	4,0258
63	Genesis G80 Electrified Luxury	3	82,5	188	440	225	5,6689
64	Genesis GV60 Premium	4	74	190	390	185	3,5613
65	Genesis GV60 Sport	4	74	195	380	200	5,0505
66	Genesis GV60 Sport Plus	3	74	203	365	235	6,9444
67	Genesis GV70 Electrified Sport	3	74	211	350	235	6,6138
68	Honda e	1	28,5	168	170	145	3,0864
69	Honda e Advance	1	28,5	168	170	145	3,3467
70	Hyundai IONIQ 5 Long Range 2WD	4	74	190	390	185	3,8052
71	Hyundai IONIQ 5 Long Range AWD	4	74	192	385	185	5,4466
72	Hyundai IONIQ 5 Standard Range 2WD	1	54	183	295	185	3,268
73	Hyundai IONIQ 6 Long Range 2WD	4	74	156	475	190	3,9683
74	Hyundai IONIQ 6 Long Range AWD	4	74	159	465	190	5,4466
75	Hyundai IONIQ 6 Standard Range 2WD	4	54	152	355	190	3,4722
76	Hyundai Kona Electric 39 kWh	1	39,2	157	250	155	2,8058
77	Hyundai Kona Electric 64 kWh	4	64	162	395	167	3,5162
78	JAC iEV7s	1	39	173	225	132	2,3148
79	Jaguar I-Pace EV400	3	84,7	223	380	200	5,787
80	Kia e-Soul 39 kWh	1	39,2	170	230	157	2,8058
81	Kia e-Soul 64 kWh	4	64	173	370	167	3,5162
82	Kia EV6 GT	3	74	200	370	260	7,9365
83	Kia EV6 Long Range 2WD	4	74	180	410	185	3,8052
84	Kia EV6 Long Range AWD	4	74	185	400	185	5,3419
85	Kia EV6 Standard Range 2WD	1	54	177	305	185	3,268
86	Kia Niro EV	4	64,8	171	380	167	3,5613
87	Lexus RZ 450e	4	71,4	204	350	160	4,9603
88	Lexus UX 300e	1	45	191	235	160	3,7037
89	Lightyear 0	4	60	109	550	160	2,7778

90	Lucid Air Dream Edition P	3	118	180	655	270	10,28807
91	Lucid Air Dream Edition R	3	118	170	695	270	9,5785
92	Lucid Air Grand Touring	3	112	168	665	270	8,6806
93	Lucid Air Pure	3	88	157	560	200	6,6138
94	Lucid Air Touring	3	88	160	550	250	8,17
95	Mazda MX-30	1	30	176	170	140	2,8637
96	Mercedes EQA 250	4	66,5	187	355	160	3,23
97	Mercedes EQA 250+	4	70,5	188	375	160	3,23
98	Mercedes EQA 300 4MATIC	4	66,5	190	350	160	3,6075
99	Mercedes EQA 350 4MATIC	4	66,5	190	350	160	4,6296
100	Mercedes EQB 250	4	66,5	193	345	160	3,0193
101	Mercedes EQB 300 4MATIC	4	66,5	202	330	160	3,4722
102	Mercedes EQB 350 4MATIC	4	66,5	202	330	160	4,4803
103	Mercedes EQC 400 4MATIC	4	80	216	370	180	5,4466
104	Mercedes EQE 300	4	89	173	515	210	3,655
105	Mercedes EQE 350	3	89	173	515	210	4,3403
106	Mercedes EQE 350 4MATIC	3	90,6	181	500	210	4,4092
107	Mercedes EQE 350+	3	90,6	173	525	210	4,3403
108	Mercedes EQE 500 4MATIC	3	90,6	181	500	210	5,9102
109	Mercedes EQE AMG 43 4MATIC	3	90,6	187	485	210	6,6138
110	Mercedes EQE AMG 53 4MATIC+	3	90,6	189	480	220	7,9365
111	Mercedes EQS 450 4MATIC	3	107,8	175	615	210	4,96603
112	Mercedes EQS 450+	3	107,8	168	640	210	4,4803
113	Mercedes EQS 500 4MATIC	3	107,8	178	605	210	5,787
114	Mercedes EQS 580 4MATIC	3	107,8	178	605	210	6,46
115	Mercedes EQS AMG 53 4MATIC+	3	107,8	191	565	250	8,17
116	Mercedes EQS SUV 450 4MATIC	3	108,4	224	485	210	4,6296
117	Mercedes EQS SUV 450+	3	108,4	219	495	210	4,146
118	Mercedes EQS SUV 580 4MATIC	3	108,4	224	485	210	6,0387
119	Mercedes EQV 250 Extra-Long	2	60	293	205	160	2,3148
120	Mercedes EQV 250 Long	2	60	293	205	160	2,3148
121	Mercedes EQV 300 Extra-Long	2	90	295	305	160	2,2957
122	Mercedes EQV 300 Long	2	90	295	305	160	2,2957
123	Mercedes eVito Tourer Extra-Long 60 kWh	2	60	293	205	160	2,3148
124	Mercedes eVito Tourer Extra-Long 90 kWh	2	90	295	305	160	2,3148
125	Mercedes eVito Tourer Long 60 kWh	2	60	286	210	160	2,3148
126	Mercedes eVito Tourer Long 90 kWh	2	90	290	310	160	2,3148
127	MG Marvel R	4	65	194	335	200	3,5162
128	MG Marvel R Performance	4	65	197	330	200	5,669
129	MG MG4 Electric Long Range	4	61,7	171	360	160	3,4722
130	MG MG4 Electric Standard Range	1	50,8	169	300	160	3,4722
131	MG MG5 Electric Long Range	4	57	175	325	185	3,3467
132	MG MG5 Electric Standard Range	1	46	177	260	185	3,268
133	MG ZS EV Long Range	4	68,3	187	365	175	3,3069

134	MG ZS EV Standard Range	1	49	181	270	175	3,23
135	Mini Cooper SE	1	28,9	161	180	150	3,8052
136	Nissan Ariya 63kWh	4	63	188	335	160	3,7037
137	Nissan Ariya 87kWh	4	87	196	445	160	3,655
138	Nissan Ariya e-4ORCE 87kWh	4	87	207	420	200	4,8733
139	Nissan Ariya e-4ORCE 87kWh Performance	4	87	226	385	200	5,4466
140	Nissan Leaf	1	39	166	235	144	3,5162
141	Nissan Leaf e+	4	59	174	340	157	4,0258
142	Opel Combo-e Life 50 kWh	2	45	225	200	135	2,3742
143	Opel Combo-e Life XL 50 kWh	2	45	231	195	135	2,3742
144	Opel Corsa-e	1	45	158	285	150	3,4294
145	Opel Mokka-e	1	45	176	255	150	3,0193
146	Opel Vivaro-e Combi L 50 kWh	2	45	257	175	130	2,2957
147	Opel Vivaro-e Combi L 75 kWh	2	68	262	260	130	2,0886
148	Opel Vivaro-e Combi M 50 kWh	2	45	250	180	130	2,2957
149	Opel Vivaro-e Combi M 75 kWh	2	68	257	265	130	2,0886
150	Opel Zafira-e Life L 50 kWh	2	45	257	175	130	2,2957
151	Opel Zafira-e Life L 75 kWh	2	68	262	260	130	2,0886
152	Opel Zafira-e Life M 50 kWh	2	45	250	180	130	2,2957
153	Opel Zafira-e Life M 75 kWh	2	68	257	265	130	2,0886
154	Peugeot e-2008 SUV	1	45	176	255	150	3,268
155	Peugeot e-208	1	45	158	285	150	3,4294
156	Peugeot e-Expert Combi Long 50 kWh	2	45	257	175	130	2,1204
157	Peugeot e-Expert Combi Long 75 kWh	2	68	262	260	130	1,9425
158	Peugeot e-Expert Combi Standard 50 kWh	2	45	250	180	130	2,1204
159	Peugeot e-Expert Combi Standard 75 kWh	2	68	257	265	130	1,9425
160	Peugeot e-Rifter Long 50 kWh	2	45	231	195	135	2,3742
161	Peugeot e-Rifter Standard 50 kWh	2	45	225	200	135	2,3742
162	Peugeot e-Traveller Long 50 kWh	2	45	257	175	130	2,1204
163	Peugeot e-Traveller Long 75 kWh	2	68	262	260	130	1,9425
164	Peugeot e-Traveller Standard 50 kWh	2	45	250	180	130	2,1204
165	Peugeot e-Traveller Standard 75 kWh	2	68	257	265	130	1,9425
166	Polestar 2 Long Range Dual Motor	4	75	190	395	205	5,9102
167	Polestar 2 Long Range Single Motor	4	75	176	425	160	3,7538
168	Polestar 2 Standard Range Single Motor	4	67	174	385	160	3,7538
169	Porsche Taycan	4	71	173	410	230	5,144
170	Porsche Taycan 4 Cross Turismo	3	83,7	197	425	220	5,4466
171	Porsche Taycan 4S	3	71	180	395	250	6,9444
172	Porsche Taycan 4S Cross Turismo	3	83,7	197	425	240	6,7751
173	Porsche Taycan 4S Plus	3	83,7	182	460	250	6,9444
174	Porsche Taycan 4S Plus Sport Turismo	3	83,7	195	430	250	6,9444
175	Porsche Taycan 4S Sport Turismo	3	71	192	370	250	6,9444
176	Porsche Taycan GTS	3	83,7	186	450	250	7,508
177	Porsche Taycan GTS Sport Turismo	3	83,7	197	425	250	7,508

178	Porsche Taycan Plus	3	83,7	176	475	230	5,144
179	Porsche Taycan Plus Sport Turismo	3	83,7	188	445	230	5,144
180	Porsche Taycan Sport Turismo	4	71	187	380	230	5,144
181	Porsche Taycan Turbo	3	83,7	202	415	260	8,6806
182	Porsche Taycan Turbo Cross Turismo	3	83,7	209	400	250	8,4175
183	Porsche Taycan Turbo S	3	83,7	209	400	260	9,9206
184	Porsche Taycan Turbo S Cross Turismo	3	83,7	217	385	250	9,5785
185	Porsche Taycan Turbo S Sport Turismo	3	83,7	212	395	260	9,9206
186	Porsche Taycan Turbo Sport Turismo	3	83,7	207	405	260	8,6806
187	Renault Megane E-Tech EV40 130hp	1	40	160	250	150	2,7777
188	Renault Megane E-Tech EV60 130hp	4	60	164	365	150	3,6455
189	Renault Megane E-Tech EV60 220hp	4	60	167	360	160	3,7538
190	Renault Twingo Electric	1	21,3	164	130	135	2,2046
191	Renault Zoe ZE50 R110	1	52	165	315	135	2,4366
192	Renault Zoe ZE50 R135	1	52	168	310	140	2,924
193	Seres 3	1	52	193	270	155	3,1211
194	Skoda Enyaq Coupe iV 60	4	58	173	335	160	3,1566
195	Skoda Enyaq Coupe iV 80	4	77	173	445	160	3,1928
196	Skoda Enyaq Coupe iV 80x	4	77	179	430	160	3,9683
197	Skoda Enyaq Coupe iV RS	4	77	190	405	180	4,274
198	Skoda Enyaq iV 60	4	58	176	330	160	3,1928
199	Skoda Enyaq iV 80	4	77	183	420	160	3,23
200	Skoda Enyaq iV 80x	4	77	193	400	160	4,026
201	Skoda Enyaq iV RS	4	77	200	385	180	4,4803
202	Smart #1	4	66	186	355	180	4,6296
203	Smart EQ fortwo cabrio	1	16,7	176	95	130	2,3343
204	Smart EQ fortwo coupe	1	16,7	167	100	130	2,3947
205	Sono Sion	1	47	181	260	140	3,0864
206	SsangYong Korando e-Motion	4	56	193	290	156	3,268
207	Subaru Solterra AWD	4	71,4	201	355	160	4,026
208	Tesla Model 3	4	57,5	151	380	225	4,5537
209	Tesla Model 3 Long Range Dual Motor	3	75	155	485	233	6,3131
210	Tesla Model 3 Performance	3	75	163	460	261	8,4175
211	Tesla Model S Dual Motor	3	95	162	585	250	8,6806
212	Tesla Model S Plaid	3	95	170	560	322	13,2275
213	Tesla Model X Dual Motor	3	95	198	480	250	7,1225
214	Tesla Model X Plaid	3	95	207	460	262	10,68338
215	Tesla Model Y Long Range Dual Motor	4	75	172	435	217	5,5555
216	Tesla Model Y Performance	3	75	181	415	250	7,5075
217	TOGG T10X V1 RWD Standard Range	4	52,4	167	314	185	3,7538
218	TOGG T10X V2 RWD Standard Range	4	52,4	167	314	185	3,7538
219	TOGG T10X V2 RWD Long Range	4	88,5	169	523	185	3,5613
220	Toyota bZ4X AWD	4	71,4	193	370	160	4,026
221	Toyota bZ4X FWD	4	71,4	190	375	160	3,7037

