

## BARIYERLİ OTOYOL GIŞELERİNİN TRAFİK AKIMINA ETKİSİ: İSTANBUL KUZEY MARMARA OTOYOLU ÖRNEĞİ

*Dr. Öğr. Üyesi Göker Aksoy,*

*Işık Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, ORCID ID: 0000-0003-4592-7048*

*Dr. Öğr. Üyesi Ziya Çakıcı*

*İzmir Demokrasi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, ORCID ID: 0000-0001-7003-815X*

### Özet

Bu çalışma bariyerli, nakit ve otomatik ödeme sistemlerinin birlikte kullanıldığı otoyol çıkış gişelerinin trafik akımına olan etkisini ele almaktadır. Gişelerde, nakit ödeme yapan sürücüler tamamen durarak ödemelerini yapmakta, otomatik ödeme sistemine sahip olan araçlar ise hızlarını düşürerek ve yalnızca bariyerin açılmasını gözeterek geçiş yapabilmektedir. Ayrıca, sürücüler, karma ödeme sistemlerinin yanında farklı araç tiplerinin kullanımıyla da artan servis süreleriyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu çalışma kapsamında, gişelerdeki servis süreleri, İstanbul Kuzey Marmara Otoyolu' nun Alemdağ gişeleri göz önünde bulundurularak, VISSIM benzetim programı ile farklı senaryolar altında incelenmiştir. Analizler sonucunda, otoyol ücretinin nakit ödenmesi durumunda servis sürelerinin araç tipine göre değişiklik gösterdiği ve bu sürelerin 6.1 sn ile 66 saniye arasında değiştiği görülmüştür. Bununla birlikte, talebin düşük olması durumunda, ardışık otomatik ödeme sistemini kullanan taşıtların birbirine etkisinin neredeyse bulunmadığı, nakit ödeme yapan kullanıcıların ise diğer taşıtlar üzerinde önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, 2000 tş/sa/şrt' lik talep olması ve tüm taşıtların nakit ödemeyi tercih etmesi durumunda 48 dakikalara varan gecikmelerin yaşanabileceği bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Trafik benzetim, Otoyol gişesi, Elektronik ödeme, Nakit ödeme

## THE EFFECT OF BARRIERED FREEWAY TOLL BOOTHS ON TRAFFIC FLOW: ISTANBUL NORTHERN MARMARA FREEWAY SAMPLE

### Abstract

This study focuses on the impact of barrier-operated freeway exit toll booths, as well as cash and automatic payment systems, on traffic flow. Drivers that pay in cash stop completely at toll booths, whereas vehicles with automatic payment systems can pass by slowing their speed and just observing the opening of the barrier. Furthermore, drivers endure longer service times as a result of the utilization of different vehicle types and varied payment mechanisms. The service times at the toll booths were investigated under various scenarios using the VISSIM simulation software, taking into account the Alemdag toll booths on the Istanbul Northern Marmara Freeway. As a result of the analysis, it was discovered that service times vary depending on the vehicle type, ranging from 6.1 seconds to 66 seconds in the case of cash payment of the freeway toll. However, in the case of low demand, vehicles using the sequential automatic payment method have essentially no effect on each other, whereas users making cash payments have considerable effects on other vehicles. As a result, if there is a demand of 2000 veh/h/l and all vehicles prefer to pay in cash, there may be delays of up to 48 minutes.

**Keywords:** Traffic simulation, Freeway toll booth, Electronic payment, Cash payment

### 1. Giriş

İstanbul, nüfus ve arazi kullanımı yönlerinden sürekli artış gösteren ve buna paralel olarak trafik talebinin de sürekli arttığı büyük ölçekli bir kenttir. Artan trafik talebini karşılamak için son yıllardaki kamu özel işbirliği (KÖİ) projeleri ile İstanbul otoyol ağı çok hızlı artış göstermiştir.

KÖİ ile yapılan projelerin daha yüksek geçiş ücretlerinin olması bu yollar üzerindeki talebi daha sınırlı tutmakta ve finansal kaygılar nedeniyle otoyol çıkış gişelerinde bariyerli gişe tasarımı tercih edilmektedir. Bununla birlikte, her otoyol çıkış gişesinde elektronik ve nakit ödemelerin birlikte yapılabilmesi, elektronik ödeme yapan araçların dahi uzun sürelerde gişe bölgelerinden geçebilmelerine ve taşıtların gişe bölgelerinde kaybettiği zamanın artmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada, nakit ödeme yapan taşıtların gişe bölgesini kullanan diğer taşıtlar üzerinde yarattığı etkiler Kuzey Marmara Otoyolu, Alemdağ gişesinde, VISSIM benzetim programı ile incelenmiştir. Çalışma

kapsamında, gişelerde artan nakit ödeme oranına karşın gecikme ve ortalama dur-kalk sayısındaki değişimle birlikte gişe bölgesinin kapasitesi analiz edilmiştir.

