



**KÖPRÜ VE OTOYOL ÜZERİNDEKİ ÜCRET ÖDEME GİŞE SAHASININ
SİMÜLASYON İLE MODELLENMESİ**

BATUHAN MENGİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ulviye POLAT

2025

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



KÖPRÜ VE OTOYOL ÜZERİNDEKİ ÜCRET ÖDEME GİŞE SAHASININ
SİMÜLASYON İLE MODELLENMESİ

BATUHAN MENGİ

ORCID: 0009-0007-2746-7750

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Danışman: Doç. Dr. Ulviye POLAT

TEMMUZ-2025

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

KÖPRÜ VE OTOYOL ÜZERİNDEKİ ÜCRET ÖDEME GİŞE SAHASININ SİMÜLASYON İLE MODELLENMESİ

Batuhan MENGİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ulviye POLAT

Karayolu sektörü, esnek yapısı, hız imkanı ve konumlar arası kesintisiz ulaşım avantajıyla ülkemizde ve dünyada ulaştırmanın ana unsurudur. Son yıllarda hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkelerin ulaştırma ağı karayolları ve otomobillerin etkisi altındadır. 2023 yılı itibariyle ülkemizde her 1.000 kişiye düşen otomobil sayısı 167 ve toplam taşıt satışı 311 adet olmaktadır. Önümüzdeki 20 yıl içerisinde ülkemizde bu oranın her 1.000 kişiye düşen otomobil sayısının 531 otomobil olacağı öngörülmektedir. Çalışmanın amacı, Türkiye’de 1915 Çanakkale Köprüsü ve Otoyolu’nun Malkara ücret toplama istasyonu çıkış gişelerinin bir simülasyon modelini kurarak araç geliş yoğunluğuna göre 10 farklı mevcut durumdaki kuyruk miktarı ve bekleme süreleri incelenerek mevcut durumu alternatif senaryolar ile karşılaştırıp araç geliş yoğunluğuna göre gişe modu değişikliği ve açık gişe sayısı belirlemektir. Simülasyon çalışması için otoyoldaki araç geliş verileri, ödeme yöntemleri, çıkış gişesi kullanım oranları ve ödeme yöntemine göre işlem süreleri gözlemlenerek temin edilmiştir. Ele alınan istasyonda MTC adı verilen nakit ve kredi kartı ödeme yöntemi, ETC adı altında HGS ile ödeme yöntemi ve EFV olarak isimlendirilen ihlalli geçiş ödeme yöntemi incelenmiştir. Mevcut durumun yanında karma gişe modeli ve açık bariyerli gişe modeli olmak üzere iki farklı senaryo geliştirilmiştir. Araç geliş yoğunluğuna göre ilgili çıkış istasyonunda alınması gereken aksiyonlar hakkında önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Simülasyon, Arena, Otoyol Geçiş Modelleme

ABSTRACT

SIMULATION-BASED MODELING OF TOLL BOOTH AREAS ON BRIDGES AND HIGHWAYS

Batuhan Mengi

Department of Industrial Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Doç. Dr. Ulviye POLAT

The road transportation sector, with its flexible structure, speed capability, and uninterrupted transportation advantage between locations, is the primary element of transportation in our country and globally. In recent years, the transportation networks of both developing and developed countries have been influenced significantly by roads and automobiles. As of 2023, the number of cars per 1,000 people in our country is 167, with a total vehicle count of 311. Over the next 20 years, this ratio is projected to increase to 531 cars per 1,000 people. The aim of this study is to develop a simulation model of the exit toll booths at the Malkara toll collection station on the 1915 Çanakkale Bridge and Motorway in Turkey. By analyzing vehicle arrival densities, the study examines queue lengths and waiting times for 10 different current scenarios and compares the existing situation with alternative scenarios. The goal is to determine toll booth mode changes and the number of open booths based on vehicle arrival densities. For the simulation study, vehicle arrival data on the highway, payment methods, exit toll booth usage rates and transaction times according to payment method were obtained by observation. At the station in question, three payment methods were analyzed: MTC, which includes cash and credit card payments; ETC, which involves HGS payments; and EFV, which refers to violation payment methods. In addition to the current situation, two alternative scenarios were developed: a mixed toll booth model and an open-barrier toll booth model. Recommendations were made regarding the actions to be taken at the relevant exit station based on vehicle arrival densities.

Keywords: Simulation, Arena, Highway Toll Modeling

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
TEŞEKKÜR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	4
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	15
2. OTOYOL ÜCRET TOPLAMA SİSTEMLERİ	17
2.1 Açık ve Kapalı Ücret Toplama Sistemleri	17
2.2 Bağımsız ve Tümüleşik Sistemler	17
2.3 Ücret Toplama Gişelerinin Otomasyonu	18
2.4 Manuel ve Elektronik Ücret Toplama Teknolojisi	19
3. MATERYAL VE METOT	22
3.1 Simülasyon Tanımı	22
3.2 Simülasyon Modelleme Süreci	24
3.3 Simülasyon Yönteminin Çeşitleri	25
3.4 Arena Simülasyon Yazılımı	26
3.5 İncelenen Ücret Toplama İstasyonu	28
3.6 Model İş Akış Diyagramlarının Belirlenmesi	34
3.7 Ücret Toplama İstasyonu için Kurulan Simülasyon Modeli	37
3.8 Modele Ait Varsayımlar	44
4. BULGULAR	45
4.1 Gelişler Arası ve İşlem Süreleri Olasılık Dağılımlarının Tespiti	45
4.2 Simülasyon Modelinin Geçerliliği	56
4.3 Mevcut Durum Modelinin Analizi	67
4.3.1 100 – 199 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi	68
4.3.2 200 – 299 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi	68
4.3.3 300 – 399 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi	69
4.3.4 400 – 499 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi	69

4.3.5	500 – 599 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi	69
4.3.6	600 – 699 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi	70
4.3.7	700 – 799 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi	70
4.3.8	800 – 899 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi	71
4.3.9	900 – 999 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi	71
4.3.10	1000 – 1099 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi	71
4.4	Karma Gişe Modelinin Analizi	72
4.4.1	100 – 199 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	72
4.4.2	200 – 299 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	73
4.4.3	300 – 399 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	73
4.4.4	400 – 499 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	74
4.4.5	500 – 599 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	74
4.4.6	600 – 699 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	75
4.4.7	700 – 799 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	75
4.4.8	800 – 899 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	76
4.4.9	900 – 999 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	77
4.4.10	1000 – 1099 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	77
4.5	Açık Bariyerli Gişe Modelinin Analizi	78
4.5.1	100 – 199 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	78
4.5.2	200 – 299 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	79
4.5.3	300 – 399 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	79
4.5.4	400 – 499 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	80
4.5.5	500 – 599 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	81
4.5.6	600 – 699 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	81
4.5.7	700 – 799 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	82
4.5.8	800 – 899 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	82
4.5.9	900 – 999 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	83
4.5.10	1000 – 1099 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi	84
5.	SONUÇ	85
	KAYNAKLAR	89
	EKLER	92
	EK-1. ARAÇ GELİŞ ARALIKLARINA GÖRE GELİŞLER ARASI SÜRELERE AİT SERPME DİYAGRAMLARI	92
	EK-2. MEVCUT DURUM VE ALTERNATİF MODELLERİN EŞLEŞTİRİLMİŞ ÖRNEKLEM T TESTİ SONUÇLARI	97