222	Toyota PROACE Shuttle L 50 kWh	2	45	257	175	130	2,2957
223	Toyota PROACE Shuttle L 75 kWh	2	68	262	260	130	2,1204
224	Toyota PROACE Shuttle M 50 kWh	2	45	257	175	130	2,2957
225	Toyota PROACE Shuttle M 75 kWh	2	68	262	260	130	2,1204
226	Toyota PROACE Verso L 50 kWh	2	45	257	175	130	2,2957
227	Toyota PROACE Verso L 75 kWh	2	68	262	260	130	2,1204
228	Toyota PROACE Verso M 50 kWh	2	45	250	180	130	2,2957
229	Toyota PROACE Verso M 75 kWh	2	68	257	265	130	2,1204
230	Volkswagen ID. Buzz Pro	2	77	233	330	145	2,7233
231	Volkswagen ID.3 Pro Performance	4	58	166	350	160	3,8052
232	Volkswagen ID.3 Pro S - 4 Seats	4	77	171	450	160	3,5162
233	Volkswagen ID.3 Pro S - 5 Seats	4	77	171	450	160	3,5162
234	Volkswagen ID.4 GTX	4	77	193	400	180	4,4803
235	Volkswagen ID.4 Pro	4	77	188	410	160	2,671
236	Volkswagen ID.4 Pro 4MOTION	4	77	190	405	180	4,026
237	Volkswagen ID.4 Pro Performance	4	77	188	410	160	3,268
238	Volkswagen ID.4 Pure	1	52	182	285	160	2,5484
239	Volkswagen ID.4 Pure Performance	1	52	182	285	160	3,0864
240	Volkswagen ID.5 GTX	4	77	190	405	180	4,4092
241	Volkswagen ID.5 Pro	4	77	179	430	160	2,671
242	Volkswagen ID.5 Pro Performance	4	77	179	430	160	3,3069
243	Volvo C40 Recharge Pure Electric	4	67	203	330	160	3,7538
244	Volvo C40 Recharge Twin Pure Electric	4	75	214	350	180	5,9102
245	Volvo XC40 Recharge Pure Electric	4	67	200	335	160	3,7538
246	Volvo XC40 Recharge Twin Pure Electric	4	75	221	340	180	5,669
247	XPENG P5	4	60	156	385	150	3,704

Aşağıdaki Tablo 22’de ise araçların dağıldığı 4 sınıfın ilgili parametrelere göre ortalama, standart sapma ve varyans değerleri görülmektedir.

Tablo 22. Araç Sınıflarının Ortalama-Standart Sapma-Varyans Değerleri

	Sınıf	İvme (m/sn ²)	Batarya Gücü	Enerji Tüketimi	Mesafe (km)	Azami Hız (km/saat)
Ortalama	4	4,06685	71,12604	186,2188	384	175,2188
Standart Sapma		1,107168	16,545	19,101	48,904	18,2631
Varyans		1,22582	273,73	364,846	2391,6	333,541
Ortalama	3	7,08567	90,9322	193,9153	475,2	234,2881
Standart Sapma		1,77385	12,161	22,4601	85,364	25,3588
Varyans		3,14655	147,89	504,458	7287	643,071
Ortalama	2	2,21976	58,45098	258,5686	225	135,5882

Standart Sapma		0,14843	14,366	18,079	46,84	10,9383
Varyans		0,02203	206,37	326,85	2194	119,647
Ortalama		3,00004	39,94146	170	233,8	150,3171
Standart Sapma	1	0,43646	11,325	9,631	61,479	14,4524
Varyans		0,19049	128,25	92,75	3779,7	208,872

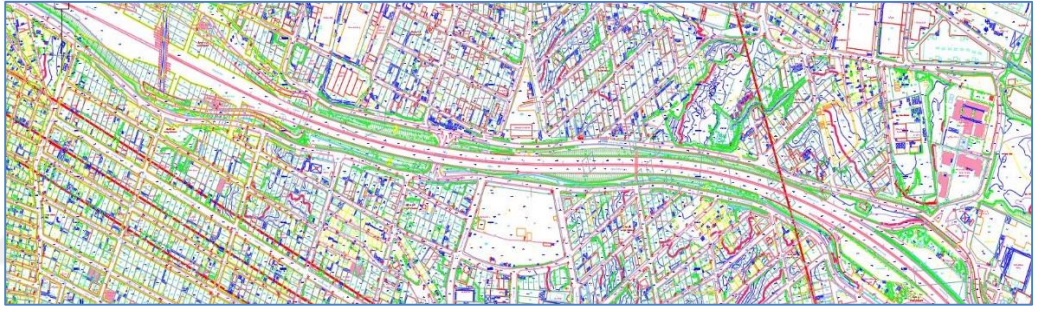
Yukarıda Tablo 22’de verilen araç sınıfları, VISSIM’e girilirken sisteme 4 farklı otonom araç tipi otonom araç 1 (OA1), otonom araç 2 (OA2), otonom araç 3 (OA3), otonom araç 4 (OA4) olarak tanımlanacak olup bu otonom araçların ivmeleri yukarıda Tablo 22’de verilen değerlerdir. Ancak her bir otonom araç tipinin algı tepki süresi ise tektir ve önceki bölümlerde hesap detayı verilen, MATLAB ve SPSS’teki analizler sonucu belirlenen değerdir. Belirtilen 4 farklı otonom araç tipi de VISSIM’de her bir senaryoda aynı ağırlıkta sisteme tanımlanmıştır.

4.21. VISSIM’de Veri Girişi ve Sonuçlar

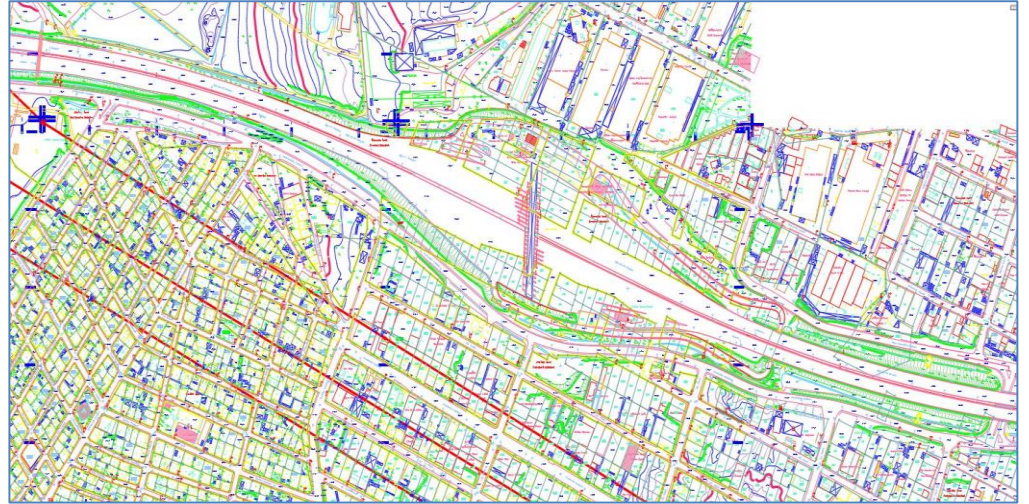
Tez kapsamında PTV VISSIM 2023 programında trafik analizleri gerçekleştirilmektedir. Değerler 12-15 Nisan 2021 tarihlerinde saat 12-15 arasında O4 İstanbul Ankara Otoyolu KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü) verilerine aittir (KGM, 2021). İlgili tarihlerde, Sultanbeyli, Orhanlı, Çamlıca, Samandıra gişelerinin giriş ve çıkış okumalarını içermektedir Okuma yapılan gişeler otomatik geçiş sistemi (OGS) gişeleridir. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) verileri plaka bazlı olarak ilgili gişelerden geçen araçların okumasını Excel verisi olarak paylaşmıştır. Bu şekilde trafik araç sayıları ilgili gün saat yön bazlı olarak gişeler için çıkartılmıştır. Her bir gişenin giriş ve çıkış verileri KGM tarafından paylaşılmıştır. Aşağıda sayımın gerçekleştirildiği mevkiinin hâlihazırda yer almaktadır.



Şekil 10. Yol Hâlihazır



Şekil 11. Bölgenin Hâlihazır



Şekil 12. Yolun Hâlihazır ve Çamlıca Gışesi

Çamlıca gişesi ve çevresi simülasyona esas alınmıştır. Şekil 10-11-12’de Çamlıca gişesi ve çevresinin hâlihazırda yer almaktadır. Tablo 23-24-25-26’da ise T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) verileri paylaşılmıştır (KGM, 2021).

Tablo 23. 12 Nisan 2021 KGM Verileri (KGM, 2021)

Çamlıca	12:00-13:00			13:00-14:00			14:00-15:00		
	Otomobil	panelvan vs.	Otobüs	Otomobil	panelvan vs.	Otobüs	Otomobil	panelvan vs.	Otobüs
Ankara Yönü	1307	101	25	1237	92	28	1259	90	22
İstanbul Yönü	4059	471	134	3680	367	148	4175	495	156

Tablo 24. 13 Nisan 2021 KGM Verileri (KGM, 2021)

Çamlıca	12:00-13:00			13:00-14:00			14:00-15:00		
	Otomobil	panelvan vs.	Otobüs	Otomobil	panelvan vs.	Otobüs	Otomobil	panelvan vs.	Otobüs
Ankara Yönü	1190	109	30	1194	109	23	1249	131	28
İstanbul Yönü	3955	630	179	3934	554	175	3893	587	186

Tablo 25. 14 Nisan 2021 KGM Verileri (KGM, 2021)

Çamlıca	12:00-13:00			13:00-14:00			14:00-15:00		
	Otomobil	panelvan vs.	Otobüs	Otomobil	panelvan vs.	Otobüs	Otomobil	panelvan vs.	Otobüs
Ankara Yönü	1236	104	35	1241	101	25	1215	112	23
İstanbul Yönü	4122	588	215	4072	533	183	4262	534	194

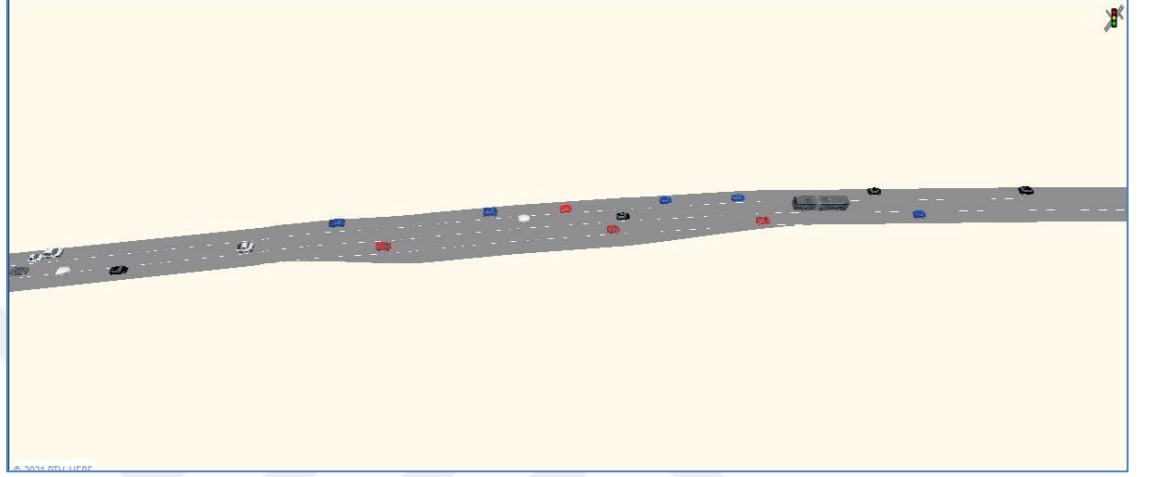
Tablo 26. 15 Nisan 2021 KGM Verileri (KGM, 2021)

Çamlıca	12:00-13:00			13:00-14:00			14:00-15:00		
	Otomobil	panelvan vs.	Otobüs	Otomobil	panelvan vs.	Otobüs	Otomobil	panelvan vs.	Otobüs
Ankara Yönü	1276	109	30	1281	113	21	1247	124	22
İstanbul Yönü	3992	651	223	3769	557	195	3828	565	193

