

## Akıllı Şehirler ve Trafik Güvenliği için Sürüş Kontrolü Uygulaması

Yıldırım YİĞİT<sup>1\*</sup>, Murat KARABATAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ahlat Meslek Yüksekokulu, Bitlis Eren Üniversitesi, BİTLİS, Türkiye

<sup>2</sup> Yazılım Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

\*<sup>1</sup> yildirayyigit@gmail.com, <sup>2</sup> mkarabatak@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 21/02/2023;

Kabul/Accepted: 11/08/2023)

**Öz:** Dünya nüfusu her geçen gün daha hızlı bir şekilde artmakta ve kırsal kesimdeki insanların kentlere olan göçleri de buna paralel devam etmektedir. Kentlerdeki bu hızlı nüfus artışı beraberinde çözülmesi gereken ulaşım, barınma, eğitim gibi birçok problemi de beraberinde getirmektedir. Kentlerdeki trafik ve ulaşım problemi bu problemlerin en başında gelmektedir. Trafikte yaşanan problemler eğitim, ekonomi, sağlık, çevre kirliliği gibi birçok yaşam alanını da doğrudan ya da dolaylı olarak etkilemektedir. Her geçen gün artan trafikten dolayı insanların trafikte geçirdiği süre artmakta, trafik yoğunluğuna bağlı olarak sürücülerin hızlanma ve yavaşlamalarında çok büyük bir değişkenlikler olabilmektedir. Ayrıca, yapılan araştırmalarda trafik yoğunluğunun az olduğu saatlerde aşırı hızlanma ve yavaşlamaya bağlı kazaların daha fazla olduğu görülmektedir. Araç sürücülerinin trafikte konforlu ve güvenli sürüş yapabilmeleri, beraberinde birçok avantaj getirebilmektedir. Sürüş güvenliğinden yakıt tüketimine, çevre kirliliğinden konfora kadar birçok parametre sürüş kontrolü ile sağlanabilmektedir. Literatürde yapılan çalışmaların büyük bir kısmının simülasyon ortamında yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmada, trafik ışıklarına bağlı olarak sürüş kontrolünün sağlayacağı avantajlara yönelik deneysel çalışmalar yapılmış ve sonuçları tartışılmıştır. Aynı zamanda, bu sürüş kontrolünü sağlayacak bir sistem de çalışmada önerilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Trafik Güvenliği, Yakıt Tüketimi, Sürücü Davranışı, Emisyon Salınımı.

### Driving Control Application for Smart Cities and Traffic Safety

**Abstract:** With the rapid increase in the world population daily, the migration of people from rural areas to cities is also increasing rapidly. This rapid population growth in cities brings many problems such as transportation, accommodation and education that need to be solved. Traffic and transportation problems in cities are at the forefront of these problems. Due to the increasing traffic day by day, the time people spend in traffic is increasing, and depending on the traffic density, there can be great variability in the acceleration and deceleration of the drivers. In addition, studies have shown that accidents due to excessive acceleration and deceleration are more common at times when traffic density is low. The fact that vehicle drivers can drive comfortably and safely in traffic can bring many advantages. Many parameters, from driving safety to fuel consumption, from environmental pollution to comfort, can be provided by driving control. It is seen that most of the studies in the literature are done in the simulation environment. In this study, experimental studies were carried out on the advantages of driving control depending on traffic lights and the results were discussed. At the same time, a system that will provide this driving control is also suggested in the study.

**Key words:** Traffic Safety, Fuel Consumption, Driver Behavior, Emission release.

### 1. Giriş

Büyük şehirlerde hızlı nüfus artışı her geçen gün daha da karmaşık hale gelen trafik sorununu da beraberinde getirmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Mayıs 2022 yılı motorlu kara taşıtları bültenine göre Türkiye’de toplam 25 milyon 704 bin 749 adet motorlu taşıt bulunmaktadır [1]. Artan araç sayısı hem trafik yoğunluğunu hem de emisyon gazı salınımını arttırmaktadır. Artan trafik problemini çözmek için her geçen gün yeni yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Buna rağmen insanların trafikte geçirdiği süre her geçen gün artmaktadır. Ayrıca trafiği düzenlemek için yapılan çalışmalara rağmen her gün yaşanan trafik kazalarında can ve mal kaybı meydana gelmektedir. Türkiye karayolu ağında 2021 yılında toplam 1 milyon 186 bin 353 adet trafik kazası meydana geldi. Bu kazaların 998 bin 390 adedi maddi hasarlı, 187 bin 963 adedi ise ölümlü yaralanmalı trafik kazasıdır. Yıl içerisinde meydana gelen ölümlü yaralanmalı trafik kazalarının %78,6’sı yerleşim yeri içinde %21,4’ü ise yerleşim yeri dışında meydana gelmiştir [2]. Türkiye’de 2021 yılında ölümlü yaralanmalı trafik kazasına neden olan toplam 224 bin 418 kusura bakıldığında kusurların %87,1’inin sürücü, %8,2’sinin yaya, %2,6’sının taşıt, %1,8’inin yolcu ve %0,4’ünün yol kaynaklı olduğu görülmektedir. Şehir içi ulaşımında trafik yoğunluğu eğer çok ise hızlanma ve yavaşlamada çok büyük bir değişiklik olmamaktadır. Yapılan araştırmalarda trafik yoğunluğunun az olduğu

\* Sorumlu yazar: [yildirayyigit@gmail.com](mailto:yildirayyigit@gmail.com). Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup> 0000-0001-8953-9405, <sup>2</sup> 0000-0002-6719-7421

saatlerde aşırı hızlanma ve yavaşlamaya bağlı kazaların daha fazla olduğu görülmektedir. Aynı zamanda araçların trafikte bekleme süresinin artmasından dolayı araçların yakıt tüketimi de artış göstermektedir. Yakıt tüketimine etki eden bir diğer etken ise sürücünün araç kullanma alışkanlıklarıdır. Büyük şehirlerdeki trafik problemini çözmeye yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar aynı zamanda yakıt tüketimini de azaltmayı hedeflemektedir.

