

## Tam Trafik Uyarımalı Sinyalizasyon Sisteminin Simülasyon Modellemesi ve İyileştirme Oranlarının Saptanması

Fuat Yalçınlı<sup>\*</sup>, Bayram Akdemir<sup>2</sup>, Akif Durdu<sup>3</sup> ve Özgenur Yıldız<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü /Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya,  
TÜRKİYE

<sup>4</sup>Innomotive Comp., Ostim Odtü Teknokent, Ankara, TÜRKİYE

<sup>\*</sup>fuatyalcinli@gmail.com, <sup>2</sup>bakdemir@ktun.edu.tr, <sup>3</sup>adurdu@ktun.edu.tr, <sup>4</sup>yildizozgenur@gmail.com

(Geliş Tarihi: 10 Haziran 2023, Kabul Tarihi: 20 Haziran 2023)

(DOI: 10.59287/ijanser.887)

**ATIF/REFERENCE:** Yalçınlı, F., Akdemir, B., Durdu, A., & Yıldız, Ö. (2023). Tam Trafik Uyarımalı Sinyalizasyon Sisteminin Simülasyon Modellemesi ve İyileştirme Oranlarının Saptanması. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(6), 1-7.

**Özet** – Günümüz sensör teknolojilerinin gelişimi ile saptanan veri çeşitliliği ve doğruluk oranları önemli oranda artmıştır. Tespit edilen verilerin çeşitliliği ve doğruluk oranlarının yüksek olmasıyla da yönetim algoritmalarının yetenekleri gelişmiş olup günlük yaşamımıza olumlu olarak çeşitli alanlarda yansımaktadır. Sinyalize kavşaklarda genel olarak sabit süreli sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır. Ancak, son yıllarda trafik ile ilgili veri toplayan sensörler daha da geliştikçe yarı trafik uyarımalı, tam trafik uyarımalı ve adaptif trafik sinyalizasyon sistemleri yaygınlaşmaya başlamıştır. Araç sayısı, araç algılamaları, kuyruklanma, ortalama hız gibi trafik parametrelerine göre sinyalize kavşaktaki yeşil sürelerinin adaptif yönetilmesi gecikme, ortalama hız ve durma sayısı gibi önemli parametrelere olumlu yansımaktadır. Bu çalışmada örnek bir sinyalize kavşaktaki gerçek trafik verileri kullanılarak Aimsun simülasyon programı üzerinde simülasyon modellemesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu sinyalize kavşak tam trafik uyarımalı olarak işletilerek kavşaktaki iyileşme yüzdeleri saptanmıştır. Tekirdağ il sınırları içerisinde yer alan ve günlük yaklaşık 30.000 adet araç geçen Santral Kavşağı'ndaki tam trafik uyarımalı sinyalizasyon yönetimi simülasyon çalışması sonucunda gecikmelerin ortalama %27,72 azaldığı, ortalama hızın ortalama %27,31 arttığı ve durma sayısının ortalama %25,54 azaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Sinyalize Kavşak, Tam Trafik Uyarımalı, Trafik İyileştirme Oranları, Aimsun Simülasyon Programı, Sinyalizasyon Sistemleri, Akıllı Ulaşım

### I. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişimi, akıllı ulaşım sistemlerinin gelişimine de olumlu yansımaktadır. Akıllı ulaşım sistemlerinin önemli bir bileşeni olan sinyalize kavşaklardaki performansları artırıcı yönetim biçimleri, yazılımlar ve donanımlarla ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmaların etkilerini görmek, olumlu ya da olumsuz yönlerini

saptamak ve teknik geliştirmeleri paralel yönetmek simülasyon ortamlarında mümkündür.

Aimsun, başlangıçta yalnızca şehiriçi ve şehirdışı mikroskobik trafik simülasyonları için geliştirilmiş bir simülasyon programı olarak tasarlanmıştır. Ancak zaman içinde geliştirilerek, mezoskopik ve makroskopik seviyelerde de simülasyon modelleri oluşturabilme yeteneği kazandırılmıştır.

Mikroskobik seviyede, Aimsun trafik akışında araçlar, yol ağı üzerinde gerçekçi şekilde hareket etmekte, trafik sinyallerine uymakta ve etkileşimde bulunmaktadır. Bu sayede detaylı bir araç davranışı ve trafik durumu analizi yapılabilmektedir [1], [2].