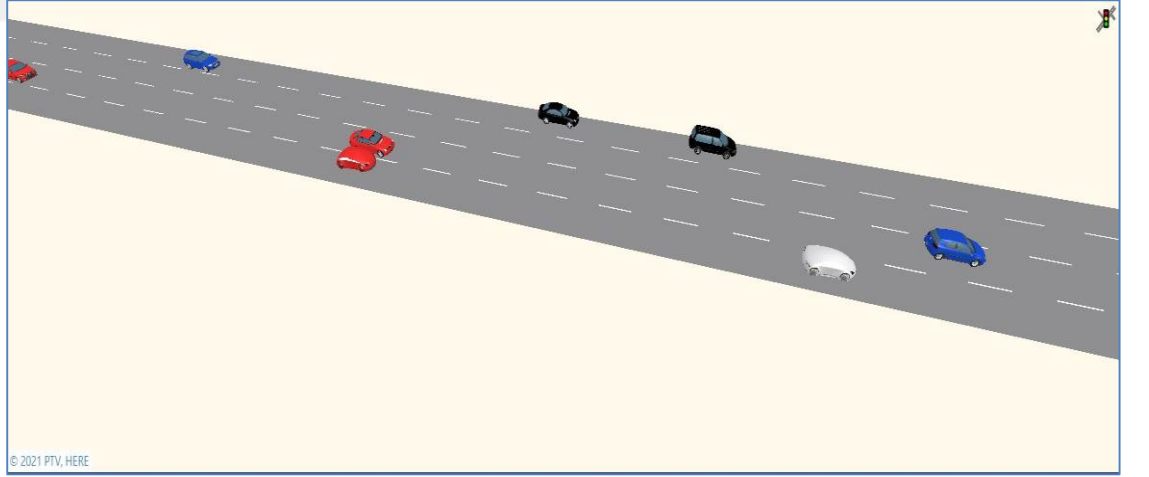
Bu bağlamda 14 Nisan 2021 günü saat 14:00-15:00 arası en yüksek hacimlerin elde edildiği aralık olarak VISSIM’de simülasyona esas alınmıştır. VISSIM’de söz

konusu yolun trafik hacim ve hız değerleri dâhilinde simülasyonu gerçekleştirilmiştir. VISSIM simülasyonundan görüntüler Şekil 13 ve Şekil 14’te görülmektedir.

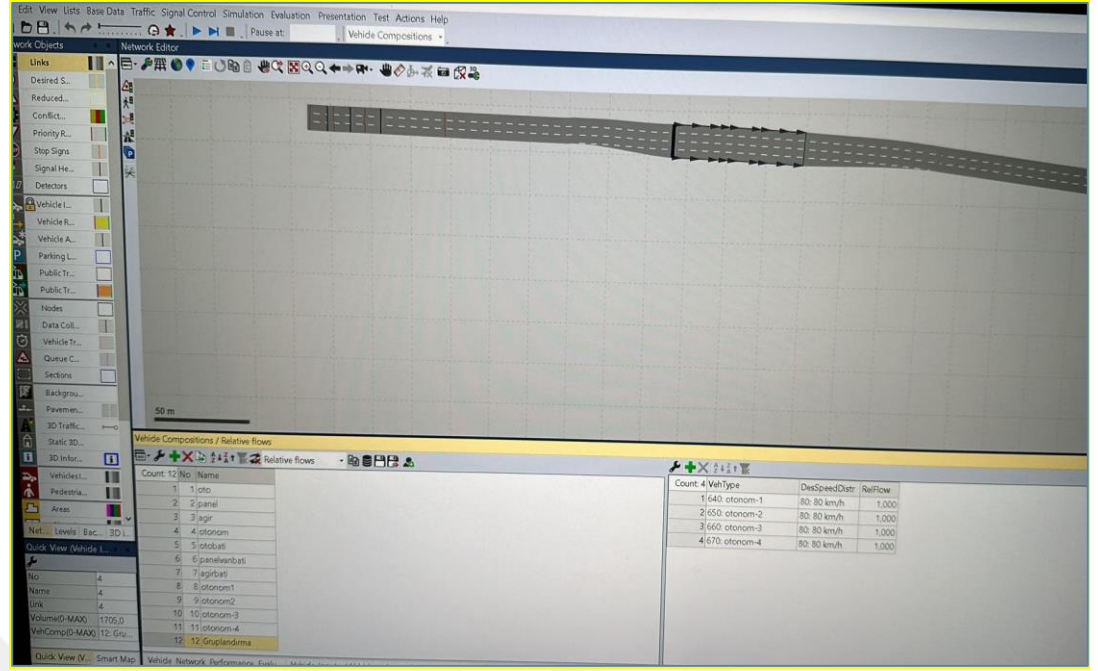
Öncelikle VISSIM’de simülasyon için OA tanımlaması yapılmıştır. Akabinde de bu otonom aracın farklı penetrasyon oranlarına göre trafiğe nasıl etki ettiği sınanmıştır. Görülen olumlu etkiler detaylı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 13. VISSIM Simülasyon Ekranı-1



Şekil 14. VISSIM Simülasyon Ekranı-2



Şekil 15. VISSIM Simülasyon Ekranı-3

VISSIM’de Çamlıca Gişeleri bölgesinde T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü’nden alınan veriler dahilinde simülasyon gerçekleştirilmiş olup otonom araçlar sisteme sırasıyla %0-10-20-30-40 penetrasyon oranlarıyla farklı senaryolar olarak girilmiştir. Otonom araçlar sınıflandırma analizi sonucunda 4 gruba bölünmüş olup her birisinin karakteristik ivme değerleri belirlenmiştir. Belirlenen ivme değerleri ve MATLAB’te elde edilen algı tepki sürelerine göre VISSIM’e otonom araçlar 4 farklı tip olarak tanımlanmıştır. Bu bağlamda da %10 penetrasyon senaryosunda %2,5 OA 1 (otonom araç), %2,5 OA2, %2,5 OA3 ve %2,5 OA4 ağırlıklı dağılımıyla otonom araçlar sisteme penetre edilmiş olup %20 penetrasyon senaryosunda ise %5 OA 1 (otonom araç), %5 OA2, %5 OA3 ve %5 OA4 ağırlıklı dağılımı söz konusu olmuştur. %30 penetrasyon senaryosunda %7,5 OA 1 (otonom araç), %7,5 OA2, %7,5 OA3 ve %7,5 OA4 ağırlıklı dağılımıyla otonom araçlar sisteme penetre edilmiş olup %40 penetrasyon senaryosunda ise %10 OA 1 (otonom araç), %10 OA2, %10 OA3 ve %10 OA4 ağırlıklı dağılımı söz konusu olmuştur. Konvansiyonel araçlar ise VISSIM programındaki genel otomobil ivme ve algı tepki süreleri kabul edilmek suretiyle her bir penetrasyon senaryosunda sırasıyla %100 konvansiyonel araç (KA), %90 konvansiyonel araç (KA), %80 konvansiyonel araç (KA), %70 konvansiyonel araç

(KA), %60 konvansiyonel araç (KA) olarak sisteme dahil edilmiş ve VISSIM’de simülasyon gerçekleştirilmiştir.

VISSIM’de yapılan analizler sonucunda ise otonom araç penetrasyon oranı arttıkça ortalama hızın arttığı, ortalama gecikmenin azaldığı, birim zamanda trafikte kat edilen toplam mesafenin arttığı, buna bağlı olarak ama bundan daha düşük bir oranda trafikteki toplam seyahat süresinin arttığı, birim zamanda geçen araç sayısı arttığı için toplam gecikme miktarının kısmen arttığı ve sistemden geçen araç sayısının çok büyük oranda arttığı (%64,138) ortaya çıkmıştır. Detaylar aşağıda Tablo 27’de görülmektedir.

Tablo 27. VISSIM’de Otonom Araç Penetrasyon Oranlarına Göre Trafik Akımındaki Değişim

1 saat	Ort. Gecikme (Topl.) (sn.)	Ort. Durma (Topl.) (adet)	Ort. Hız(Topl) (km/sa.)	Ort. Gecikme Durma (Topl.) (sn.)	Topl. Mesafe (km)	Topl. Şeyh. Süresi (saat)	Topl. Gecikme (saat)	Topl. Durma (adet)	Topl. Gecikme Durma (sn.)	Sistemden Geçen Araç Sayısı
0%	4,74	0	67,58	0	5399,38	79,9009	3,667703	0	0	2702
10%	4,23	0	67,86	0	5551,31	81,8067	3,744431	0	0	3102
20%	4,09	0	68,15	0	6051,75	88,8025	4,174894	0	0	3573
30%	4,09	0	68,52	0	6583,7	96,0881	4,661755	0	0	4007
40%	4,19	0	69,01	0	7183,98	104,098	5,292205	0	0	4435

Görüldüğü üzere otonom araç penetrasyon oranı arttıkça (%0’dan %40’a) ortalama gecikme azalmakta (%11,6) ortalama hız artmakta (%2,12), kat edilen toplam mesafe artmakta (%33,05), sistemden geçen araç sayısı ciddi anlamda artmakta (%64,1377), araç başı gecikme azalmasına karşın sistemden geçen araç sayısı arttığından dolayı toplam gecikme süresi artmaktadır. Buradan hareketle otonom araçların sistemdeki oranının arttıkça trafik düzeni (gecikmeler azalmaktadır), trafik akım hızı, trafik kullanım kapasitesi gözle görülür ölçüde iyileşmektedir. Bu da otonom araçların indirgenmiş intikal reaksiyon süresi ve yüksek ivmeleriyle ilgilidir.

Literatürde otonom araç algı tepki süresinin bulunmasına dair yapılmış olan muhtelif çalışmalar bulunmaktadır. Bunlar farklı yöntemler ve programlardan faydalanmaktadır. Buna yönelik sınırlı sayıda çalışma yapılmış olmasına karşın elde edilen otonom araç algı tepki (intikal reaksiyon) süreleri 0,6-0,8 saniye bandındadır. Türkiye’de alan dâhilindeki uzmanlardan alınan görüşlerde otonom araç algı tepki süresinin 1 saniyenin altında olabileceğine dair yorumlar getirilmiştir.

Yine otonom araç ivmesinin tespitine yönelik yapılan sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan elde edilen sonuçlar ve alandaki uzmanlardan edinilen görüşler ise otonom araç hızlanma ve yavaşlama ivmelerinin konvansiyonel aracından daha büyük olacağı yönündedir.

Ancak literatürde hem otonom araç algı tepki süresinin tespiti ve hem de otonom araç ivmesinin tespitine yönelik yapılan çalışmalar yeterli düzeyde değildir. Algı tepki süresinin özellikle tepki (reaksiyon) süresi kısmı, çeşitli konvansiyonel araçlarda yakınsayabilir çünkü benzer frenleme sistemlerini kullanan konvansiyonel araçlar da bulunmaktadır. Ancak algı süresinin otonom araçlarda konvansiyonel araçlara göre çok daha küçük olması beklenmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar da bu öngörüü destekler niteliktedir. Bu tezde ise algı süresinin otonom araçlarda bariz bir şekilde daha küçük olduğu ispatlanmıştır. Makinenin sensörler vasıtasıyla herhangi bir engeli (araç, yaya, hayvan, fiziksel engel vb.) algılamasının daha hızlı gerçekleştiği beklenen bir durumdur. İnsan sürücünün engeli gördüğü andan itibaren yorumlama kabiliyeti makineye göre bir üstün yön olarak görülebilir. Ancak makinenin engeli algı süresinin daha kısa olduğu bu tezde ispatlanmıştır. Öte yandan insan sürücünün duygu durumunun bulunması da makine sürücüyeye nazaran bir dezavantaj olarak görülmektedir. Çünkü agresif sürüş ve buna bağlı sürüş dikkati kaybı insana özgü bir durumu ifade etmektedir. Literatürde çeşitli yaş, cinsiyet, eğitim, kültür grubu üzerinden insanla yapılmış birçok saha çalışması ve buna dayalı analiz bulunmaktadır. Bu çalışmalarda insan sürücülerin bahsi edilen temel değişkenler ve başkaca değişkenlere dayalı olarak ciddi sürüş performansı farklılaşması yaşadığı dolayısıyla insan sürücünün sürüş performansının çok sayıda iç ve dış etkenden ciddi düzeyde olumlu ya da olumsuz etkilendiği açıkça ortaya konulmaktadır.

Literatürde yapılan benzer çalışmalar olsa da bunlar içerik itibarıyla farklılaşmaktadır. Yapılan çalışmalardan birisinde karma trafik kesimi üzerinde karma araçlardan oluşan bir dizideki araç takip özellikleri simülasyon programı ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda farklı araç takip modelleri dikkate alınmıştır. Ancak yapılan çalışma sadece reaksiyon sürelerini ölçmeyi amaçlamış olup insan sürücülü araçlar ve uyarlanabilir seyir kontrol (ACC) sistemlerine sahip araçlardan oluşan bir trafik düzenini simüle etmektedir. Dolayısıyla kısmi bir otonom sistemin sınırlı özellikleri test edilmiştir (Yingjun Ye, 2023).