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. 2002 - 2023 Tamamlanan Önemli Projeler (UAB, 2023).....	1
Çizelge 1.2. Literatür özet tablosu.....	12
Çizelge 3.1. Kategorilere göre ödeme tipi yüzdeleri.....	31
Çizelge 3.2. Gişelere ve ödeme kanallarına göre araç çıkış yüzdelik dağılımlar.....	32
Çizelge 3.3. Gişe modları.....	33
Çizelge 4.1. 100 - 199 sistemde araçların bekleme süresi (saniye).....	68
Çizelge 4.2. 200 - 299 sistemde araçların bekleme süresi (saniye).....	68
Çizelge 4.3. 300 - 399 sistemde araçların bekleme süresi (saniye).....	69
Çizelge 4.4. 400 - 499 sistemde araçların bekleme süresi (saniye).....	69
Çizelge 4.5. 500 - 599 sistemde araçların bekleme süresi (saniye).....	70
Çizelge 4.6. 600 - 699 sistemde araçların bekleme süresi (saniye).....	70
Çizelge 4.7. 700 - 799 sistemde araçların bekleme süresi (saniye).....	70
Çizelge 4.8. 800 - 899 sistemde araçların bekleme süresi (saniye).....	71
Çizelge 4.9. 900 - 999 sistemde araçların bekleme süresi (saniye).....	71
Çizelge 4.10. 1000 - 1099 sistemde araçların bekleme süresi (saniye).....	72
Çizelge 4.11. 100 - 199 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye).....	72
Çizelge 4.12. 200 - 299 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye).....	73
Çizelge 4.13. 300 - 399 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye).....	74
Çizelge 4.14. 400 - 499 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye).....	74
Çizelge 4.15. 500 - 599 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye).....	75
Çizelge 4.16. 600 - 699 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye).....	75
Çizelge 4.17. 700 - 799 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye).....	76
Çizelge 4.18. 800 - 899 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye).....	76
Çizelge 4.19. 900 - 999 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye).....	77
Çizelge 4.20. 1000 - 1099 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye).....	77
Çizelge 4.21. 100 - 199 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye).....	78

Çizelge 4.22. 200 - 299 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)	79
Çizelge 4.23. 300 - 399 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)	80
Çizelge 4.24. 400 - 499 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)	80
Çizelge 4.25. 500 - 599 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)	81
Çizelge 4.26. 600 - 699 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)	81
Çizelge 4.27. 700 - 799 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)	82
Çizelge 4.28. 800 - 899 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)	83
Çizelge 4.29. 900 - 999 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)	83
Çizelge 4.30. 1000 - 1099 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye) ...	84
Çizelge 5.1. Mevcut durumun ve alternatif senaryoların sonuçlarının özeti.....	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Mevcut durum iş akış diyagramı	34
Şekil 3.2. Karma gişe modeli iş akış diyagramı	35
Şekil 3.3. Açık bariyer gişe modeli iş akış diyagramı	36
Şekil 3.4. Mevcut duruma ait uygulama modeli.....	37
Şekil 3.5. Sisteme gelen araçları oluşturmak için kullanılan CREATE modülü.....	38
Şekil 3.6. Ödeme türlerine göre araçları ayırmak için kullanılan ASSIGN modülü.....	38
Şekil 3.7. Araçları ödeme türüne göre ayıran DECIDE modülü.....	38
Şekil 3.8. Ödeme türüne göre işlem süresi ve tercih edilen gişe yüzdeleri için kullanılan ASSIGN modülü	39
Şekil 3.9. Ödeme türüne göre araç sayısını sayan RECORD modülü.....	39
Şekil 3.10. Araçların ödeme türüne göre gişelere dağılımını sağlayan DECIDE modülü	40
Şekil 3.11. Gişelere çıkış yapmak için gelen araçların sayısını belirlemede kullanılan RECORD modülü.....	40
Şekil 3.12. Gişeleri temsil için kullanılan PROCESS modülü	41
Şekil 3.13. Toplam süre için kullanılan RECORD modülü	41
Şekil 3.14. Araçların sistemden çıkışı için kullanılan DISPOSE modülü.....	42
Şekil 3.15. Karma gişe modundaki sisteme ait uygulama modeli.....	42
Şekil 3.16. Araçların müsait gişelere erişimini sağlayan PICK STATION - STATION modülleri	43
Şekil 3.17. Açık bariyer gişe sistemine ait uygulama modeli	44
Şekil 4.1. 100-199 gelişler arası olasılık dağılımı	46
Şekil 4.2. 200-299 gelişler arası olasılık dağılımı	46
Şekil 4.3. 300-399 gelişler arası olasılık dağılımı	47
Şekil 4.4. 400-499 gelişler arası olasılık dağılımı	48
Şekil 4.5. 500-599 gelişler arası olasılık dağılımı	48
Şekil 4.6. 600-699 gelişler arası olasılık dağılımı	49
Şekil 4.7. 700-799 gelişler arası olasılık dağılımı	50

Şekil 4.8. 800-899 gelişler arası olasılık dağılımı	50
Şekil 4.9. 900-999 gelişler arası olasılık dağılımı	51
Şekil 4.10. 1000-1099 gelişler arası olasılık dağılımı	52
Şekil 4.11. Kapalı bariyer durumunda ETC ödeme süresi olasılık dağılımı	52
Şekil 4.12. Kapalı bariyer durumunda MTC ödeme süresi olasılık dağılımı	53
Şekil 4.13. Kapalı bariyer durumunda EFV ödeme süresi olasılık dağılımı	54
Şekil 4.14. Açık bariyer durumunda ETC ödeme süresi olasılık dağılımı	55
Şekil 4.15. Açık bariyer durumunda EFV ödeme süresi olasılık dağılımı	55
Şekil 4.16. 100-199 gerçek sistem normallik testi sonuçları	56
Şekil 4.17. 100-199 model normallik testi sonuçları	56
Şekil 4.18. 100-199 gerçek&model Mann-Whitney testi sonuçları	57
Şekil 4.19. 200-299 gerçek sistem normallik testi sonuçları	57
Şekil 4.20. 200-299 model normallik testi sonuçları	58
Şekil 4.21. 200-299 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları	58
Şekil 4.22. 300-399 gerçek sistem normallik testi sonuçları	59
Şekil 4.23. 300-399 model normallik testi sonuçları	59
Şekil 4.24. 300-399 gerçek&model Mann-Whitney Testi sonuçları	59
Şekil 4.25. 400-499 gerçek sistem normallik testi sonuçları	60
Şekil 4.26. 400-499 model normallik testi sonuçları	60
Şekil 4.27. 400-499 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları	60
Şekil 4.28. 500-599 gerçek sistem normallik testi sonuçları	61
Şekil 4.29. 500-599 model normallik testi sonuçları	61
Şekil 4.30. 500-599 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları	62
Şekil 4.31. 600-699 gerçek sistem normallik testi sonuçları	62
Şekil 4.32. 600-699 model normallik testi sonuçları	62
Şekil 4.33. 600-699 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları	63
Şekil 4.34. 700-799 gerçek sistem normallik testi sonuçları	63

Şekil 4.35. 700-799 model normallik testi sonuçları.....	63
Şekil 4.36. 700-799 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları.....	64
Şekil 4.37. 800-899 gerçek sistem normallik testi sonuçları.....	64
Şekil 4.38. 800-899 model normallik testi sonuçları.....	64
Şekil 4.39. 800-899 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları.....	65
Şekil 4.40. 900-999 gerçek sistem normallik testi sonuçları.....	65
Şekil 4.41. 900-999 model normallik testi sonuçları.....	66
Şekil 4.42. 900-999 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları.....	66
Şekil 4.43. 1000 - 1099 gerçek sistem normallik testi sonuçları.....	67
Şekil 4.44. 1000 - 1099 model normallik testi sonuçları.....	67
Şekil 4.45. 1000 - 1099 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları.....	67

SİMGELER DİZİNİ

CO	Karbonmonoksit
NO _x	Nitrik Oksit / Azot Dioksit



KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytical Hierarchy Process)
EFV	Exit Free Violation
ETC	Electronic Toll Collection
GKM	Gişe Kontrol Merkezi
HGS	Hızlı Geçiş Sistemi
ID	Identification
IHCM	Endonezya Karayolu Kapasite El Kitabı (Indonesian Highway Capacity Manual)
KGS	Kartlı Geçiş Sistemi
MTC	Manuel Toll Collection
OBVC	Otomatik Bilet Verme Cihazları
OGS	Otomatik Geçiş Sistemi
OST	Otomatik Sınıf Tayini
RFID	Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio Frequency Identification)
ÜTT	Ücret Toplama Terminalleri
ÜYG	Ücret Yan Göstergesi

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımın ilk gününden son anına kadar hiçbir yardım, bilgi, tecrübe ve desteğini esirgemeyerek beni yönlendiren, geleceğe yönelik bilimsel bakıő ačíőı edinmemde büyük katkısı olan saygıdeğer danıőmanım Sayın Doç. Dr. Ulviye POLAT'a, sonsuz destekçim sevgili Buket YILDIZ'a, her koőulda yanımda olan ağabeyim Atahan MENĐI'ye, bugünlere gelmemde destekleri tartıőmasız olan sevgili annem Canan MENĐI ve sevgili babam İlhan MENĐI'ye teőekkürü borç bilirim.

