

## Araştırma Makalesi

# Bisiklet Trafiği Artışının Kavşak Performansına Etkisinin Simülasyon Yöntemi ile Değerlendirilmesi

\*<sup>1</sup>Abdurrahman KORKMAZ, <sup>2</sup>Abdulkadir ÖZDEN

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Keşap MYO, İnşaat Teknolojisi, Giresun, Türkiye, abdurrahman.korkmaz@giresun.edu.tr,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0684-2941>

<sup>2</sup>Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya, Türkiye,  
aozden@subu.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3657-890X>

Geliş: 10.03.2025;

Kabul: 05.11.2025

## Öz

Sürdürülebilir ulaşım, fosil yakıtlı özel araçlar yerine toplu taşıma ve mikrohareketlilik araçlarının kullanımını teşvik ederek hava kirliliği, gürültü, emisyon salınımı ve ekonomik kayıpların azaltılmasını hedeflemektedir. Son yıllarda, özellikle bisiklet gibi çevreci ulaşım araçlarına yönelik ilginin artması, bu hareketlilik türlerinin mevcut trafik akışı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesini gerekli kılmıştır. Bu çalışmada, Sakarya şehir merkezinde birbiriyle bağlantılı dört kavşaktan biri olan Serdivan Kavşağı'nda bisiklet trafiğindeki artışın motorlu araç trafiğine etkileri, mikrosimülasyon programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, sabah zirve saatlerinde bisiklet sayısındaki artışın trafik akışı üzerinde belirli ölçüde etkili olduğunu; ancak anlamlı performans değişimlerinin ancak bisiklet sayısının mevcut düzeyin 5 katına ulaşmasıyla gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Akşam zirve saatlerinde ise benzer etkilerin, bisiklet trafiğinin yalnızca 2 kat artması durumunda ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu çalışma, yerel yönetimlerin bisiklet kullanımındaki artışın trafik performansına olası etkilerini değerlendirebilmek adına örnek bir model sunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Sürdürülebilir Kentsel Ulaşım, Bisiklet Trafiği, Mikrosimülasyon, Benzetim Yöntemleri

\*Bu yayın Abdurrahman KORKMAZ isimli öğrencinin Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsündeki Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

\*\*Sorumlu yazar

Bu makaleye atıf yapmak için

Korkmaz, A., & Özden, A. (2025). Bisiklet Trafiği Artışının Kavşak Performansına Etkisinin Simülasyon Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 7(2), 155-183. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1655189>

## Evaluating the Effect of Bicycle Traffic Increase on Intersection Performance by Simulation Methods

### Abstract

---

Sustainable transportation aims to reduce air pollution, noise, emissions, and economic losses by encouraging public transportation and micro-mobility vehicles instead of fossil-fueled private cars. In recent years, the growing interest in sustainable transportation modes such as bicycles has necessitated examining the impact of these mobility types on the current traffic flow. In this study, the effects of the increase in bicycle usage on vehicle traffic at the Serdivan Intersection, one of the four interconnected intersections in the Sakarya city center, were analyzed using the PTV VISSIM microsimulation software. The results showed that the increase in the number of bicycles during the morning hours affected traffic, but significant changes were observed when the number of bicycles increased fivefold. In the evening peak hours, this effect was observed at lower increase levels when bicycle traffic doubled. This study provides a practical framework for local governments to evaluate how the increase in vehicles such as bicycles can impact traffic flow and environmental effects in line with sustainable transportation goals.

**Keywords:** Sustainable Urban Transportation, Bicycle Traffic, Microsimulation, Simulation Methods

## 1. Giriş

Kentleşmenin ve sanayileşmenin artması, şehir içi yaşam alanlarının daralmasına ve ulaşım ağlarının yoğun talebe cevap verememesine yol açmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2021 yılı verilerine göre, Türkiye'nin nüfusu 84,7 milyona ulaşmış ve nüfusun %93,2'si şehirlerde yaşamaktadır (TÜİK, 2022). Kırsaldan kentsel alanlara göç, 21. yüzyılda hızlanmış ve kentsel hareketlilik kavramı önem kazanmıştır. Artan nüfus, araç sahipliği ve toplumun daha hareketli yaşam tarzları, kentsel ulaşım ağlarını zorlamaktadır. Ulaşım sorunları arasında trafik sıkışıklığı, ekonomik kayıplar, gürültü ve çevre kirliliği yer almakta olup, sürdürülebilir ulaşım politikaları bu problemlerin çözümü için önemli bir yaklaşım sunmaktadır.

Sürdürülebilir ulaşımında temel hedef, fosil yakıtlı bireysel araç kullanımını azaltıp toplu taşıma ve motorsuz ulaşım türlerinin payını artırmaktır (Cirit, 2014). Çevresel sürdürülebilirlik açısından Türkiye, 2030'a kadar sera gazı salınımını %21'e, 2053'e kadar ise nõtüre indirgeme hedefini benimsemiş, enerji verimliliği ve zaman kaybını azaltacak ulaşım sistemleri oluşturulması hedeflemiştir (Eryiğit, 2012). Sosyal boyutta ise, adil ve erişilebilir ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Coşkun ve Esin, 2017).

Bu hedeflere ulaşabilmek için, mikrohareketlilik araçları arasında en yaygın kullanılan bisiklet ulaşımı, kısa ve orta mesafeli ulaşımında önemli bir

seçenek olarak öne çıkmaktadır. Türkiye'nin 11. Kalkınma Planı'na göre, mevcut bisiklet yolları uzunluğunun artırılması ve raylı sistem ağının genişletilmesi hedeflenmektedir. Mikrohareketlilik araçlarının kullanımının yaygınlaştırılması ile bireysel araçların yerini daha çevreci çözümler alabilir (Cabirolu ve Özden, 2021; Özden ve Kurtuluş Kün, 2024).

McKinsey'e göre, mikrohareketlilik pazarı 2030'a kadar 500 milyar dolarlık bir hacme ulaşacaktır (Heineke vd., 2019). Bu araçlar, kısa mesafeli yolculuklarda emisyon azaltımı sağlamak ve şehir içi trafiği hafifletmektedir (Neves ve Brand, 2019). Mikrohareketlilik, sadece çevresel değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal faydalar da sunmaktadır; toplu taşıma sistemlerinin daha verimli hale gelmesine yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda toplumda ulaşımın eşit bir şekilde dağıtılmasına da katkı sağlar. Ancak, bu araçların mevcut ulaşım sistemlerine entegrasyonu, kavşaklarda ve trafik akışında önemli değişikliklere neden olabilmektedir. Geliştirilen bisiklet altyapıları ve mikrohareketlilik araçlarının sayısındaki artış, trafik akışını doğrudan etkilemektedir (Wierbos vd., 2020). VISSIM gibi trafik simülasyon yazılımları, bu olası değişiklikleri modelleyerek olası etkilerin değerlendirilmesine (Bahmankhah vd., 2019) ve daha güvenli ve verimli trafik düzenlemeleri yapılmasına olanak tanımaktadır (Mok vd., 2013).

Literatürde, kavşak performansını etkileyen trafik faktörlerine yönelik

çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Özellikle motorlu araç trafiği üzerinde yapılan araştırmalar, kavşaklardaki gecikme süreleri, kuyruk uzunlukları ve emisyon değerlerinin trafik performansı açısından kritik göstergeler olduğunu ortaya koymuştur. Mevcut trafik sistemlerine bisikletlerin entegrasyonu son yıllarda artan bir önem kazanmış olsa da bu çalışmaların önemli bir kısmı güvenlik bağlamında değerlendirmelerde bulunmuş olup, kavşak performansına etkisi sınırlı sayıda çalışmada ele alınmıştır.

Bahmankhah, Fernandes ve Coelho (2019)'nın çalışmalarında, bisiklet hareketliliği için uygun altyapıların planlanması ile artan bisiklet kullanımının mevcut trafik hareketliliğinin de etkinliğini artıracığı vurgulanmıştır. Al-Ghandour (2016), güvenli bisiklet yollarının bisiklet kullanıcılarının davranışlarını ve güvenliğini önemli ölçüde etkilediğini ifade ederken Kondo, Morrison, Guerra, Kaufman ve Wiebe (2018), ayrılmış bisiklet yollarının kavşaklardaki kaza riskini de önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir.

Dönel kavşaklarda ise, araç sürücülerinin dönel kavşak kullanımı ile ilgili bilgi ve tecrübelerinin tüm kullanıcılar yanında bisiklet ve yaya hareketliliğindeki kaza riskini de önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir (Clark ve Mayhorn, 2022). Benzer bir vurgu Hollenstein, Hess, Jordan ve Bleisch (2019) çalışmalarında görülmekle birlikte, bu riskin değerlendirilmesinde dönel kavşak tasarımının (ada yarıcağı, yaklaşım kollarının sayısı ve bağlantı

açıları, vb.) etkisi de önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Bu riskin birden fazla şeritli dönel kavşaklarda daha yüksek olduğu da ayrıca dikkat çekmektedir (Vignali vd., 2016). Ancak, bisiklet kullanımındaki artışın sürekliliği ve yaygınlaşması, araç sürücülerinde farkındalığı artıracığı beklenmekte olup kavşak güvenliğine olumlu etki ettiği de önemli bir bulgu olarak değerlendirilmelidir (Daniels vd., 2010).

Planlama bakış açısı üzerine yapılan değerlendirmelerde ise, bisiklet yollarının ve hareketliliğinin bulunduğu kent içi kavşaklarda bisiklet hizmet düzeyinin de dikkate alınması ve sadece araç hareketliliğini iyileştiren yaklaşımlardan kaçınılması gerektiği vurgulanmıştır (Beura ve Bhuyan, 2018). Tümleyici bu yaklaşımın uygulanmasında ise ancak kavşaklarda bisiklet yollarının varlığı ve yerel araç hareketliliği davranışlarının dikkate alınmasının kavşak performansına olumlu katkı sunabileceği ifade edilmiştir (Chen, 2015).

Kalyoncuoğlu (2017), bir bisiklet yol ağının toplu taşıma ile entegrasyonunu sağlayarak bisiklet ulaşımını teşvik etmeyi ve bisikletliler için ilave faz sürelerinin etkilerini değerlendirmiş, Grigoropoulos, Hosseini, Keler, Kathis, Spangler, Busch ve Bogenberger (2021) ise bisiklet trafiğinin araç trafiği üzerindeki etkilerini incelemiş ve bisiklet yollarının doğru planlanmaması durumunda kavşaklarda ciddi trafik sıkışıklıklarının meydana gelebileceğini belirtmiştir. Çalışmaların ortak noktası, bisiklet ve motorlu taşıtların

kavşaklarda güvenli bir şekilde entegrasyonunun sağlanmasının zorluklarına dikkat çekmesidir.

Literatürde bisiklet trafiğinin kavşak performansına etkisi farklı senaryolar altında ele alınmaktadır. Saphioğlu ve Aydın (2018), bisiklet kullanımındaki büyümenin özellikle kavşaklar gibi kesişim noktalarında güvenlik ve etkinlik sorunlarını öne çıkardığını; kaza eğilimli alanların en belirleyici ölçüt, trafik kapasitesinin ise güzergâh seçimini etkileyen önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde Preston ve Pulugurtha (2021), korumalı kavşak tasarımını VISSIM ile test ederek %0–15 arası bisiklet oranlarında performans ve güvenlik etkilerini incelemiştir. Ni, Makridis ve Kouvelas (2023) ise bisiklet akım özelliklerini mikrosimülasyon temelli makroskopik diyagramlarla incelemiş, bisiklet talebinin %50'ye varan oranlarda arttığı varsayımsal senaryolarda bisiklet yollarının kapasite sınırlarının ortaya çıktığını ve darboğaz noktalarında akış düşüşlerinin görülebildiğini vurgulamıştır. Ayrıca literatürde, artış oranlarının sadece kısa vadeli mevcut koşulları değil, aynı zamanda uzun vadeli vizyon ve politika senaryolarını temsil etmek amacıyla da kullanıldığı görülmektedir (Ni vd., 2023; Preston ve Pulugurtha, 2021).