Aimsun, trafik simülasyonunda çeşitli parametrelerin ayarlanmasını sağlar. Bunlar arasında giriş-çıkış akımları, sürücü davranışları, dönel hareketler, başlangıç-bitiş matrisleri ve rota seçim kriterleri bulunur. Bu parametreler, trafik akışını, yol kullanıcılarının davranışlarını ve etkileşimlerini gerçekçi bir şekilde simüle etmek için kullanılır. Aimsun, bu parametrelerin ayarlanmasını sağlayarak gerçekçi trafik senaryolarının simülasyonunu gerçekleştirmek ve trafik akışının analizini yapmak için kullanılan güçlü bir yazılım aracıdır [3], [4]. Bu bilgiler ışığında kavşaklara Aimsun trafik sinyalizasyon işletme modellemesi yapılabilmektedir.

Sinyalize kavşakların işletilmesinde kullanılan başlıca yöntemler şunlardır:

**Sabit Süreli Sinyalizasyon Sistemi:** Bu sistemde, kavşağa farklı yönlerden gelen araç ve yaya trafiğine önceden belirlenmiş zaman programlarına uygun olarak geçiş hakkı verilir. Sinyal süreleri belirli bir periyotta sabit olarak kalmaktadır ve trafiğin talepleri veya şartlarına göre değişmemektedir.

**Yarı Trafik Uyarımlı Sinyalizasyon Sistemi:** Bu sistemde, kavşakta en az bir noktanın talebe bağlı olarak çalışması sağlanmaktadır. Kavşak katılım kollarında yerleştirilen araç algılayıcı sensörler veya yaya butonlarıyla gelen taleplere göre sinyalizasyon sistemi işletilmektedir. Sadece talep olduğunda sinyal değişimi gerçekleşmektedir.

**Tam Trafik Uyarımlı Sinyalizasyon Sistemi:** Bu sistemde, kavşaktaki tüm yönler talebe bağlı olarak çalıştırılmaktadır. Kavşak yaklaşım kollarında ve anayollarda bulunan araç algılayıcı sensörler veya yaya butonlarından gelen taleplere göre sinyalizasyon sistemi en kısa periyot süresinde işletilmektedir. Talep olduğunda sinyal değişimi gerçekleşmektedir.

**Adaptif Trafik Yönetim Sistemi:** Bu sistem, gerçek zamanlı trafik durumu, talep ve sistem

kapasitesine göre sinyal zamanlarını ayarlamaktadır. Her kavşak kolunun giriş ve çıkışlarında belirli bir mesafede yerleştirilen sensörler, üzerlerinden geçen araç sayısı ve işgal verilerine dayanarak sinyal sürelerini üretmektedir. Böylece trafiğin yoğunluğuna ve taleplerine göre sinyalizasyon sistemi otomatik olarak ayarlanmaktadır.

Bu yöntemler, trafiğin etkili bir şekilde yönlendirilmesini sağlamak, trafik akışını düzenlemek ve kavşaklarda geçiş verimliliğini artırmak için kullanılmaktadır [5], [6], [7].

Sinyalize kavşaklarda uygulanan sistemin performansını belirlemek için kullanılan en önemli parametreler; gecikme, durma sayısı ve ortalama hız olarak sayılabilir.

Gecikme, taşıtların dur-kalk hareketleri, sinyal süreleri ve trafiğin yoğunluğu gibi faktörlerden kaynaklı kaybettikleri zamandır. Gecikme parametresi; kavşakların performansını değerlendirmek, trafiğin akışını ve verimliliğini analiz etmek için kullanılmaktadır. Kavşaklarda oluşan yüksek gecikme süreleri, trafik akışının aksamalarına ve kavşak kapasitesinin dolmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, kavşakların tasarımında ve sinyalizasyon sistemlerinin planlanmasında gecikme parametresi dikkate alınmaktadır. Ayrıca, hizmet düzeylerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır [8], [9]. Birimi bütün araçların ortalaması alınarak saniye/kilometre olarak hesaplanmaktadır.