Batuhan MENĐI

Endüstri Mühendisi

1. GİRİŞ

Ülkemiz, Asya, Afrika ve Avrupa kıtalarının birleşiminde doğal bir köprü görevinde olarak stratejik açıdan önemli bir konumdadır. Bu sebeple bölgesel ve küresel koşullar dikkate alındığında ulaşımın daima güncel tutulması Türkiye için vazgeçilmez bir öneme sahiptir. Küresel dünyada ekonominin temel unsurları arasında yer alan ulaşım birçok sektörün rekabet ortamında verimlilik ve sürdürülebilirlik gücüne sahip olabilmesi ile doğrudan ilişkilidir.

Karayolu sektörü, ülkemizde ve dünyada ulaştırmanın ana unsurudur. Son yıllarda hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkelerin ulaştırma ağı karayolları ve otomobillerin etkisi altındadır. Karayolu ulaşımı esnek yapısı, hız imkanı ve konumlar arası kesintisiz ulaşım avantajıyla durmaksızın gelişmektedir. 2023 yılı itibariyle ülkemizde her 1.000 kişiye düşen otomobil sayısı 167 ve toplam taşıt satışı 311 adet olmaktadır. Önümüzdeki 20 yıl içerisinde ülkemizde bu oranın her 1.000 kişiye düşen otomobil sayısının 531 otomobil olacağı öngörülmektedir. Böylelikle karayollarının gelişimi ve inşaatı ülkemiz için çok önemli olmaktadır. Bu sebeple karayolunda yolculuğun konforu ve kalite standardının yükseltilmesi için Yap-İşlet-Devret modeliyle İstanbul-İzmir Otoyolu, Kuzey Marmara Otoyolu, Menemen-Aliaga-Çandarlı Otoyolu, Ankara-Niğde Otoyolu, Malkara-Çanakkale Otoyolu gibi birçok önemli proje hayatımızda yer almıştır. Faaliyete geçen bu projeler sayesinde büyük, orta ve küçük ölçekli işletmelerimizin daha güvenli ticaret yapabilmesi için ortalama trafik hızı 40 kilometreden 88 kilometreye çıkmış ve trafikte yaşanan can kayıpları %81 oranında azaltılmıştır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı [UAB], 2023).

Ülkemiz 2023 yılı itibariyle 3.722 kilometre otoyol, 30.852 kilometre devlet yolu ve 34.152 kilometrelik il yolu dahil olmak üzere toplamda 68.726 kilometrelik yola ve toplam yolun 29.283 kilometrelik kısmı bölünmüş yol olan bir karayolu ağına sahiptir. Ülkemizde 2023 yılı Kasım ayı itibariyle 488 adet karayolu tüneli ve 9.811 adet karayolu köprü ve viyadük bulunmaktadır. Ülkemizdeki 2002-2023 yılları arasında projesi tamamlanmış olup faaliyette olan karayolları Çizelge 1.1'de gösterilmektedir (UAB, 2023).

Çizelge 1.1. 2002 - 2023 Tamamlanan Önemli Projeler (UAB, 2023)

Proje Adı
Kuzey Marmara Otoyolu Odayeri-Paşaköy Kesimi (YSS Köprüsü Dahil)
Kuzey Marmara Otoyolu Kurtköy-Akyazı Kesimi
Kuzey Marmara Otoyolu Kınalı-Odayeri Kesimi
İstanbul-İzmir Otoyolu (Osmangazi Köprüsü Dahil)

Çizelge 1.1. 2002 - 2023 Tamamlanan Önemli Projeler (UAB, 2023) (devamı)

Menemen-Aliğa-Çandarlı Otoyolu
Ankara-Niğde Otoyolu
Kınalı-Tekirdağ-Çanakkale-Savaştepe Otoyolu Malkara Çanakkale Kesimi (1915 Çanakkale Köprüsü Dahil)
Gümüşova-Gerede Otoyolu (Bolu Dağı Geçişi Dahil)
İzmir-Aydın Otoyolu (İzmir Çevre Yolu Dahil)
İzmir-Urla-Çeşme Otoyolu İkiztepe-Konaklar-Doğanlar Kesimi
Bursa Çevreyolu Yalova Ayrımı-Karacabey Köprülü Kavşağı Kesimi
Bursa Çevreyolu Yalova Ayrımı-Turanköy Köprülü Kavşağı Kesimi
Gaziantep-Şanlıurfa Otoyolu Birecik-Suruç Kesimi
Gaziantep-Şanlıurfa Otoyolu Suruç-Şanlıurfa Kesimi
Gaziantep- Şanlıurfa Otoyolu Gaziantep-Birecik Kesimi
Gaziantep-Şanlıurfa Otoyolu Gaziantep Çevreyolu Kesimi
Kemerhisar-Pozantı Otoyolu Kemerhisar-Eminlik Kesimi
Kemerhisar-Pozantı otoyolu Eminlik-Çiftehan Kesimi
Kemerhisar-Pozantı Otoyolu Gölcük-Kemerhisar Kesimi
Kemerhisar-Pozantı Otoyolu Çiftehan-Pozantı Kesimi
Hasdal Kavşağı-Kemberburgaz-Yassıören Ayrımı Yolu
Tekirdağ-Malkara Ayr.-Barbaros Liman Bağlantı Yolu
Tekirdağ Kapaklı Köprülü Kavşağı
İzmir-Uşak-3. Bölge Hudut Yolu
Sabuncubeli Tüneli ve Bağlantı Yolları
Denizli Çevre Yolu ve Honaz Tüneli
Eğiste Hadimi Viyadüğü
Afyon-Şuhut Yolu
Tarihi Akköprü Restorasyonu
Limankale Tüneli
Gaziantep Şehir Hastanesi Kavşağı
Erdemli-Silifke-Taşucu Yolu (Aydıncık-Gözce)
Akkuyu NGS Bağlantı Yolu -1 ve Akkuyu NGS Viyadüğü
Adana 15 Temmuz Şehitler Köprüsü ve Bağlantı Yolu
Kayseri Kuzey Çevre Yolu
Derevenk Viyadüğü
Sarp Sınır Kapısı-Trabzon-Samsun-Sinop Yolu (Karadeniz Sahil Yolu)
Amasya Çevreyolu
Asarcık-Kavak Yolu
Elazığ Ağın (Karamağara) Köprüsü
Kömürhan Köprüsü

Çizelge 1.1. 2002 - 2023 Tamamlanan Önemli Projeler (UAB, 2023) (devamı)