R. D. Pace, C. Fiori, L. Pariota ve F. Storani 2020 yılında yaptıkları çalışmalarında bağlantılı ve otonom araçların (CAV'ler) mevcudiyetinde kentsel ağ trafik kontrolü için iki alt bölümden oluşan entegre bir modelleme geliştirmeyi amaçladıklarını ifade etmişlerdir [3]. Modellemenin birinci bölümünü otonom olmayan ve donanım desteği olmayan araçlar için GLOSA sistemini modellerken ikinci bölümünü otonom araçlar için hız kontrolünü amaçlamaktadır. Yapılan modelleme Napoli şehrinde test edilmiştir. Yaptıkları çalışmanın sonucu olarak üç ana husus ortaya çıkmıştır: ilki TC(traffic control) stratejisiyle ilgilidir ve özellikle çok kriterli optimizasyonun tek kriterli yaklaşımdan daha iyi performans gösterdiği test edilmiştir; ikincisi, TCMULTI(the multi-criteria traffic control) ve S-GLOSA(speed guidance optimisation) arasındaki karşılaştırmaya atıfta bulunur, bu nedenle S-GLOSA'nın TCMULTI yönteminden daha kötü performanslar sağladığı; son olarak, TCMULTI ve S-GLOSA arasındaki kombinasyon, beklendiği gibi en iyi sonuçları sağladığını belirtmişlerdir.

C. Guardiola, B. Pla, V. Pandey ve R. Burke 2019 yılında yaptıkları çalışmalarında dizel hafif hizmet aracı sürücüsünün iki trafik ışığı arasındaki 1 km'lik belirli bir rotayı kat etmeye çalışırken karşılaşabileceği üç farklı senaryoyu karşılaştırarak, trafik ışığı bilgilerinin kullanılabilirliğinin yakıt tüketimi ve emisyonlar açısından etkisini ele almışlardır [4]. İlk senaryoda sürücü trafik ışığının durumu hakkında bilgi sahibi değildir. İkinci senaryoda sürücü trafik ışığının durumu hakkında bilgi sahibidir fakat hesaplama ve modelleme yapamaz. Üçüncü senaryoda ise sürücü trafik ışığının durumu hakkında bilgiye sahiptir, hesaplama ve modelleme yapabilmektedir. Bu üç senaryoya göre yaptıkları çalışmayı Euro 5 Dizel araca takip deney yapmışlardır. Yaptıkları deney sonucunda yakıt tüketimi ve NOx emisyonları için %7,5 – 12 ve %13 – 32 azalma olduğunu ifade etmişlerdir.

N. Mellegård ve F. Reichenberg 2020 yılında Connecting Europe Facility (CEF) tarafından ortak finanse edilen Nordic Way 2 projesi kapsamında yaptıkları çalışmalarında 2006 – 2019 yılları arasında trafik kontrolü hakkında yapılan çalışmaların tematik analizlerini kullanılarak oluşturulan bir şemaya göre sınıflandırmışlardır [5]. Yapılan çalışmada incelenen yayınların genelde etkin trafik ışıklarıyla tek bir kavşak için optimum hız hesaplamak için yerleşik bir algoritma önerdiklerini ve etkilerini simülasyonda değerlendirdiklerini ifade etmişlerdir. Ayrıca incelenen çalışmalarda özellikle yakıt tüketimi ve seyahat süreleri için olumlu sonuçların bildirilmesine rağmen etki büyüklüğü anlamında çeşitli farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmada donanımlı araçlara odaklanıldığı ve diğer trafik kullanıcılarının nasıl etkilendiğinin dikkate alınmadığını öne sürmüşlerdir.

T. Cabannes, J. Li, F. Wu, H. Dong ve A. M. Bayen 2020 yılında yaptıkları çalışmalarında mevcut Markovian trafik atama çerçevesini yeni trafik kontrol stratejilerine uyguladıklarını ifade etmişlerdir [6]. İlk önce klasik Markovian statik atamasını yapmışlar daha sonra da SUMO simülasyon programını kullanarak dinamik trafik atamasına geçiş yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalarında kavşaklarda yönlendirme davranışını öğretmeye ve buna göre trafik akışını düzenlemeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmanın Markovian zincir teorisinin daha büyük ağlara ölçeklenme yeteneğini desteklediğinden umut verici olduğunu belirtmişlerdir.

C. Boz ve F. Gülgen 2018 yılında yaptıkları çalışmalarında Yıldız Teknik Üniversitesi Davut paşa Kampüsü'nün ana giriş ve bağlantılarında yapılan kavşak düzenlemesinin sonuçları irdelemişlerdir [7]. Çalışmaya konu olan bölgenin düzenlemeden sonraki etkililiği incelenmiştir. Çalışmada SUMO simülasyon programı kullanılmıştır. Çalışma alanında yetkili kurumlar tarafından yapılan çalışmanın yoğun olmayan saatlerde bir farklılık yaratmadığı yoğun olan saatlerde ise %71,8 oranında azaltma yaptığının gözlemlendiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca yaptıkları bu çalışmada alanın devamında bulunan kavşaklara oluşturulan trafik yoğunluğunun geri trafik oluşturma etkisini ele almadıklarını belirtmişlerdir.