Bu çalışma, bisiklet trafiğindeki artışın araç trafiği üzerindeki etkilerini kavşak performans kriterleri açısından inceleyerek literatüre özgün bir katkı sunmaktadır. Mevcut araştırmalar genellikle bisiklet altyapısının güvenlik ve sürdürülebilirlik boyutlarına

odaklanırken, bu çalışma doğrudan bisiklet trafiğinin motorlu taşıt trafiği üzerindeki operasyonel etkilerini mikrosimülasyon tabanlı analizlerle değerlendirmektedir. Sakarya'nın Serdivan ilçesinde, merkezi iş alanı bölgesindeki üç sinyalizasyon olmayan dönel kavşak ve bir kontrolsüz dört kollu kavşakta, bisiklet trafiğinde kademeli bir artış senaryosu modellenerek, araç trafiğindeki gecikme, yavaşlama ve akış üzerindeki etkileri detaylı şekilde ortaya konmuştur. Çalışma, yerel yönetimlere bisiklet trafiğini izleme ve yönetme konusunda proaktif çözümler sunmayı amaçlamakta, böylece kentsel ulaşım politikalarının daha veri odaklı şekillendirilmesine katkı sağlamaktadır.

## **2. Materyal ve Yöntem**

Bu çalışmada, Sakarya'nın yaya ve bisiklet hareketliliğinin son yıllarda artmaya başladığı, Mehmet Akif Ersoy Caddesi, 2. Cadde ve Çark Caddesinin kesişimi olan, alışveriş merkezlerinin ve ticari işletme hareketliliğinin yoğun olduğu bir bölgede kurgulanmıştır.

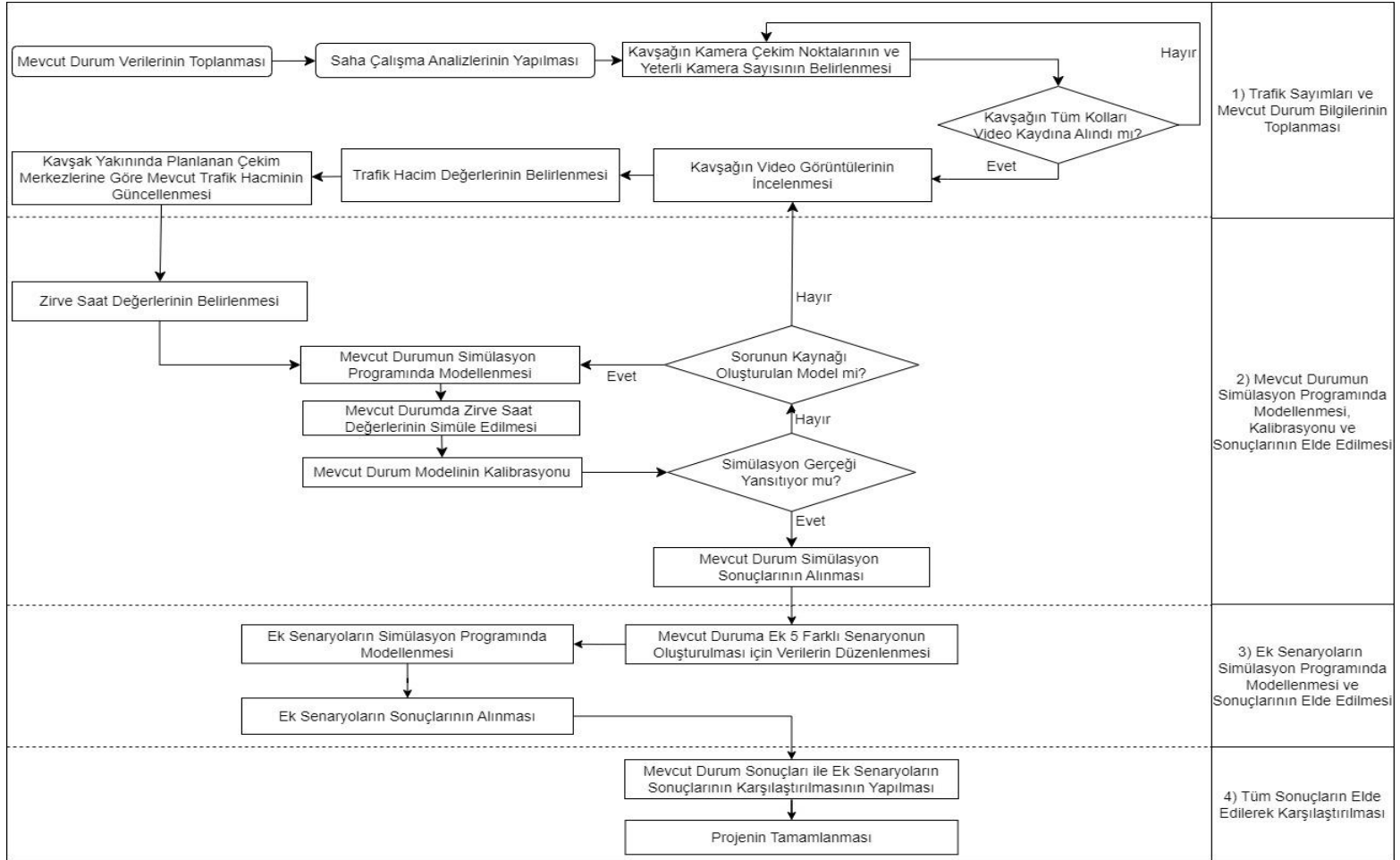
Çalışmada PTV VISSIM benzetim programı kullanılmıştır. Yapılan literatür araştırmaları doğrultusunda simülasyon programları arasında sürücü karakteristikleri, sinyalizasyon sistemleri, trafik durumu, taşıt takip ve sollama modelleri gibi kriterleri gerçeğe uygun şekilde yansıttığı için bu program tercih edilmiştir (Al-Ahmadi vd., 2019; Song vd., 2020; Vu ve Preston, 2022). Bilgisayar ortamında modellemeye başlamadan önce, çalışma alanına ait mevcut durum verileri saha gözlemleri ile elde edilmiştir. Bu verilerin

programda en doğru şekilde kullanılabilmesi için optimizasyon işlemi uygulanmış, ardından trafik ağı modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Simülasyonun mevcut durumu yansıtabilmesi için modelin sonuçlarının gerçek verilerle uyumlu olması hedeflenerek sistem kalibrasyonu yapılmıştır. Veri alınımı ve analizini gösteren iş akış şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.

Çalışma alanı olarak Uluslararası Bisiklet Birliği (UCI) tarafından “Bisiklet Dostu Şehri” unvanına sahip Sakarya ili seçilmiştir. Sakarya, bisiklet ulaşımına uygun coğrafi yapısı ve mevcut 150 km’lik bisiklet yolu ağıyla ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda, çalışma alanı olarak Serdivan ilçesindeki üniversite, alışveriş merkezleri, şehir merkezi, belediye binası ve okullar gibi önemli cazibe merkezlerine yakın olan ve birbiriyle bağlantılı dört önemli kavşak seçilmiştir: Serdivan, Sapak, Belediye ve Vatan Kavşakları. Bu kavşakların seçilme nedeni, bölgenin hem üniversite öğrencileri hem de yerel halk tarafından yoğun kullanım potansiyeline sahip olması, araç trafiği ve yaya hareketliliğinin bir arada bulunması, ayrıca bisiklet kullanımına imkân tanıyan geniş cadde dokusuna sahip olmasıdır. Mevcut bisiklet altyapısının bu bölgede hâlihazırda var olması ve hareketlilik sağlaması önemli bir avantaj olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, bisiklet yollarının sürekliliği ve doğrudanlığının tam anlamıyla sağlanamaması sebebiyle bisiklet kullanımının istenilen seviyede olmadığı göz önünde bulundurulmuştur.

Kavşaklarda gerçekleştirilen veri toplama çalışmaları, bisiklet ve motorlu taşıt sayımlarını içermektedir. Kavşakların genel krokisi Şekil 3’te gösterilmiştir. Toplanan veriler, simülasyon analizleri için kullanılmıştır. Analizlerde, mevcut duruma ek olarak farklı bisiklet trafiği artış senaryoları (örneğin, %100, %200, %500 artış) değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, Sakarya’nın bisikleti teşvik eden politikalarının yanı sıra, bölgede artan yaya ve bisiklet hareketliliğinin kavşak performansı üzerindeki etkisini incelemektir. Verilerin simülasyon programına aktarılmasıyla ortalama hız (km/sa), gecikme (sn/ta), kuyruk uzunluğu (m), trafik hacmi (ta/sa), hizmet düzeyi (LOS), emisyon değerleri (CO, NO<sub>x</sub>, VOC) ve yakıt tüketimi (L) gibi trafik performans göstergeleri analiz edilmiştir.

Çalışmada senaryoların trafik performansı ve çevresel göstergeler üzerindeki etkilerini karşılaştırmak amacıyla tek yönlü ANOVA uygulanmıştır. Analizlerde öncelikle normallik ve varyans homojenliği varsayımları test edilmiştir. Senaryo karşılaştırmalarında çalışmanın amacına uygun olarak mevcut durumun (Senaryo 0) diğer senaryolarla farkları değerlendirilmiş ve anlamlılık düzeyleri  $p<0,05$ ,  $p<0,01$  ve  $p<0,001$  eşiklerine göre raporlanmıştır. Bu yöntemsel yaklaşım, bisiklet kullanımındaki artış senaryolarının mevcut trafik koşullarına etkilerini istatistiksel olarak ortaya koymayı amaçlamaktadır.



Şekil 1. İş akışı diyagramı.



Şekil 2. İncelenen kavşaklarda örnek bisiklet yolu altyapısı (Sapak Cami Kavşağı).



Şekil 3. Çalışma alanı ve seçilen kavşakların yerleşim görüntüsü.



## 2.1. Verilerin alınması

Kavşaklarda trafiğin ve kaldırımların net bir şekilde görülebildiği açılar belirlenmiş ve trafik yoğunluğunu analiz etmek için kamera çekimleri yapılmıştır. Hafta içi ve hafta sonu olmak üzere sabah 07.00-09.00 saatleri arasında işe gidiş yoğunluğu, akşam 16.00-18.00 saatleri arasında ise işten çıkış yoğunluğu göz önünde bulundurularak sayım ve gözlemler yapılmıştır. Hafta sonu çekimleri ise genellikle alışveriş ve eğlence amaçlı trafiğin yoğunlaştığı 13.00-15.00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Ancak, elde edilen veriler incelendiğinde, hafta sonu verilerinin hafta içi akşam saatlerindeki verilere çok yakın olduğu görülmüş ve bu nedenle hesaplamalarda hafta sonu verileri dikkate alınmamıştır. Kavşaklardaki her yaklaşım kolu için motosiklet, otomobil, kamyonet,

kamyon, otobüs ve bisiklet türlerine göre araç sayımları yapılmış; bu araçların kavşağa giriş ve kavşaktan çıkış yönleri belirlenmiştir.