Malatya-Hekimhan-16. Bölge Hududu Yolu
Akıncılar İl Yolu
Elazığ-Harpuz Yolu
Malatya Çevre Yolu (1. Kısım)
Singeç Köprüsü
Adıyaman Hastane FSK
Erkenek Aç-Kapa Tüneli
Bingöl-Solhan Ayr.-Karlıova-12. Bölge Hududu Yolu
Tarihi Malabadi Köprüsü
Nissibi Köprüsü
Diyarbakır Güneybatı Çevre Yolu
Hasankeyf 2 Köprüsü
Şanlıurfa Kuzeybatı Çevre Yolu
Ovit Tüneli ve Bağlantı Yolları
Salarha Tüneli ve Bağlantı Yolları
Yeni Zigana Tüneli ve Bağlantı Yolları
Yusufeli Baraj Yolları 1. Kısım
Yusufeli Baraj Yolları 3. Kısım
Küçüksu-Hizan Ayrımı Pervari İl Yolu
Bitlis Çayı Viyadüğü
Rize-İspir-10. Böl. Hududu
Pirinkayalar Tüneli
Yusufeli Barajı Relokasyon Yolları 2. Kısım
Demirkapı Tüneli ve Bölünmüş yol
Ayvacic-Küçükkuyu Yolu ile Ezine Küçükkuyu Yolu
Ayvacic-Küçükkuyu Yolu Assos ve Troya Tünelleri
Kastamonu-Çankırı Yolu Ilgaz Dağı Tüneli Geçişi (Ilgaz 15 Temmuz İstiklala Tüneli)
Zonguldak-Bartın-Amasra-Kurucaşile-Dice Yolu Çakraz-Karamanköyü Arası
Zonguldak-Bartın-Amasra-Kurucaşile-Cide Yolu Zonguldak-Kilimli Arası
Yıldızeli-Zara-İmranlı-Kovalı Ayrım Yolu (Sivas Havaalanı Dahil)
Sivas-Kangal Ayrım-Gemerek 6. Bölge Hududu Yolu Kovalı-Kayseri İl Sınırı Arası
Sorgun Akdağmadeni Yıldızeli Yolu Sivas-Yozgat İl Sınırı-Yıldızeli Arası
Reşadiye-Gölova Ayrım Yolu
Erzincan Çevre Yolu
Erzincan-Pülümür Ayrım 12. Bölge Hududu Yolu

2023 yılı itibariyle tamamlanmış olan proje sayısı 78'dir. Ülkemizde otoyol ücretleri nakit, kredi kartı, banka kartı, HGS (Hızlı Geçiş Sistemi) ve ihlalli geçiş olarak ödenebilmektedir. Otoyollarda farklı tür ücret tahsilatlarının yapılması ücret toplama gişelerinde duraklamalara sebep olmaktadır. Bir ücretli otoyol gişelerinde oluşan araç kuyruğu trafik, ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan olumsuz etkiye sahiptir (Talavirya, Laskin ve Dubgorn, 2023). Araç trafiğini rahatlatmak ve seyahat konforu sağlayabilmek adına hayata geçirilen projeler dikkate alındığında otoyol ücret toplama gişelerinde oluşan trafik yoğunluğu otoyolların zamandan ve yakıttan tasarruf avantajını olumsuz etkilemekte ve müşteri memnuniyetsizliğine sebep olmaktadır. Bu sebeple müşteri memnuniyetini en üst düzeyde tutmak ve verilen hizmetin kalitesini geliştirmek için çalışmada Türkiye'deki 1915 Çanakkale Köprüsü ve Otoyolu'nun Malkara çıkış istasyonu incelenmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Bu bölümde otoyol ücret toplama istasyonları ile ilgili simülasyon konusunda yapılmış çalışmalar incelenmiştir.

Boz ve Özen (2024), yapmış oldukları çalışmalarında otoyol ücret toplama gişelerinin kapasitesi doğrudan veya dolaylı şekilde etkileyen trafik olaylarının (trafik kazaları, araç arızaları gibi) sebep olduğu çevresel etkileri incelemişlerdir. Trafik olaylarının sebep olduğu taşıtların duruş sayısı, toplam gecikme, toplam seyahat süresi, NOx, CO, uçucu organik bileşikler emisyonu ve yakıt tüketimi performans ölçütü olarak ele alınmış olup VISSIM benzetim programı ile analiz edilmiştir. Yaptıkları analiz sonucunda meydana gelen trafik olaylarının çevreye olumsuz etkileri olduğunu tespit etmişlerdir. Benzetim tekniği ile yapmış oldukları analizde çevresel etkileri azaltmaya yönelik önerilerde bulunmuşlardır.

Radiansyah, Isheka ve Aurarisa (2024), Endonezya'da Ramazan Bayramı itibariyle anormal koşullar altında kuyruk uzunluğu normal koşullara göre 6 katına kadar uzayan otoyolda trafik sıkışıklığını azaltmayı amaçlamıştır. Çalışmasında performans ölçütü olarak kuyruk uzunluğu, gecikme süresi ve taşıtların ortalama hızları ele alınmış ve VISSIM simülasyon programı ile analiz edilerek incelenmiştir. Yönlendir ve ters akış olmak üzere iki farklı senaryo geliştirmişlerdir. Yönlendirme adı verilen senaryoda 2. gişeye gelen taşıtların 35%'ini 1. gişeye yönlendirerek 2. gişede oluşan trafiği azaltılmaya çalışılmıştır. 1. gişeden geçen taşıtlar tekrar geri dönüş yaparak ücretli otoyola girmeden 2. gişenin devam yoluna katılımı sağlanmıştır. Ters akış adı verilen senaryoda ise taşıtlar 2. gişeye gelmeden ters yönde kendilerine ayrılan şeride

girerek gişeleri geçmektedir. Akabinde devam yolunda kendi şeritlerine dahil olabilmektedirler. Yönlendirme senaryosu ile gişelerdeki taşıt yoğunluğu azalırken, ortalama taşıt hızında artış gözlemlenmiş olup ters akış senaryosunda ilave ek şerit ile ortalama taşıt hızında 62,22% oranında artış gözlemlenmiştir.

Zein, Muhammadun ve Marleno (2024) Endonezya’da ele aldıkları ücret toplama istasyonunun yoğun trafik koşulları altında performansını arttırmak için 6 farklı senaryo geliştirmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında analiz ettikleri verileri bölgede yaptıkları anket çalışmalarından ve çalışmayı destekleyen kurum ve kuruluşlardan elde etmişlerdir. Çalışmalarında performans ölçütü olarak ortalama gecikme süresi, ortalama taşıt hızı, taşıtların toplam seyahat süresi ve taşıtların toplam gecikme süresini ele alarak VISSIM simülasyon programı ile analiz etmişlerdir. Otoyol kullanıcıları mevcut durumda ödemelerini ücret toplama gişelerinde durarak kart ile yapmaktadır. Bu duruma alternatif olarak 6 senaryo geliştirmişlerdir. 1. senaryoda mevcut sistem değiştirilerek elektronik ödeme ile bariyersiz gişeler ele alınmıştır. 2. senaryoda sistem elektronik ödeme ile bariyer ve gişe olmadan ele alınmıştır. 3. senaryoda farklı bir mevkide yeni bir ücret toplama istasyonu kurulması düşünülmüştür. 4. senaryoda bir alt geçit yapılması düşünülmüştür. 5. senaryo 1. ve 4. senaryonun birleşimi, 6. senaryo ise 2. ve 4. senaryonun birleşimidir. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçlardan yola çıkarak 4. senaryodaki alt geçidin yapılmasını önermişlerdir.

Park, Park, Kim ve So (2024), Güney Kore’de yaptıkları çalışmalarında otoyollarda toplu taşıma araçlarının kullanımını teşvik edilmesi için otobüslere özel ayrılan şeritleri değerlendirmişlerdir. Bu sayede sadece otobüsler için ayrılan şeritlerin kurulmasına ilişkin niceliksel standartlar belirlemişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarının performans ölçütü olarak ortalama taşıt hızını ve taşıt hızındaki sapma değerini dikkate almışlardır. Değerlendirme yaparken VISSIM simülasyon programı ile analiz yapmış olup Çok Kriterli Karar Verme tekniklerinden olan AHP tekniğinden yararlanmışlardır. Dört ve beş şeritli otoyolu esas alarak farklı otobüs ve binek araç hacimlerindeki kombinasyonlara göre senaryolar geliştirmişlerdir.