Ortalama hız, sistemi terk eden bütün araçların kat ettikleri yol boyunca sahip oldukları ortalama hızların toplamda ortalamasıdır. Birimi kilometre/saat olarak hesaplanmaktadır.

Durma sayısı, kavşak boyunca hareket eden bütün araçların toplam dur-kalk sayısının araç başına ortalaması değeridir. Birimi adet olarak hesaplanmaktadır.

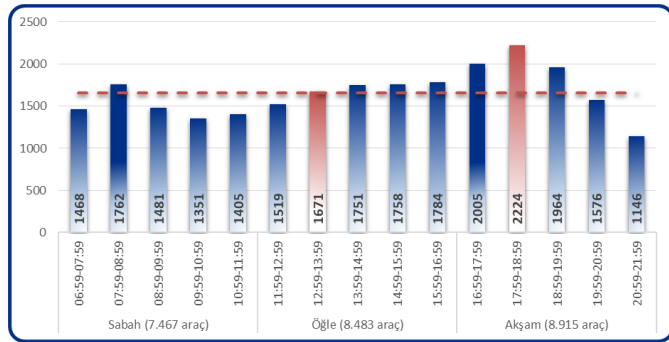
## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Tekirdağ il sınırları içerisinde bulunan Atatürk Bulvarı - Şinasi Kurşun Caddesi kesişimindeki Santral Kavşağı için sabit süreli sinyalizasyon sistemi ve tam trafik uyarımlı

sinyalizasyon sisteminin ayrı ayrı Aimsun Trafik Modelleme ve Simülasyon Programı aracılığı ile performans analizleri yapılmış, bu yöntemler detaylandırılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılıp yorumlanarak ortaya konulmuştur.

Aimsun programı kullanılarak anlık sinyalizasyon verileri ve anlık trafik verileri eşleştirilmiş; modellenen kavşak çizimi üzerinde bu veriler kullanılarak çalışmanın sonuçları elde edilmiştir. Modellemesi yapılacak verilerin elde edilmesi için Santral Kavşağı'na kurulan tam trafik uyarımlı sistemden alınan gerçek zamanlı değişken sinyalizasyon süreleri; saat 00:00 ile 23:59 arasında kayıtlar içerisinde yoğunluğun olduğu akşam zirve ve öğlen zirve dışı saatlerinden 1'er saatlik kısmı seçilmiş ve kullanılmıştır.

Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi sisteminden temin edilen ve hafta içi bir güne tekabül eden 04.01.2023 tarihinde alınan sayımlar kullanılmıştır. Simülasyonları yapılacak veriler, akşam zirve saati 17:59 ile 18:59 arası ve öğle zirve dışı saati 12:59 ile 13:59 arası seçilmiştir.



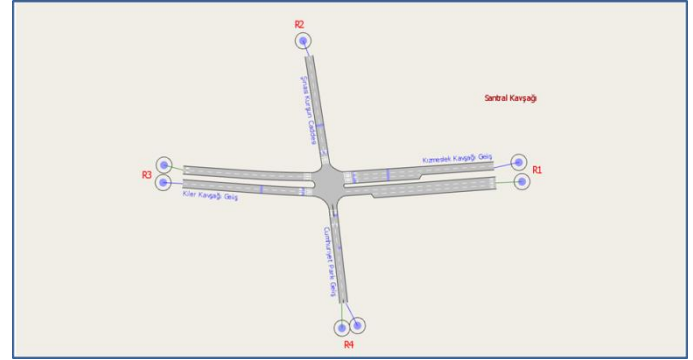
Şekil 1. Santral Kavşağı'na ilişkin gün aralıklarına göre taşıt dağılımı

#### A. Kavşak Geometrisi Modeli

Santral Kavşağı bu çalışma dâhilinde modellenmiştir. Aimsun modeli oluşturulurken çok sayıda parametre girişi ve model çizim çalışması yapılmıştır. Aimsun modeli kapsamında trafik sıkışıklığını etkileyen yol genişliği, şerit sayıları, dönüş şeritleri, şerit ve yol kapasitesi, hız sınırları, sinyalizasyon yerleşimi gibi girdiler kullanılmıştır.