Veri toplama çalışmaları, sabah ve akşam saatlerinde trafiğin en yoğun olduğu zirve saatlerde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, sabah 07:00–09:00 ve akşam 16:00–18:00 saatleri arasında, her kavşakta 15'er dakikalık aralıklarla sistematik olarak gözlemler yapılmış ve araç türlerine göre sayımlar kaydedilmiştir. Elde edilen veriler üzerinden, her zaman dilimi için ortalama saatlik trafik hacimleri hesaplanarak tablolastırılmış ve analizlerde bu değerler esas alınmıştır. Sayım sonuçlarının birer örneği Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir. Yaklaşım kollarının isimlendirmeleri ise Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Kavşak yaklaşım kolları

**Tablo 1.** Serdivan kavşağı mevcut durum motorlu taşıt sayıları (ta/sa)

|       |            | 1-2 | 1-4 | 1-6 | 3-4 | 3-6 | 3-8 | 5-6 | 5-8 | 5-2 | 7-8 | 7-2 | 7-4 |
|-------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Sabah | Motosiklet | 4   | 17  | 6   | 0   | 9   | 2   | 1   | 10  | 1   | 1   | 4   | 3   |
|       | Otobüs     | 1   | 22  | 2   | 1   | 5   | 1   | 2   | 13  | 1   | 0   | 4   | 3   |
|       | Kamyon     | 2   | 8   | 0   | 0   | 1   | 5   | 2   | 7   | 1   | 1   | 1   | 2   |
|       | Otomobil   | 107 | 979 | 113 | 102 | 203 | 198 | 50  | 519 | 49  | 46  | 74  | 110 |
|       | Kamyonet   | 20  | 148 | 19  | 5   | 24  | 17  | 8   | 113 | 8   | 9   | 28  | 9   |
| Akşam | Motosiklet | 4   | 25  | 11  | 5   | 15  | 5   | 5   | 28  | 9   | 6   | 16  | 10  |
|       | Otobüs     | 0   | 9   | 0   | 0   | 4   | 1   | 1   | 9   | 1   | 0   | 3   | 2   |
|       | Kamyon     | 9   | 16  | 1   | 2   | 1   | 9   | 2   | 16  | 1   | 1   | 2   | 1   |
|       | Otomobil   | 139 | 795 | 264 | 73  | 226 | 203 | 172 | 857 | 304 | 179 | 233 | 150 |
|       | Kamyonet   | 24  | 121 | 22  | 4   | 29  | 27  | 17  | 120 | 20  | 19  | 25  | 10  |

Not: 1-2 ifadesi; 1.yaklaşım kolundan 2.yaklaşım koluna hareketi temsil etmektedir.

**Tablo 2.** Serdivan kavşağı mevcut durum bisiklet sayıları. (ta/sa)

|               |   | Sabah      |   |   |   |   |   |   |   | Akşam |   |   |   |   |   |   |   |
|---------------|---|------------|---|---|---|---|---|---|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|
|               |   | Çıkış Kolu |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |
| Yaklaşım Kolu |   | 1          | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|               | 1 | 0          | 1 | 0 | 4 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0     | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 |
|               | 2 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2     | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
|               | 3 | 0          | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0     | 0 | 0 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 |
|               | 4 | 0          | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3     | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
|               | 5 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0     | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 5 |
|               | 6 | 0          | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1     | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
|               | 7 | 0          | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1     | 5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
|               | 8 | 0          | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 2 | 0 | 1     | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 |

Makalenin amacı doğrultusunda, bisiklet sayıları için mevcut durum bisiklet trafiğine ek olarak kademeli artışın değerlendirilebileceği %50, %100, %200, %500 ve %1000 oranlarında artırılmış 5 farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu artış oranlarının belirlenmesi çoğunlukla mevcut düşük bisiklet hacimlerinin gelecekteki potansiyel gelişmeler ışığında yeniden kurgulanmasıyla ilişkilidir. Kothuri, Kading, Schope, White, Smaglik, Aguilar ve Gil (2018) tarafından

hazırlanan raporda bisiklet hacimleri toplam trafik hacmine oranlanarak senaryolar oluşturulmuş ve bu oranların %10'a kadar ulaşabileceği varsayımıyla mikrosimülasyon analizleri yapılmıştır. Benzer şekilde, Russo, Hurwitz, Kothuri, Smaglik ve Monsere (2022) tarafından yayımlanan raporda bisiklet güvenliği için kavşak iyileştirme yöntemleri incelenmiş, mutlak saatlik hacim eşiklerine dayalı rehber önerilerinin yanı sıra bisiklet ve araç hacimlerinin  $\pm\%5$ – $\%15$  oranında

değiştirildiği varsayımsal senaryolar üzerinden çatışma analizleri gerçekleştirilmiştir. Öte yandan, Lovelace, Goodman, Aldred, Berkoff, Abbas ve Woodcock (2017) tarafından geliştirilen Propensity to Cycle Tool çalışmasında ise hükümet hedefleri doğrultusunda bisiklet trafiğinin iki katına çıkması, "Hollanda Modeli" ve e-bisikletlerin yaygınlaşması senaryosunda da 10 kat gibi yüksek oranların bilimsel açıdan değerlendirilmesi ortaya konmuştur. Bu çalışmalar birlikte ele alındığında, gerek oransal (%10'a kadar) gerekse varsayımsal (%5–%15 değişim) ya da vizyoner (bisiklet yolculuklarının iki katına çıkması veya Hollanda yaklaşımında yüksek artışların gerçekleşmesi) senaryolar, yüksek oranlı artış varsayımlarının bilimsel bağlamını güçlendirmektedir.

Mevcut durumda 0 olan sayılar, %100 artışla 1 kabul edilmiş ve sonraki artışlar, senaryolara göre belirlenen artış oranlarına göre hesaplanmıştır. Örnek olarak Tablo 3'te %200 (Senaryo 3), Tablo 4'te ise %500 (Senaryo 4) bisiklet sayıları

gösterilmiştir. Her senaryo VISSIM simülasyon programında 5 kez çalıştırılmış ve ortalama sonuçlar alınmıştır. Analizlerde ortalama hız, gecikme, kuyruk uzunluğu, trafik hacmi, hizmet düzeyi, emisyon değerleri ve yakıt tüketimi gibi veriler incelenmiş ve bu veriler üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.

## 2.2. Verilerin simülasyon programına aktarılması

Elde edilen veriler doğrultusunda, VISSIM simülasyon programında öncelikle mevcut durumlar modellenmiştir. Şerit sayıları, yol genişlikleri, istikametler ve yol bağlantıları dikkate alınarak taşıt ve bisiklet yolları çizilmiş, ardından araç ve bisiklet sayıları, hızları ve güzergâh dönüş oranları simülasyona tanımlanmıştır.

**Tablo 3.** Serdivan kavşağı %200 (senaryo 3) arttırılmış bisiklet sayıları. (ta/sa)

|               |   | Sabah      |   |   |    |   |    |   |   | Akşam |    |   |   |   |   |   |    |
|---------------|---|------------|---|---|----|---|----|---|---|-------|----|---|---|---|---|---|----|
|               |   | Çıkış Kolu |   |   |    |   |    |   |   |       |    |   |   |   |   |   |    |
| Yaklaşım Kolu |   | 1          | 2 | 3 | 4  | 5 | 6  | 7 | 8 | 1     | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8  |
|               | 1 | 0          | 3 | 2 | 12 | 2 | 6  | 3 | 2 | 0     | 6  | 2 | 6 | 2 | 3 | 6 | 2  |
|               | 2 | 2          | 0 | 2 | 2  | 2 | 2  | 6 | 3 | 6     | 0  | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3  |
|               | 3 | 2          | 2 | 0 | 3  | 2 | 15 | 2 | 2 | 2     | 2  | 0 | 9 | 6 | 6 | 2 | 2  |
|               | 4 | 2          | 2 | 3 | 0  | 2 | 2  | 2 | 2 | 9     | 2  | 9 | 0 | 2 | 3 | 2 | 3  |
|               | 5 | 2          | 2 | 2 | 2  | 0 | 3  | 2 | 3 | 2     | 3  | 3 | 2 | 0 | 3 | 3 | 15 |
|               | 6 | 2          | 2 | 3 | 3  | 3 | 0  | 2 | 2 | 3     | 3  | 3 | 3 | 3 | 0 | 2 | 3  |
|               | 7 | 2          | 9 | 2 | 2  | 2 | 2  | 0 | 6 | 3     | 15 | 2 | 3 | 3 | 2 | 0 | 6  |
|               | 8 | 2          | 3 | 2 | 2  | 9 | 2  | 6 | 0 | 3     | 3  | 2 | 2 | 6 | 3 | 3 | 0  |

**Tablo 4.** Serdivan kavşağı %500 (senaryo 4) arttırılmış bisiklet sayıları. (ta/sa)

|               |   | Sabah      |    |   |    |    |    |    |    | Akşam |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------|---|------------|----|---|----|----|----|----|----|-------|----|----|----|----|----|----|----|
|               |   | Çıkış Kolu |    |   |    |    |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |
| Yaklaşım Kolu |   | 1          | 2  | 3 | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 1     | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |
|               | 1 | 0          | 6  | 5 | 24 | 5  | 12 | 6  | 5  | 0     | 12 | 5  | 12 | 5  | 6  | 12 | 5  |
|               | 2 | 5          | 0  | 5 | 5  | 5  | 5  | 12 | 6  | 12    | 0  | 5  | 5  | 5  | 6  | 6  | 6  |
|               | 3 | 5          | 5  | 0 | 6  | 5  | 30 | 5  | 5  | 5     | 5  | 0  | 18 | 12 | 12 | 5  | 5  |
|               | 4 | 5          | 5  | 6 | 0  | 5  | 5  | 5  | 5  | 18    | 5  | 18 | 0  | 5  | 6  | 5  | 6  |
|               | 5 | 5          | 5  | 5 | 5  | 0  | 6  | 5  | 6  | 5     | 6  | 6  | 5  | 0  | 6  | 6  | 30 |
|               | 6 | 5          | 5  | 6 | 6  | 6  | 0  | 5  | 5  | 6     | 6  | 6  | 6  | 6  | 0  | 5  | 6  |
|               | 7 | 5          | 18 | 5 | 5  | 5  | 5  | 0  | 12 | 6     | 30 | 5  | 6  | 6  | 5  | 0  | 12 |
|               | 8 | 5          | 6  | 5 | 5  | 18 | 5  | 12 | 0  | 6     | 6  | 5  | 5  | 12 | 6  | 6  | 0  |

Araç tanımlamalarından sonra kavşaklar ve yaya geçişlerindeki hız kesintileri, yollardaki araç ve yaya geçiş üstünlükleri belirlenmiştir. Sistemin 3 boyutlu görüntüsü Şekil 5 ve Şekil 6'da sunulmuştur. Tüm senaryolar 5 kez simüle edilerek ortalama sonuçlar alınmış; ortalama hız, gecikme, kuyruk uzunluğu, trafik hacmi, hizmet düzeyi, emisyon değerleri ve yakıt tüketimi gibi veriler analiz edilmiştir.

Mevcut durum simülasyonu oluşturulurken veriler birbirleriyle bağlantılı dört farklı kavşaktan farklı gün ve zamanlarda toplanmıştır. Verilerin zirve saatlerde toplanmış olmasına, ayrıca hafta içi seçilerek benzer hava koşullarının ve trafik durumlarının gözetilmesine rağmen, veri toplanan günlerdeki araç sayılarında olası farklılıkları dengelemek amacıyla simülasyon girdilerinde bazı kalibrasyonlar yapılmıştır. Bu kapsamda, bir kavşağın yaklaşım kollarından çıkan araçların diğer kavşaklara girişlerinde gözlemlerle ortaya çıkan farklılıklar

dengelenmiş ve böylece simülasyon sonuçlarının saha verileriyle uyumu güçlendirilmiştir. Bu yöntemle modelin mevcut trafik koşullarını temsil etme gücü artırılmıştır.

### 3. Bulgular

Simülasyon sonuçlarına dayanarak çeşitli parametreler analiz edilmiştir. Bunlar arasında ortalama hız, gecikme, kuyruk uzunluğu, trafik hacmi, hizmet düzeyi, emisyon değerleri ve yakıt tüketimi değerleri yer almaktadır. Sabah ve akşam zirve saatleri için ayrı ayrı analiz edilen kavşaklarda, bisiklet trafiğindeki artışın kavşak performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

#### 3.1. Sabah zirve saat değerlendirmeleri

Yapılan analizler sonrası sabah zirve saati verileri için elde edilen sonuç verilerinin birer örneği Tablo 5 ve Tablo 6'da sunulmuştur.