Zahedieh ve Lee (2024) Kuzey Amerika’da Detroit Nehri üzerinde bulunan Gordie Howe Köprüsü’ndeki ücret toplama istasyonunda yaptıkları çalışmada otoyolda birden fazla ödeme yöntemiyle çalışan ücret toplama istasyonuna gelmeden önce yerleştirilecek ödeme türü yönlendirme bilgi levhalarını simülasyon tekniği ile değerlendirerek kuyruk uzunluğu ve çarpışma riskini azaltmayı amaçlamışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında taşıtları otomobil ve ağır vasıta olarak ayırırken ödeme türlerini de nakit, elektronik ödeme ve kredi kartı olmak

üzere üçe ayırmışlardır. Araştırmacılar elde ettikleri verileri VISSIM simülasyon programı aracılığı ile analiz etmişlerdir. Araştırmacılar üç farklı senaryo geliştirmişlerdir. 1. Senaryoda ödeme türü yönlendirme bilgi levhalarının varlığının ve konumunun mevcut durum üzerinde etkileri değerlendirilmiştir. 2. Senaryoda mevcut araç gelişlerini üzerinden farklı ödeme türü kombinasyonları denenerek değerlendirilmiştir. 3. Senaryoda gişelere gelen ağır vasıta araçların ücret toplama istasyonuna geliş oranları değiştirilerek farklı ödeme türü kombinasyonları üzerinde değerlendirme yapmışlardır.

Bari, Chandra ve Dhamaniya (2023), Hindistan'da yaptıkları çalışmalarında 3 farklı ücret toplama istasyonundan elde ettikleri gelen araç sayısı, hizmet süresi, araçların gişeden ayrılma süresi ve gelişler arası süre verileri ile gişe hizmet kapasitesi performans ölçütüne göre elektronik ödeme alan gişelerin hizmet verebilecekleri araç kapasiteleri üzerine güvenilirlik analizi yapmışlardır. Video görüntüleri ile topladıkları verileri Monte Carlo Simülasyon yöntemi ile analiz eden araştırmacılar %80, %90 ve %95 güven aralıklarında gişelerin hizmet verebilecekleri taşıt kapasitelerini saatte 494, 554 ve 608 olarak tespit etmişlerdir.

Talavirya ve Laskin (2024) Rusya'da yaptıkları çalışmalarında artan trafik yoğunluklarına, farklı ücret toplama gişe modları kombinasyonlarına ve değişen ödeme türü oranlarına göre bariyerli ücret toplama gişelerinin Anylogic simülasyon yazılımı ile maksimum kapasitesini belirleyerek hibrid sistem olarak isimlendirdiği hem bariyerli hem de serbest geçiş sisteminin bir arada bulunduğu sistem ile karşılaştırıp önerilerde bulunmayı amaçlamışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında performans ölçütü olarak ücret toplama istasyonunda oluşan kuyruk uzunluğunu gözlemlemişlerdir. Otoyol ücretini elektronik ödeyen araçların oranı %85'i aştığı durumlarda ücret toplama gişesinin bariyerli sistemden hibrit sisteme geçmesi işletme maliyetlerini ve kuyruk uzunluğunu düşüreceğini önermişlerdir. Fakat elektronik ödeme yapan araç oranı %75'i geçmediği durumlarda manuel ödeme yapılan gişelerde oluşacak kuyruk uzunluğu serbest geçiş sistemine sahip gişelerde araç gelişlerine engel olacağından hibrit sistem yerine bariyerli sistemin daha iyi olacağını belirtmişlerdir.

Bai, Wang, Yi ve Peng (2023) Çin'de yapmış oldukları çalışmalarında ücret toplama istasyonlarının önündeki geniş meydanı eşit alana sahip hücelere bölerek istasyon önündeki meydanın teorik araç kapasitesini hesaplamayı amaçlamışlardır. Bu sayede ücret toplama istasyonunun da kapasitesini hesaplamış olmuşturlar. Kapasiteyi belirlerken gelen araç sayısı ve ortalama araç geçiş süresi parametrelerine ihtiyaç duymuşlardır. Ücret toplama istasyonunun önündeki alanın kapasitesinin toplam şerit sayısına (ücret toplama gişe sayısı), şeritlerin

uzunluğuna ve elektronik ödeme alabilen gişeye sayısına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Kurdukları bu modelde kapasite hesaplarırken gişelerin verdiği hizmet ile ilgili parametrelere ihtiyaç duyulmamaktadır. Çalışmalarında kullandıkları verileri ücret toplama istasyonundaki video kayıtlarından elde etmişlerdir. Eğer ücret toplama gişelerinin önündeki meydana gelen araç sayısı önerdikleri kapasite değerini aştığında istasyonda trafiğin sıkışacağını ifade etmişlerdir.

Bari, Chandra ve Dhamaniya (2023) Hindistan'da yaptıkları çalışmada farklı araç sınıflarını bir katsayı ile otomobil sınıfına çevirebilmek için sistem süresine (bir otoyol kullanıcısının gişeye kuyruğuna girdiği zaman ile ödemesini yapıp gişeden ayrıldığı zaman farkı) dayalı eşdeğerlik katsayısı adı verdikleri bir terminoloji geliştirmeyi amaçlamışlardır. Ücret toplama istasyonuna gelen araç sayısı, ağır vasıta araç oranı ve elektronik ücret ödeyen araç oranına bağlı şekilde 288 senaryo geliştirmişlerdir. Performans ölçütü olarak sistem süresi ele alınmış ve VISSIM simülasyon programı ile analiz edilmiştir. Eşdeğerlik katsayısı ile ücret toplama istasyonlarında ortalama bekleme süresinin analizinde ve kuyruk uzunluğunun azaltılmasına yönelik önlemlerin alınmasında yararlı olacağını ifade etmişlerdir.

Hafram, Valery ve Hasim (2023), Endonezya'da yaptıkları çalışmalarında sahadan elde ettikleri gözlem verileri ile kurdukları simülasyon modelinin sonuçlarını Endonezya Karayolu Kapasite El Kitabı (IHCM) verileriyle karşılaştırarak kurdukları modeli doğrulamayı ve kalibre etmeyi amaçlamışlardır. Sahadan elde ettikleri verileri VISSIM simülasyon yazılımı aracılığı ile analiz ederek model kurmuşlardır. Sonuçların doğrulamasını yapabilmek için otoyola gelen araç sayısı ile oluşan kuyruk uzunluklarını kıyaslamışlardır. Sahadan gözlem yoluyla saatte otoyola gelen araç sayısı, geçiş süreleri, araç hızı, yol genişliği, şerit sayısı, şerit genişliği, yol banket genişliği ve yol tipi verileri toplanarak simülasyon modeli kurulmuştur. Araştırmacılar çalışmaları neticesinde model sonuçları ile Endonezya Karayolu Kapasite El Kitabı'ndaki sonuçlar arasında farklar olduğunu göstermişlerdir. Model kurulumu ve kalibresi açısından doğru yöntem ve tekniklerin seçilmesinin önemini ifade etmişlerdir.

Talavirya, Laskin ve Dubgorn (2023), Rusya'da otoyoldaki konumuna göre üç farklı ücret toplama istasyonunun trafik durumu ile ilgili simülasyon çalışması yapmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada ilgili ücret toplama istasyonlarında kuyruk oluşumuna neden olan araç geliş sayısı gruplarını ve bu araç geliş sayısı gruplarında gişelerdeki hizmet sürelerinin gamma olasılık dağılımına göre değerlerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada performans ölçütü olarak kuyruk uzunluğu ve hizmet süreleri ele alınmış ve veriler Anylogic

simülasyon yazılımı ile model kurularak analiz edilmiştir. Araştırmacılar çalışmadan yola çıkarak gelen araç sayısı ücret toplama istasyonunun kapasitesini aştığında ücret toplama istasyonunun görevini yerine getiremediğini ve ödeme türünden bağımsız bir şekilde gişelerin hizmet süresinin arttığını tespit etmişlerdir.