Araçların sürüş modelinin belirlenmesi için sürücü agresiflik katsayısı, sürücü tepki süresi, şerit

uyumluluk seviyesi ve benzeri parametrelerin optimizasyon süreci kavşakta yapılan gözlemler doğrultusunda kalibre edilmiştir. Bu süreçte kavşağın akım yönlerinin ve yoğunluklarının gözle takibi yapılmış, bu zaman aralıklarında gözle sayımlar ile bu bilgi zenginleştirilmiş ve bu sayımlar Aimsun'a aktararak gözle takibi yapılan yoğunlukların simülasyon programında eşleştiği teyit edilene kadar trafik modelleri düzenlenmiştir.



Şekil 2. Santral Kavşağı'nın geometrik yapısının modeli

#### B. Kavşak Kontrol Modelleri

Sinyalize kavşaklar için sabit süreli ve tam uyarımlı kontrol modelleri bulunmaktadır. Bu modeller aşağıda detaylandırılmıştır.

- Sabit süreli sinyalizasyon sistemi

Karşılaştırması yapılmış olan sabit süreli sinyalizasyon için, Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi'nden alınan sinyal süreleri kullanılmıştır. Bu sinyal süreleri, Tablo 1'de gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere Santral Kavşağı'nın sabit süreli sinyalizasyon planı 4 faz ile çalışmaktadır. Kavşaktaki toplam geçiş süresi 7 saniyedir. Toplam geçiş süresi; sarı, kırmızı koruma ve kırmızı sürelerinden oluşmaktadır.



Şekil 3. Santral Kavşağı'nın krokisi

Tablo 1. Santral Kavşağı'nın sabit süreli sinyalizasyon süreleri

Faz	Sinyal Grubu	Sabit Süre (sn)
Q5	Gr 1	30
Q7	Gr 2	18
Q9	Gr 3	30
Q10	Gr 4	20

- Tam trafik uyarımlı sinyalizasyon sistemi

Tam trafik uyarımlı sinyalizasyon sistemi modeli, anlık olarak değişen sinyalizasyon ve çevrim süreleri üzerine kuruludur. Kararlar aynı faz içinde her saniyede güncellenir. Aimsun simülasyonunda sinyalizasyonun tanımlanması için öncelikle ilgili sinyal grupları modellere eklenmiştir. Sinyalizasyon verilerinin girişi yapılırken Aimsun yazılımının ihtiyaç duyduğu Aktif Akış Yönü, Yeşil Işık Başlangıç Anı, Yeşil Işık Süresi, Koruma Süresi, Toplam Faz Süresi bütün akış yönleri için 1'er saatlik dilimlerde simülasyon programına beslenmiştir. Kavşak koruma süresi 7 saniyedir.

Tablo 2'de kavşağın Aimsun simülasyonunda kullanılan minimum ve maksimum süreleri gösterilmektedir.

Tablo 2. Santral Kavşağı'nın minimum ve maksimum süreleri

Faz	Minimum Süre (sn)	Maksimum Süre (sn)
Q5	10	45
Q7	10	35
Q9	10	45
Q10	10	35

### C. Kavşak Trafik Modeli

Aimsun simülasyonunda kullanılan trafik verileri, Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi sisteminden alınan bir saatlik kümülatif araç sayım verilerine dayandırılmış ve bu araçlar simülasyona yine bir saatlik zaman aralıklarına eşit şekilde dağıtılarak beslenmiştir.

Araçların kavşak bölgesinde girişlerinin gerçekçi olması adına araçlar arası mesafe ve süreler belirli bir minimum ve maksimum değerleri arasında üstel olarak değişmektedir. Aimsun simülasyonunda kullanılan trafik model verileri; araçların geliş yönleri, araçların kavşaktan çıkış yönleri, toplam araç sayıları ve araç sınıflarıdır.

Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi veri tabanında mevcut olan trafik verisi, bu bir saatlik zaman aralıklarında araçların kavşakta kullandığı rotaya göre (kavşağa giriş yönü - kavşaktan çıkış yönüne göre) gruplamakta, gruplama işleminin yanı sıra bu araçları motosiklet/bisiklet, otomobil, hafif ticari araç/kamyonet ve kamyon/otobüs olarak dört farklı sınıfa ayırmaktadır.