Şekil 5. Simülasyon çalışırken sistem kontrolünün yapılması – Belediye ve Sapak Kavşağı.



Şekil 6. Simülasyon çalışırken sistem kontrolünün yapılması – Serdivan Kavşağı.

Şekil 7-10'da kavşakların emisyon değerleri, Şekil 11'de araç sayıları, Şekil 12'de yakıt tüketimi ve Şekil 13'te de ortalama hız değerlerinin senaryolara göre değişimleri gösterilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda araç sayılarında önemli değişiklikler

olmamasına rağmen ortalama hızlarda düşüş; gecikme, kuyruk uzunlukları, emisyon değerleri ve yakıt tüketiminde dalgalanmalar gözükse de genel anlamda artışlar gözlenmiştir.

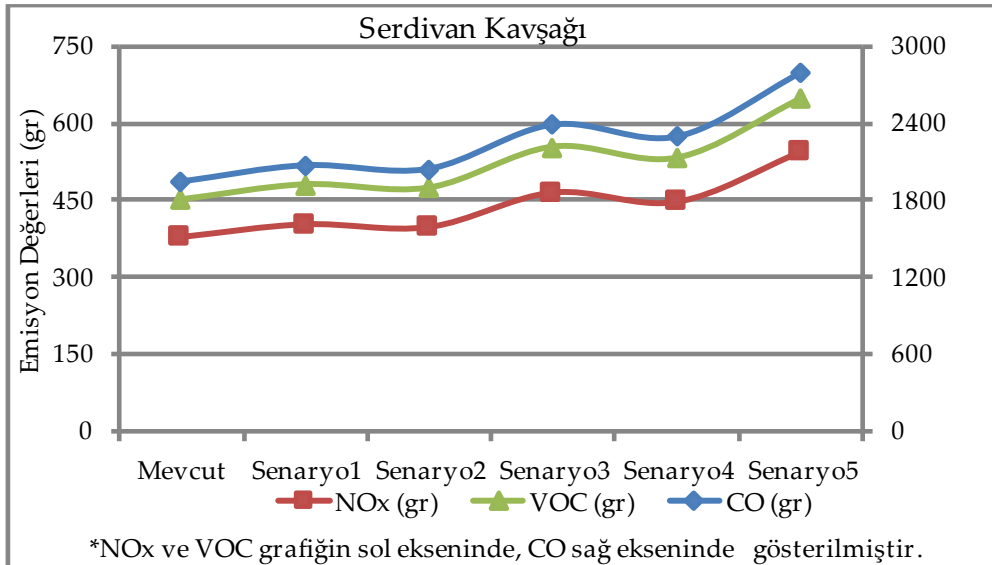
**Tablo 5.** Sabah zirve saat verileri Serdivan kavşağı analiz sonuçları-1.

| Senaryo Türü | Emisyon Değerleri |          |          | Yakıt Tüketimi |       | Araç Sayısı (Ad) | Ortalama Hız (km/sa) |
|--------------|-------------------|----------|----------|----------------|-------|------------------|----------------------|
|              | CO (gr)           | NOx (gr) | VOC (gr) | US Galon       | Litre |                  |                      |
| Mevcut       | 1941              | 378      | 450      | 28             | 105   | 2512             | 31,9                 |
| 1            | 2069              | 403      | 480      | 30             | 112   | 2509             | 31,6                 |
| 2            | 2041              | 397      | 473      | 29             | 111   | 2513             | 31,0                 |
| 3            | 2389              | 465      | 554      | 34             | 129   | 2511             | 29,1                 |
| 4            | 2295              | 447      | 532      | 33             | 124   | 2513             | 26,8                 |
| 5            | 2799              | 545      | 649      | 40             | 152   | 2506             | 23,1                 |

**Tablo 6.** Sabah zirve saat verileri Serdivan kavşağı analiz sonuçları-2.

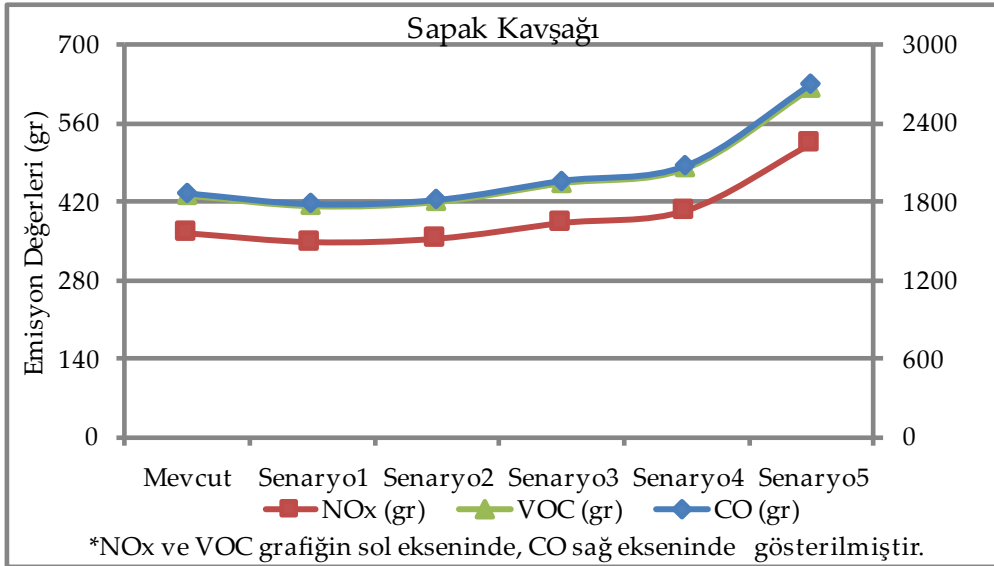
| Y.K.<br>S.T. | Kuyruk Uzunluğu (m) |       |      |      | Gecikme (sn/ta) |       |       |      | Hizmet Düzeyi |   |   |   |
|--------------|---------------------|-------|------|------|-----------------|-------|-------|------|---------------|---|---|---|
|              | 1                   | 3     | 5    | 7    | 1               | 3     | 5     | 7    | 1             | 3 | 5 | 7 |
| Mevcut       | 2,23                | 6,09  | 0,83 | 0,13 | 5,85            | 17,22 | 5,33  | 4,71 | A             | C | A | A |
| 1            | 2,58                | 10,02 | 1,25 | 0,18 | 6,04            | 22,46 | 6,44  | 4,96 | A             | C | A | A |
| 2            | 2,62                | 7,89  | 1,02 | 0,09 | 6,05            | 20,12 | 6,23  | 4,94 | A             | C | A | A |
| 3            | 2,90                | 18,30 | 1,04 | 0,12 | 6,48            | 33,84 | 6,63  | 5,11 | A             | D | A | A |
| 4            | 3,33                | 9,22  | 1,84 | 0,15 | 7,03            | 22,29 | 7,57  | 5,12 | A             | C | A | A |
| 5            | 4,35                | 20,87 | 3,33 | 0,20 | 8,23            | 36,74 | 10,10 | 6,26 | A             | E | B | A |

Y.K. = Yaklaşım Kolları, S.T. = Simülasyon Türü

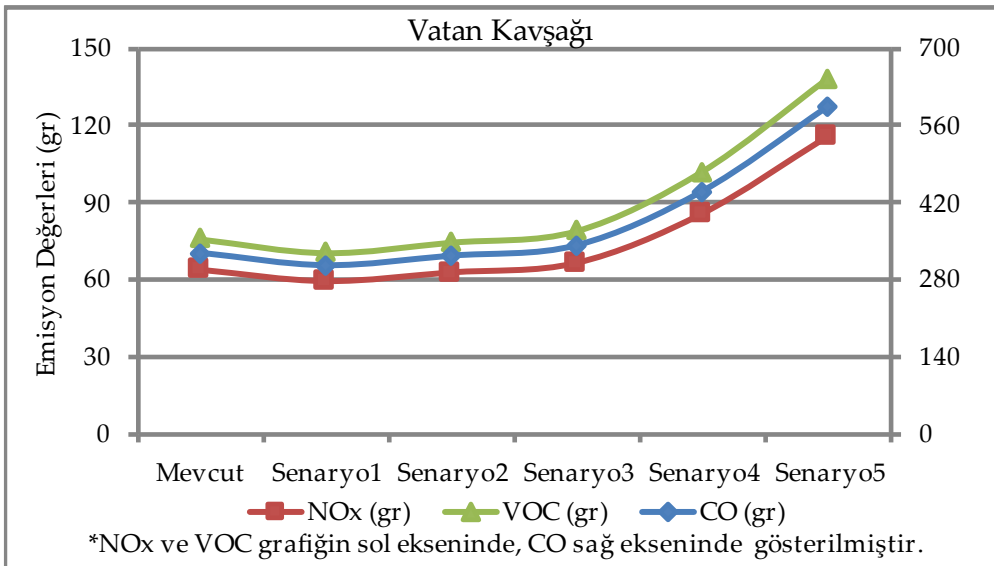
**Şekil 7.** Sabah zirve saati verileri Serdivan Kavşağı emisyon değerleri değişimi.

Karbonmonoksit (CO) emisyon değerleri, diğer emisyon değerlerine kıyasla daha yüksek olduğu için sağ taraftaki eksenle gösterilmiştir.

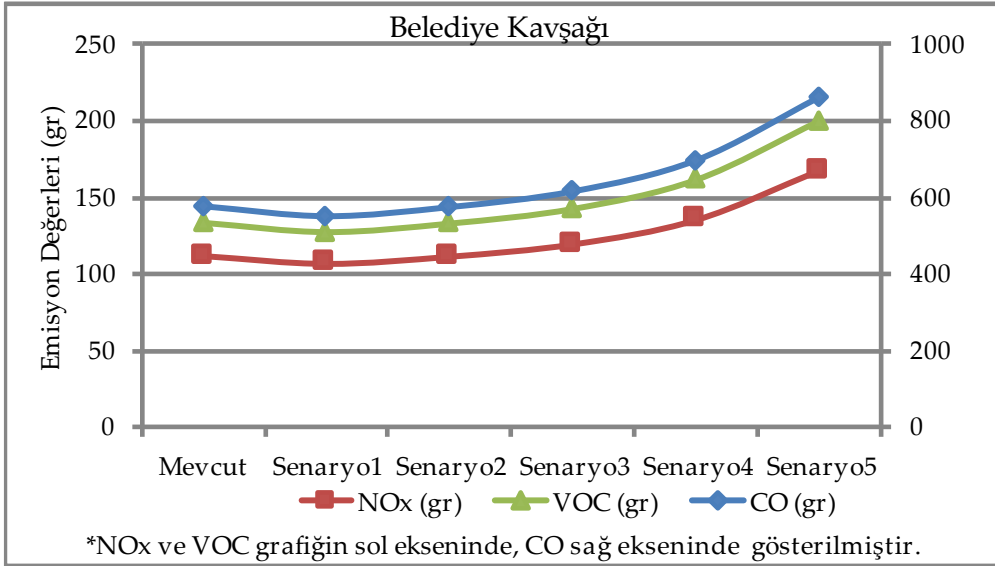
Emisyon değerleri senaryo 4'e kadar dalgalanmalar gösterse de bu noktadan itibaren ivmelenerek artış göstermektedir.