Yine literatürde araç takip modelleri ve bunların otonom araçlar adına yorumlanmasıyla ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Fakat bunlar otonom araçların trafik davranışlarını analiz etmek ve intikal reaksiyon süresi gibi karakteristiklerini belirlemekten çok siber güvenlik ve daha bir dizi farklı amaçtaki rolü adına yürütülmektedir (Barry Sheehan, 2018).

Bir diğer çalışmada ise insan sürücülü araçlar ve otonom araçlardan oluşan karma bir trafik kesimi bir dizi olarak kabul edilmiş olup bunun trafik düzeni analiz edilmiştir. Aynı çalışmada insan sürücülü araçların intikal reaksiyon süresi de ölçülmüştür (Siyan Gong, 2018). Bir başka çalışmada ise literatürde otonom araçlarla ilgili yapılan çalışmalar derlenmiş ve sınırlılıkları değerlendirilmiştir (Jaâfar Berradaa, 2017). Diğer bir çalışmada ise karma trafikte istikrarlı durum için uygun model sınamaları gerçekleştirilmektedir (G. E. Cantarellaa, 2017).

Bir başka çalışmada ise otonom araçların intikal reaksiyon süresini belirlemeye yönelik sınamalar yapılmış olup risk değerlendirmesi için kapsamlı bir çerçeve sunulmuştur (Ekehult, 2020). Bir diğer çalışmada ise sürücülerin yaş, cinsiyet, alkol durumu, madde kullanımı değişkenlerine göre algı tepki sürelerinin nasıl değiştiği, yazılım programları ve istatistiki analiz ile ölçülmüş ve yorumlanmıştır (Kristián Culík, 2022). 2013 yılında yapılan bir çalışmada otonom araçlar için genetik algoritmadan faydalanarak güzergâh seçimi problemi çözülmüştür. Yazılımlarla desteklenen sonuçlar uygulamalı olarak ispatlanmıştır. Ancak otonom araçların algı tepki süresi ve benzeri karakteristiklerine dair bir sınama bulunmamaktadır (Tuncer, 2013).

2020 yılında yapılan bir çalışmada ise otonom araçların diğer araçlarla, konumdan bağımsız bir diğer merkezle, altyapı ve diğer ortamlarla daha etkin ve verimli iletişiminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu noktada arttırılmış gerçeklik yönteminden faydalanılmıştır. Çalışma otonom araçların daha etkin bir şekilde kullanımı ve ortak seyir özelliklerine katkı sunucu niteliktedir. Ancak otonom araç seyir karakteristiklerine dair doğrudan bir analiz ya da tespit içermemektedir (Bilban, 2020). 2014 yılındaki bir diğer çalışmada ise otonominin ilk düzeylerinde olan bir araçla insan sürücülü olarak İstanbul'da gerçekleştirilen test sürüşüne dayalı veriler istatistiki analize tabi tutularak, sensörlerden alınan desteklerin kullanılması vasıtasıyla takip mesafesi, hız ve takip süresi temelli analizler gerçekleştirilmiştir.

Çalışma uyarlanabilir seyir kontrolü bazlı olup otonom araçların gerekliliğine dair bir ön sına özelliğindedir (Altay, 2014).

2017 yılında yayınlanan bir raporda sürücüsüz araçların özellikleri genel ve detaylı olarak ortaya konulmuş olup Türkiye için uygulanabilirliği ekonomik, milli güvenlik, hukuki, sosyolojik ve teknik temelleri itibariyle irdelenmiştir (Kendi, 2017). 2020 yılındaki bir çalışmada otonom araçlar ve öncülü teknolojiler detaylı olarak değerlendirilmiş olup otonom sistemler örnek bir yapay zekâ uygulaması üzerinden incelenmiştir (Gürtaş, 2020). 2017 yılında yapılan bir çalışmada ise sürücüsüz araçların toplum tarafından kabulü, farkındalığı, algı biçimi olumlu ve olumsuz bütün yönleriyle bir saha anketine dayalı olarak etraflı bir şekilde analiz edilmiştir (Nasır, 2017). 2021 yılında yapılan bir çalışmada otonom araçların olduğu karma bir trafikte çevredeki durum ve araçlarla iletişim sağlayan yapay zekâ uygulaması ile birlikte iki aşamalı bir model geliştirilmiştir. İlk aşamada mücavir alanla uyumlu sinyalizasyon, ikinci aşamada ise mevcut duruma göre akıllı yeniden yönlendirme gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma ile birlikte mevcut durumdan %31 düzeyinde iyileştirme gerçekleştirildiği kaydedilmektedir (Anum Mushtaq, 2021).

Bir diğer çalışmada otonom araçlar ve konvansiyonel araçlardan oluşan karma trafikteki değişimler değerlendirilmiştir. Değişimlerin görülmesinde %40 penetrasyondan itibaren netliğin arttığı ifade edilmiştir. Ancak çalışma daha ziyade ulaştırma politikalarına yoğunlaşmaktadır (Mohammed Al-Turki, 2021). 2021 yılındaki diğer bir çalışmada ise yine otonom araçlar ve konvansiyonel araçlardan oluşan karma trafik incelenmiştir. Ancak bu çalışma da karma trafiğin kontrol edilebilirliğine yoğunlaşmaktadır ve bu bağlamda bir kontrol stratejisi önermektedir (Wang, Zheng, Xu, Wang, & Li, 2021). Bir başka çalışmada ise insan sürücülü araçlar, otonom araçlar ve bağlantılı araçlardan oluşan karma trafikte otonom araçların yol seçim modeli geliştirilmiştir. Buna bağlı olarak otonom aracın karma trafikteki araçlar arası trafik karakteristikleri farkına göre potansiyel trafik bozulmalarına karşı yeni çözümlemeler geliştirmesi amaçlanmıştır (Jian Wang, 2019).

2020 yılındaki bir çalışmada ise otonom araçların girişiyle yolculuk kilometreleri ve araç sayısındaki değişim değerlendirilmiştir. Bu bağlamda ise araç özellikleri, seyahat davranışı, ağ özellikleri ve politikalar dikkate alınmıştır

(Santhanakrishnan Narayanan, 2020). Bir başka çalışmada ise otonom araçların trafik akışının yorumlanması için derin öğrenme yöntemleri incelenmiş ve akıllı ulaştırma sistemlerine uyarlanabilirliği tartışılmıştır (Arzoo Miglani, 2019). Bir diğer çalışmada ise otonom araçların insan sürücülü araçlara kıyasla trafik düzenine olan olumlu etkisi tartışılmıştır ve yapılan analizler sonucunda da trafik akımı düzeninin sınırlı penetrasyonlardaki otonom araçlarla arttırılabileceği ortaya konulmuştur (Cui, Seibold, Stern, & B., 2017). Bir çalışmada otonom araçlar ve bağlantılı araçların otoyol kapasitesi üzerine etkisi mikro simülasyon ile sınanmıştır. Çalışmada Caltrans Performans Ölçütünden faydalanılmıştır (Fan P. L., 2020). Yapılan bir diğer çalışmada ise AUS ve BİT'nin teknolojilerinin trafiğe dahilî incelenmiştir. 2030 ve 2050 yılı senaryoları yüksek otonom araç penetrasyonları dâhilinde sınanmıştır (Reut Ben-Haim, 2018). Bir diğer çalışmada ise Auckland Otoyolunda 5,3 km'lik bir kesim ve Yeni Zelanda Trafik Ajansından sağlanan trafik verilerini kullanarak simülasyon bazlı kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. Bu bağlamda da otonom araçların bulunduğu karma trafik analiz edilmeye çalışılmıştır (Wagner, 2019).

Başka bir çalışmada Almanya ve ABD'den uzmanlarla otonom araçlar üzerine saha çalışması yapılmıştır. Bunlar çalışmanın bulgularıyla derlenerek sonuç ve öneriler paylaşılmıştır (Wee, 2015). 2023 yılında yapılan bir çalışmada ise belirli bir penetrasyon oranına göre ve farklı otonomi düzeylerinden oluşan bir sistemde kent içi düzensiz trafik kesimlerinde bir trafik simülasyonu yürütülmüştür (Seungmin OH, 2023). Yapılan bir diğer çalışmada ise SUMO programında gerçekleştirilen simülasyonla otonom araçların trafik kapasitesi üzerine etkisi ölçülmeye çalışılmıştır (Qiong Lu, 2020). 2021 yılında yapılan bir çalışmada otonom araçların karma trafik düzeni üzerine etkisi incelenmiştir, karma trafikte, trafikteki en iyi akım için yol düzeni ve otonom araç penetrasyon oranı senaryosu geliştirilmeye çalışılmıştır (Andrea Papu Carrone, 2021). Bir başka çalışmada ise ABD'ne bağlı güney Florida'daki karayolu ağları üzerinde otonom araçların pazar gelişimini sınamaya yönelik algoritmalar geliştirilmiştir (Zhibin Chen, 2016). 2021 yılındaki bir çalışmada ise akıllı bağlantılı araçların trafiğe penetre ettikçe güvenliği nasıl etkilediği bir meta analiz yaklaşımıyla incelenmiştir (Guiming Xiao, 2021).

Bir diğer çalışmada ise ABD ve Almanya için 2023 yılı odaklı olarak aşırı ve olağan senaryo olmak üzere 2 senaryo dahilinde otonom araç penetrasyonu ile ilgili bir

analiz yürütülmüştür (Lars Kröger, 2019). 2020 yılında yapılan bir çalışmada ise elektrikli araçlar ve otonom araçların trafik ve otomobil piyasası üzerine etkisi analiz edilmiştir. Ekonomik bir analiz de gerçekleştirilmiştir. Çalışma ABD'nin Florida eyaleti verileri üzerinden yürütülmüştür (Alexander Kolpakov, 2020). Bir diğer çalışmada ise paylaşımlı otonom araçların büyük bir metropolde trafiğe olan etkisi analiz edilmiştir. Çalışma Almanya'nın Münih kentinde yürütülmüş olup MATSim programından faydalanılmıştır. Çalışma birim zamanda kat edilen toplam mesafenin, paylaşımlı otonom araçların girişiyle birlikte %8 arttığını tespit etmiştir (Ana T. Moreno, 2018).

Diğer bir çalışmada ise ileri sürüş destek sistemlerine ve araçtan araca iletişim altyapısına entegre bir şekilde sahip olan araçların trafiğe penetrasyonu SUMO programıyla analiz edilmiştir (Aso Validi, 2018). 2022 yılındaki bir çalışmada ise bağlantılı ve otonom araçların trafiğe penetrasyonu arttıkça ortaya çıkacak siber güvenlik konusunun nasıl aşılabacağı ile ilgili analizler yapılmaktadır. Bu analizler için yapay zekâ yöntemlerinden faydalanılmaktadır (Phillip Garrad, 2022).

2018 yılında yapılan bir çalışmada ise 3 farklı sensör tipi karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir ve bir otonom araç mimarisi önerilmiştir (Zong, Zhang, Wang, Zhu, & Chen, 2018). 2009 yılında yapılan bir çalışmada ise acil durum fren kontrol sistemleri ve öndeki araca göre ivme uyarlanmasına yönelik akıllı sistem yapılandırılması gerçekleştirilmiştir (Usman & Kunwar, 2009). Bir başka çalışmada kişiselleştirilmiş bir model önerilmektedir. Buna göre otonom araç sahibinin sürüş esnasındaki kullanım özellikleri kaydedilerek, analiz edilerek, bir öğrenme yöntemi ile otonom araca tanıtılmaktadır (Kuderer, Gulati, & Burgard, 2015). Bir diğer çalışmada otonom araç rotalama analizi yapılmıştır ancak bunun için özellikle de otonom araç ivme performansının belirginleşeceği bir rotalama gerçekleştirilmiştir ve ivmeler değerlendirilmiştir (Zhang, Sun, Zhou, Hu, & Miao, 2019).

Bir çalışmada ise otonom araç dizisinin ivme değerleri ve uyumluluğu çalışılmıştır (Davis, 2014). Bir diğer çalışmada ileri sürüş destek sistemleri ile donatılı bir aracın güvenlik parametresi ve yol seyir karakteristikleri incelenmiştir (Reschka, Böhmer, Saust, Lichte, & Maurer, 2012). 2010 yılındaki bir çalışmada ise bulanık mantık kullanılarak akıllı araçların yol kontrolü sınanmıştır ve öneriler geliştirilmiştir (Pérez, Gajate, Milanés, Onieva, & Santos, 2010). Bir diğer çalışmada geliştirilen rota planlayıcısı bir otonom araç üzerinde test edilmiş olup zamandan kazanç matematiksel olarak ispatlanmıştır (Xu, Wei, Dolan, Zhao, & Zha,

2012).