## 2. Metot ve Yöntemler

Çalışmada, servis süresi analizleri, KÖİ ile yapılan ve işletilen, Anadolu yakasında yer alan, Kuzey Marmara Otoyolu Alemdağ gişelerinde yapılmıştır. Şekil 1'den de görüldüğü üzere, Kuzey Marmara Otoyolu Alemdağ gişelerinde, 4 adet gişe bölgesi bariyerli olarak hizmet vermekte ve gişe bölgesinden geçiş yapan taşıtlar için hız limiti 20 km/sa olarak uygulanmaktadır.



Şekil 1. Alemdağ gişeleri

Çalışma kapsamında, otoyol bölgesini kullanan taşıt tiplerine göre 4 farklı taşıt sınıfı oluşturulmuş ve toplamda 3264 farklı taşıta ait servis süre ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan taşıt sınıfları ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Taşıt sınıfları ve özellikleri

| Taşıt sınıfı                         | Açıklama  |
|--------------------------------------|---|
| Otomobil                             | Otomobil, pikap, kamyonet, jip gibi 4-8 kişi taşıyabilen taşıtlar           |
| Orta yüklü ticari taşıt              | Yolcu kapasitesi 8-25 kişi ve ağırlığı 3.5-5 ton olan taşıtlar              |
| Otobüs ve Kamyon                     | Boyları 8-12 m olan, daha fazla yolcu ve yük nakli yapabilen taşıtlar,      |
| Kamyon+Römork,<br>Çekici+Yarı Römork | Uzunlukları 10-18 m olan ve çok daha yüksek taşıma kapasitesi olan taşıtlar |

Gözlemler zirve dışı saatlerde, Tablo 1'de yer verilen araç sınıflarına göre yapılmıştır. Tablo 2'den görüldüğü üzere gözlemlerin önemli bir kısmını otomobil oluşturmaktadır.

Tablo 2. Ödeme yöntemlerinin taşıt sınıflarına göre kullanım oranları

| Ödeme Yöntemi    | Taşıt Sınıfı                         | Gözlem Sayısı | %     | Toplam % |
|------------------|--------------------------------------|---------------|-------|----------|
| Elektronik Ödeme | Otomobil                             | 2051          | 62.84 | 86.73    |
|                  | Orta yüklü ticari taşıt              | 336           | 10.29 |          |
|                  | Otobüs ve Kamyon                     | 213           | 6.53  |          |
|                  | Kamyon+Römork,<br>Çekici+Yarı Römork | 231           | 7.08  |          |
| Nakit Ödeme      | Otomobil                             | 261           | 8.00  | 13.27    |
|                  | Orta yüklü ticari taşıt              | 51            | 1.56  |          |
|                  | Otobüs ve Kamyon                     | 55            | 1.69  |          |
|                  | Kamyon+Römork,<br>Çekici+Yarı Römork | 66            | 2.02  |          |

Tablo 2 dikkatle incelendiğinde 3.264 taşıtın %13,27'sinin nakit ödemeyi tercih ettiği görülmektedir. Aynı zamanda gişeleri kullanan taşıtların %70,82'sinin otomobil, %11,85'inin orta yüklü ticari taşıt, %8,24'ünün otobüs ve kamyon, %9,09'unun ise Kamyon+Römork sınıfı taşıtlardan oluştuğu görülmektedir.

Bir otoyol çıkış gişesinin kapasitesini belirleyen en önemli faktör servis süresidir. Servis süresi; ödenecek miktar, gişe personel tecrübesi, ödeme yöntemi ve taşıt sınıfı gibi birçok parametreden etkilenmektedir (Karim ve arkadaşları, 2020). Özellikle otomobiller ile ağır taşıtların servis sürelerinde önemli farklar olduğu, ayrıca bariyerli gişelerde servis süresinin daha fazla olduğu, dolayısıyla daha düşük kapasitelerde hizmet verdiği Woo ve Hoel (1991) tarafından belirtilmektedir. Aynı zamanda, bariyer kontrollü otoyol gişeleri, trafik akımı üzerinde güvenlik bakımından da olumsuz etki etmektedir. Kaza riskinin bariyersiz açık tip ücret toplama