Wicaksana, Buchari ve Agustien (2022), Endonezya’da yaptıkları çalışmada inşaatı sürmekte olan ücretli otoyolun çevresindeki yerel karayollarına olan etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Araştırmacılar çalışma ile ilgili kurumlardan veriler toplamış, araç geçiş sayımı yapmış ve sürücüler ile anket çalışması gerçekleştirmiştir. Topladıkları veriler ile VISUM simülasyon yazılımı üzerinden model oluşturup otoyol ile ilgili tahminde bulunmuşlardır. Çalışmalarında performans ölçütü olarak gelen araç sayısını esas almışlardır. Çalışmaları sonucunda otoyolun inşaatı bittikten sonra otoyola bağlı yerel karayollarına gelen araç sayısının artmasıyla 5-10-15 yıl süreyle yerel karayollarına şerit eklenmesini önermişlerdir.

Sewagegn (2022) Etiyopya’da bir otoyolda yaptığı çalışmasında bir matematiksel analiz yaparak ve simülasyon modeli kurularak kuyrukta en az bekleme süresine göre işletmeye en az maliyetle açık olması gereken optimum ücret toplama gişe sayısını belirlemeyi amaçlamıştır. Araştırma ile ilgili matematiksel analiz ve simülasyon modeli CPN Tool yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada performans ölçütü olarak araçların kuyrukta bekleme süresi ve işletme maliyetleri dikkate alınmıştır. 10 adet ücret toplama gişesi bulunan otoyol simülasyon çalışmasında 4’ten başlayarak gişe sayısı birer arttırılmış ve araçların bekleme süreleri analiz edilmiştir. Sonuç olarak araştırma verileri olan ortalama gelen araç sayısı ve ortalama hizmet süresine göre araçların bekleme süreleri ve işletme maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda en uygun gişe sayısı 7 olarak belirlenmiştir.

Mittal ve Sharma (2022) Hindistan’da yaptıkları çalışmada bir otoyolun ücret toplama istasyonundan bir aylık süreçte elde ettikleri veriler ile sürücüler için en az kuyruk uzunluğuna ve bekleme süresine sahip olan en uygun sayıda ücret toplama gişesini ve ödeme türünü belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada performans ölçütü olarak kuyruk uzunluğu ve bekleme süresini ele almıştır. Araştırmacılar farklı araç geliş sayılarına ve farklı ödeme alan gişe kombinasyonlarına göre simülasyon modelini VISSIM simülasyon yazılımı ile kurmuşlardır. Ücret toplama istasyonunu elektronik ödeme, manuel ödeme ve ücretsiz ödeme yöntemi olmak üzere üç farklı ödeme türüne göre modellemişlerdir. Araştırmacılar farklı araç sınıflarını birleştirerek motosikletliler ve otomobilleri çok akslı hafif araç, geriye kalan diğer araç

sınıflarını da çok akslı hafif olmayan araçlar olmak üzere iki ayrı sınıfta toplamışlardır. Araştırmacılar farklı araç geliş sayılarına ve belirledikleri araç sınıflarına göre farklı ödeme türlerini içeren senaryolar geliştirmişlerdir.

Chen ve Li (2022) Çin’de yaptıkları çalışmada bir otoyolda kalkış bölgesi olarak isimlendirilen araçların ödemelerini yaptıktan sonra gişelerden hareket edip seyahatlerine devam ettikleri bölgenin optimum tasarımını belirlemek için bir modelleme yapmayı amaçlamışlardır. Gişelerden sonraki kalkış bölgesi genellikle ikizkenar yamuk veya sağ yamuk olmasından dolayı araştırmacılar iki farklı geometrik tasarımın simülasyonunu kurarak incelemişlerdir. Kalkış bölgesinin geometrik tasarımlarını kıyaslayabilmek için ortalama gelen araç sayısı, ortalama bekleme süresi, ortalama seyahat süresi ve araç başına ortalama duraksama sayısı olarak performans ölçümleri belirlemişlerdir. Araştırmacılar kurdukları ve analiz ettikleri modelin sonucundan yola çıkarak ikizkenar yamuk olan kalkış bölgesi tasarımının sağ yamuk kalkış bölgesi tasarımına göre daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Özdemir, Gürsoy ve Aksoy (2022), Türkiye’de yaptıkları çalışmada bariyerli olarak hizmet veren ücret toplama gişelerindeki araçları bekleme ve seyahat sürelerine göre inceleyerek mevcut bariyerli gişeleri bariyersiz gişeler ile karşılaştırıp gişe sayılarındaki değişime göre analiz etmeyi amaçlamışlardır. İlgili ücret toplama istasyonundan verileri video kayıtlar ile elde eden araştırmacılar çalışmanın simülasyon modelini VISSIM simülasyon yazılımı ile kurmuşlardır. Çalışmada düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç farklı araç geliş yoğunluğu ile elektronik ödeme ve nakit veya kredi kartı ödemesi olmak üzere iki farklı ödeme türü ele alınmıştır. Ayrıca çalışmada otomobiller, kamyonlar, otobüsler ve servis araçları olmak üzere dört farklı araç sınıfı kullanılmıştır. Mevcut durumun modeli kurulup incelendikten sonra sırasıyla 8-10-12 ücret toplama gişesi bulunan bariyersiz sistem ve 4 ücret toplama gişesi bulunan serbest geçiş sistemi modellenmiştir. Araştırmacılar senaryoları analiz edebilmeleri için performans ölçütü olarak araçların bekleme sürelerini ve seyahat sürelerini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar kurdukları simülasyon modellerini incelediklerinde orta düzeyde araç geliş yoğunluğu olduğunda mevcut bariyerli gişe sisteminin bariyersiz sisteme göre önemli ölçüde bekleme ve seyahat sürelerinin yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Buna ek olarak bariyersiz gişelerin geometrik yapısının darboğaz sorunu yaptığını belirtmişlerdir. Yüksek talepte gişe sayısı arttırıldığında bekleme ve seyahat sürelerinin arttığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar alternatifler arasından bekleme ve seyahat sürelerine göre en iyi sonuçların dört gişesi bulunan serbest geçiş sisteminde olduğunu ifade etmişlerdir.

Karim, Abdellah ve Hamid (2020), Fas'ta yaptıkları çalışmada ilgili ücret toplama istasyonunun simülasyon modelini kurarak elektronik ödeme yönteminin istasyondaki etkisini göstermeyi ve en uygun ödeme türüne göre gişe sayısını belirlemeği amaçlamışlardır. Çalışmaları için gişelerin hizmet süresi ve gelen araç sayısı olmak üzere iki ana veriyi trafik açısından en yoğun günde istasyondan elde etmişlerdir. Araştırmacılar senaryoları karşılaştırırken kuyruk uzunluğu ve araçların bekleme süresini performans ölçütü olarak gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar farklı elektronik ödeme oranlarına ve farklı ödeme türüne sahip gişe sayılarına göre alternatif dört senaryo geliştirmişlerdir. Araştırmacıların yaptıkları çalışmadan elde ettikleri sonuçlara göre elektronik ödeme yapan araç oranının artması gişe sayısını, kuyruk uzunluğunu ve bekleme süresini azaltacağını belirtmişlerdir. Ayrıca artan elektronik ödeme oranının elektronik ödeme alan gişelerde kuyruk uzunluğunu ve bekleme süresini arttıracığını tespit etmişlerdir.

Wang, Wang ve Zhao (2020), Çin'de yaptıkları çalışmada bir ücret toplama istasyonunda farklı ödeme yöntemlerinin hizmet sürelerine göre ücret toplama gişelerinin hizmet verebildiği araç kapasitesini belirlemeyi amaçlamışlardır. Performans ölçütü olarak hizmet süresini incelemişlerdir. Nakit, kredi kartı ve QR kod ile ödeme yöntemlerini inceleyen araştırmacılar istasyonun simülasyon modelini VISSIM simülasyon yazılımını kullanarak kurmuşlardır. Çalışmada tek gişe ve çoklu gişe olmak üzere iki farklı simülasyon modeli kurulmuştur. Tek gişe simülasyon modelinde nakit ödeme oranını sabit tutarak QR kod ile ödeme yöntemini ve kredi kartı ile ödeme yöntemini kademeli olarak arttıran araştırmacılar gişenin hizmet verebildiği araç kapasitesinin arttığını görmüşlerdir. Bunun sebebinin kredi kartı ile ödeme yönteminin hizmet süresi diğer ödeme yöntemlerine göre daha az olduğu sonucuna varmışlardır. Çoklu gişe simülasyon modelinde farklı ödeme yöntemi oranları ile aynı ödeme türüne sahip beş gişe kullanıma açılmıştır. Burada QR kod ile ödeme yönteminin hizmet süresi en fazla, kredi kartı ile ödeme yönteminin hizmet süresinin en az olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çoklu gişe simülasyon modelinin hizmet verebildiği araç kapasitesi tek gişe modeline göre daha az olduğu görüşmüştür. Buna sürücülerin gişe seçimi ve şerit değiştirme gibi davranışlarda bulunmasının sebep olduğu bulunmuştur.