Bir başka çalışmada ise geliştirilen bir modelle otonom takip süresi ve takip mesafesi doğruluğunun artırılması amaçlanmış ve bu bağlamdaki analiz sonuçları paylaşılmıştır (Linzhen Nie, 2018). Yapılan bir diğer çalışmada ise otonom araçların boyuna seyir kontrolü sınanmıştır ve bunun için de bir algoritma geliştirilmiştir (Hongbo Gao, 2017).

Bir diğer çalışmada ise otonominin ilk düzeyleri olarak uyarlanabilir seyir kontrol sistemine sahip araçların trafikteki dizi istikrarı incelenmiştir (Darbha, Konduri, & Pagilla, 2017). 2018 yılında yapılan bir çalışmada ise otonom araçların toplu testi için otoyolların nasıl daha güvenli ve verimli bir test ortamına çevrilebileceğiyle ilgili bir model geliştirilmiş ve sınanmıştır (Arief, Glynn, & Zhao, 2018). 2009 yılında yayınlanan bir çalışmada ise tam otonom, insan sürücüsüz bir aracın elektronik olarak tasarımı ortaya konulmuş ve bu öneri test edilmiştir (Wong, Chambers, Stol, & Halkyard, 2009).

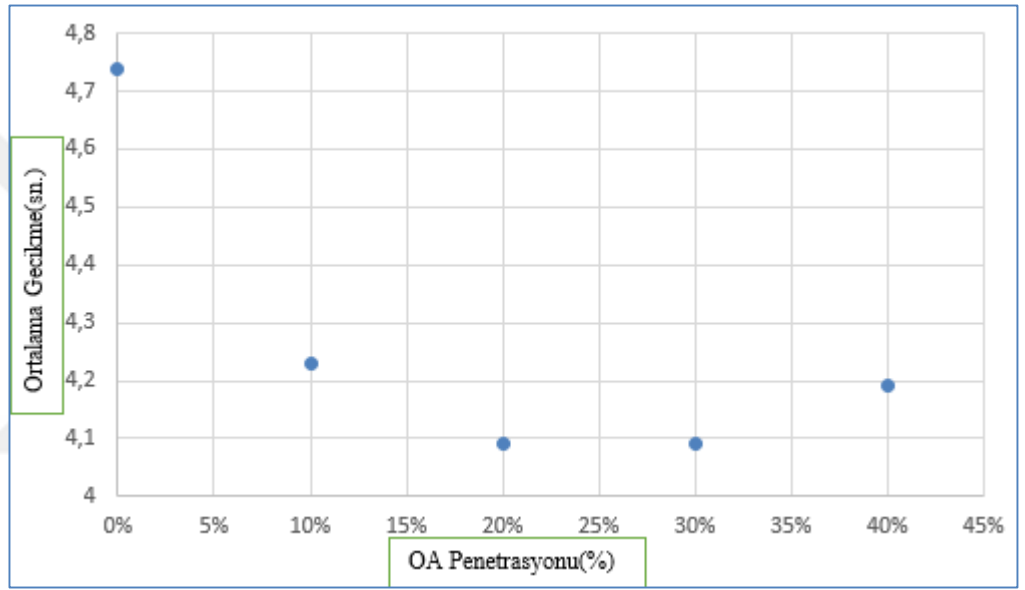
Tez kapsamında uygulanan kurgu literatürde özgün bir yere sahiptir. Bu tezde on yıllar boyu sürmesi beklenen otonom araç-konvansiyonel araç karma trafiğinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Çünkü otonom araçlara geçiş kademeli ve uzun erimli bir süreci ifade etmektedir. Bu sürecin doğru planlanması ve yönetilmesi teknik, ekonomik, sosyal vb. açılardan oldukça önemlidir. Karma trafiğin planlanabilmesi için hem konvansiyonel araçların hem de otonom araçların seyir karakteristikleri ve sürüş davranışlarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Konvansiyonel araçların bu özellikleri uzun süredir yerleşik ve bilinen bir durumdur. Ancak otonom araçların özellikle de sürüş davranışları bakir bir alanı ifade etmektedir. Literatürde otonom araçların sürüş davranışları üzerine uzlaşılmış bir ya da birkaç görüş de söz konusu değildir. Bu noktada bu tez önemli bir açığa yönelmiştir. Otonom araçların algı tepki süresi ve ivmelerinin hassas bir şekilde elde edilmesi için bilimsel bir çalışma yürütülmüştür. Tezde otonom araçlara ait birden fazla sürüş davranışı hassas yöntemlerle elde edilmiş, otonom araçlar için potansiyel üstün yön olarak öngörülen ivme ve algı tepki süresi ile birlikte bunların doğrudan ya da dolaylı sonuçları olarak ortaya çıkması öngörülen birçok otonom araç trafik sistemi çıktısı bir öngörünün ötesinde bilimsel birer ispat olarak ortaya konulmuştur. Tez kapsamında otonom araçların trafik davranışlarıyla ilgili temeller belirlendikten sonra otonom araçlar trafik sistemine penetre ettikçe ortalama hız, birim zamanda kat edilen mesafe, birim araç için kat edilen mesafe, trafik

düzeni (dur kalkların ve belirsizliklerin azalması), trafik sisteminde birim zamanda geçen araç sayısı gibi değerlerin iyileştiği açıkça ortaya konulmuştur. Bu çerçevede de otonom araçlardan ve konvansiyonel araçlardan oluşan heterojen bir trafiğin analizi sunulmuştur. Otonom araçların 5 farklı otonomi düzeyine sahip olduğu gerçeğinden hareketle otonom araçlara geçiş periyodundaki heterojen trafik aynı zamanda otonom araçlar için bir heterojen durumu da içermektedir. Bu tezde 4 farklı otonom araç tipi ivme ve algı tepki süresine göre belirlendiğinden dolayı daha dinamik ve hassas bir analizden söz edilebilir. Otonom araç potansiyel çeşitliliği de teze mümkün olduğunca yansıtılmıştır.

Bu tezde otonom araçlar çeşitli programlarda girilen kodlar ve belirli kabuller suretiyle tanımlanmıştır ve sürüş davranışları da bu bağlamda elde edilmiştir. Herhangi bir düzeydeki otonom araç üzerinden yapılan bir sürüş deneyiminden elde edilen sonuçları içermemektedir. Bu aracın heterojen bir trafikteki davranışları bir sürüş esnasında kaydedilmemiştir. Dolayısıyla tezin hassasiyetinde belirli sınırlılıklar söz konusudur. Ayrıca küresel piyasadaki elektrikli araçlar çeşitli otonomi düzeylerinde olup, tam otonom (düzey 5) kabul edilebilecek bir araç değerlendirmede bulunmamaktadır. Dolayısıyla her ne kadar küresel ölçekte önemli sayıda ve kayda değer otonomi düzeylerinde elektrikli araç bulunsada zamanla piyasadaki elektrikli araç çeşitlenmesi ve otonomi düzeyleri daha da arttıkça, aynı metodoloji ile yapılacak olan çalışmalarda da daha ileri düzeyli ve daha hassas sonuçlar elde edilmesi mümkün olabilecektir. Otonom araç algı tepki süresinin tespitinde MATLAB’de kod girilirken ve otonom araç tanımlanırken bir araç çifti ve sınırlı değişkenli bir trafik kesimi üzerinden tanımlama yapılmış ve analiz sonuçları elde edilmiştir. Zamanla otonom araçların içerisinde olduğu daha kapsamlı trafik senaryolarına imkân tanıyan kodlamalarla otonom araç algı tepki süresi tespitinde daha zengin sonuçlar elde edilmesi imkân dâhilindedir.

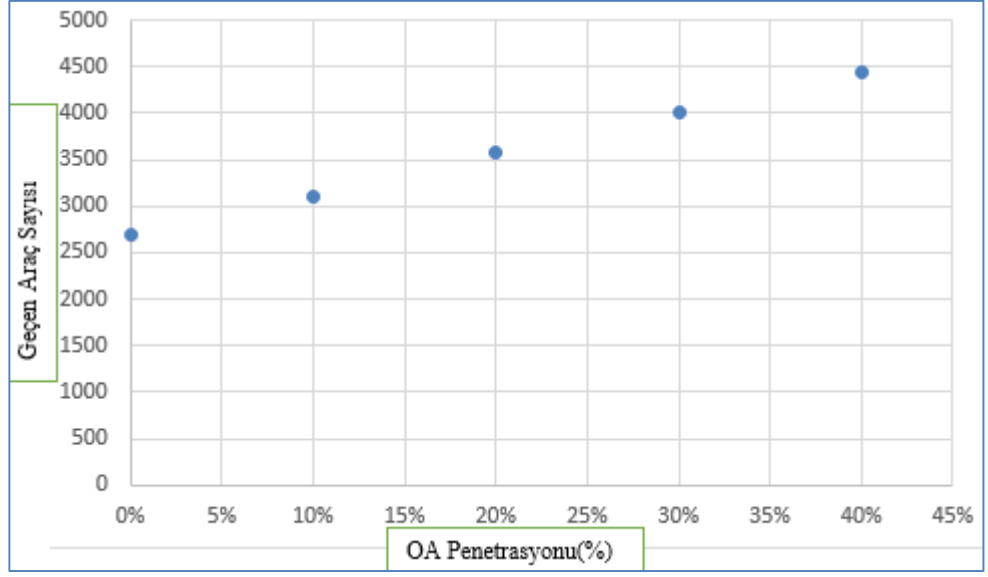
SONUÇ VE ÖNERİLER

Simülasyondan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekillerde bütün detaylarıyla grafik halinde görülmektedir. Otonom araç penetrasyon oranı arttıkça genel bir iyileşme eğilimi olduğu açıkça görülmektedir. Bu iyiye gidiş, ortalama hız, trafiğin düzeni, birim zamanda geçen araç sayısı ve dolaylı olarak da trafik kazalarında, trafik bozulmalarında ve trafik tıkanıklığında azalma şeklinde kendini göstermektedir. Penetrasyon oranı %40'a kadar arttıkça neredeyse kesintisiz bir iyiye gidiş söz konusu olmaktadır. Aynı zaman diliminde kat edilen toplam mesafe artmaktadır.



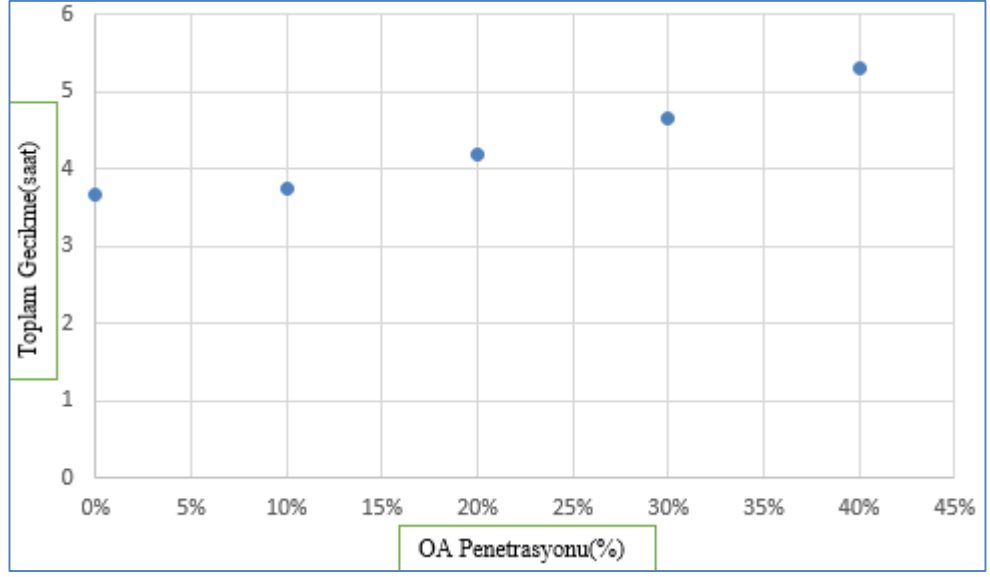
Şekil 16. Ortalama Gecikme (saniye).

Şekil 16’da görüldüğü üzere ortalama gecikme saniye bazlı olarak %30 otonom araç penetrasyonuna kadar sürekli olarak azalmaktadır ancak %40 otonom araç penetrasyonuna ulaşıldığında çok kısmi bir artış kaydetmektedir. Bunun nedeninin sistemde artan araç sayısı olduğu düşünülebilir. Ancak genel olarak otonom araç sayısındaki artışın sistemdeki ortalama gecikmeleri azalttığı açıktır.