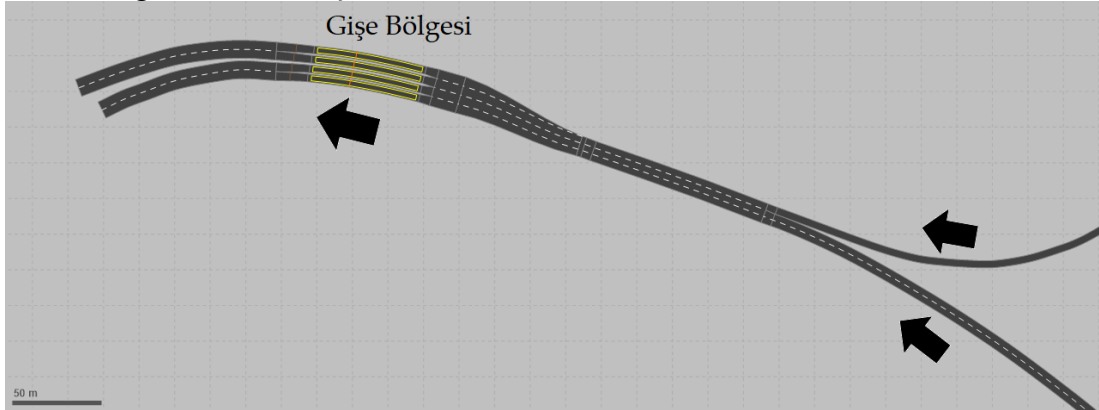
gişelerinde %24 daha düşük olduğu belirlenmiştir (Yang ve arkadaşları, 2012). Nakit ödemenin yarattığı negatif etkinin bir sonucu olarak, Abdelwahab (2017) otoyol gişesini kullanan taşıtların %50'den fazlasının nakit ödeme kullandığı ve talebin 4000 tş/sa olduğu durumlarda uzun gecikmeleri önlemek için en az 14-18 gişenin hizmet etmesi gerektiğini belirtmektedir. Otoyol gişelerinin sayısını arttırmanın etkileri Aksoy ve arkadaşları (2014) tarafından incelenmiş, gecikmeler ve gişe sayısının doğru orantılı olduğu bulunmuştur.

Otoyol gişelerinde özellikle elektronik ve nakit servis sürelerinin ölçülmesi konusunda fikir birliği bulunmamakla birlikte, Mahdi ve arkadaşları (2019) trafik benzetim çalışmasında sadece nakit ödeme yapan taşıtlar için ölçülen süreleri kullanmışlardır. Bu çalışmada nakit ödeme yapan taşıtlar için servis süresi, taşıtın durması ve ödemenin tamamlanması ardından harekete geçtiği zaman farkı olarak dikkate alınmıştır. Navandar ve arkadaşları (2017) servis süresini, ödeme için geçen zaman ile taşıtın kendi boyunu kat etme süresi olarak tanımlamışlardır. Karim ve arkadaşları (2020) ise nakit ödeme için servis süresini, taşıtın ödeme için durması ile bariyeri tamamen geçtiği süre farkı olarak belirtmişlerdir. Literatürde servis süresi ölçümünde bir fikir birliği bulunmamakla birlikte, bu çalışmada nakit ödemeler için servis süresinin aracın ödeme için durmasıyla başladığı ve bariyeri tamamen geçtiği anda bittiği kabulüyle yapılmıştır. Tablo 2'de verilen toplam gözlemin %13,27'sini oluşturan 433 taşıt için servis süresi ölçümü belirtilen şekilde gerçekleştirilmiştir. VISSIM model ortamında da sadece nakit ödeme yapan taşıtlara servis süresi tanımlanmış, elektronik ödeme sistemini kullanan taşıtlar için servis süresi tanımlanmamıştır.

Literatürdeki birçok çalışmada, taşıt sınıfının da servis süresi üzerinde etkili olduğu vurgulanmıştır. Navander ve arkadaşları (2017) taşıtların etkisini yedi sınıfta incelemiş ve trafik akımında küçük boyutlu araçların yüzdesi arttıkça bu taşıtlar için daha küçük servis sürelerinin gözlemleneceğini belirtmişlerdir. Lima ve arkadaşları (2019) taşıt sınıfı ile birlikte gişe görevlisinin cinsiyetinin de nakit ödeme sırasındaki servis süresini önemli oranda etkilediğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, bu çalışmada da dört farklı taşıt sınıfı tanımlanarak oluşturulan model ortamında analiz edilmiştir.

## 2.1.Çalışma Bölgesi

Nişantepe gişe sahası Şekil 1'de gösterildiği üzere 4 gişeden oluşmaktadır. Fiziksel olarak, mevcut olan gişelerin tamamı aynı anda hizmet vermekte ve en az 1 gişe sürekli aktif durumda olmaktadır. Nişantepe Gişe sahasına, Şekil 2'den görüldüğü üzere iki ve bir şeritli iki farklı otoyol çıkış yolu bağlanmaktadır. Oluşturulan benzetim modelinde 4 gişenin sürekli aktif olduğu ve her gişede karma (nakit ve elektronik) ödeme sistemlerinin aktif olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 2. Nişantepe gişe sahası benzetim modeli