H. Anany 2019 yılında yaptığı tez çalışmasında akıllı bir şehirde konvansiyonel ve otomatik araçlar için hız tavsiyeli trafik sinyal sisteminin etkinliğini incelemiştir [8]. Yapılan tez çalışmasında GLOSA algoritmasının etkinliği ölçülmeye çalışılmıştır. Ölçme yapılırken GLOSA algoritması temel düzeyde tüm araçların uyduğu varsayıldığını ifade etmiştir. Ayrıca otonom araç parametrelerinin geliştirilmesinin GLOSA algoritmasının da küçük iyileştirilmeler ile daha etkin bir şekilde çalışabileceğini ifade etmiştir. Araçların GLOSA sistemine uyumlu hale getirildiğinde bekleme sürelerinde %35 ile %70 arasında bir azalma olabileceği ifade edilmiştir.

C. Colombaroni, G. Fusco ve N. Isaenko yaptıkları çalışmalarında gerçek zamanlı olarak trafikte yol öncelik kurallarını çevrim içi olarak aktifleştirebilen aynı zamanda diğer araçlar için yeşil ışık durumuna göre hız önerisinde bulunabilen model tabanlı bir optimizasyon prosedürü sunduklarını ifade etmişlerdir [9]. Bu çalışmada trafik ışıklarında geçiş önceliklerinin trafik akışını nasıl etkilediğini problem olarak ele almışlardır. Işıklara geçiş önceliği kuralları ekleyerek sistemi test etmişlerdir. Bu yöntemi İtalya'nın Roma şehrinde tramvay yolunun da

bulduğu bir bölgede test etmişlerdir. Test aşamasında simülasyon programı kullanmışlardır. Kullandıkları modelde trafik akışındaki kuyruk uzunluğu trafik ışıklarının faz sürelerini de dikkate alarak varış sürelerini hesaplamışlardır. Kuyruğun tamamı temizleninceye kadar geçen süreyi de ortalama bekleme sürelerine eklemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarında elde ettikleri sonuçlar ışığında ışık önceliğini trafik kontrolünde kullanmanın bir dezavantaj oluşturmadığını, aksine avantaj olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Yine çalışmalarında araç sürücülerine yeşil ışıkta geçmeleri için bilgilendirmenin yapılmasının da bekleme sürelerinde iyileştirmeye neden olduğunu belirtmişlerdir.

K. Thorin 2017 yılında yaptığı tez çalışmasında ağır yük araçlarının yakıt tüketimini ve yolculuk süresini azaltmak için bir yaklaşım önermiştir [10]. Tez çalışmasında iki durum ele alınmıştır. Birinci durum trafik ışığı bilgisinin araç tarafından bilinip ona göre hız önerisinin yapıldığı durum, ikinci durum ise trafik ışığı bilgisinin sürücünün gözüyle görebildiği mesafeye sınırlı olan durumdur. Tez çalışmasında deneysel olarak normal bir araçla tasarlanan modelin uygulandığı bir araç test edilmektedir. Yapılan deneysel çalışmanın sonucunda modeli kullanan aracın %50 oranında enerji tasarrufu yaptığı öne sürülmüştür.

Biao Xu, Xiaolong Chen, Keqiang Li, Manjiang Hu, Yougang Bian, Qianwen Yu ve Jianqiang Wang 2019 yılında yaptıkları çalışmalarında trafiği düzenlemek için GLOSA algoritmasını çoklu katmanlar şeklinde uygulayarak yeni bir yöntem önermişlerdir [11]. Önerdikleri yöntemde trafik ışıklarına verici eklemişlerdir. Araca eklenen alıcı sistem sayesinde trafik ışıklarının durumunu elde etmekte ve buna göre hız optimizasyonu yapmaktadırlar. GLOSA algoritmasından farklı olarak sadece bir sonraki ışığı değil birden fazla trafik ışığı elde ettiklerini ve buna göre hesaplama yaptıklarını ileri sürmektedirler. Yaptıkları çalışmalarında %26 yakıt tasarrufu yaptıklarını ve yolculukta %10,8 verimlilik elde ettiklerini ifade etmişlerdir.

## 2. Çalışmanın Amacı

Yapılan çalışmanın birden fazla amacı bulunmaktadır. Bunlardan ilki sürüş güvenliğini sağlamaktır. Yapılan araştırmalara göre trafik kazalarının trafik yoğunluğunun az olduğu saatlerde aşırı hızlanma ve yavaşlamaya bağlı kazaların daha fazla olduğu ifade edilmektedir. Yapılan çalışmayla bu tür kazaların önlenebileceği düşünülmektedir. Çalışmanın amaçlarından ikincisi sürüş konforunu artırmaktır. Yapılan çalışmada sürüş konforunun nasıl etkilendiği de detaylı olarak incelenmektedir. Amaçlardan üçüncüsü temiz şehirlerdir. Yapılan çalışmada trafikte salınan emisyon gazlarının azaltılması ve böylece daha temiz bir şehir hedeflenmektedir. Yapılan çalışmanın son hedefi ise yakıt tüketimini azaltarak hem bireysel hem de ulusal ekonomik katkı sağlamaktır.

## 3. Deneysel Çalışma

Her gün artan trafik problemleri, şehir yöneticilerinin çözmesi gereken en önemli temel problemlerden bir tanesidir. Ulaşımında yaşanan aksaklıkların üretimden eğitime, ekonomiden sosyal hayata kadar birçok alanda etkisi açıkça hissedilmektedir. Yaşanan trafik kazaları maddi ve manevi olarak insanlara birçok yük getirmektedir. Bu çalışmayla trafik problemlerine etki edebilecek bir yöntem önerilmektedir.