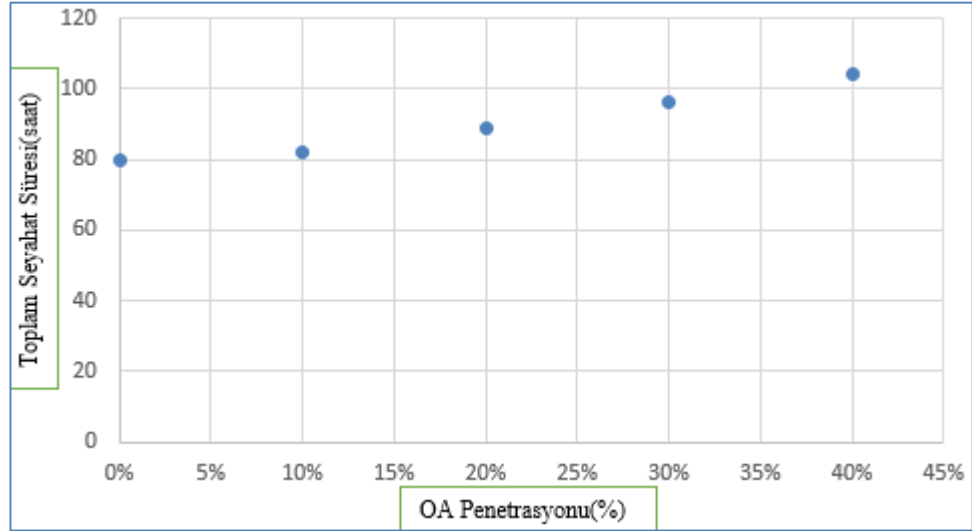
Şekil 17.Sistemden Geçen Araç Sayısı

Şekil 17’de açıkça görüldüğü üzere sistemden geçen araç sayısı, otonom araç penetrasyonu arttıkça sürekli, düzenli ve neredeyse orantılı olacak bir şekilde artmaktadır. Sistemden geçen araç sayısındaki dikkate değer ve istikrarlı artışın diğer ölçeklerin pek çoğunda da etkisini gösterdiği anlaşılmakta iken bu ölçekteki artışın otonom araç penetrasyonunun en net faydalarından birisi olduğu açıklıkla görülmektedir. Şekil 18’de toplam gecikme görülmektedir, otonom araç penetrasyon oranı arttıkça toplam gecikmenin de kısmi artışlar gösterdiği anlaşılmaktadır. Bunun nedeni otonom araç penetrasyon oranı arttıkça sistemdeki toplam araç sayısında kaydedilen ciddi artıştır. Esasen otonom araç penetrasyon oranındaki artışın gecikmeleri arttırmadığı, tersine azalttığı zaten Şekil 16’da verilen ortalama gecikme miktarlarındaki azalmadan görülmektedir.

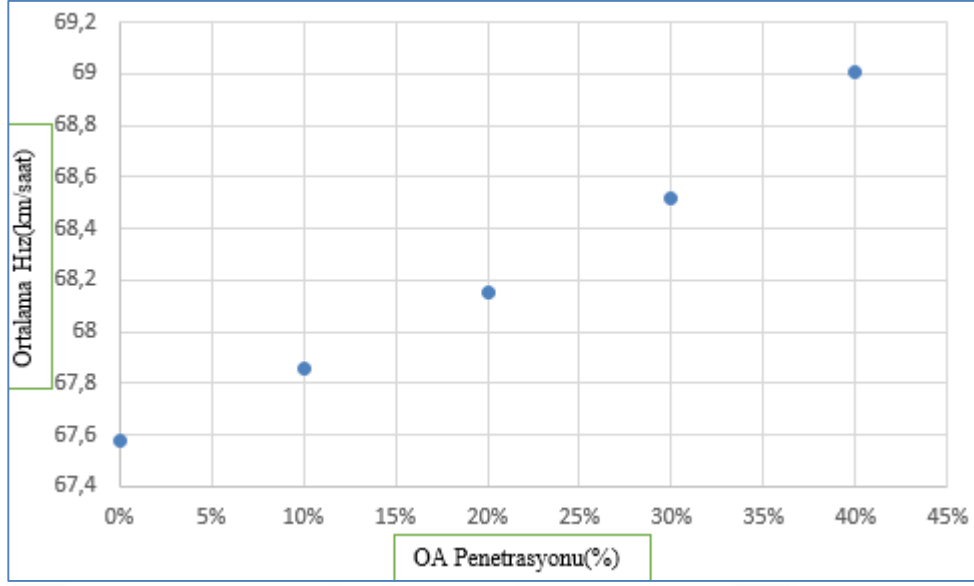


Şekil 18.Toplam Gecikme (saat)

Aşağıda Şekil 19’da toplam seyahat süresi verilmiştir. Otonom araç penetrasyonu arttıkça toplam seyahat süresi artmaktadır. İlk etapta olumsuz gibi görünse de esasen otonom araç penetrasyonu arttıkça sistemden geçen toplam araç sayısındaki ve bunların toplam kat ettikleri mesafedeki ciddi artışlardan dolayı toplam seyahat süresine de yansıyan kısmi bir artış vardır. Daha önce de ifade edildiği üzere %40 otonom araç penetrasyonuna ulaşıldığında sistemden geçen toplam araç sayısı %64,1377 ve kat edilen toplam mesafe de %33,05 oranlarında büyük artışlar göstermektedir.

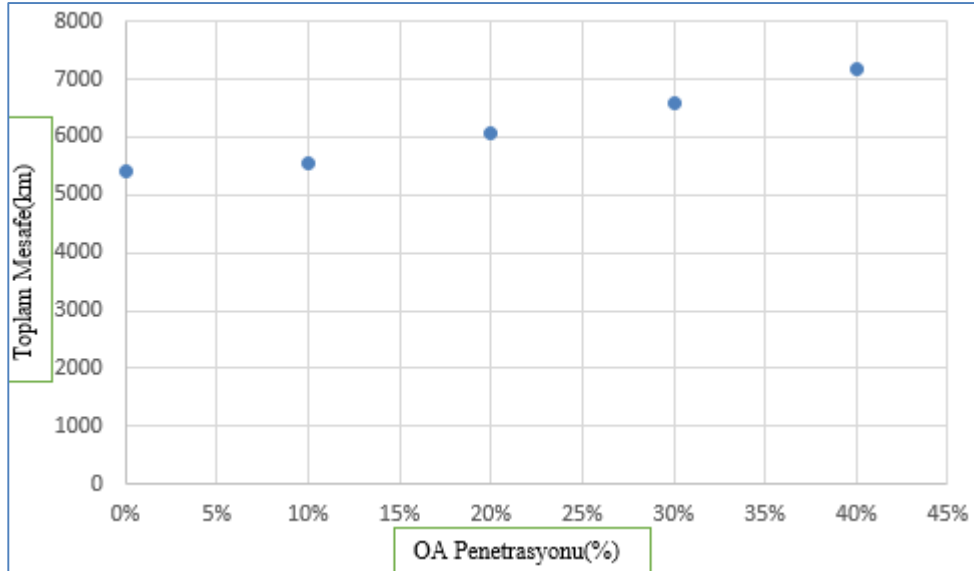


Şekil 19.Toplam Seyahat Süresi (saat)



Şekil 20.Ortalama Hız (km/saat)

Şekil 20’de görüldüğü üzere otonom araç penetrasyon oranı arttıkça ortalama hız sürekli ve düzenli olarak artmaktadır. %0 otonom araç penetrasyonundan %40 otonom araç penetrasyon oranına varıldığında ortalama hızdaki toplam artış %2,12 olarak gerçekleşmektedir. Şekil 21’de görüldüğü üzere otonom araç penetrasyon oranı %40’a ulaştığında sistemde kat edilen toplam mesafe büyük bir artış sergilemektedir ve %33,05 olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 21.Toplam Mesafe (km)

Otonom araçlar intikal reaksiyon süresinin (algı tepki süresi) kısa olması nedeni ile trafik kazalarını azaltıcı, trafik güvenliğini artırıcı, trafiğin verimini artırıcı

özellikte görünmektedir. Yine otonom araçlar yavaşlama ve hızlanma ivmelerinin şiddetinin yüksek olması nedeni ile trafik düzenini arttırıcı, trafik dalgalanmalarını-şışe boyunları-düzensizliklerini azaltıcı, trafik güvenliğini arttırıcı, dur kalkları azaltıcı ve yakıt tasarrufunu arttırıcı bir role sahiptir. Otonom araçlar söz konusu özellikleri yanı sıra gelecekteki araç boyutları ile de manevra kabiliyetini arttırıcı, otopark yer tasarrufunu arttırıcı bir işlev görebilirler. Dolayısı ile geliştirilecek olan OA tanımı bu ulaştırma türünün beklenen muhtemel etkilerinin ve özelliklerinin hepsini karşılayacak fonksiyon ve nitelikte olmalıdır. Bu çerçevede takip aralığı, takip mesafesi, yavaşlama ivmesi, hızlanma ivmesi, intikal reaksiyon süresi, ortalama hız ve benzeri değerlerin doğru ve hassas bir şekilde temin ve tespiti önemlidir. Bu tezde bilimsel ve deneysel yöntemlerle, R Studio, MATLAB, SPSS ve VISSIM programlarından faydalanılmak suretiyle otonom araç intikal reaksiyon süresi (algı tepki süresi) ve otonom araç ivmesi hesaplanmıştır. Akabinde ortaya konulan otonom araç özellikleri VISSIM'e tanımlanarak farklı otonom araç penetrasyonlarına göre, toplam 4 farklı otonom araç tipinin her bir senaryoda eşit ağırlıktaki penetrasyonlarıyla trafik simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Son olarak da otonom araç penetrasyonunun trafik akımına olumlu çok sayıda etkisi bilimsel olarak ispatlanmıştır.

Buna göre İstanbul-Ankara otoyolunun ilgili kesiminde verili tarih ve saatte Karayolu Genel Müdürlüğü'nden elde edilen araç sayıları üzerinden PTV VISSIM'de gerçekleştirilen trafik simülasyonlarında otonom araçların (OA) trafiğe etkisi analiz edilmektedir. Farklı penetrasyon oranlarına göre;

- Dur kalk sayısı
- Ortalama gecikme
- Toplam gecikme
- Ortalama hız
- Taşıt sayısı
- Toplam seyahat süresi

Gibi parametreler ve bunlardaki değişim ölçülmektedir. Otonom araçların olumlu anlamdaki en yüksek etkilerinin sistemden geçen toplam araç sayısı ve birim zamanda araçların kat ettiği toplam seyahat mesafesi olduğu açıkça görülmektedir. Yanı sıra ortalama gecikme başta olmak üzere trafik düzensizliklerine karşı da ciddi

iyileştirmeler temin ettiği anlaşılmaktadır. Ancak bunun dışında neredeyse bütün parametreler üzerinde otonom araç penetrasyonunun olumlu etkisi olduğu net bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Otonom araçların intikal reaksiyon sürelerinin ve doğruluğunun daha yüksek olması beklenmektedir. Bu da ivme şiddetinin yüksek olması ile örtüşen bir durumdur. İntikal reaksiyon süresinin kısalığı ve doğruluğu ayrıca takip mesafesini ve takip aralığını da azaltmaktadır. Çünkü hızlı ve doğru karar verme, takip için güdülen temkini azaltmaktadır. Bu da trafik akımının kapasitesini arttıran önemli bir etkidir. Böylelikle ivme şiddeti ve intikal reaksiyon süresi ve doğruluğunun artması ile birlikte otonom araçlar (OA) konvansiyonel araçlara (KA) nazaran daha kısa sürede hızlanabilmekte ve daha kısa sürede yavaşlayabilmektedir. Bu da otonom araçların (OA) penetrasyonunun arttığı bir ortamda kapasiteyi, trafiğin düzeni ve sürekliliğini alabildiğine arttırmaktadır.

Otonom araçların trafiğe ve bir ulaştırma sistemine penetrasyonu ve entegrasyonu on yıllar alacak bir süreçtir. Zira yeni bir ürün, teknoloji ve içerik söz konusu olduğu için altyapı başta olmak üzere kendine has birçok şart, imkân ve donatının yerine getirilmesini gerekli olmaktadır. Bu noktada dünya genelinde milyonlarca kilometre mevcut karayolunun ne kadarının ne ölçüde ve hangi maliyet ve teknik koşullar altında otonom araçlara uyarlanabileceği konusu çok önemlidir. Zira milyonlarca kilometre uzunluğundaki yeni bir OA karayolu ağı inşa etmek demek küresel ölçekte yüzlerce milyar dolar maliyet anlamına gelmektedir. Dolayısı ile trafiğe penetrasyonu on yıllar alan bir otonom aracın, hele ki on yıllar boyunca mevcut karayolu ağını da kullanması ihtimali dâhilinde kenti etkilemesi ve dönüştürmesi de on yıllar alacak bir süreci ifade etmektedir. Ancak elbette ki düzenlilik, planlılık, topoğrafi elverişliliği, kamuoyu hazırlığı ve farkındalığı, toplumsal otokontrol anlamında daha iyi durumdaki kentler otonom araçlı yıllara daha iyi uyum sağlayabilip daha hızlı yol alabilme potansiyeline sahip olacaktır.