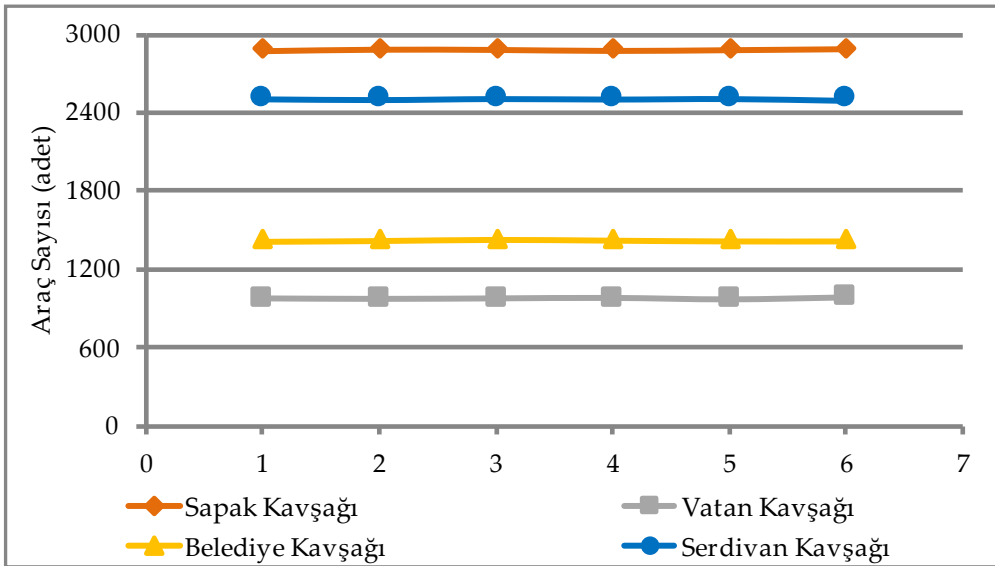
Şekil 8. Sabah zirve saati verileri Sapak Kavşağı emisyon değerleri değişimi.



Şekil 9. Sabah zirve saati verileri Vatan Kavşağı emisyon değerleri değişimi.

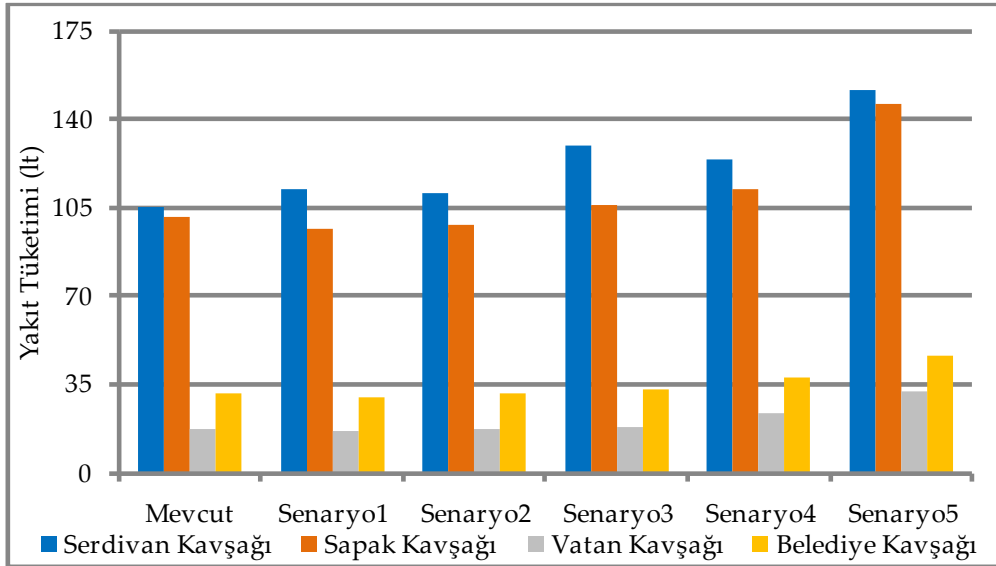


Şekil 10. Sabah zirve saati verileri Belediye Kavşağı emisyon değerleri değişimi(2).



Şekil 11. Sabah zirve saati verileri araç sayıları değişimi.





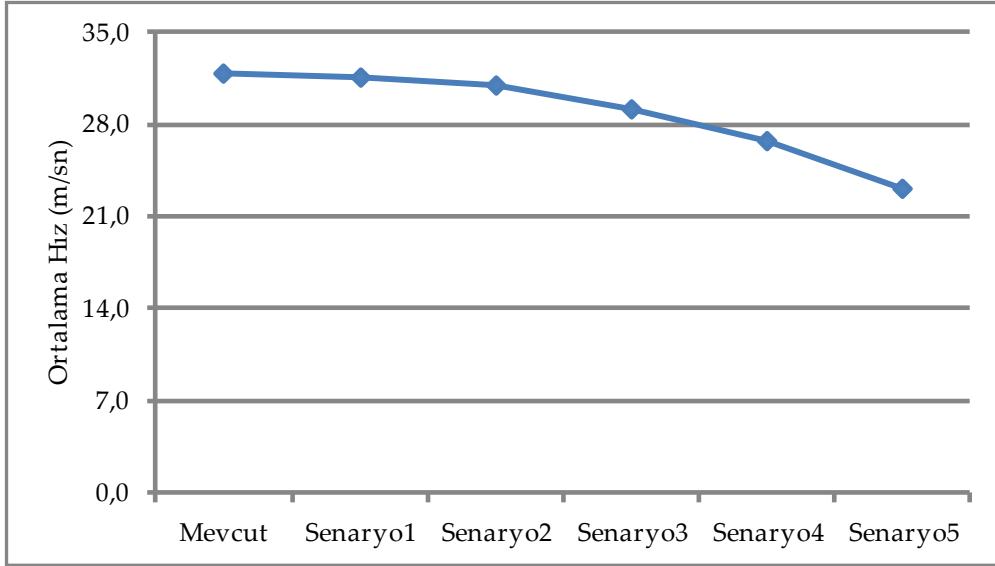
Şekil 12. Sabah zirve saati verileri yakıt tüketimi değişimi.

Araç sayısı, kavşağı kullanan motorlu taşıtların toplam sayısını ifade etmektedir. Sabah verilerinde, simülasyondan kaynaklanan küçük değişiklikler dışında araç sayısında belirgin bir değişim gözlemlenmemektedir. Yakıt tüketiminde ise senaryo 5'e kadar dalgalanmalar görülse de senaryo 5'te belirgin bir artış yaşanmaktadır.

Sabah zirve saatinde yapılan analizlerde, bisiklet trafiğindeki %200 ve %500 oranındaki artışlar, kavşaklardaki kuyruk uzunluklarını önemli ölçüde arttırmış, ortalama hızları ise düşürmüştür. Özellikle %500 bisiklet trafiği artışı durumunda (senaryo 4), Serdivan kavşağında taşıt gecikmesi %65 oranında artış göstermiştir. Emisyon değerlerinde ivmelenerek devam eden artışlar, ortalama hızlarda ise azalmalar tespit edilmiştir.

### 3.2. Akşam zirve saat değerlendirmeleri

Akşam zirve saatlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, sabah saatlerine göre daha erken bir aşamada trafik sıkışıklıkları ve gecikmeler gözlemlenmiştir. %200 bisiklet trafiği artışı senaryosunda, araçların ortalama hızı belirgin bir şekilde düşmüş, kuyruk uzunlukları ise önemli ölçüde artmıştır. Yapılan analizler sonrası akşam zirve saati verileri için elde edilen sonuç verilerinin birer örneği Tablo 7 ve Tablo 8'de sunulmuştur. Şekil 14-17'de kavşakların emisyon değerleri, Şekil 18'de araç sayıları, Şekil 19'da yakıt tüketimi ve Şekil 20'de de ortalama hız değerlerinin senaryolara göre değişimleri gösterilmiştir.



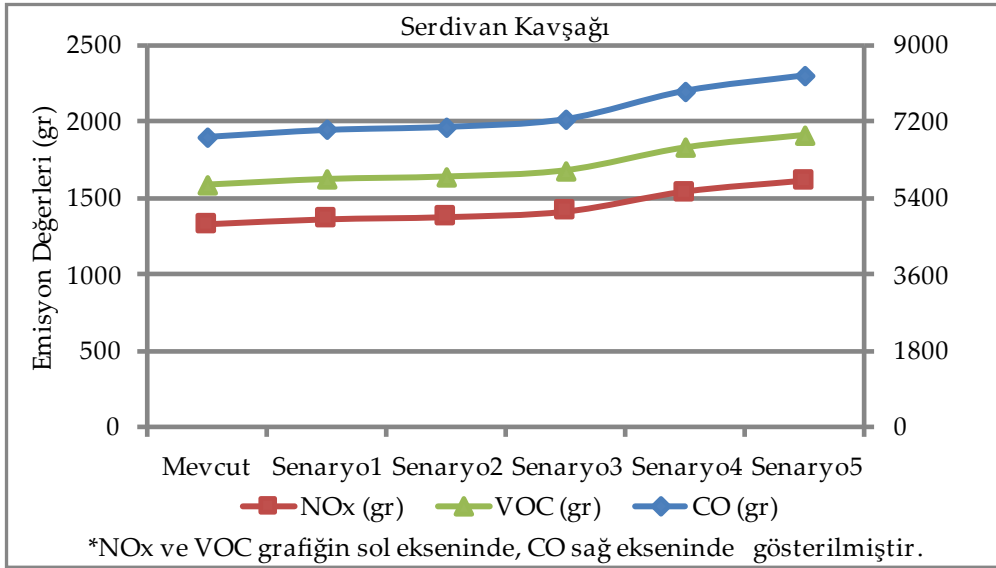
Şekil 13. Sabah zirve saati verileri ortalama hız değişimi.

Tablo 7. Akşam zirve saat verileri Serdivan kavşağı analiz sonuçları-1.

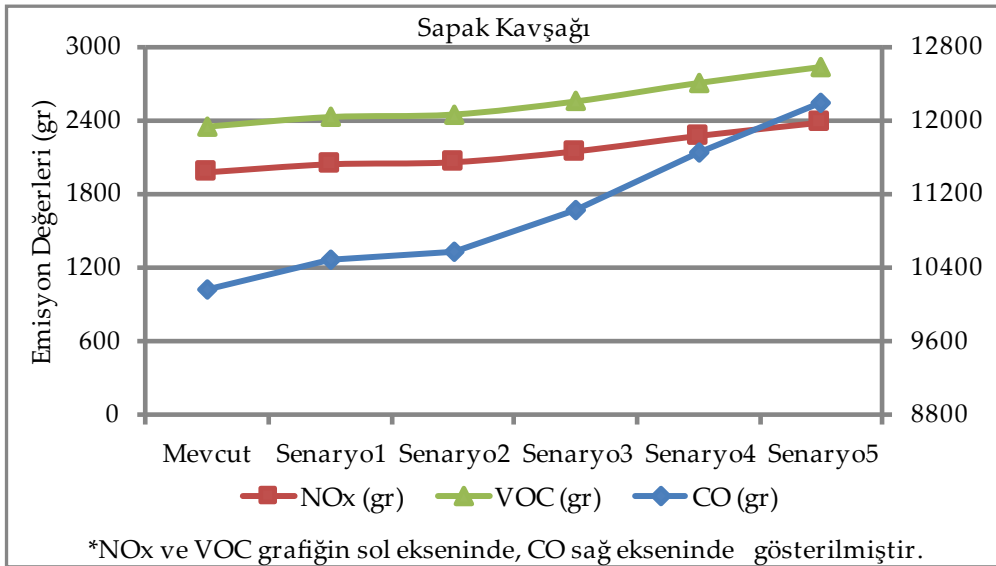
| Senaryo Türü | Emisyon Değerleri |          |          | Yakıt Tüketimi |       | Araç Sayısı (Ad) | Ortalama Hız (km/sa) |
|--------------|-------------------|----------|----------|----------------|-------|------------------|----------------------|
|              | CO (gr)           | NOx (gr) | VOC (gr) | US Galon       | Litre |                  |                      |
| Mevcut       | 6851              | 1333     | 1588     | 98             | 371   | 3333             | 17,2                 |
| 1            | 7013              | 1364     | 1625     | 100            | 380   | 3318             | 16,7                 |
| 2            | 7085              | 1378     | 1642     | 101            | 384   | 3318             | 16,3                 |
| 3            | 7266              | 1414     | 1684     | 104            | 393   | 3306             | 15,7                 |
| 4            | 7924              | 1542     | 1836     | 113            | 429   | 3255             | 13,5                 |
| 5            | 8284              | 1612     | 1920     | 119            | 449   | 3138             | 11,5                 |