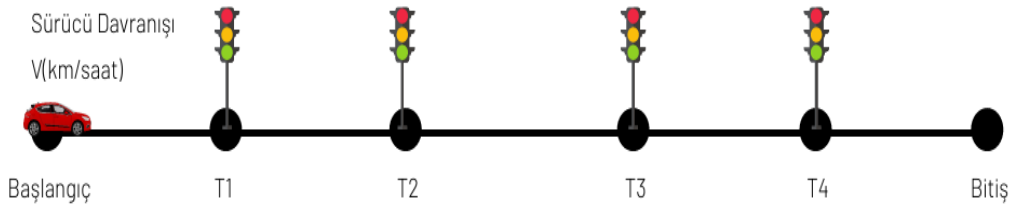
### 3.1 Deney ortamı

Deneysel çalışmalar Elazığ ile Malatya arasındaki 6 km'lik bir rota üzerinde yapılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan rotaya ait harita Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekil 1'de gösterilen harita üzerinde işaretlenmiş kullanılacak olan rota üzerinde trafik yoğunluğu gündüz saatlerinde çok fazla olmakla birlikte akşam saatlerinde bu yoğunluk azalmaktadır. Bu nedenden dolayı belirtilen rota, çalışma güzergâhı olarak seçilmiştir. Çalışma için seçilen rota üzerinde 4 adet trafik ışığı bulunmaktadır. Bu trafik ışıklarına ait süreler ve kullanılan diğer parametreler Şekil 2' de gösterilmektedir.

Şekil 2'de "V" ile ifade edilen parametre deney yapılırken kullanılan araçların ortalama hızlarını ifade etmektedir. Sürücü davranışı olarak ifade edilen parametre ise sürücünün araç kullanırken göstermiş olduğu davranışlardır. Bu davranışlar, "agresif" ve "standart" olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. "Agresif" olarak sınıflandırılan davranış türü, ani hızlanma ve ani yavaşlamayı ifade etmektedir. "Standart" olarak sınıflandırılan davranış türü ise yavaş yavaş hızlanmayı ve yavaş yavaş fren yapmayı ifade etmektedir. T1, T2, T3 ve T4 ile belirtilen parametreler ise trafik ışıklarını ifade etmektedir. Deney ortamına ait parametreler ve değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Deneysel çalışmanın yapıldığı ortam.



Şekil 2. Deneysel çalışmada kullanılan parametreler.

Tablo 1. Deney ortamına ait parametreler.

Deneysel No	Ortalama Hız (Km/S)	1. Işık	Bekleme Süresi	2. Işık	Bekleme Süresi	3. Işık	Bekleme Süresi	4. Işık	Bekleme Süresi	Sürüş Tarzı
1	60	Yeşil	0 sn	Yeşil	0 sn	Yeşil	0 sn	Yeşil	0 sn	Standart
2	90	Yeşil	0 sn	Yeşil	0 sn	Yeşil	0 sn	Yeşil	0 sn	Standart
3	100	Kırmızı	60 sn	Kırmızı	60 sn	Kırmızı	60 sn	Kırmızı	60 sn	Agresif
4	90	Kırmızı	60 sn	Yeşil	0 sn	Kırmızı	60 sn	Yeşil	0 sn	Standart
5	90	Yeşil	0 sn	Kırmızı	60 sn	Yeşil	0 sn	Kırmızı	60 sn	Agresif
6	90	Kırmızı	45 sn	Kırmızı	30 sn	Kırmızı	30 sn	Kırmızı	15 sn	Standart

Tablo 1’de deneyde kullanılan araçların her bir trafik ışığındaki bekleme süreleri ve trafik ışıklarının renk durumları verilmektedir. Tablo 1’de belirtilen parametreler kullanılarak yapılacak deney çalışmalarında kullanılmak üzere 5 adet farklı özelliklere sahip araç kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan araçlar ve özellikleri Tablo 2’de gösterilmektedir. Çalışmada kullanılan araçların hepsini tek kişi kullanmıştır. Böylelikle sürücülerden kaynaklı farklılıkların önüne geçilmeye çalışılmaktadır.

**Tablo 2.** Deney çalışmasında kullanılan araçlar.

Araç No	Yakıt Türü	Vites Türü	Motor Hacmi	Model Yılı
1	Benzin	Otomatik	1,2	2015
2	Benzin	Otomatik	1,4	2014
3	Benzin	Otomatik	1,4	2012
4	Benzin	Manuel	1,6	2012
5	Benzin	Manuel	1,0	2013

Çalışma boyunca araçlarda bulunan start / stop özelliği de devre dışı bırakılmıştır. Bu nedenden dolayı kullanılan araçlar ışıklarda bekledikleri süre boyunca da çalışmaya devam ettikleri için start / stop özelliği bulunmayan araçları da temsil etmektedir.

### 3.2 Elde edilen sonuçlar

Çalışmada kullanılan araçlar için CO<sub>2</sub> salınımı değerleri ve ortalama yakıt tüketimi değerleri Tablo 3'te gösterilmektedir. Tablo 3'te belirtilen değerler üretici firmaların araç kullanım kitapçıklarından elde edilmektedir [12-14].

**Tablo 3.** Araçların yakıt tüketimi ve emisyon değerleri ile ilgili kullanım kitapçıklarından elde edilen veriler [12 - 14].

Araç No	Şehir İçi Ortalama Yakıt Tüketimi L/100km	Şehir Dışı Ortalama Yakıt Tüketimi L/100km	CO <sub>2</sub> Gazı Salınımı g/km
1	7,3	4,9	134
2	7,7	5,0	138
3	8,9	5,2	154
4	8,2	6,0	
5	5,9	3,7	105

Yapılan deneysel çalışmada elde edilen ortalama yakıt tüketimi verisi araçların yol bilgisayarlarından elde edilmiştir. Araçların harcamış olduğu yakıt miktarı denklem 1'de verilen formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Yakıt Miktarı = (Ortalama Yakıt Tüketimi/100) * Alınan Toplam Yol \quad (1)$$

Yapılan çalışma esnasında araçların kullandığı yakıtın litre fiyatı 1.589 USD olarak tespit edilmiştir. Çalışma boyunca araçların harcamış olduğu yakıtların toplam maliyeti denklem 2'de verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Toplam Tutar = Tüketilen Yakıt * Litre Fiyatı \quad (2)$$