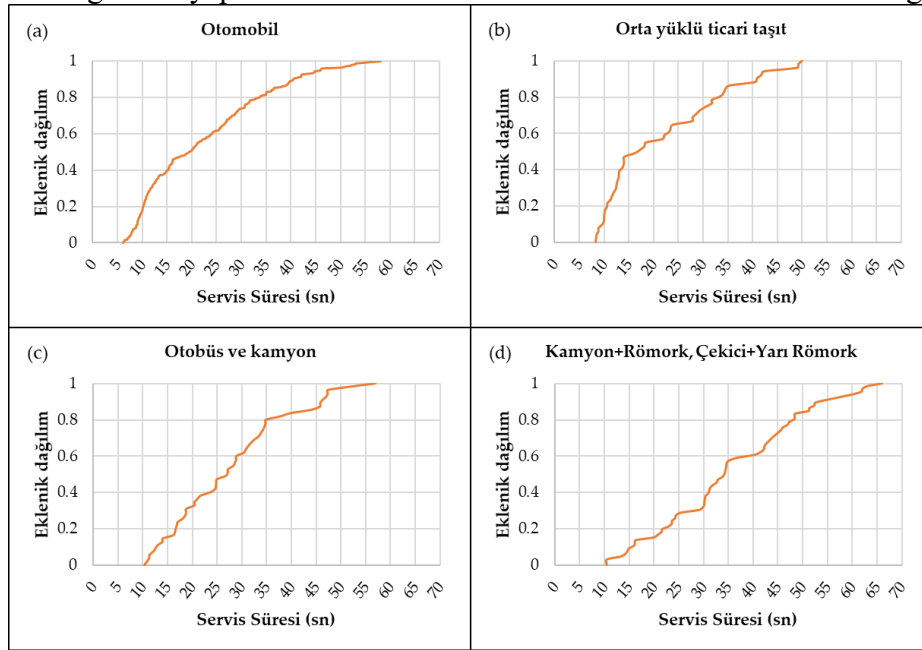
Nişantepe gişe sahasına toplam 3 şerit bağlanmakta, gişe bölgesinden yaklaşık 150 m önce şerit sayısı 4'e çıkmakta ve bu şeritler dört çıkış gişesine bağlanmaktadır. Benzetim modelinde, tüm taşıt sınıfları için 60 m uzunluğundaki gişe bölgesine hız azaltma alanları 20 km/sa olarak tanımlanmıştır. Aynı zamanda, her bir taşıt sınıfı için taşıt hızları otoyol hız limitlerine uygun olarak verilmiştir. Model ortamında, gişe sahasından 1 km akım yukarı yöne kadar modelleme yapılmıştır. Şüphesiz oluşturulan senaryolarda bu uzunluktan daha fazla kuyruk boyları oluşacaktır, fakat modelin verimli çalışması ve her bir senaryoya çok uzun zaman harcanmaması açısından söz konusu uzunluk 1 km ile sınırlı tutulmuştur. Karşılaştırmalar kendi içerisinde yapılacağı için bu uzunluğun sonuçlar açısından görece bir etkisi de bulunmamaktadır.

Çalışma kapsamında, nakit ödeme yapan taşıtların trafik akımındaki yüzdesi değiştirilerek bu taşıtların gişe bölgesini kullanan tüm taşıtlar üzerinde yarattıkları etkiler incelenmiştir. Bu bağlamda, Tablo 2'de görüldüğü üzere, gözlem yapılan taşıtların yüzdeleri sabit kalacak şekilde bir taşıt kompozisyonu VISSIM'de

tanımlanmıştır. Taşıt kompozisyonunun %70,82'si otomobil, %11,85'i orta yüklü ticari taşıt, %8,24'ü otobüs ve kamyon, %9,09'u ise Kamyon+Römork sınıfı taşıtlardan oluşmakta olup, her bir senaryo (farklı hacimler ve nakit ödeme yüzdeleri) için bu oranlar aynı kalacak şekilde kullanılmıştır. Bu bağlamda, nakit ödemenin yarattığı etkinin araştırılması amacıyla farklı trafik hacimleri altında, nakit ödeme yüzdesinin sıfır ile yüz arasında değişmesiyle ortaya çıkan etkiler incelenmiştir.

## 2.2.Servis Süreleri

VISSIM'de nakit ödemenin yarattığı etkinin açığa çıkarılması için sadece nakit ödeme yapan taşıtlara ait servis süresi gözlemleri girilmiştir. Böylece, trafik akımında değişik oranlarda gelen ve nakit ödeme yapan taşıtlar otoyol ücret ödemesi için duracak, arkadan gelen ve elektronik ödeme yapacak olan taşıtların önlerinde yer alarak onların da gişe sahasından daha uzun sürede geçmelerine neden olacaktır. Gerçek hayatta da benzer davranışlar söz konusu olduğu için yapılan modellemenin gerçek durumu bire bir yansıtacağı düşünülmektedir. Nakit ödemeler için servis süreleri her bir taşıt için (taşıt sınıfına göre) ayrı ayrı ölçülmüş, Tablo 2'de verilen sayılarda gözlemler yapılmıştır. Her bir taşıt sınıfına ait eklenik dağılım fonksiyonları, Şekil 3'de verildiği üzere VISSIM'e girilerek gözlem yapılan servis sürelerinin model ortamına aktarılması sağlanmıştır.