04.01.2023 tarihinde 12:59-13:59 ve 17:59-18:59 saatleri arasında Atatürk Bulvarı ile Şinasi Kurşun Caddesi kesişiminde yer alan Santral Kavşağı'na giren araçlar ve bu araçların sınıflandırılmış sayıları Tablo 3'de listelenmiştir. İlgili saatler içerisinde Santral Kavşağı'nda;

- Motosiklet/ Bisiklet sınıfındaki araçlar toplam trafiğin % 12,81'ini,
- Otomobil sınıfındaki araçlar toplam trafiğinin % 70,98'in,
- Hafif Ticari Araç/Kamyonet sınıfındaki araçlar toplam trafiğinin % 8,03'ünü,
- Kamyon/Otobüs sınıfındaki araçlar toplam trafiğinin % 8,18'sini oluşturmaktadır.

Tablo 3. Santral Kavşağı 1 saatlik ve günlük toplam araç sayımları

Araç Sınıfı	12:59-13:59 Saat Aralığı Araç Sayısı	17:59-18:59 Saat Aralığı Araç Sayısı	00:00-23:59 Saat Aralığı Araç Sayısı
Motosiklet/Bisiklet	214	285	3.785
Otomobil	1.186	1.579	20.977
Hafif Ticari Araç/Kamyonet	134	178	2.373
Kamyon/Otobüs	137	182	2.417
<b>Toplam Araç</b>	<b>1.671</b>	<b>2.224</b>	<b>29.552</b>

Tablo 4 ve Tablo 5'te Santral Kavşağı'nın 04.01.2023 tarihinde 12:59-13:59 ve 17:59-18:59 saatleri arasındaki yön yön toplam araç sayım verileri ayrı ayrı gösterilmektedir. Kavşak

modellerine araç trafiğinin atanmasında, bir saatlik bu kümülatif giriş varış sayımları matrisleri kullanılmaktadır.

Tablo 4. Santral Kavşağı'nın 12:59-13:59 aralığındaki giriş-varış yönündeki araç adet sayımı tablosu

Yön İsmi	Yön ismi	Kız Meslek Geliş (R1)	Kiler Kav. Geliş (R3)	Cumhuriyet Parkı Geliş (R4)	Toplam Araç
Kız Meslek Geliş (R1)	Route 1	5	365	125	495
Şinasi Kurşun Geliş (R2)	Route 2	142	69	180	391
Kiler Kav. Geliş (R3)	Route 3	398	2	68	468
Cumhuriyet Parkı Geliş (R4)	Route 4	98	217	2	317
<b>Toplam</b>		<b>643</b>	<b>653</b>	<b>375</b>	<b>1.671</b>

Tablo 5. Santral Kavşağı'nın 17:59-18:59 aralığındaki giriş-varış yönündeki araç adet sayımı tablosu

Yön İsmi	Yön ismi	Kız Meslek Geliş (R1)	Kiler Kav. Geliş (R3)	Cumhuriyet Parkı Geliş (R4)	Toplam Araç
Kız Meslek Geliş (R1)	Route 1	10	499	206	715
Şinasi Kurşun Geliş (R2)	Route 2	205	105	228	538
Kiler Kav. Geliş (R3)	Route 3	524	4	135	663
Cumhuriyet Parkı Geliş (R4)	Route 4	95	211	2	308
<b>Toplam</b>		<b>834</b>	<b>819</b>	<b>571</b>	<b>2.224</b>

### III. BULGULAR

Bu çalışmada Aimsun simülasyonunda kullanılan parametreler aşağıda sıralanmıştır.

Simülasyon parametreleri;

- Simülasyonlar, kavşağın akşam zirve ve öğle zirve dışı saatlerinde yapılmıştır.

- Kavşak kollarında doğan taşıt sayıları hem sabit süreli sinyalizasyon sistemi hem de tam trafik uyarımlı sinyalizasyon sistemi simülasyonları içinde aynı olacak şekilde girilmiştir.

- Simülasyonlarda, 4 farklı araç sınıfı kullanılmıştır.

- Simülasyonlara yaya fazı dahil edilmemiştir.