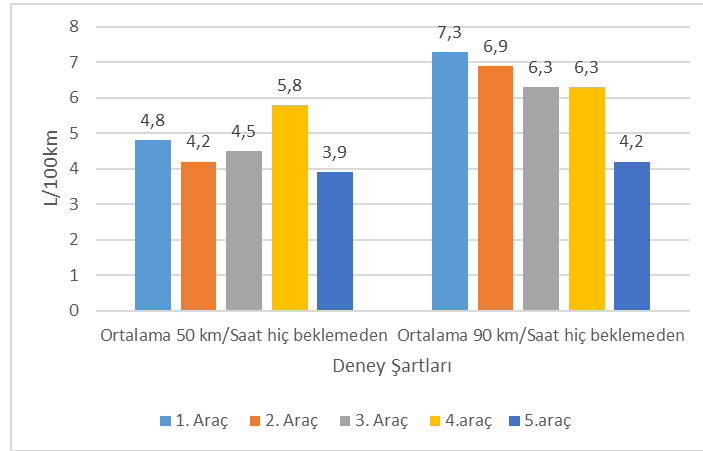
Bir litre benzin 750 gramdır ve %87 oranında karbon içerdiğinden dolayı 652 gr karbon içermektedir. Bir litre benzinde bulunan karbon miktarını yakmak için 1740 gr oksijen gereklidir. Sonuç olarak 1 litre benzin yakma işlemine tabi tutulduğunda 652+1740=2392 gr karbondioksit salınımı gerçekleştiği elde edilmektedir. Tablo 4'te ifade edilen CO<sub>2</sub> gazı salınımı denklem 3'te ifade edilen formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$CO_2 \text{ salınımı } g/km = (Ortalama yakıt Tüketimi * Araç CO_2 \text{ Salınımı}(g/l)/100) * Alınan Yol \quad (3)$$

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen değerler Tablo 4'te gösterilmektedir. Tablo 4'te verilen değerler incelendiğinde, üreticilerden temin edilen araç kitapçıklarından elde edilen Tablo 3'teki değerlerden farklı sonuçların çıktığı açıkça görülmektedir. Bu farklılıkların oluşmasındaki temel etkenler sürücü davranışları, trafik yoğunluğu, mevsimsel şartlar ve araç hızı olarak belirlenmektedir. Tablo 4'ten elde edilen veriler kullanılarak Şekil 3'te verilen grafik elde edilmiştir.

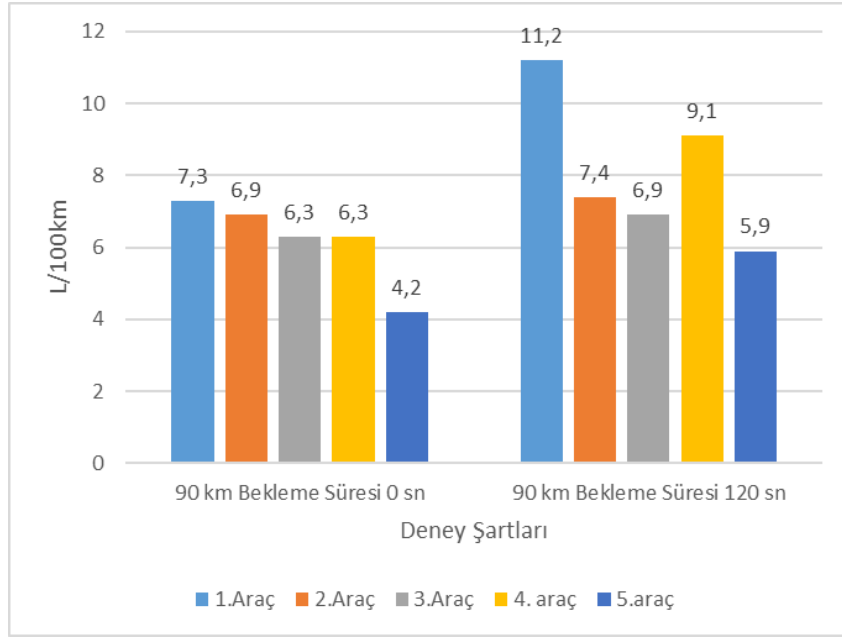
**Tablo 4.** Deney çalışmada elde edilen değerler.

Araç No	Deney No	Yakıt Tüketimi (litre/100km)	Tüketilen Yakıt (Litre)	Tutar (USD)	Toplam CO <sub>2</sub> Gazı Salınımı(gr)
1	1	4,8	0,29	0,45	683
	2	7,3	0,44	0,69	1042
	3	14,0	0,84	1,33	2009
	4	10,0	0,60	0,95	1430
	5	11,9	0,72	1,14	1714
	6	11,2	0,67	1,07	1608
2	1	4,2	0,25	0,40	608
	2	6,9	0,41	0,65	984
	3	14,3	0,86	1,37	2058
	4	8,9	0,53	0,85	1279
	5	12,8	0,77	1,22	1835
	6	7,4	0,45	0,71	1065
3	1	4,5	0,27	0,43	652
	2	6,3	0,38	0,60	900
	3	11,0	0,66	1,05	1577
	4	8,4	0,50	0,80	1200
	5	8,8	0,53	0,84	1264
	6	6,9	0,41	0,66	987
4	1	5,8	0,35	0,55	832
	2	6,3	0,38	0,60	904
	3	12,5	0,75	1,19	1794
	4	8,3	0,50	0,79	1191
	5	9,5	0,57	0,91	1363
	6	9,1	0,55	0,87	1306
5	1	3,9	0,23	0,37	560
	2	4,2	0,25	0,40	603
	3	8,9	0,53	0,85	1277
	4	5,1	0,31	0,49	732
	5	6,9	0,41	0,66	990
	6	5,9	0,35	0,56	847

**Şekil 3.** Sürüş tarzı standart olarak yapılan deney şartlarına göre yakıt tüketimi.

Şekil 3'teki grafik incelendiğinde araçların yakıt tüketimine ortalama hızın etkisi görülmektedir. Ortalama hızın ne kadar etkili olduğunu belirleyebilmek için ortalama hız dışındaki diğer parametreler değiştirilmemektedir. Grafik analiz edildiğinde ortalama hız ne kadar artarsa aracın yakıt tüketiminin de o oranda arttığı açıkça görülmektedir.