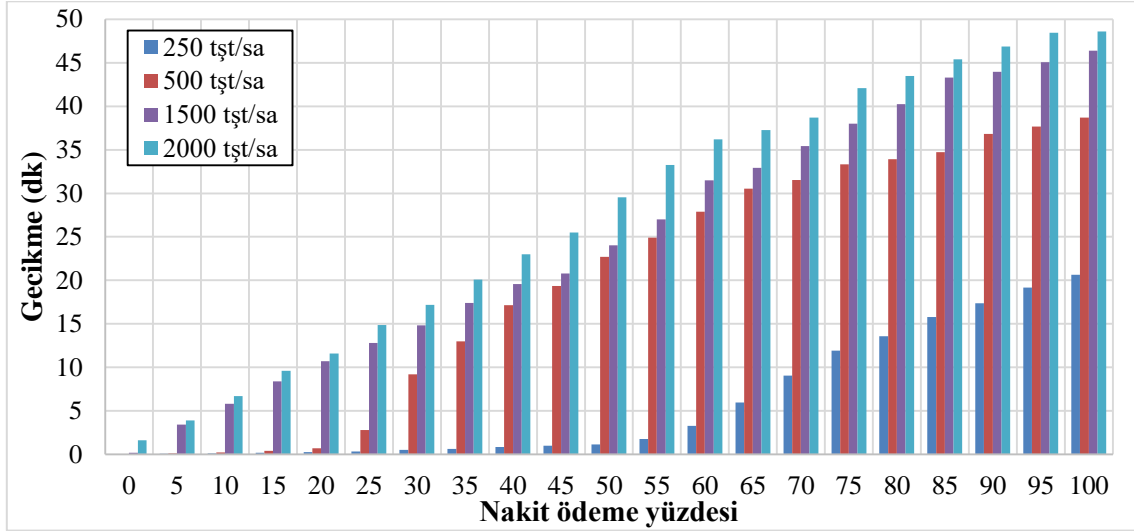


Şekil 3. Taşıt sınıflarına göre servis sürelerinin eklenik dağılım fonksiyonları

Şekil 3, nakit ödeme için gereken servis süresinin her bir taşıt sınıfı için açıkça dağılımını göstermektedir. Gözlem yapılan bu servis süreleri VISSIM'e girilerek gerçek trafik şartlarında gözlemlenen koşulların benzetim ortamına aktarılmasını sağlanmıştır. En uzun servis süresi Kamyon+Römork ve Çekici+Yarı Römork sınıfı için gözlemlenmiş, otomobiller ise diğerlerine kıyasla daha düşük servis süreleri tecrübe etmişlerdir.

## 3. Bulgular ve Sonuçlar

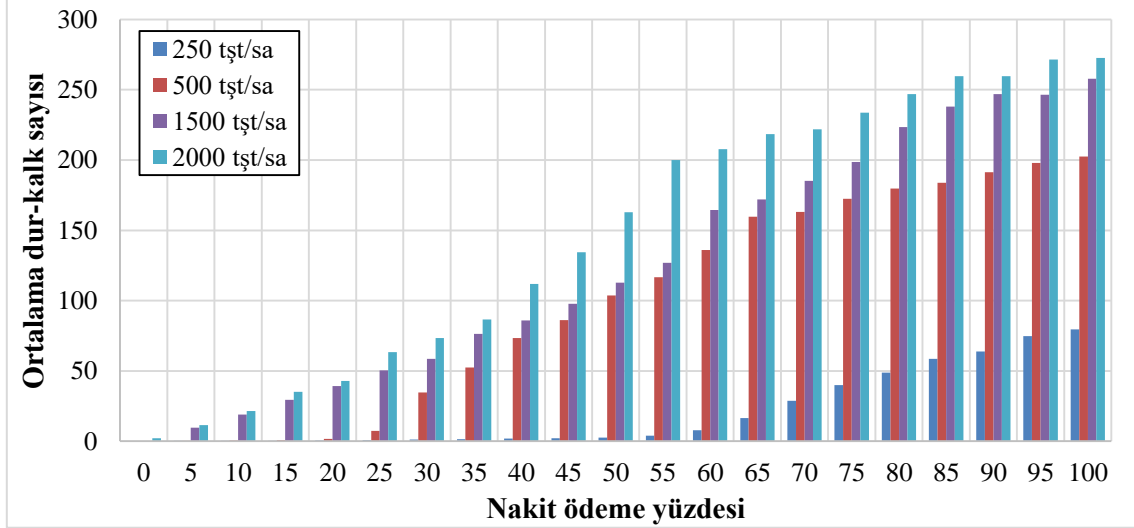
Farklı trafik hacimlerinin ve farklı nakit ödeme yüzdesinin trafik akımına etkisi VISSIM ile incelenmiştir. Bu bağlamda, Nişantepe gişe sahasına bağlanan 3 şeritli bağlantı yollarında, şerit başına, 250, 500, 1500 ve 2000 tş/sa talep olması durumları nakit ödeme yüzdesinin sıfır ile yüz arasında değiştiği göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Akım yukarı yönde 3 bağlantı şeridinin olması nedeniyle gişe bölgesine gelen toplam talep sırasıyla 750, 1500, 4500 ve 6000 tş/sa olmaktadır. VISSIM ortamında, taşıtların ortalama gecikmeleri, ortalama dur-kalk sayıları ve 4 gişeden geçebilen taşıt sayıları elde edilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 4 nakit ödeme oranındaki artış ile gecikmeler arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Nakit ödeme yüzdesi ve gecikme arasındaki ilişki