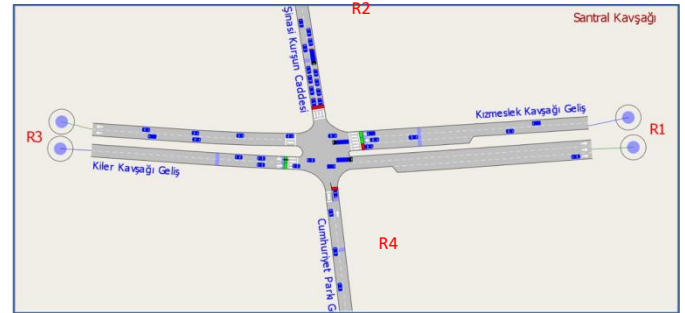
- Kavşakta birleşen yolların eğimleri sıfır kabul edilmiştir.

- Simülasyonlarda, taşıtların kavşağa giriş hızları kademeli olarak azaltılmıştır.

- Kavşaktaki gözle görülür parklanmalar simülasyona dahil edilmiştir.

- Kavşak yaklaşım kollarındaki şerit genişliği 3 metre alınmıştır.

Elde edilen tüm veriler ile Santral Kavşağı'nın simülasyon modeli mikro ölçekte analiz edilmiştir. Aimsun modelinin detaylı analizi ile hesaplanan, kavşağın sabit süreli sinyalizasyon sistemi ile tam trafik uyarımlı sinyalizasyon sisteminin karşılaştırılması sonucu elde edilen iyileşme değerleri ortaya konulmuştur.



Şekil 4. Santral Kavşağı örnek Aimsun mikrosimülasyon çalışması görüntüsü

Santral Kavşağı'nın sabit süreli sinyalizasyon sistemi ile tam trafik uyarımlı sinyalizasyon sisteminin karşılaştırılması doğrultusunda yapılan çalışmada, öğle zirve dışı ve akşam zirve saatlerde elde edilen gecikme (km/sn), ortalama hız (km/s) ve durma sayılarında (adet); kavşaktaki trafik yoğunluğuna ve akımlarına bağlı olarak değişen iyileşme değerleri elde edilmiştir.

Tablo 6. Santral Kavşağı'na ilişkin analiz sonuçlarından elde edilen değerler

Araç Sayısı	Zaman Aralığı	Sinyalizasyon Yöntemi	Gecikme (sn/km)	Ortalama Hız (km/s)	Durma Sayısı (adet)
2.224	Akşam (17:59-18:59)	Sabit Süreli	323,3	9,5	2330
		Tam Trafik Uyarımalı	241,2	11,4	1886
1.671	Öğle (12:59-13:59)	Sabit Süreli	279,93	10,05	2027
		Tam Trafik Uyarımalı	195,79	13,53	1378

#### IV. TARTIŞMA

Santral Kavşağı'na ilişkin sabit süreli sinyalizasyon sistemi simülasyonlarında özellikle kavşağın Cumhuriyet Parkı geliş kolunda kuyruklanma gözlemlenmiştir. Yapılan simülasyonlar sonucunda, sabit süreli sinyalizasyon sistemine göre tam trafik uyarımalı sinyalizasyon sistemine ait süreler trafik yoğunluğuna bağlı değişken olduğu için kollardaki kuyruklanmanın azaldığı gözlemlenmiştir. Sabit sürelerin kollardaki araçları boşaltmada yetersiz olduğu söylenebilmektedir.

Kavşaktaki yoğunluğa ve akıma bağlı olarak, tam trafik uyarımalı sinyalizasyon sistemine ait minimum-maksimum sürelerin, kollardaki araçları boşaltabilmedeki optimal etkisi öğle zirve dışı saatlerde gözlemlenmiştir. Dolayısıyla öğle zirve dışı saatlerde elde edilen iyileşme oranlarının akşam zirve saatlerde elde edilen iyileşme oranlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda, tam trafik uyarımalı sinyalizasyon sistemi, Santral Kavşağı'ndaki trafiği olumlu yönde etkilediği söylenebilmektedir.

Santral Kavşağı'nın tam trafik uyarımalı sinyalizasyon sistemi ile işletilmesinin temel fayda alanı olan gecikme, durma sayısı ve ortalama hız performans ölçütlerinin iyileşmeleri yoluyla operasyonel bir verimlilik elde edilmiştir. Böylelikle, Santral Kavşağı'nda yıllık bazda yakıt tüketiminde ve gaz emisyonlarında azalma sağlanacağı söylenebilmektedir [10], [11], [12].