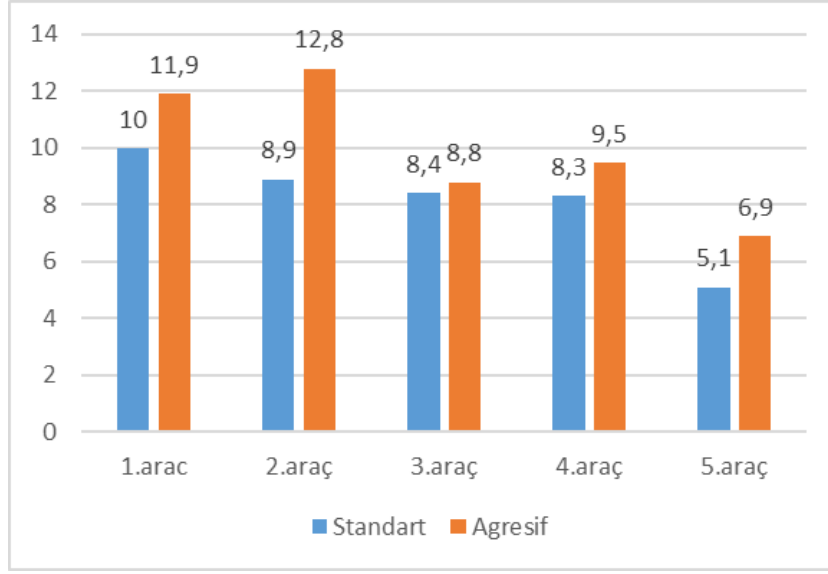
Şekil 4'te verilen grafikte sürücü davranışlarından standart olarak belirlenmiş sürüş tarzıyla yapılan araç kullanımlarında trafik ışıklarındaki bekleme sürelerinin yakıt tüketimine olan etkisi incelenmektedir. Trafik ışıklarındaki bekleme sürelerinin yakıt tüketimine olan etkisini karşılaştırabilmek için diğer deney parametreleri değiştirilmemektedir. Şekil 4'te verilen grafikteki veriler analiz edildiğinde, araçların trafik ışıklarındaki bekleme sürelerinin yakıt tüketimindeki etki oranı %50'lere kadar çıkmaktadır. Aleksandar Stevanovic, Jelka Stevanovic ve Cameron Kergaye yaptıkları çalışmalarında simülasyon ortamında yakıt tüketimine etkisini %0,5 olarak bulduklarını ifade etmektedirler [12]. Yapılan çalışma göstermiştir ki bu oran çok daha yüksek olmaktadır.



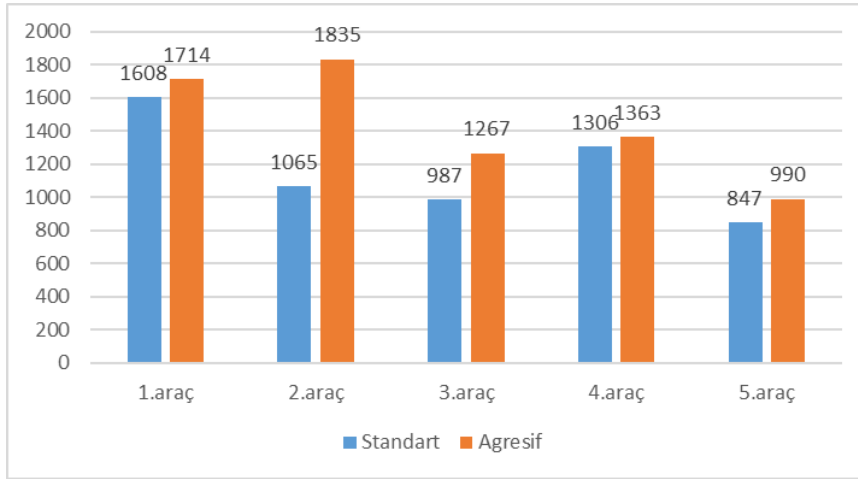
Şekil 4. Bekleme sürelerine göre yakıt tüketimi.

Şekil 5'te verilen grafik, sürücü davranışının ortalama yakıt tüketimine olan etkisini göstermektedir. Çalışmaya ait diğer deney parametreleri ise ortalama hızın 90 km/saat ve bekleme süresinin 120 sn olarak belirlenmiştir. Şekil 5'te verilen grafik incelendiğinde, trafikteki sürücü davranışının aracın ortalama yakıt tüketimine olan etkisinin azımsanmayacak kadar önemli olduğu görülmektedir. Sürücü davranışı ile birlikte trafik ışıklarındaki bekleme süresi ve ortalama hız faktörü de ele alındığında yakıt tüketimindeki tasarruf yüksek oranda artmaktadır. Şekil 6'da verilen grafikte trafikte sürücü davranışlarının çevre kirliliğine olan etkisi gösterilmektedir.

Şekil 6'da verilen grafik incelendiğinde 6 km'lik bir rotada trafikteki sürücü davranışlarının çevre kirliliğini etkilediği açıkça görülmektedir. Trafikte geçirilen sürenin artması ve rotanın daha uzun olması, çevre kirliliğine olan bu etkiyi daha da artıracak kaçınılmazdır. Günümüzde küresel problemlerin başında iklim krizinin ilk sıralarda olduğu göz önünde bulundurulduğunda trafikteki bu problemi çözmek çevre kirliliğinin azalmasında önemli bir paya sahip olacaktır.