Şekil 4'den görüldüğü üzere en düşük gecikmeler geçişlerin tamamının elektronik olarak yapılması durumunda yaşanmaktadır. Tüm geçişlerin elektronik yapılması durumunda dahi, talep yüksek iken (2000 tş/sa/şrt) taşıt başına ortalama 1,6 dk gecikme bulunmuştur. Bu durum, aynı zamanda gişe bölgesinin kapasitesi ile de yakından ilişkilidir. Başka bir deyişle, tüm ödemelerin elektronik yapılması durumunda dahi taşıtların gişe bölgesinden yavaşlayarak geçmesi, sürücülerin uygun şerit seçimi vb. gibi nedenlerden dolayı araçlar arasındaki etkileşim artmakta ve gecikmeler kaçınılmaz olmaktadır.

Ödemelerin tamamının nakit yapılması durumunda, en yüksek gecikme süreleri, 250, 500, 1500 ve 2000 tş/sa talep için sırasıyla 20,65 dk, 38,71 dk, 46,40 dk ve 48,59 dk olarak elde edilmiştir. Artan nakit ödeme yüzdesi, gecikmelerin yanında trafik akımı içerisinde yer alan taşıtların yaşadığı dur-kalk sayısını da etkilemektedir. Nakit ödeme yüzdesi ile dur-kalk sayısı arasındaki ilişki Şekil 5'de verilmektedir.

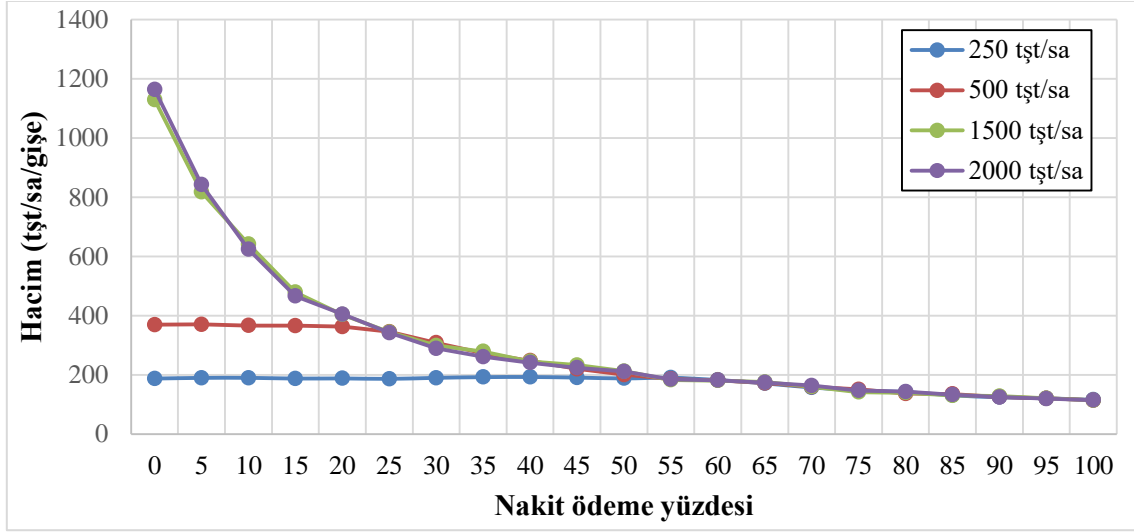


Şekil 5. Nakit ödeme yüzdesi ile dur-kalk sayısı arasındaki ilişki

Gecikmelerde olduğu gibi en yüksek dur-kalk sayısı, ödemelerin tamamının nakit yapılması durumunda gözlemlenmiştir. Bu durumda 250, 500, 1500 ve 2000 tş/sa talep için ortalama dur-kalk sayıları sırasıyla 79, 202, 257 ve 272 olarak belirlenmiştir. Talebin düşük olması dur-kalk sayısına doğrudan etki etmektedir. Ödemelerin %60'ının nakit yapılması durumunda, talep düşük iken (250 tş/sa), ortalama dur-kalk sayısı 10'un altında kalmıştır. Bu değer, 500 tş/sa'lık talep için %25 nakit ödeme oranında ve 1500 tş/sa'lık talep için %5 nakit ödeme oranında elde edilmiştir. Şerit başına 2000 tş/sa'lık talep durumunda ise ödemelerin tamamının elektronik olarak yapılması halinde bile taşıt başına ortalama dur-kalk sayısı 2 olarak hesaplanmıştır.