Bari, Gupta, Chandra ve Antoniou (2021) yaptıkları çalışmada Hindistan'daki bir otoyolun ücret toplama istasyonunda elektronik ödeme yöntemini değerlendirmeyi ve artan elektronik ödeme oranının kuyruk uzunluğuna ve araçların bekleme sürelerine olan etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Senaryoları karşılaştırmak için performans ölçütü olarak kuyruk

uzunluğu ve araçların bekleme süresi belirlenmiştir. Çalışma ile ilgili veriler en yoğun trafik koşulları altında video görseller ile toplanmış olup simülasyon modeli VISSIM simülasyon yazılımı aracılığı ile kurulmuştur. Simülasyon çalışmasında küçük otomobil, büyük otomobil, hafif ticari araç, otobüs, ağır ticari araç, çok akslı araçlar ve treyler olarak farklı araç sınıfları kullanılmıştır. Araştırmacılar dört farklı senaryo geliştirmişlerdir. Birinci senaryoda elektronik veya manuel ödeme alan gişeler üzerinde ağır ticari araçların oranları değiştirilerek kuyruk uzunluğu ve bekleme süreleri incelenmiştir. İkinci senaryoda gişeler elektronik, manuel ve karma ödeme yöntemlerine ayrılarak gişe bazlı analiz yapılmıştır. Bu senaryonun sonuçlarında manuel ödemelerdeki bekleme süresi %24 oranında, elektronik ödemelerdeki bekleme süresi %48 oranında azaldığı görülmüştür. Gişelerin ayrı ödeme yöntemlerine göre işletilmesi elektronik ödemelerdeki bekleme süresinin manuel ödemelerdeki bekleme süresine göre daha fazla azaldığı tespit edilmiştir. Üçüncü senaryoda istasyona gelen araç sayısındaki artışın kuyruk uzunluğu ve bekleme süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Gelen araç sayısındaki artışın gişelerde oluşan kuyruk uzunluğunu ve bekleme süresini arttırdığını fakat elektronik ödemelerde oluşan kuyruk uzunluğu ve bekleme süresindeki artışın daha az olduğu görülmüştür. Dördüncü senaryoda elektronik ödeme yapan araç oranı artırılarak kuyruk uzunluğu ve bekleme süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu durumda kuyruk uzunluğunda ve bekleme süresinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Araştırmacılar genel olarak elektronik ödeme yönteminin manuel ödeme yöntemine göre kuyruk uzunluğunu ve bekleme süresini daha fazla azaltacağı sonucuna varmışlardır.

Noh, Kang ve Jang (2020), Güney Kore’de yaptıkları çalışmada mevcut ücret toplama sistemini yeni kurulacak olan araçların yavaşlamasına gerek kalmadan gişelerden geçişini sağlayacak serbest geçiş sistemi ile karşılaştırarak değerlendirmede bulunmayı amaçlamışlardır. Araştırmacılar iki sistemi performans ölçütü olarak kuyruk uzunluğu, verim (gişeden çıkış yapan araç sayısının gişeye gelen araç sayısına oranı) ve bekleme süreleri açısından değerlendirmişlerdir. Çalışmada iki farklı simülasyon modeli ARENA simülasyon yazılımı kullanılarak kurulmuş ve araştırmacılar çalışmalarını için 8 farklı senaryo geliştirmişlerdir. Senaryolar arasında araçların ücret toplama gişelerine geliş hızlarına göre farklılıklar bulunmaktadır. Çalışma sonuçlarına göre kurulacak olan yeni sistemin kuyruk uzunluğunu ve ortalama bekleme süresini %46 oranında azaltabileceği belirtilmiştir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde otoyol ücretli geçiş istasyonlarında yapılan simülasyon modellemesi genellikle VISSIM simülasyon yazılımı ile gerçekleştirildiği

görülmüştür. Çalışmaların büyük bir çoğunluğunda otoyolda araç trafiğinin en yoğun olduğu zaman dilimi ele alınmıştır. Bu sebeple de genel olarak ücret toplama gişelerinde oluşan darboğazlar incelenmiştir. Bunu yanı sıra geleneksel ödeme yöntemlerinin yerine (nakit, kredi kartı, kartlı geçiş sistemi gibi) durmaya neden olmayacak ya da araç hızının düşmemesini sağlayacak elektronik ödeme teknolojilerinin avantajları da değerlendirilmiştir. İncelenen çalışmalarda araştırmacıların geliştirmiş olduğu senaryolar çoğunlukla oluşan kuyruk uzunluğu ve bekleme süreleri açısından karşılaştırılmıştır. Bu performans ölçütlerine ek olarak araçların seyahat süreleri, taşıt hızı, çarpışma riski, yakıt tüketimi, hizmet süresi, işletme maliyetleri ve verim (gişeden çıkış yapan araç sayısının gişeye gelen araç sayısına oranı) gibi performans ölçütleri de ele alınmıştır. Bu tür çalışmaların genellikle nüfus yoğunluğu yüksek olan ülkelerde yapıldığı görülmüştür. Literatür özeti Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Literatür özet tablosu

Çalışmanın Adı	Çalışmanın Amacı	Yazar	Yıl
Trafik olaylarının çevresel etkileri: İstanbul O2 (TEM) otoyolu örneği	Gişe kapasitesini doğrudan veya dolaylı şekilde etkileyerek gecikmelerin ve seyahat sürelerinin uzamasına sebep olan trafik olaylarının (trafik kazaları, araç arızaları gibi) çevreye olan etkilerini VISSIM benzetim programı ile incelemeyi amaçlamıştır.	Boz ve Özen	2024
The effectiveness of traffic flow scenarios during eid al-fitr at the sidoarjo tollgates based on microsimulation modeling	Ramazan Bayramı ile anormal koşullar altındaki otoyolda kuyruk uzunluğu normal koşullara göre 6 kat uzamasıyla oluşan trafik sıkışıklığını azaltmayı amaçlamıştır.	Radiansyah, Isheka ve Aurarisa	2024
Road network simulation model analysis of pahlawan road area with traffic management and engineering efforts	Ele aldıkları ücret toplama istasyonunu yoğun trafik koşulları altında 6 farklı senaryo geliştirerek trafik performansını arttırmayı amaçlamışlardır.	Zein, Muhammadun ve Marleno	2024
Operation standards for exclusive bus llane on expressway using simulation and traffic big data	Güney Kore'de otoyollarda otobüslere özel ayrılan şeritlerin kurulması için niceliksel standartlar belirlemeyi amaçlamışlardır.	Park, Park, Kim ve So	2024

Çizelge 1.2. Literatür özet tablosu (devamı)