Otonom araçlar intikal reaksiyon (algı tepki) süresinin kısa olması nedeni ile trafik kazalarını azaltıcı, trafik güvenliğini arttırıcı, trafiğin verimini arttırıcı özellikte görülmektedir. Yine OA yavaşlama ve hızlanma ivmelerinin şiddetinin yüksek olması nedeni ile trafik düzenini arttırıcı, trafik dalgalanmalarını, şişe boyunlarını ve benzeri

düzensizlikleri azaltıcı, trafik güvenliğini arttırıcı, dur kalkları azaltıcı ve yakıt tasarrufunu arttırıcı bir role sahiptir. Otonom araçlar söz konusu özellikleri yanı sıra gelecekteki araç boyutları ile de manevra kabiliyetini arttırıcı, otopark yer tasarrufunu arttırıcı bir işlev görebilirler. Dolayısı ile geliştirilecek olan OA tanımı bu ulaştırma türünün beklenen muhtemel etkilerinin ve özelliklerinin hepsini karşılayacak fonksiyon ve nitelikte olmalıdır. Bu çerçevede takip aralığı, takip mesafesi, yavaşlama ivmesi, hızlanma ivmesi, intikal reaksiyon süresi, ortalama hız ve benzeri değerlerin doğru ve hassas bir şekilde temin ve tespiti önemlidir.

Bu noktada yavaşlama ve hızlanma ivmelerinin doğru tespiti otonom araç karakteristiğinde oldukça ehemmiyetlidir. Otonom araçların intikal reaksiyon sürelerinin ve doğruluğunun daha yüksek olması beklenmektedir. Bu da ivme şiddetinin yüksek olması ile örtüşen bir durumdur. İntikal reaksiyon süresinin (algı tepki süresi) kısalığı ve doğruluğu ayrıca takip mesafesini ve takip aralığını da azaltmaktadır. Çünkü hızlı ve doğru karar verme, takip için güdülen temkini azaltmaktadır. Bu da trafik akımının kapasitesini arttıran önemli bir etkidir. Böylelikle ivme şiddeti ve intikal reaksiyon süresi ve doğruluğunun artması ile birlikte OA konvansiyonel araçlara nazaran daha kısa sürede hızlanabilmekte ve daha kısa sürede yavaşlayabilmektedir. Bu da otonom araçların penetrasyonunun arttığı bir ortamda kapasiteyi, trafiğin düzeni ve sürekliliğini alabildiğine arttırmaktadır.

Zaman geçtikçe ve OA yollarda daha genel olarak bir kullanım kazandıkça trafik tıkanıklık düzeyleri çok daha aşağılara çekilecektir. Araçlar, hareket eden trafikte daha da pürüzsüz bir akım oluşturacak olup otoyollar rahatlıkla geçilecektir. Trafik tıkanıklığındaki azalma ile birlikte ekonomik gelişimler için de yeni bir şans ortaya çıkmış olacaktır. Araçlar yollardaki genel hızlarda kullanılan yakıtları optimize edecek bir şekilde tasarlanacaktır. Hız sınırları da arttırılabilir zira insan hataları ile ilgili artık herhangi bir endişe kalmayacaktır ve araç hâlihazırda yoldaki durumunu nasıl kontrol edeceğini bilecektir. Aynı zamanda daha az dur kalk trafiği dâhilinde yakıt ekonomisi de gelişebilir. Araçlar ayrıca yakıt kullanımına yardım bağlamında diğer araçları tutarlı bir şekilde takip edecektir.

Aynı zamanda yollarda daha az araç seyir edecektir çünkü araç havuzlaması daha kolay gerçekleşecektir. Araçlar çok sayıda insanı muhtelif varış noktalarına

ulaştırmaya imkân tanır bir şekilde bir kişiyi alıp bir başka yere bırakma yetkinliği ve yeteneğinde olacaktır. Daha az araca sahip olmak ve bunların çoğunun ya da hepsinin trafikte istikrarlı bir hız ile hareket etmek sureti ile daha az trafik tıkanıklığı sonucu ile karşılaşılmaktadır. Bundan dolayı da insanlar sürüş esnasında daha mutlu olur ve insanların yolda harcaması gereken toplam süre de azalır. Bu da hâlihazırdaki ulaştırma alanının dünya çapında üzerinde çalıştığı bir probleme işaret etmektedir.

Yolda bekleme ile geçen zamanın azalması dâhilinde ise toplumun toplam verimliliğinin geliştirilmesi yetkinliği bir geręeklięe dönüşmeye başlamaktadır. Bu aynı zamanda da ortalama bir insanı, daha önce olmadığı kadar zamanında bir yerde olmaya teşvik edecek ve zorunda bırakacaktır. Artık işe geğ kalma ihtimali kalmayacak olup işe varış imkânlarının verimi ve alternatifliliği artacaktır. Bir insanın sahip olduğu herhangi bir miktardaki ekstra zaman ise işyerindeki performansı arttırma yolunda kullanılabilir bir hale gelebilecektir. Otonom aracın bütün trafik kurallarına uyması bağlamında her bir insan otonom aracın kendilerini varış noktasına götürmesi için olması gereken vakitte hazır olmaya kendilerini alıştırmalıdır.

KAYNAKÇA

- Abraham, H. (2017). Autonomous vehicles and alternatives to driving: trust, preferences, and effects of age. . *Transportation Research Board 96th Annual Meeting*.
- Ackermann, T., Loose, W., & Reining, C. (2014). Die Verknüpfung von CarSharing und ÖPNV. In: Bundesverband CarSharing e.V. (eds.): Eine Idee setzt sich durch. 25 Jahre CarSharing. *Brühl (köln stad- und ferkehrsverlag)* , s. 111-122.
- Akesson, K. F. (2006). Supremica - an integrated environment for verification, synthesis and simulation of discrete event systems. s. 384-385.
- Alexander Kolpakov, A. M. (2020, December). Implications of Market Penetration of Electric and Autonomous Vehicles for Florida State Transportation Revenue. *Athens Journal of Technology and Engineering*, 7(4), s. 299-318.
- Altay, İ. (2014). Akıllı Araçlar Kapsamında İleri Sürüş Destek Sistemlerinde Sensör "Füzyonu. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*.
- Ana T. Moreno, A. M. (2018). Shared Autonomous Vehicles Effect on Vehicle-Km Traveled and Average Trip Duration. *Hindawi Journal Of Advanced Transportation*.
- Andrea Papu Carrone, J. R. (2021). Autonomous vehicles in mixed motorway traffic: capacity utilisation, impact and policy implications. 48, s. 2907-2938.
- Angel. (2011). Making Room for a Planet of Cities. *Lincoln Institute of Land Policy. Cambridge, MA.* .
- Anum Mushtaq, I. U. (2021, April 8). Traffic Flow Management of Autonomous Vehicles Using Deep Reinforcement Learning and Smart Rerouting. *IEEE*.
- Arief, M., Glynn, P., & Zhao, D. (2018). An Accelerated Approach to Safely and Efficiently Test Pre-Production Autonomous Vehicles on Public Streets. *IEEE*.
- Arzoo Miglani, N. K. (2019, December). Deep learning models for traffic flow prediction in autonomous vehicles: A review, solutions, and challenges. *Vehicular Communications*.
- Aso Validi, T. L.-M. (2018). Examining the Impact on Road Safety of Different Penetration Rates of Vehicle-to- Vehicle Communication and Adaptive Cruise Control. *IEEE*.
- Barry Sheehan, F. M. (2018). Connected and autonomous vehicles: A cyber-risk classification framework. *Transportation Research Part A*.
- BCG. (2018). *Reshaping Urban Mobility with Autonomous Vehicles Lessons from the City of Boston*. World Economic Forum.

- Bengler K, (2014). Three Decades of Driver Assistance Systems: Review and Future Perspectives. *IEEE Intelligent Transportation System Magazine*, 6(4), s. 6-22.
- Bilban, M. (2020). Otonom Araç Üzerinde Artırılmış Gerçeklik Uygulaması. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Bishop, R. (2007). *Intelligent Vehicle Technology and Trends*. Ebrary. April 8, 2007 tarihinde <http://site.ebrary.com/lib/wpi/Doc?id=10091339> adresinden alındı
- Bundesgerichtshof. (2009). Zur Haftung eines Fahrzeugherstellers. *BGH Urteil vom 16.06.2009 - VI ZR 107/08, Karlsruhe*.
- Bustamante, F. (2016). Modeling driver behavior in a connected environment. . *Transp. Res. Record: J. Transp. Res. Board*.
- Corporation, R. (2014). Autonomous Vehicle Technology. A Guide for Policymakers. *Rand Publications*. http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR443-1.html adresinden alındı
- Corporation, R. (2014). Autonomous Vehicle Technology. A Guide for Policymakers. *RAND Publishing*. http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR443-1.html adresinden alındı
- Cui, S., Seibold, B., Stern, R., & B., D. (2017, July 31). Work, Stabilizing traffic flow via a single autonomous vehicle: Possibilities and limitations. *IEEE*.
- D.J. Fagnant, K. K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, 77, s. 167–181.
- Darbha, S., Konduri, S., & Pagilla, P. R. (2017, May). Effects of V2V communication on time headway for autonomous vehicles. *IEEE*.
- Davidson, P. (2015). Autonomous Vehicles - What Could This Mean For the Future Of Transport? Sydney : s.n.
- Davis, L. (2014, July 1). Nonlinear dynamics of autonomous vehicles with limits on acceleration. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 405, s. 128-139.
- EC. (1985). *European Commission (1985) Council Directive 85/374/EEC of 25 July 1985 on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States concerning liability for defective products, Brussels*. Brussels: European Commission (1985) Council Directive.
- Ekehult, J. (2020). Risk analysis of software execution in an autonomous driving system. *Kth Royal Institute Of Technology School Of Electrical Engineering And Computer Science*.
- Fan, P. L. (2020). Exploring the impact of connected and autonomous vehicles on freeway capacity using a revised Intelligent Driver Model. *Transportation Planning and Technology*, 43, s. 279-292.

- Fan, R. (2013). Using VISSIM simulation model and Surrogate Safety Assessment Model for estimating field measured traffic conflicts at freeway merge areas. *IET Intell. Transp. Syst.*, 7(1), s. 68-77.
- FHWA. (2004, March 25). *State Motor-Vehicle Registrations*. <http://www.fhwa.dot.gov/policy/ohim/hs04/htm/mv1.htm> adresinden alındı
- Fully Charged. (2024, Mart 11). *Range Of Full Electric Vehicles*. Electric Vehicle Database: <https://ev-database.org/cheatsheet/range-electric-car> adresinden alındı
- G. E. Cantarellaa, D. F. (2017, September). Transportation Systems with Autonomous Vehicles: models and algorithms for equilibrium assignment,. *20th EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT 2017*.
- Ge, J. O. (2014). Dynamics of connected vehicle systems with delayed acceleration feedback. *Transp. Res. Part C: Emerging Technol.* 46, s. 46-64.
- Goldbeck, J. H. (2000). Lane following combining vision and DGPS. *Image and Vision Computing*, 18(5)(425-433).
- Gong, S. D. (2018, October). Cooperative platoon control for a mixed traffic flow including human drive vehicles and connected and autonomous vehicles. *Transp. Res. Part B: Methodol*, 116, s. 25-61. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.07.005> adresinden alındı
- Guiming Xiao, J. L.-A. (2021). Safety improvements by intelligent connected vehicle technologies: A meta-analysis considering market penetration rates. *Accident Analysis and Prevention*.
- Gürtaş, S. (2020). Otonom Araç Sürüş Destek Sistemleri Ve Yapay Zekâ Uygulamaları. *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Heinrichs, H., & Grunenberg, H. (2012). Sharing Economy – Auf dem Weg in eine neue Konsumkultur? . *Lüneburg, Centre for Sustainability Management*.
- Hongbo Gao, X. Z. (2017, October 21). Longitudinal Control for Mengshi Autonomous Vehicle via Gauss Cloud Model. *MDPI*.
- ISO. (2011). ISO 26262 Road Vehicles— Functional safety, Geneva. *ISO 26262*.
- J. Ploeg, B. T. (2011). Design and experimental evaluation of cooperative adaptive cruise control. *Proc. 14th ITSC IEEE Conf.*, s. 260-265.
- Jaâfar Berradaa, F. L. (2017, September). Modeling Transportation Systems involving Autonomous Vehicles: A State Of The Art. *20th EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT 2017*.
- Jahresberichte, K. (2014). KBA: <http://www.kba.de> adresinden alındı