Tablo 8. Akşam zirve saat verileri Serdivan kavşağı analiz sonuçları-2.

| Y.K.<br>S.T. | Kuyruk Uzunluğu (m) |      |        |      | Gecikme (sn/ta) |       |        |       | Hizmet Düzeyi |   |   |   |
|--------------|---------------------|------|--------|------|-----------------|-------|--------|-------|---------------|---|---|---|
|              | 1                   | 3    | 5      | 7    | 1               | 3     | 5      | 7     | 1             | 3 | 5 | 7 |
| Mevcut       | 23,87               | 3,45 | 160,47 | 1,48 | 19,41           | 12,23 | 71,11  | 10,53 | C             | B | F | B |
| 1            | 26,51               | 4,81 | 169,18 | 1,60 | 20,29           | 14,39 | 73,39  | 10,66 | C             | B | F | B |
| 2            | 31,57               | 3,07 | 173,53 | 1,65 | 22,78           | 12,10 | 73,17  | 10,77 | C             | B | F | B |
| 3            | 27,42               | 3,84 | 182,58 | 1,56 | 21,12           | 13,14 | 78,89  | 10,54 | C             | B | F | B |
| 4            | 31,86               | 5,49 | 270,46 | 1,74 | 23,46           | 15,82 | 97,41  | 10,82 | C             | C | F | B |
| 5            | 58,09               | 6,15 | 209,06 | 1,56 | 36,78           | 17,45 | 103,30 | 11,02 | E             | C | F | B |



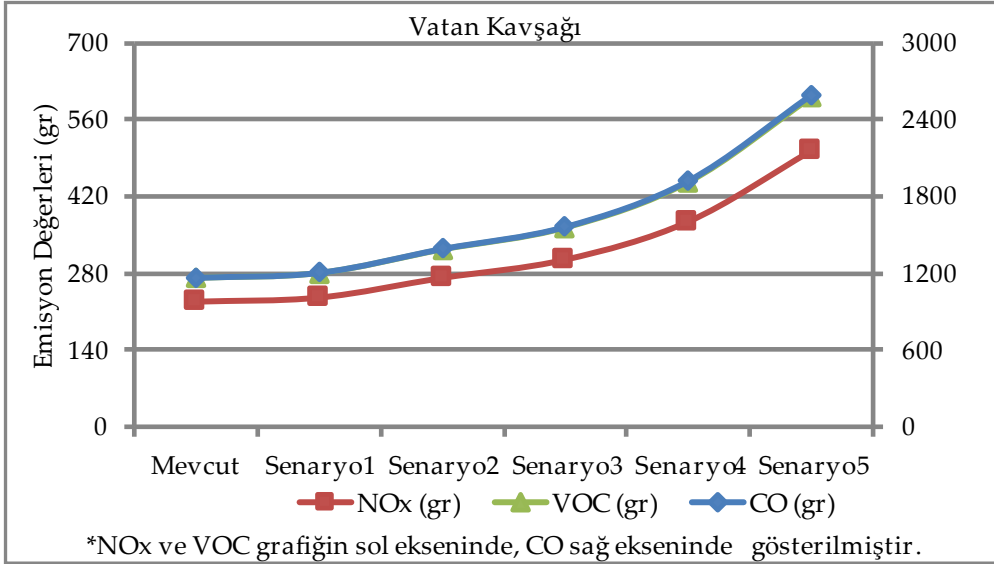
Şekil 14. Akşam zirve saati verileri Serdivan Kavşağı emisyon değerleri değişimi.



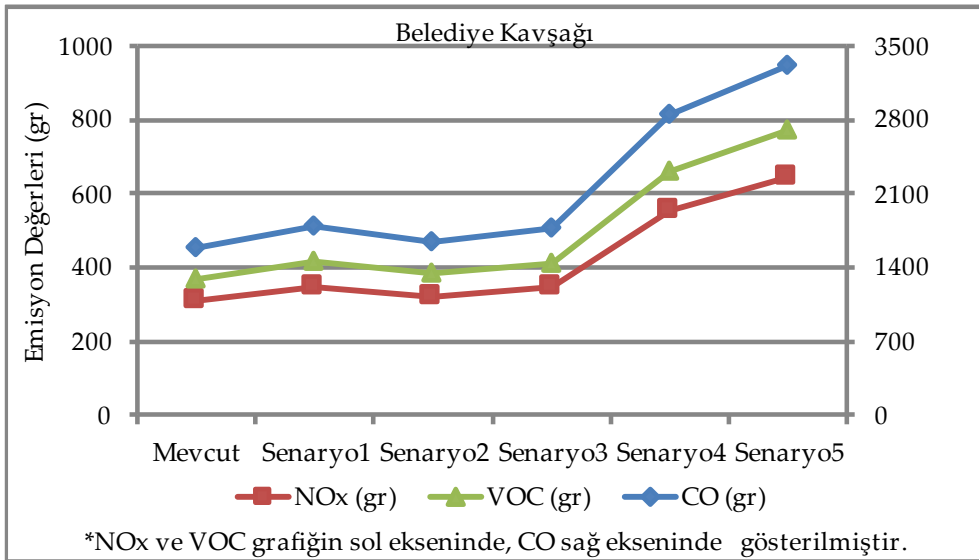
Şekil 15. Akşam zirve saati verileri Sapak Kavşağı emisyon değerleri değişimi.

Karbonmonoksit (CO) emisyon değerleri, diğer emisyon değerlerine kıyasla daha yüksek olduğu için sağ taraftaki ekseninde gösterilmiştir. Serdivan kavşağında senaryo 3'ten

sonra artışın ivmelendiği; Sapak kavşağında ise senaryo 2'den sonra artışların başladığı ve özellikle CO emisyonunun ivmelenmesinin daha belirgin olduğu görülmektedir.



Şekil 16. Akşam zirve saati verileri Vatan Kavşağı emisyon değerleri değişimi.

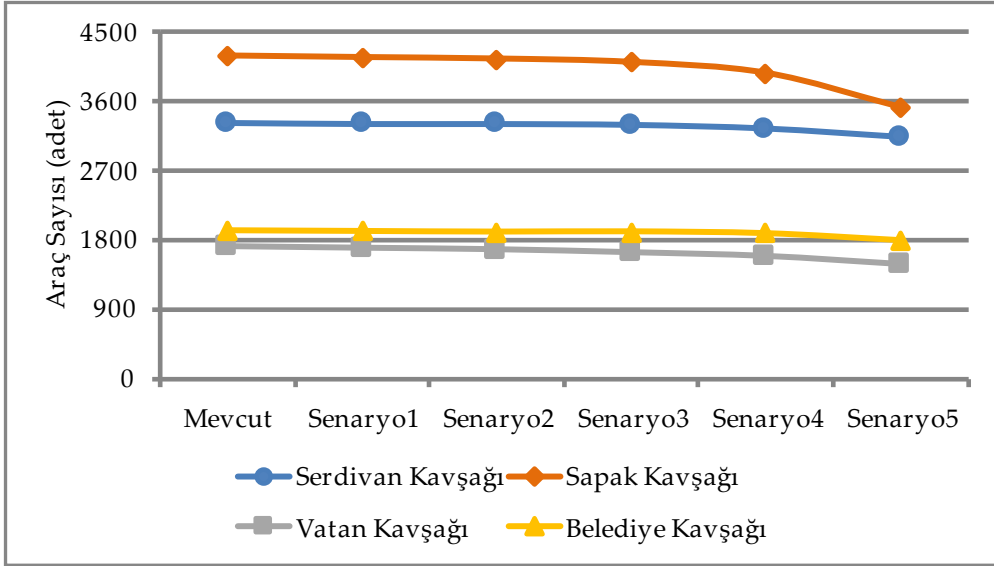


Şekil 17. Akşam zirve saati verileri Belediye Kavşağı emisyon değerleri değişimi.

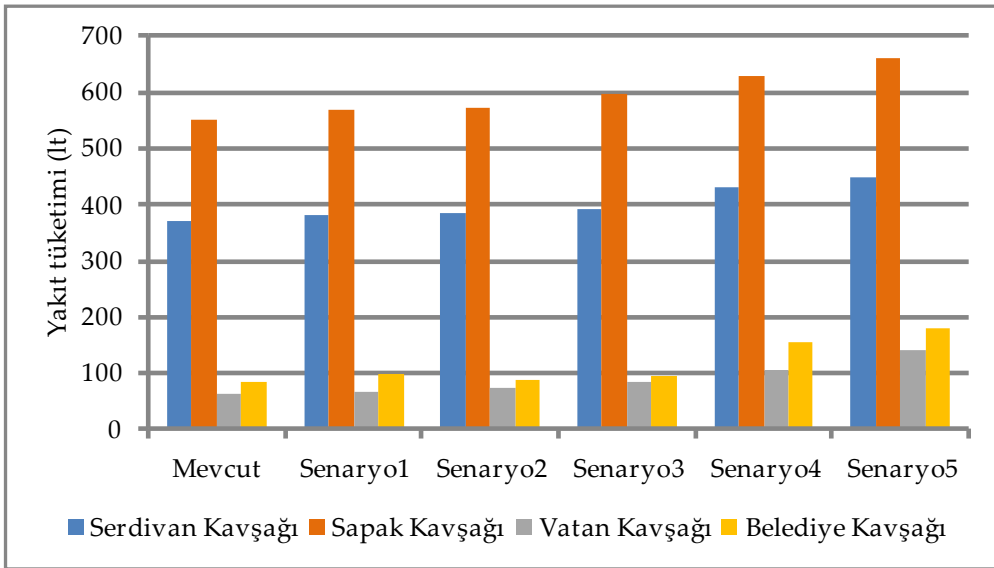
Belediye ve Vatan kavşaklarında emisyon değerlerindeki artışların senaryo 3'ten sonra ivmelendiği gözlemlenmektedir.

Yakıt tüketiminde doğrusal bir artış gözlemlense de Vatan ve Belediye kavşaklarında senaryo 3'ten sonra

mevcut duruma göre 2 kat ve daha fazla artışlar yaşandığı görülmektedir. Araç sayılarında ise mevcut duruma göre, senaryo 1'den itibaren bir düşüş meydana gelmekte ve özellikle senaryo 3'ten sonra araç sayılarındaki düşüş ivmelenecek devam etmektedir.



Şekil 18. Akşam zirve saati verileri araç sayıları değişimi.

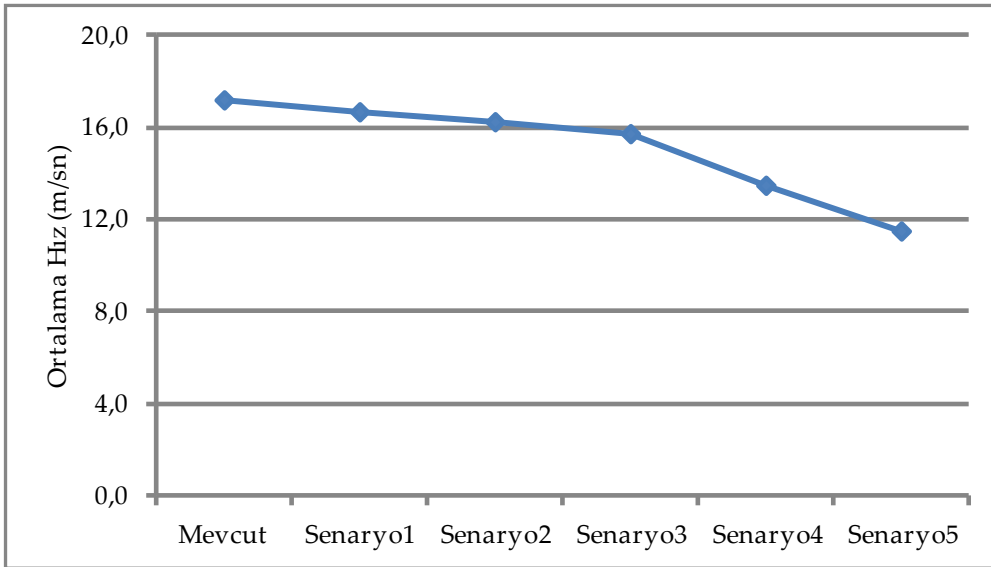


Şekil 19. Akşam zirve saati verileri yakıt tüketimi değişimi.