#### V. SONUÇLAR

Santral Kavşağı'na ait sabit süreli sinyalizasyon sistemi ile tam trafik uyarımalı sinyalizasyon sistemi karşılaştırılması sonucunda;

- Öğle zirve dışı saat aralığına ait (12:59-13:59) gecikmelerde %30,06, toplam durma sayısında %32,02 azalma; ortalama hızda %34,63 artış,
- Akşam zirve saat aralığına ait (17:59-18:59) gecikmelerde %25,39, toplam durma sayısında %19,06 azalma; ortalama hızda ise %20 artış gözlemlenmiştir.

Tablo 7. Santral Kavşağı iyileşme oranları

Karşılaştırılan Parametreler	İyileşme Oranları		Ortalama İyileşme Oranı
	12:59-13:59 saat aralığı	17:59-18:59 saat aralığı	
<b>Gecikmeler</b>	%30,06	%25,39	%27,72
<b>Ortalama Hız</b>	%34,63	%20	%27,31
<b>Durma Sayısı</b>	%32,02	%19,06	%25,54

#### TEŞEKKÜR

Araştırma uygulama aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve veri sağlayan Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi'ne, araştırma her aşamasında yardımlarını esirgemeyen Ayşenur BATİBEYİ'ye teşekkürlerimi borç bilirim.

#### KAYNAKLAR

- [1] Baş, F. İ., Çolak, M. A., Demiriz, A. O., Bayata, H. F., Bayrak, O. Ü., Keleş, Ö. F., Mazlum, Y., Gürel, M. O. ve Demircioğlu, "Kentçi kavşakların mikrosimülasyon yöntemiyle modellenmesi: Erzurum ili örneği," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, özel sayı, 444-451, 2020.
- [2] Casas, J., Ferrer, J.L., Garcia, D., Perarnau, J., Torday, A., "Traffic simulation with Aimsun. In: Barceló, J. (eds) fundamentals of traffic simulation," *International Series in Operations Research & Management Science*, vol 145, Springer, New York, 2010.
- [3] Güven, A. C., "Akıllı ulaşım sistemleri üzerine bir sistematik literatür taraması," Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2019.
- [4] Barceló, J., Codina, E., Casas, J., Ferrer, J.L., Garcia, D., "Microscopic traffic simulation: A tool for the

- design, analysis and evaluation of intelligent transport systems,” *J Intell Robot Syst* 41, 173–203, 2005.
- [5] Gülsün, B. ve Gonca, C. K., “Adaptif trafik yönetiim sistemleri,” *OHS Academy*, 2 (1), 32-40, 2019.
- [6] Lilhore, U.K.; Imoize, A.L.; Li, C.-T., Simaiya, S., Pani, S.K., Goyal, N., Kumar, A., Lee, C.-C., “Design and implementation of an ML and IoT based adaptive traffic-management system for smart cities,” *Sensors* 2022, 22, 2908, 2022.
- [7] Arıkan Öztürk, E. ve Balaban, S., “Tam trafik uyarmalı sinyalizasyon sisteminde gecikmede sağlanan iyileşmeler,” *Kent Akademisi*, 15 (2), 564-577, 2022.
- [8] Yetiş Ş.M. ve Çakıcı, Z., “Sinyalize kavşaklarda durma gecikmesi ve kontrol gecikmesi arasındaki ilişkinin incelenmesi,” *12. Ulaştırma Kongresi*, Adana, Türkiye, 24-26 Mayıs 2017.
- [9] Başkan, Ö., “İzole sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [10] U.S. Environmental Protection Agency, Office of Transportation and Air Quality, “Estimated U.S. average vehicle emission rates per vehicle by type using gasoline and diesel,” April 30, 2021.
- [11] U.S. Environmental Protection Agency, Office of Transportation and Air Quality, “Average annual and fuel consumption for gasoline fueled passenger cars and light trucks,” October, 2008.
- [12] Stevanovic A., Kergaye C, Stevanovic J., “Environmental benefits of an adaptive traffic control system: assessment of fuel consumption and vehicular emissions,” *Transportation Research Board Annual Meeting 2012*, 12-0749, 2011.