Bir diğer önemli performans ölçütü ise bahsi geçen koşullar altında gişelerden geçebilen taşıt sayısıdır. Bir başka deyişle, her bir koşul altındaki gişe kapasiteleri olarak belirtilebilir. Yeterli talebin olması durumunda, model ortamında gişelerden geçebilecek en fazla sayıda taşıt sayısı hesaplanabilir. Talebin düşük olması durumunda ise bu ölçüt gişeden geçebilen taşıt sayısındaki azalmanın başladığı nakit ödeme yüzdesini

hesaplama kullanılabılır. Şekil 6’da belirtilen dört farklı talep için gişe bölgesinden geçebilen taşıt sayısı  $t\$/sa/gi\$/biriminde$  verilmiştir.



Şekil 6. Şerit başına 1 gişeden saatlik geçebilen taşıt sayısı

Şekil 6’da her bir talep ayrı ayrı önem teşkil etmektedir. Burada, 250 t\$/sa için talebin kapasiteye göre düşük kalması nedeniyle belli bir nakit ödeme yüzdesine kadar gelen tüm taşıtlar gişe bölgesinden geçebilmektedir. Şerit başına 250 t\$/sa olarak 3 şerit için yüklenen talep, dört şeritli gişe bölgesinde yaklaşık 190 t\$/sa/gişe olarak hesaplanmakta ve ödemelerin %55’inin nakit yapılması durumuna kadar bu değeri koruyabilmektedir. Düşük talep (250 t\$/sa/şrt) durumunda bile, nakit ödemelerin %60 ve daha yukarı olması durumunda gişe kapasitesi artan nakit ödemeler nedeniyle azalmakta ve %100 nakit ödeme yapılması durumunda ise bu değer 116 t\$/sa/gişe değerine düşmektedir. Başka bir deyişle, dört şeritli otoyol çıkış gişesinden saatlik 464 taşıta hizmet verilebilmektedir.

Şekil 6’da verilen talebin 500 t\$/sa/şrt olması durumunda da benzer bir eğilim göze çarpmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, talebin 250 t\$/sa/şrt olması durumunda %55 olan nakit ödeme limitinin burada %20’ye düşmesidir. Elde edilen bu bilgilerden de anlaşılacağı üzere, nakit ödemelerin %20’den daha fazla olması durumunda otoyol gişesinden geçebilen taşıt sayısında azalmalar başlamaktadır. Ödemelerin %20’sinin nakit olarak yapılması durumunda bir gişeden geçebilen taşıt sayısı 363 t\$/sa/gişe iken, tüm ödemelerin nakit yapılması durumunda bu değer yaklaşık 2/3 azalarak 115 t\$/sa/gişe değerine düşmektedir. Ödemelerin %20’sinin nakit olarak yapılması durumunda, gişelerden (toplam 4 gişe) geçen toplam hacim 1452 t\$/sa olarak elde edilmiştir.

Şekil 6’ dan, 1500 ve 2000 t\$/sa/şrt’lik talepler için elde edilen hacim-nakit ödeme yüzdesi eğrilerinin birbirlerine benzer paralel eğimler sergilediği görülmektedir. Bu durum, gişe kapasitesinin üstünde yüklenen hacim değerleriyle açıklanabilir. Şerit başına talebin 1500 t\$/sa olması durumunda ve ödemelerin tamamının elektronik olarak yapılması durumunda bir gişeden geçebilen taşıt sayısı 1130 t\$/sa/gişe olarak hesaplanmış, talebin 2000 t\$/sa olması durumunda ise aynı değer, yaklaşık %3 farkla 1164 t\$/sa/gişe olarak elde edilmiştir. Bu küçük farkın VISSIM’ in stokastik yapısından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. 250 ve 500 t\$/sa’lik taleplere ait eğrilerden farklı olarak, 1500 ve 2000 t\$/sa’lik taleplere ait eğrilerde nakit ödeme yüzdesi arttıkça geçebilen taşıt sayısı aynı hızla azalmakta ve tüm ödemelerin nakit yapılması durumunda diğerlerine benzer olarak 115 t\$/sa/gişe değerine kadar düşmektedir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada bariyerli otoyol çıkış gişelerinde, elektronik ve nakit ödeme sistemlerinin birlikte işletilmesi durumunda gecikmeler ve kapasite değişimleri incelenmiştir. Kuzey Marmara Otoyolu üzerinde bulunan Alemdağ gişelerinde yapılan gözlemlerde, gişeleri kullanan 3.264 taşıttan 433’ünün nakit ödeme yaptığı belirlenmiş ve bu taşıtlara ait servis süreleri ölçülmüştür. Sahadan elde edilen servis süreleri VISSIM’e taşıt sınıfları gözetilerek tanımlanmış ve ardından farklı hacimler ve farklı nakit ödeme yüzdeleri altında incelenmiştir.