Bu durum, sistemin araç girişine yeterince izin veremediğini göstermektedir.

Genel olarak, bisiklet trafiğindeki artışın, kavşak performansını olumsuz etkilediği ve özellikle sabah zirve

saatlerinde yüksek bisiklet trafiği artış oranlarının kavşaklardaki gecikme ve kuyruk uzunluklarını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Akşam zirve saatlerinde ise daha düşük oranlardaki artışlar bile trafik sıkışıklığını tetiklediği tespit edilmiştir.



Şekil 20. Akşam zirve saati verileri ortalama hız değişimi.

Bu analizler, bisiklet trafiği artışının kavşak performansı üzerindeki potansiyel etkilerini anlamak ve sürdürülebilir ulaşım politikalarının planlanmasına katkı sağlamak açısından önemli bulgular sunmaktadır.

### 3.3. Senaryoların istatistiksel analizi

Senaryoların trafik performansı ve çevresel göstergeler üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemek amacıyla tek yönlü ANOVA uygulanmıştır. Analiz sonuçları, incelenen tüm parametrelerde senaryolar arasında anlamlı farklılıklar bulunduğunu göstermektedir ( $p < 0,05$ ). Gecikme, kuyruk uzunluğu, ortalama hız, yakıt tüketimi ve emisyon göstergelerinin tamamında istatistiksel açıdan anlamlı farklar saptanmıştır. Özellikle ortalama hız ve trafik hacmi

değişkenlerinde  $\eta^2p$  değerlerinin 0,93'ün üzerinde gerçekleşmesi, senaryoların bu parametreler üzerinde oldukça güçlü bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Emisyon parametrelerinde (CO, NO<sub>x</sub>, VOC) ve yakıt tüketiminde yaklaşık 0,73 düzeyinde bulunan  $\eta^2p$  değerleri ise senaryoların çevresel çıktılar üzerinde de dikkate değer düzeyde etkili olduğunu göstermektedir (Tablo 9).

Öte yandan, Levene testi bazı parametrelerde (ör. gecikme, kuyruk uzunluğu ve yakıt tüketimi parametreleri) varyans homojenliği varsayımının ihlal edildiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, ilgili parametrelerde klasik ANOVA'ya ek olarak Welch ANOVA kullanılmıştır. Homojenlik varsayımının sağlandığı

parametrelerde Tukey HSD testi ile ikili karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, senaryoların trafik performansı ve çevresel göstergeler

üzerindeki etkileri hem istatistiksel açıdan güvenilir hem de karşılaştırmalı olarak ortaya konulmuştur.

**Tablo 9.** Trafik performansı ve çevresel göstergeler için ANOVA sonuçları.

| Parametre            | F      | p value | $\eta^2p$ | Levene's F; p |
|----------------------|--------|---------|-----------|---------------|
| Gecikme (AM)         | 8,697  | <0,001  | 0,644     | 3,877; 0,010* |
| Gecikme (PM)         | 18,214 | <0,001  | 0,791     | 0,647; 0,666  |
| Kuyruk Uzunluğu (AM) | 4,877  | 0,003   | 0,504     | 3,903; 0,010* |
| Kuyruk Uzunluğu (PM) | 5,076  | 0,003   | 0,514     | 1,691; 0,175  |
| Ort. Hız (AM)        | 349,94 | <0,001  | 0,986     | 0,727; 0,610  |
| Ort. Hız (PM)        | 71,715 | <0,001  | 0,937     | 0,968; 0,457  |
| CO (AM)              | 13,946 | <0,001  | 0,744     | 2,524; 0,057  |
| CO (PM)              | 5,474  | 0,002   | 0,533     | 0,390; 0,851  |
| NOx (AM)             | 13,892 | <0,001  | 0,743     | 2,510; 0,058  |
| NOx (PM)             | 5,474  | 0,002   | 0,533     | 0,393; 0,848  |
| VOC (AM)             | 13,931 | <0,001  | 0,744     | 2,514; 0,058  |
| VOC (PM)             | 5,477  | 0,002   | 0,533     | 0,390; 0,850  |
| Yakıt Tüketimi (AM)  | 14,001 | <0,001  | 0,745     | 2,635; 0,049* |
| Yakıt Tüketimi (PM)  | 5,440  | 0,002   | 0,531     | 0,398; 0,845  |

\* Levene testi anlamlı bulunan parametrelerde ( $p < 0,05$ ) varyans homojenliği varsayımı sağlanmamıştır.

df (senaryo, hata) değeri tüm parametreler için 5, 24 olarak elde edilmiştir.

Tablo 10 ise, mevcut trafik koşullarını temsil eden Senaryo 0 ile bisiklet kullanımının artışını öngören diğer senaryolar arasındaki farklılıkları özetlemektedir. Analiz bulguları, gecikme, kuyruk uzunluğu, ortalama hız, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri gibi temel parametrelerde Senaryo 0 ile sonraki senaryolar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunduğunu göstermektedir. Parametrelerin yanında yıldız işaretleriyle gösterilen bu farklılıklar, p-değerlerinin düzeyini belirtmekte ve hangi göstergelerde kayda değer değişimleri ortaya koymaktadır. Tabloda, yalnızca Senaryo

0 ile diğer senaryolar arasındaki karşılaştırmalara odaklanılması, mevcut durumun bisiklet kullanımındaki artış senaryolarına göre nasıl farklılaştığını vurgulamaktadır. Bu yaklaşım, post-hoc testlerinden elde edilen çok sayıda ikili karşılaştırmanın yaratacağı karmaşıklığı azaltmakta ve bulguların daha yalın ve doğrudan yorumlanmasına olanak tanımaktadır.

Bisiklet kullanımındaki artışın trafik performansı ve çevresel çıktılar üzerinde farklı eşiklerde etkili olduğu görülmektedir. Özellikle sabah zirve koşullarında Senaryo 3'ten itibaren

ortalama hız, gecikme ve kuyruk uzunluğunda anlamlı artışlar gözlemlenirken, emisyon ve yakıt tüketimi göstergelerinde de dikkate değer farklılaşmalar ortaya çıkmaktadır. Buna karşın, akşam zirve koşullarında temel senaryoda (Senaryo 0) zaten oldukça yüksek gecikme, kuyruk uzunluğu ve emisyon değerleri gözlenmektedir. Bu nedenle, bisiklet kullanımındaki %50, %100 ve %200

artışlara rağmen temel senaryoya göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık ortaya çıkmamaktadır. Ancak %500'lük artışı temsil eden Senaryo 4'ten itibaren anlamlı farklar gözlenmeye başlamaktadır. Bu durum, akşam saatlerinde hâlihazırda yoğun olan trafik koşullarının bisiklet talebindeki artışların olumsuz etkilerinin ancak çok yüksek artış oranlarında ortaya çıktığını göstermektedir.

**Tablo 10.** Senaryoların ANOVA analiz sonuçları.

| Parametreler         | Senaryo |   |     |     |     |
|----------------------|---------|---|-----|-----|-----|
|                      | 1       | 2 | 3   | 4   | 5   |
| Gecikme (AM)         |         |   | *   |     | *** |
| Gecikme (PM)         |         |   |     | *** | *** |
| Kuyruk Uzunluğu (AM) |         |   |     | **  |     |
| Kuyruk Uzunluğu (PM) |         |   |     | **  |     |
| Ort. Hız (AM)        |         | * | *** | *** | *** |
| Ort. Hız (PM)        |         |   | **  | *** | *** |
| CO (AM)              |         |   | *   |     | *** |
| CO (PM)              |         |   |     | *   | **  |
| NOx (AM)             |         |   | *   |     | *** |
| NOx (PM)             |         |   |     | *   | **  |
| VOC (AM)             |         |   | *   |     | *** |
| VOC (PM)             |         |   |     | *   | **  |
| Yakıt Tüketimi (AM)  |         |   | *   |     | *** |
| Yakıt Tüketimi (PM)  |         |   |     | *   | **  |

Tabloda sadece anlamlı farkındalıklar sunulmuştur.

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

#### 4. Sonuçlar

Son yıllarda sürdürülebilir kentsel hareketliliğin önemli bileşenlerinden biri olan bisiklet ve benzeri mikro hareketlilik araçlarının kullanımı, yerel ve ulusal düzeyde giderek daha fazla teşvik edilmektedir. Bu teşvikler, altyapı yatırımları, ulaşım planlaması ve

finansal destek mekanizmalarıyla desteklenirken, aynı zamanda teknolojik gelişmeler de yakından izlenmekte ve uygulamalara entegre edilmektedir (Demircan ve Başgün, 2023). Mikrohareketlilik altyapısının geliştirilmesi ve araç trafiği ile birlikte değerlendirilmesi, modlar arası etkileşim, ulaşım verimliliği ve



sürdürülebilirlik açısından kritik bir öneme sahiptir (Öztaşçı vd., 2021).

Her ne kadar bu çalışmanın doğrudan odak alanı olmasa da kavşaklarda bisiklet kullanımı ile motorlu taşıt trafiği arasındaki etkileşim, güvenlik ve altyapı tasarımını kapsayan çok boyutlu ve karmaşık bir konu olarak öne çıkmaktadır. Özellikle bisiklet altyapısının niteliği, kavşakların güvenliği ve işleyişinde belirleyici bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Nitekim Kondo ve arkadaşları (2018), bisikletlilere ayrılmış özel şeritlerin varlığının ve bu şeritlerin kullanıcı ihtiyaçlarına uygun tasarlanmasının, kavşaklarda çarpışma riskini önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur.

Bu çalışma, bisiklet trafiğindeki artışın motorlu araç trafiği üzerindeki etkilerini mikrosimülasyon yöntemiyle inceleyerek, özellikle zirve saatlerde kavşak performansında ortaya çıkan değişimleri değerlendirmiştir. Bulgular, bisiklet trafiğindeki artışın etkilerinin mevcut trafik hacmi ve kavşak kapasitesi ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Sabah zirve saatlerinde bisiklet sayısının ancak mevcut seviyenin beş katına ulaşmasıyla anlamlı performans değişiklikleri gözlenirken, akşam zirve saatlerinde mevcut araç trafiğinin yoğunluğu nedeniyle yalnızca iki katlık bir artışta dahi gecikme süreleri ve kuyruk uzunluklarında belirgin etkiler ortaya çıkmıştır. Bu durum, bisiklet trafiği artışının etkilerinin, kavşak kapasitesinin doluluk oranına ve trafik hacminin yoğunluğuna bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir.

Ayrıca, ortalama hız ve emisyon göstergelerinin bisiklet trafiğine daha duyarlı olduğu, gecikme ve kuyruk uzunluğu gibi kapasiteye bağlı göstergelerin ise kritik eşik değerlerinin aşılmasıyla birlikte hızlı bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Sapak kavşağında mevcut durumda 97 olan bisiklet sayısının sırasıyla 152 (senaryo 1), 226 (senaryo 2) ve 355 (senaryo 3)'e çıkarılması ile karbonmonoksit emisyon değerlerindeki değişimler 100 gr. seviyesinden 500 gr. seviyelerine çıkmıştır. Özellikle, senaryo 3'ten sonra artan bisiklet trafiği nedeniyle sistemin araç girişine kapandığı ve bu durumun araç trafiğinde ciddi sıkışıklıklar yarattığı gözlemlenmiştir. Senaryo 4 ve Senaryo 5'te, artan trafik sıkışıklığı sebebi ile simülasyonda araç hareketliliğinin önemli ölçüde azaldığı ve araç giriş noktalarına kadar kuyruk uzunluklarının arttığı görülmüştür.