Şekil 5. Sürücü davranışının yakıt tüketimine etkisi.



Şekil 6. Sürücü davranışlarının çevre kirliliğine etkisi.

### 3.3. Sonuçların değerlendirilmesi

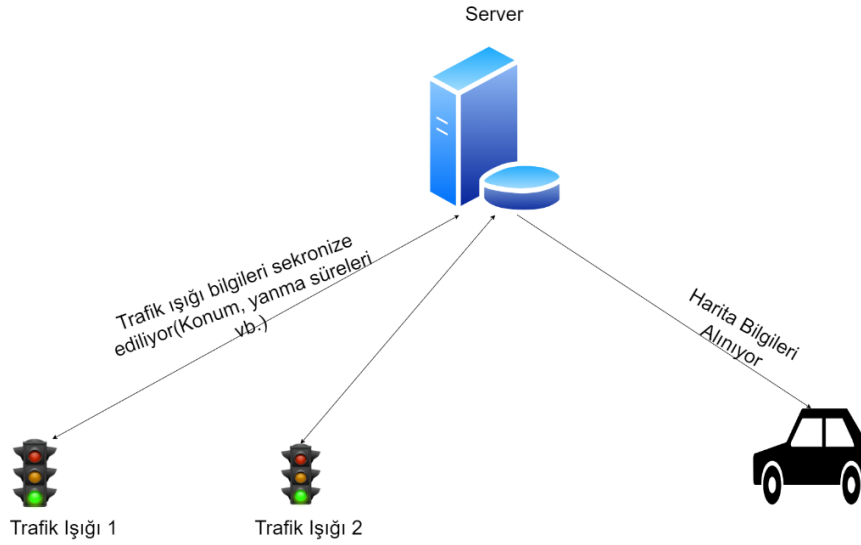
Yapılan deneysel çalışmada elde edilen veriler incelendiğinde trafikteki bekleme süreleri, araçların ortalama hızları ve sürücülerin araç kullanırken gösterdikleri davranışlar önemli etkenlerdir. Bu etkenler öncelikle ekonomi alanında büyük bir etkiye sahip olmaktadır. Hem bireysel olarak hem de ulusal ekonomiye ciddi etkileri bulunmaktadır. İkinci olarak etkilediği alan ise çevre kirliliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde, küresel iklim krizinde emisyon gazı salınımlarının daha da önemli olduğu bilinmektedir. Her gün trafikte salınan emisyon gazlarını azaltmak için taşıt üreticileri, daha çevreci motorlar üretmeye çalışmaktadır. Fakat var olan araçlar bu teknolojilerle üretilmediğinden dolayı var olan araçlar için yapılan bu tür çalışmalar önem arz etmektedir. Bu çalışma ile sadece sürücü davranışlarının değiştirilebildiğinde nasıl etki oluşacağı açıkça görülmektedir. Yapılan çalışmalarda sürücü davranışlarının sürüş güvenliğini ve seyahat konforunu nasıl etkilediği de açıkça belirlenmektedir. Daha güvenli ve konforlu bir sürüş için sürücü davranışlarının mutlaka kontrol edilebilmesi gerekmektedir. Sürücü davranışlarını kontrol edebilmenin ilk şartı da sürücüyü bilgilendirmektir. Türkiye’de bu amaçla trafik ışıklarında bir sonraki ışığa kalan süre saniye olarak gösterme uygulamasına geçilmiştir. Daha sonra



sürücülerin trafik ışığının yeşilden kırmızıya geçmek için az bir sürenin kaldığını gördükleri zaman daha çok hızlanmaya çalıştıkları, bu sebepten dolayı daha çok kazalara sebep olduğu gözlenmiştir. Bu durum göz önünde bulundurularak birçok bölgede bu uygulamadan vazgeçilmiştir. Bu nedenle 4. Bölümde yeni bir model önerilmektedir.

#### 4. Öneriler

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler göstermiştir ki sürücülerin trafikteki davranışları düzenlendiğinde sürüş güvenliği ve seyahat konforu artmaktadır. Aynı zamanda sürücülerin davranışlarının düzenlenmesi yakıt tüketimini ve emisyon gazı salınımını da önemli bir oranda azalmaktadır. Sürücülerin trafikteki davranışlarını düzenlemek için önerilen model Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Önerilen model.

Şekil 7'de önerilen modelde, sürücünün rotasında bulunan trafik ışığına ait konum bilgisi ve bir sonraki duruma geçiş süreleri gibi bilgileri şehir trafik yönetiminden elde edilerek bulut depolama ortamında depolanmaktadır. Şehirlerde bulunan trafik ışıkları sistem üzerinden belirli parametrelerle güncellendiğinden bu bilgiler bulut ortamına kaydedildikten sonra ışık bilgileri harita üzerinde düğüm olarak belirlenmiş olan trafik ışıklarında belirli aralıklarla değerleri güncellenecektir. Araç belirli aralıklarla güzergâhında bulunan ışıklara ait bilgileri oluşturulan haritalar aracılığıyla ve kendi konum bilgisini GPS yardımıyla almaktadır. Daha sonra araç bilgisayarından hız bilgileri alınmaktadır. Araç bilgisayarından aldığı bilgileri ve harita ortamından aldığı bilgileri birleştirerek bir hesaplama yapmaktadır. Yapılan hesaplama sonucunda, hız limitleri de göz önünde bulundurularak sürücüye hız önerisinde bulunmaktadır. Böylece sürücünün ani hızlanmasına veya ani fren yapmasına gerek kalmayacaktır. Önerilen yöntemde trafik ışığı ve harita bilgisi online olarak depolanmakta ve aracın güzergahına göre senkron bir şekilde çalışması gerekmektedir. Günümüzde kullanılan sistemde trafik ışığı bilgileri sistem üzerinden düzenlense de bunun herhangi bir sistemle entegrasyonu bulunmamaktadır. Bu etkileşim için gerekli alt yapı sağlandığında daha etkili sistemlerin tasarlanmasının da önü açılacaktır. Bu gelişmeler sayesinde daha konforlu ve daha güvenli bir trafik sağlanabilecektir. Önerilen yöntemde yakın ülkemizde kullanılan yeşil dalga sistemi ve trafik ışığı süre bilgilendirme bulunmaktadır. Yeşil dalga sisteminin tasarlanma amacı araçların trafik bekleme sürelerini azaltmak ve trafik güvenliğini sağlamak olsa da trafiğin aşırı yoğun olduğu veya aşırı yoğun olmayan saatlerde efektif çalışmadığı saptanmıştır. Önerilen sistemde aşırı yoğun trafikte hız önerisi mümkün olmazken yoğun olmayan trafik için trafik bilgisine sahip olmak trafik güvenliği ve verimliliği açısından birçok kazanım sağladığı deneysel çalışmalarda açıkça görülmektedir.