Trafik akımı içerisinde artan nakit ödeme yüzdesi gecikmelerin de artmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda, bu değişimin yüksek taleple birleşmesi durumunda ortaya çıkan etki daha da fazla olmaktadır. Otoyol çıkış



gişelerinde, sürücüler tarafından ödemelerin tamamının nakit yapılması durumunda ortalama gecikme, en düşük talep (250 tş/sa/şrt) için 20,65 dk; en yüksek talep (2000 tş/sa/şrt) için ise 48,59 dk olarak hesaplanmıştır.

Gecikmelerin yanında, bir diğer hizmet kalitesi ölçütü olan çalışma alanı içerisindeki ortalama dur-kalk sayısı da VISSIM'den elde edilmiştir. Gecikmelere paralel şekilde artan nakit ödeme yüzdesi ve artan trafik hacmi ortalama dur-kalk sayısı üzerinde olumsuz etki etmektedir. Ortalama dur-kalk sayısı, ödemelerin tamamının nakit yapılması durumunda talep düşük (250 tş/sa/şrt) iken 79, talep yüksek (2000 tş/sa/şe) iken ise 272 olarak elde edilmiştir.

Gişe kapasitesi de bariyerli otoyol çıkış gişelerinde ele alınması gereken önemli konulardan biridir. Artan taşıt etkileşimi ve artan servis süreleri neticesinde gişe kapasiteleri de önemli derecede azalmaktadır. Ödemelerin tamamının nakit yapılması durumunda, tüm talep durumları (250, 500, 1500, 2000 tş/sa) altında bir gişeden geçebilen trafik hacmi yaklaşık 115 tş/sa/gişe olarak elde edilmiştir. Talebin yüksek (2000 tş/sa) olması ve tüm ödemelerin elektronik olarak yapılması durumunda ise bir gişeden geçebilen trafik hacmi 1164 tş/sa/gişe olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, bariyerli gişe tasarımının ve karma ödeme sistemi uygulamasının trafik akımlarında olumsuz etkiler meydana getirebileceğini göstermektedir. Bariyerli gişe tasarımı, sürücülerin uygun gişeyi seçme arzusunu arttırmakta ve trafik güvenliğini tehlikeye atabilmektedir. Sonuç olarak, İstanbul'da devlet tarafından işletilen tüm otoyollarda yer alan ve fiziksel bir gişeye gereksinim duyulmayan açık tip ücret toplama gişelerinin doğru ve güvenilir tasarımlar olduğu söylenebilir.

### Kaynaklar

1. Karim, A. M., Abdellah, A. M. & Hamid, S. (2020). Analysis of the Operational Impact of ETC Lanes on Toll Station. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5 (6), 1286-1292.
2. Woo, H.T. and Hoel, L.A. (1991). Toll Plaza Capacity and Level of Service. *Transportation Research Record*, Washington, D.C. 1320, 119-127.
3. Yang, H., Ozbay, K. & Bartın, B. (2012). Effects of Open Road Tolling on Safety Performance of Freeway Mainline Toll Plazas. *Transportation Research Record*, 2324(1), 101-109.
4. Abdelwahab, H. T. (2017). Traffic Micro-Simulation Model for Design and Operational Analysis of Barrier Toll Stations. *Ain Shams Engineering Journal*, 8(4), 507-513.
5. Aksoy, G., Celikoglu, H. B. & Gedizlioglu, E. (2014). Analysis of Toll Queues by Micro-Simulation: Results from a Case Study in Istanbul. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 111, 614-623.
6. Mahdi, M. B., Leong, L. V. & Sadullah, A. F. M. (2019). Use of Microscopic Traffic Simulation Software to Determine Heavy-vehicle Influence on Queue Lengths at Toll Plazas. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(8), 7297-7311.
7. Navandar, Y. V., Golakiya, H. D., Dhamaniya, A. & Patel, D. A. (2018). Vehicle Class Wise Service Time Prediction Models for Tollbooths under Mixed Traffic Conditions. In *Urbanization Challenges in Emerging Economies: Energy and Water Infrastructure; Transportation Infrastructure; and Planning and Financing* (pp. 794-806). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
8. Lima, J. P., Inácio, P. P. A. & Leal, F. (2019). Service Levels of Highway Toll Plazas: The Influence of Factors on Manual Customer Service. *Production*, 29.