Çalışmanın saha gözlemleri de bulguların yerel düzeydeki karşılıklarını desteklemektedir. Serdivan Kavşağı, özellikle akşam saatlerinde ve alışveriş yoğunluğunun arttığı özel dönemlerde (bayramlar, yılbaşı vb.) araç hareketliliğinin kritik hale geldiği bir noktadır. Bu kavşakta bisiklet kullanıcılarının güvenliğini artırmak için uyarı levhalarının yerleştirilmesi ve ilave güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir. Sapak ve Belediye kavşaklarında ise hem bisiklet kullanıcılarını yönlendirecek hem de motorlu araç sürücülerine bisiklet trafiğinin varlığını hatırlatacak yatay ve düşey işaretlemeler önerilmektedir. Buna karşılık, Vatan Kavşağı'nın kontrolsüz yapısı nedeniyle karşılıklı

geçişlerde ciddi sıkışıklıklar ve kaotik durumlar yaşandığı gözlenmiştir. Vatan ve Sapak kavşakları arasındaki mesafenin kısa olması dikkate alınarak, bisiklet geçişlerinin ya Sapak Kavşağı'na ya da iki kavşak arasında yer alan yaya geçidine yönlendirilmesini sağlayacak fiziksel düzenlemelerin yapılması önerilmektedir.

Son yıllarda kentte toplu taşıma yatırımlarının artması ve bölgeden geçmesi planlanan raylı sistem altyapısının gündeme gelmesi, bisiklet trafiğinin gelecekteki konumunu daha da önemli hale getirmektedir. Bu bağlamda, raylı sistem ve karayolu altyapısının entegrasyonu planlanırken yalnızca araç trafiği değil, bisiklet ve yaya hareketliliğinin de dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle sinyalize kavşaklarda bisiklet kullanıcılarına özel "yeşil süre" tanımlamaları ve kavşak geçişlerinin güvenliğini sağlayacak tasarımlar, uzun vadede aktif ulaşım politikalarını destekleyecek stratejiler arasında değerlendirilmelidir.

Bu çalışmanın sınırlılıkları arasında, öncelikle, gözlemler belirli gün ve saat aralıklarıyla sınırlı tutulmuş olup uzun dönemli ve mevsimsel farklılıkları yansıtmamaktadır; bu nedenle elde edilen sonuçların farklı zaman dilimleri ve çevresel koşullarda değişiklik gösterebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, bisiklet trafiğindeki artışın araç trafiğini doğrudan etkilemediği varsayılarak yapılan simülasyonlar, olası geri besleme mekanizmalarını ve sürücü davranışlarındaki adaptif değişiklikleri tam olarak temsil edememektedir.

Bunun yanı sıra, analizlerin yalnızca belirli bir bölgede ve sınırlı sayıdaki kavşakta yürütülmesi, sonuçların farklı kentsel bağlamlara genellenmesini kısıtlamaktadır.

Ayrıca, mikrosimülasyon modeli, bisikletli ve motorlu araç sürücülerinin etkileşimlerini genel hatlarıyla yansıtmakla birlikte, ani davranış değişiklikleri, risk algısı ve yaya etkileri gibi faktörleri tam olarak kapsamamaktadır. Gelecek çalışmalarda gözlem süresinin uzatılması, farklı mevsimsel koşulların ve kavşak tiplerinin dâhil edilmesi, ayrıca bisiklet, yaya, toplu taşıma ve e-skuter gibi diğer mikromobilité araçlarının birlikte ele alındığı çok modlu bir yaklaşımın benimsenmesi tercih edilebilir. Bununla birlikte, simülasyon bulgularının saha ölçümleriyle doğrulanması ve sonuçların yerel ulaşım politikalarıyla ilişkilendirilmesi hem bilimsel katkının hem de pratik uygulanabilirliğin artırılmasına katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma, bisiklet ve motorlu araç trafiğinin birlikte ele alınarak, artan mikrohareketlilik taleplerine göre altyapının nasıl geliştirilebileceği konusunda yön gösterici sonuçlar sunmaktadır.

#### **Etik Standartlar Bildirgesi**

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

#### **Yazarlık Katkı Beyanı**

Yazar 1: Kaynaklar, Araştırma, Deney, Yazma – orijinal taslak  
Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak

Yazar 2: Kaynaklar, Araştırma, Deneyleme, Biçimsel analiz, Doğrulama, Metodoloji, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

#### Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 103-2022) teşekkür ederiz.

#### 5. Kaynaklar

- Al-Ahmadi, H. M., Jamal, A., Reza, I., Assi, K. J., & Ahmed, S. A. (2019). Using microscopic simulation-based analysis to model driving behavior: A case study of Khobar-Dammam in Saudi Arabia, *Sustainability*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/su11113018>
- Bahmankhah, B., Fernandes, P., & Coelho, M. C. (2019). Cycling at intersections: a multi-objective assessment for traffic, emissions and safety, *Transport*, 34(3), 225–236. <https://doi.org/10.3846/transport.2019.8946>
- Beura, S. K., & Bhuyan, P. K. (2018). Quality of bicycle traffic management at urban road links and signalized intersections operating under mixed traffic conditions, *Transportation Research Record*, 2672(36), 145–156.

- <https://doi.org/10.1177/0361198118796350>
- Cabiroğlu, S., & Özden, A. (2021). Türkiye’de uzun bisiklet parkurlarının bisiklet kullanımına etkisinin incelenmesi, *European Journal of Science and Technology* (32), 850–857. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1042311>
- Chen, P. (2015). Built environment factors in explaining the automobile-involved bicycle crash frequencies: A spatial statistic approach, *Safety Science*, 79, 336–343. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.06.016>
- Cirit, F. (2014). *Sürdürülebilir kentiçi ulaşım politikaları ve toplu taşıma sistemlerinin karşılaştırılması*. Uzmanlık Tezi. T.C. Kalkınma Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- Clark, R. O., & Mayhorn, C. B. (2022). Are roundabouts safer for pedestrians? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 66(1), 1746–1750. <https://doi.org/10.1177/1071181322661059>
- Coşkun, K., & Esin, N. (2017). Kentlerde ulaşım dönüşümü: yeşil ulaşım altyapısı. 12. Ulaştırma Kongresi, Ulaştırma Politikaları. Adana, Türkiye.
- Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E., & Wets, G. (2010). Explaining variation in safety performance of roundabouts, *Accident Analysis & Prevention*, 42(2), 393–402. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.08.019>
- Demircan, N., & Başgün, Ö. F. (2023). Ulaşımında bisiklet kullanımı ve bisiklet yolu uygulama esaslarının incelenmesi: Elazığ örneği, *Kent Akademisi*, 16(2), 1265–1296. <https://doi.org/10.35674/kent.1065327>
- Eryiğit, S. (2012). *Sürdürülebilir ulaşımın sosyal boyutunda bisikletin yeri*. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.
- Grigoropoulos, G., Hosseini, S. A., Keler, A., Kathis, H., Spangler, M., Busch, F., & Bogenberger, K. (2021). Traffic simulation analysis of bicycle highways in urban areas, *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–25. <https://doi.org/10.3390/su13031016>
- Heineke, K., Kloss, B., Scurtu, D., & Weig, F.

- (2019, Jan 29). *Micromobility's 15,000-mile checkup*. Retrieved Apr 15, 2025, from <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/micromobilitys-15000-mile-checkup>
- Hollenstein, D., Hess, M., Jordan, D., & Bleisch, S. (2019). Investigating roundabout properties and bicycle accident occurrence at swiss roundabouts: A logistic regression approach, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2), 95. <https://doi.org/10.3390/ijgi8020095>
- Kalyoncuoğlu, C. (2017). *Bisiklet öncelikli kavşak işletiminde yeni bir yaklaşım*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Kondo, M. C., Morrison, C., Guerra, E., Kaufman, E. J., & Wiebe, D. J. (2018). Where do bike lanes work best? A Bayesian spatial model of bicycle lanes and bicycle crashes, *Safety Science*, 103(March 2018), 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.12.002>
- Kothuri, S., Kading, A., Schroepe, A., White, K., Smaglik, E., Aguilar, C., & Gil, W. (2018). *Addressing bicycle-vehicle conflicts with alternate signal control strategies* (Report No. NITC-RR-897). Portland, OR: Transportation Research and Education Center. <https://doi.org/10.15760/trec.194>
- Lovelace, R., Goodman, A., Aldred, R., Berkoff, N., Abbas, A., & Woodcock, J. (2017). The Propensity to Cycle Tool: An open source online system for sustainable transport planning, *Journal of Transport and Land Use*, 10(1). <https://doi.org/10.5198/jtlu.2016.862>
- Mok, S. J., Kim, E. C., & Heo, H. B. (2013). A study on efficient management of bicycle traffic flow at four-legged intersections, *International Journal of Highway Engineering*, 15(3), 177–189. <https://doi.org/10.7855/ijhe.2013.15.3.177>
- Neves, A., & Brand, C. (2019). Assessing the potential for carbon emissions savings from replacing short car trips with walking and cycling using a mixed GPS-travel diary approach, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 123(May 2019), 130–146. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.08.022>
- Ni, Y. C., Makridis, M., & Kouvelas, A. (2023). Investigating link- and network-level bicycle traffic flow characteristics using a microsimulation approach. *hEART 2023: 11th Symposium of the European Association for Research in Transportation*, Zurich, Switzerland, 3525.
- Özden, A., & Kurtuluş Kün, S. B. (2024). Türkiye’de bisiklet ve e-skuter altyapısının kentsel ulaşım bakımından değerlendirilmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(1), 125–140. <https://doi.org/10.5505/pajes.2024.09633>
- Öztaşçı, D. D., Ünal, G., & Ersoy, U. (2021). Başkent üniversitesi ile koru metrosu arasında bisiklet paylaşım sistemi kurulmasının fayda-maliyet analizi, *Maliye Çalışmaları Dergisi*, 0(66), 107–137. <https://doi.org/10.26650/mcd2021-989630>
- Preston, A., & Pulugurtha, S. S. (2021). Simulating and assessing the effect of a protected intersection design for bicyclists on traffic operational performance and safety, *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9(March 2021), 100329. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100329>
- Russo, B., Hurwitz, D., Kothuri, S., Smaglik, E., Scott-Deeter, L., Lemcke, D., & Yates, E. (2022). *Impacts of intersection treatments and traffic characteristics on bicyclist safety* (Report No. FHWA-OR-RD-23-02). Oregon Department of Transportation, Research Section. <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/63551>
- Saplıoğlu, M., & Aydın, M. (2018). Choosing safe and suitable bicycle routes to integrate cycling and public transport systems, *Journal of Transport & Health*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.05.011>
- Song, Z., Wang, H., Sun, J., & Tian, Y. (2020). Experimental findings with VISSIM and

- TransModeler for evaluating environmental and safety impacts using micro-simulations, *Transportation Research Record*, 2674(8), 566–580. <https://doi.org/10.1177/0361198120925077>
- TÜİK. (Feb 22, 2022). TÜİK nüfus verileri. Retrieved May 15, 2022, from <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2021-45500>
- Vignali, V., Lamperti, R., Bichicchi, A., & Lantieri, C. (2016). Interaction between car drivers and vulnerable road users at roundabouts, *MOJ Civil Engineering*, 1(3), 93–97. <https://doi.org/10.15406/mojce.2016.01.00018>
- Vu, T., & Preston, J. (2022). A comparative economic assessment of urban transport infrastructure options in low- and middle-income countries, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 164, 38–59. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.07.019>
- Wierbos, M. J., Knoop, V. L., Goñi-Ros, B., & Hoogendoorn, S. P. (2020). The influence of jam density and merging cyclists on the queue discharge rate, *Journal of Advanced Transportation*, 2020, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2020/9272845>