## 5. Tartışma ve Sonuç

Yapılan bu deneysel çalışma kapsamında deneysel şartlar gerçek dünyadaki şartlar kullanılarak yapılmıştır. Deneysel ortamındaki imkânlar tam bir test yapmaya elverişli olmamakla birlikte elde edilen değerler fikir verebilecek niteliktedir. Bu sebepten dolayı deneyin tekrarlanması halinde değerlerde farklılık olması muhtemeldir. Yapılan çalışmada elde edilen değerler ile simülasyon ortamında elde edilen değerler birebir aynı olmamakla birlikte aynı doğrultudadır. Yapılan çalışma göstermiştir ki trafikteki bekleme süreleri ne kadar artarsa yakıt tüketimi de o oranda artmaktadır. Büyük şehirlerdeki trafik yoğunluğunu azaltmaya yönelik her çalışma sonucunda yakıt tüketimi de azalacaktır. Yakıt tüketiminin azalması hem bireysel hem de milli ekonomiye büyük katkılar sağlayacaktır. Ayrıca trafikte bekleme sürelerinin yanı sıra sürüş davranışlarının da yakıt tüketimine olan etkisi azımsanmayacak oranlarda tespit edilmiştir. Ulaşım problemine çözüm aramakla birlikte sürücü davranışlarını düzenleyen uygulamalar da geliştirildiğinde yakıt tüketiminde ciddi oranlarda tasarruf yapılabileceği gözlemlenmiştir. Gelecek çalışmalarda yapay zeka algoritmaları ve optimizasyon algoritmaları birleştirilerek hibrit bir sistem tasarlanarak var olan araçlar için uygulanabilirliği test edilebilir.

### Kaynaklar

- [1] Türkiye İstatistik Kurumu. Motorlu Kara Taşıtları. Türkiye İstatistik Kurumu, Mayıs 2022.
- [2] Türkiye İstatistik Kurumu. Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu, 2021.
- [3] Pace RD, Fiori C, Pariota L, Storani F. Centralised Traffic Control and Green Light Optimal Speed Advisory Procedure in Mixed Traffic Flow: An Integrated Modelling Framework Transportation Systems for Smart, Sustainable, Inclusive and Secure Cities. Intechopen. 2020. pp. 145 – 160.
- [4] Guardiola C, Pla B, Pandey V, Burke R. On the potential of traffic light information availability for reducing fuel consumption and NOx emissions of a diesel light-duty vehicle. Proc Inst Mech Eng, Part D: J. Automob Eng. 2019. pp. 981-991.
- [5] Mellegård N, Reichenberg F. The Day 1 C-ITS Application Green Light Optimal Speed Advisory—A Mapping Study. Transp Res Procedia. 2020, pp. 170 – 182.
- [6] Cabannes T, Li J, Wu F, Dong H, Bayen M. A Learning Optimal Traffic Routing Behaviors Using Markovian Framework in Microscopic Simulation. 99th annual meeting of the Transportation Research Board. Washington D.C. 2020.
- [7] Boz C, Gülgen F. Sumo Trafik Simülasyonu Kullanılarak Trafik Düzenlemelerinin Etkilerinin Gözlenmesi. VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2018). Eskişehir, 2018.
- [8] Anany H. Effectiveness of a Speed Advisory Traffic Signal System for Conventional and Automated Vehicles in a Smart City. Norrköping: master thesis. Linköping Üniversitesi, 2019.
- [9] Colombaroni C, Fusco G, Isaenka N. A Simulation-Optimization Method for Signal Synchronization with Bus Priority and Driver Speed Advisory to Connected Vehicles. Transp Res Procedia. 2019, pp. 890 – 897.
- [10] Thorin K. Optimal Speed Controller in the Presence of Traffic Lights. Tez. Uppsala University, 2017.
- [11] Xu B, Chen X, Li K, Hu M, Bian Y, Yu Q, Wang J. Double-layer speed optimization for reducing fuel consumption with vehicle-to-infrastructure communication. Int J Intell Transp Syst Res , 2019. pp. 513 – 524.
- [12] Stevanovic A, Stevanovic J, Kergaye C, Green Light Optimized Speed Advisory Systems Impact of Signal Phasing Information Accuracy, Proc Inst Mech Eng, Part D: J Automob Eng, 2013. pp. 53 – 59.
- [13] Ford Otosan. Ford Fiesta Owner's Manual. Ford Motor Company, 2012.
- [14] Ford Otosan. Ford Fiesta Owner's Manual. Ford Motor Company, 2013.
- [15] Volkswagen. Golf Kullanım Klavuzu. Volkswagen, 2012.