- Jaradat, M. A.-H. (2013, April). Intelligent fault detection and fusion for ins/gps navigation system. . *9th Int. Symp. Mechatronics and Applications (ISMA)*, s. 1-5.
- J-C, J. (2015). Commission Regulation (EU) 2015/562 of 8 April 2015 amending Regulation (EU) No 347/2012 implementing Regulation (EC) No 661/2009 of the European Parliament and of the Council with respect to type-approval requirements for certain categories of motor vehi. *Official Journal of the European Union, Brussels*.
- Jennie Lioris, A. B. (2018). Real time level lane decision algorithm based on autonomous vehicle sensor data. *Annual American Control Conference (ACC)*.
- Jian Wang, S. P. (2019). Multiclass traffic assignment model for mixed traffic flow of human-driven vehicles and connected and autonomous vehicles. *Transportation Research Part B*.
- Jo, J. T.-C. (2017). A Likelihood-Based Data Fusion Model for the Integration of Multiple Sensor Data: A Case Study with Vision and Lidar Sensors. *Springer International Publishing, Ch., 447*.
- Kabra, A. (2019). *Clustering of Driver Data based on Driving Patterns*. Computer Science.
- Kalra, N. (2016). Driving to Safety: How Many Miles of Driving Would It Take to Demonstrate Autonomous Vehicle Reliability? *RAND Corporation*.
- Kassambara, A. (2017). *Practical Guide To Cluster Analysis in R* (1 b.). STHDA.
- Kendi, A. (2017). *Sürücüsüz Araçlar ve Türkiye*. Thinktech, STM Teknolojik Düşünce Merkezi. Aralık 2017 tarihinde alındı
- KGM. (2021, Nisan 12-15). İstanbul, Sultanbeyli, Türkiye: O4 İstanbul Ankara Otoyolu KGM Çamlıca Gişeleri Araç Sayım Verileri.
- Kloostera, B. e. (2017). Fully Autonomous Vehicles: Analyzing transportation network performance and operating scenarios in the Geater Toronto Area. . *Transportation Research Board 96th Annual Meeting*.
- Kristián Culík, A. K. (2022). Evaluation of Driver's Reaction Time Measured in Driving Simulator. *MDPI*.
- Kuderer, M., Gulati, S., & Burgard, W. (2015). Learning driving styles for autonomous vehicles from demonstration. *IEEE*.
- Lars Kröger, T. K. (2019). Does context matter? A comparative study modelling autonomous vehicle impact on travel behaviour for Germany and the USA. *Transportation Research Part A*.
- Levin, M. B. (2016). A multiclass cell transmission model for shared human and autonomous vehicle roads. *Transp. Res. Part C: Emerging Technol.* 62, s. 103-116.

- Levin, S. H. (2017). The road ahead: self-driving cars on the brink of a revolution in California. *The Guardian*.
- Limpert, R. (2011). *Brake Design and Safety*. SAE International.
- Linzhen Nie, J. G. (2018). Longitudinal speed control of autonomous vehicle based on a self-adaptive PID of radial basis function neural network. *The Institution Of Engineering and Technology*.
- Litman, T. (2014, June 4). Autonomous Vehicle Implementation Prediction. Implications for Transport Planning.
- Mark Brackstone, M. M. (1999). Car-following: a historical review. *Transportation Research Part F 2* , s. 181-196.
- Mitchell, W. B.-B. (2010). Reinventing the Automobile. Personal Urban Mobility for the 21st Century. *The MIT Press. Cambridge, MA*.
- Mohammed Al-Turki, N. T. (2021, October 6). Impacts of Autonomous Vehicles on Traffic Flow Characteristics under Mixed Traffic Environment: Future Perspectives. *MDPI*.
- Nasır, S. (2017). Sürücüsüz Araçlara Yönelik Tüketici Tutumları. *EJRSE*.
- Nianfeng Wan, C. Z. (2019). Probabilistic Anticipation and Control in Autonomous Car Following. *IEEE Transactions On Control Systems Technology*.
- Nobis, C. (2014). Multimodale Vielfalt. Quantitative Analyse multimodalen Verkehrshandelns. . *Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin*.
- Noll M, R. P. (2012). *Ultraschallsensorik*. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Vieweg+Teubner, Wiesbaden.
- ORAD. (2016). *SAE J3016: Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems*. . SAE International.
- ORAD. (2016). *SAE J3016: Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems*. . SAE International.
- ORAD. (2021). Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. *SAE international*.
- Pérez, J., Gajate, A., Milanés, V., Onieva, E., & Santos, M. (2010). Design and implementation of a neuro-fuzzy system for longitudinal control of autonomous vehicles. *IEEE*.
- Phillip Garrad, S. U. (2022). Artificial Intelligence in Penetration Testing of a Connected and Autonomous Vehicle Network. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 16(12).

- Qiong Lu, T. T. (2020). The impact of autonomous vehicles on urban traffic network capacity: an experimental analysis by microscopic traffic simulation. *The International Journal Of Transportation Research*.
- RAND. (2014). Autonomous Vehicle Technology. A Guide for Policymakers. *RAND Publishing*. http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR443-1.html
adresinden alındı
- Reschka, A., Böhmer, J. R., Saust, F., Lichte, B., & Maurer, M. (2012). Safe, dynamic and comfortable longitudinal control for an autonomous vehicle. *IEEE*.
- Reut Ben-Haim, G. B.-H. (2018). Penetration and impact of advanced car Technologies. *MOJ Civil Engineering*.
- Rödel, C. (2014). Towards Autonomous Cars: The Effect of Autonomy Levels on Acceptance and User Experience. *AutomotiveUI '14*, 11.
- Schrank, D. E. (2012). *2012 Urban Mobility Report*. TransportationInstitute. College Station, TX.
- S. Shladover, C. N. (2010). Cooperative adaptive cruise control: Driver selection of car-following gaps. *17th ITS World Congr.*, s. 1-8.
- S.S. Manvi, S. T. (2017). A survey on authentication schemes in vanets for secured communication. *Veh. Commun.* 9 (Supplement C), s. 19-30. doi:10.1016/j.vehcom.2017.02.001.
- Santhanakrishnan Narayanan, E. C. (2020). Factors affecting traffic flow efficiency implications of connected and autonomous vehicles: A review and policy recommendations. *Advances in Transport Policy and Planning*, 5, s. 1-50.
- Schamm, T. (2010). On-road vehicle detection during dusk and at night. In: 2010. *IEEE Intelligent Vehicles Symp. (IV)*. *IEEE*, s. 418-423.
- Schnelle, S. W.-J. (2016). A personalizable driver steering model capable of predicting driver behaviors in vehicle collision avoidance maneuvers. *IEEE Trans. Human-Mach. Syst.*, 1.
- Schoettle, B. (2015). Motorists' preferences for different levels of vehicle automation. . *S.I. The University of Michigan Transportation Research Institute*.
- Schoettle, B. S. (2014). A survey of public opinion about autonomous and self-driving vehicles in the US, the UK, and Australia. No. 21 in UMTRI-2014. . *The University of Michigan Sustainable Worldwide Transportation*. .
- Schrank, D. E. (2012). *2012 Urban Mobility Report*. . Texas TransportationInstitute. College Station, TX.
- Seungmin OH, J. Y. (2023, June 30). Impact of Mixed Traffic in Urban Networks: Investigating the Effects of Varying Autonomous Vehicle Levels and Penetration Rates. *Journal Of Korean Society Of Transportation*, s. 321-339.

- Sherman, D. (2016, February). Semi-autonomous cars compared! tesla model s vs. bmw 750i, infiniti q50s, and mercedes-benz s65 amg. *Caranddriver*. <http://www.caranddriver.com/features/semi-autonomous-cars-compared-tesla-vs-bmw-mercedes-and-infiniti-feature> adresinden alındı
- Siyuan Gong, L. D. (2018). Cooperative platoon control for a mixed traffic flow including human drive vehicles and connected and autonomous vehicles. *Transportation Research Part B*.
- Spieser, K. (2014, September). Toward a Systematic Approach to the Design and Evaluation of Automated Mobility-on-Demand Systems: A Case Study in Singapore. *Springer. Road Vehicle Automation*. .
- Spieser, K. (2014). Toward a Systematic Approach to the Design and Evaluation of Automated Mobility-on-Demand Systems: A Case Study in Singapore. . *Springer. Road Vehicle Automation*.
- Süßbauer, E. (2010). Nutzen statt Besitzen – Perspektiven für ressourceneffizienten Konsum durch innovative Dienstleistungen. *Ressourceneffizienz* .
- Talebpour, A. H. (2011). Multi regime sequential risk-taking model of car-following behavior. *Transport. Res. Rec.: J. Transport. Res. Board* 2260, 1, s. 60-66.
- Talebpour, H. M. (2016). Influence of connected and autonomous vehicles on traffic flow stability and throughput. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, 71, s. 143-163.
- Tesla. (2023, Aralık 29). *Reaction Game*. Tesla: <https://www.selectcarleasing.co.uk/tesla-reaction-game> adresinden alındı
- Treiber, M. K. (2013). Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation. . *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*.
- Tuncer, A. (2013). Otonom Araçlar İçin Yol Bulma Probleminin Genetik Algoritmalar Ve FPGA İle Çözümü Ve Gerçekleştirilmesi. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*.
- USAT. (2000). United States of America Transportation Recall Enhancement, Accountability, and Documentation . *TREAD Act—H.R. 5164, and Public Law No. 106-414*.
- Usman, G., Kunwar, F. (2009). Autonomous vehicle overtaking- an online solution. *IEEE*.
- Wagner, D. L. (2019). Impacts of gradual automated vehicle penetration on motorway operation: a comprehensive evaluation. *European Transport Research Review*.
- Wang Qiu, Q. T. (2015). Autonomous Vehicle Longitudinal Following Control Based On Model Predictive Control. *Proceedings of the 34th Chinese Control Conference*.

- Wang, J., Zheng, Y., Xu, Q., Wang, J., & Li, K. (2021, December). Controllability Analysis and Optimal Control of Mixed Traffic Flow With Human-Driven and Autonomous Vehicles. *IEEE*, 22(12).
- Wee, M. B. (2015). Ten ways autonomous driving could redefine the automotive World. *McKinsey Company*.
- Wong, N., Chambers, C., Stol, K., & Halkyard, R. (2009). Autonomous Vehicle Following Using a Robotic Driver. *IEEE*.
- Xu, W., Wei, J., Dolan, J. M., Zhao, H., & Zha, H. (2012). A real-time motion planner with trajectory optimization for autonomous vehicles. *IEEE*.
- Xue-Mei Chen, Y.-S. M. (2016). Driving Decision-making Analysis Of Car-following For Autonomous Vehicle Under Complex Urban Environment. *9th International Symposium on Computational Intelligence and Design*.
- Yingjun Ye, J. S. (2023). Cruise Control Systems and Comparison With Human Drivers. *Transportation Research Record*, Vol. 2677(2), s. 1401–1414.
- Yu, S. Z. (2017). Embedding Autonomous Vehicle Sharing in a Public Transit System: Example of Last-Mile Problem. . *Transportation Research Board TRB 96th Annual Meeting*. .
- Zhang, Y., Sun, H., Zhou, J., Hu, J., & Miao, J. (2019). Optimal Trajectory Generation for Autonomous Vehicles Under Centripetal Acceleration Constraints for In-lane Driving Scenarios. *IEEE*.
- Zhao, L. S. (2013). Simulation framework for vehicle platooning and car-following behaviors under connected-vehicle environment. *Proc. – Soc. Behav. Sci.*, 96, s. 914–924.
- Zhao, Y. (2017). Anticipating The Regional Impacts of Connected and Automated Vehicle Travel in Austin, Texas. . *Proceedings of the 96th annual meeting of Transportation Research Board*.
- Zhibin Chen, F. H. (2016). Optimal deployment of autonomous vehicle lanes with endogenous market penetration. *Trnsportation Research Part C*.
- Ziegler, J. B. (2014). Making bertha drive - an autonomous journey on a historic route. *IEEE Intell. Transport. Syst. Magaz.*, 6(2), s. 8-20.
- Zong, W., Zhang, C., Wang, Z., Zhu, J., & Chen, Q. (2018). Architecture Design and Implementation of an Autonomous Vehicle. *IEEE*.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Mehmet Çağrı Kızıлтаş
Uyruğu : T.C.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi	26.07.2013
Lisans	Sakarya Üniversitesi	21.01.2008
Lise	Sakıp Sabancı Anadolu Lisesi	13.06.2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-2010	CEMA Mühendislik	Proje Mühendisi
2010-2011	Atatürk Havalimanı	Saha Mühendisi
2011-2015	Bahçeşehir Üniversitesi	Asistan
2015-halen	İstanbul Ticaret Üniversitesi	Uzman

Yabancı Dil

İngilizce, başlangıç seviyesinde Almanca

Yayınlar

Akademik dergiler, kitaplar, kitap bölümleri, bildiriler, ulusal ve uluslararası hakemli dergiler dâhil Türkçe ve İngilizce olarak yayınlanmış 100’den fazla yayın.