Impacts of a toll information sign and toll lane configuration on queue length and collision risk at a toll plaza with high percentage of heavy vehicles	Kuzey Amerika'da Detroit Nehri üzerinde bulunan Gordie Howe Köprüsü'ndeki ücret toplama istasyonunda yaptıkları çalışmada otoyolda birden fazla ödeme yöntemiyle çalışan ücret toplama istasyonuna gelmeden önce yerleştirilecek ödeme türü yönlendirme bilgi levhalarını simülasyon tekniği ile değerlendirerek kuyruk uzunluğu ve çarpışma riskini azaltmayı amaçlamışlardır.	Zahedieh ve Lee	2024
Reliable capacity of electronic toll collection lanes	Hindistan'da yaptıkları çalışmalarında elektronik ödeme alan gişelerin hizmet verebileceği araç kapasitelerini belirleyerek üzerine güvenilirlik analizi yapmayı amaçlamışlardır.	Bari, Chandra ve Dhamaniya	2023
Hybrid toll plaza capacity: simulation modeling of traffic	Rusya'da yaptıkları çalışmalarında artan trafik yoğunluklarına, farklı ücret toplama gişe modları kombinasyonlarına ve değişen ödeme türü oranlarına göre bariyerli ücret toplama gişelerinin Anylogic simülasyon yazılımı ile maksimum kapasitesini belirleyerek hibrid sistem olarak isimlendirdiği hem bariyerli hem de serbest geçiş sisteminin bir arada bulunduğu sistem ile karşılaştırıp önerilerde bulunmayı amaçlamışlardır.	Talavirya ve Laskin	2024
The cellular traffic capacity model of toll station square	Çin'de yapmış oldukları çalışmalarında ücret toplama istasyonlarının önündeki geniş meydanı eşit alana sahip hücrelere bölerek araç kapasitesini hesaplamayı böylelikle ücret toplama istasyonunun kapasitesini hesaplamayı amaçlamışlardır.	Bai, Wang, Yi ve Peng	2023
Estimation of system delay based toll equivanlency factors at toll plazas using simulation	Hindistan'da yaptıkları çalışmalarında ortalama bekleme süresinin analizinde ve kuyruk uzunluğunun azaltılmasında yararlı olabileceğini düşündükleri sistem süresine dayalı farklı araç sınıflarını otomobil sınıfına denkleştirecek bir eşdeğerlik katsayısı adı verdikleri yeni bir teminoloji geliştirmeyi amaçlamışlardır.	Bari, Chandra ve Dhamaniya	2023

Çizelge 1.2. Literatür özet tablosu (devamı)

Calibrating and validation microscopic traffic simulation models vissim for enhanced highway capacity planning	Endonezya'da yaptıkları çalışmalarında sahadan elde ettikleri gözlem verileri ile kurdukları simülasyon modelinin sonuçlarını Endonezya Karayolu Kapasite El Kitabı verileriyle karşılaştırarak kurdukları modeli doğrulamayı ve kalibre etmeyi amaçlamışlardır.	Hafram, Valery ve Hasim	2023
Application of simulation modeling to assess the operation of urban toll plazas	Rusya'da üç farklı ücret toplama istasyonunun simülasyon modelini kurarak kuyruk oluşumuna neden olan araç geliş sayısı gruplarını ve bu araç geliş sayısı guruplarında gişelerdeki hizmet sürelerinin gamma olasılık dağılımına göre değerlerini belirlemeyi amaçlamışlardır.	Talavirya, Laskin ve Dubgorn	2023
The impact of trans sumatera toll road development on the national road in Palembang city	Endonezya'da yaptıkları çalışmada inşaatı sürmekte olan ücretli otoyolun çevresindeki yerel karayollarına olan etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır.	Wicaksana, Buchari ve Agustien	2022
Optimization of toll services using queuing theory in the case of Ethiopia	Etiyopya'da bir otoyolda yaptığı çalışmada bir matematiksel analiz yaparak ve simülasyon modeli kurarak kuyrukta en az bekleme süresine göre işletmeye en az maliyetle açık olması gereken optimum ücret toplama gişe sayısını belirlemeyi amaçlamıştır.	Sewagegn	2022
Operational optimization of toll plaza queue length using microscopic simulation vissim model	Hindistan'da yaptıkları çalışmada bir otoyolun ücret toplama istasyonundan bir aylık süreçte elde ettikleri veriler ile sürücüler için en az kuyruk uzunluğuna ve bekleme süresine sahip olan en uygun sayıda ücret toplama gişesini ve ödeme türünü belirlemeyi amaçlamışlardır.	Mittal Sharma ve	2022
Improving highway traffic performance: merging pattern design of a departure zone after tollbooths or ETC	Çinde yaptıkları çalışmada bir otoyolda kalkış bölgesi olarak isimlendirilen araçların ödemelerini yaptıktan sonra ağışelerden hareket edip seyahatlerine devam ettikleri bölgenin optimum tasarımını belirlemek için bir modelleme yapmayı amaçlamışlardır.	Chen ve Li	2022

Çizelge 1.2. Literatür özet tablosu (devamı)

Examination of delay and travel time at highway toll booths using a micro simulation program example of northern marmara highway kurnaköy toll booth	Türkiye'de yaptıkları çalışmada bariyerli olarak hizmet veren ücret toplama gişelerindeki araçları bekleme ve seyahat sürelerine göre inceleyerek mevcut bariyerli gişeleri bariyersiz gişeler ile karşılaştırıp gişe sayılarındaki değişime göre analiz etmeyi amaçlamışlardır.	Özdemir, Gürsoy ve Aksoy	2022
Analysis of the operational impact of etc lanes on toll station	Fas'ta yaptıkları çalışmada ilgili ücret toplama istasyonunun simülasyon modelini kurarak elektronik ödeme yönteminin avantajlarını göstermeyi ve en uygun gişe sayısı ile gişe ödeme türünü belirlemeği amaçlamışlardır.	Karim, Abdellah ve Hamid	2020
Simulation of toll lane capacity of highway toll station	Çinde yaptıkları çalışmada bir ücret toplama istasyonunda farklı ödeme yöntemlerinin hizmet sürelerine göre ücret toplama gişelerinin hizmet verebildiği araç kapasitesini belirlemeyi amaçlamışlardır.	Wang, Wang ve Zhao	2020
Examining effect of electronic toll collection (ETC) system on queue delay using microsimulation approach at toll plaza - a case study of ghoti toll plaza, India	Hindistan'daki bir otoyolun ücret toplama istasyonunda elektronik ödeme yöntemini değerlendirmeyi ve artan elektronik ödeme oranının kuyruk uzunluğuna ve araçların bekleme sürelerine olan etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır.	Bari, Gupta, Chandra ve Antoniou	2021
The effects of smart tolling for the improvement of traffic flow on the seoul tollgate with ARENA	Güney Kore'de yaptıkları çalışmada mevcut ücret toplama sistemini yeni kurulacak olan araçların yavaşlamasına gerek kalmadan gişelerden geçişini sağlayacak serbest geçiş sistemi ile karşılaştırarak değerlendirmede bulunmayı amaçlamışlardır.	Noh, Kang ve Jang	2020

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Türkiye’de 1915 Çanakkale Köprüsü ve Otoyolu üzerinde bir ücret toplama çıkış istasyonu olan Malkara çıkış istasyonu uygulamanın kapsamına alınacaktır. Uygulamada istasyonu sadece ücretli olarak kullanan araçlar ele alınmıştır. Bunun haricinde muaf olarak çıkış yapan işletme araçları kapsamın dışındadır.

Çalışmanın gerçekleştiği ücretli otoyol çıkış istasyonunda hizmet süresinden kaynaklı olarak kuyruk ve bekleme sürelerinde artış olmaktadır. Nakit, kredi kartı veya ihlali geçiş ödemelerinde HGS ödemelerine göre hizmet süresi daha çok olmaktadır. Bu sebeple otoyolun kuruluş amacı olan zamandan tasarruf avantajı kaybolmakta ve otoyol kullanıcılarının memnuniyeti olumsuz etkilenmektedir.

Otoyol hafta sonu ve tatil günleri dahil olmak üzere tüm yıl 7/24 faaliyet göstermektedir. Otoyol kullanıcı sayısındaki artışa göre ücret toplama gişeleri hizmet vermek için açılmaktadır. Her gişede sadece bir ücret toplama operatörü görev alabilmekte ve bir kerede sadece bir otoyol kullanıcıya hizmet verebilmektedir.

Araçlar otoyoldan çıkış yaparken öncelikle çıkış istasyonundaki plaka tanımanın, aks okuyucunun ve elektronik ödeme yapılabilmesi için gerekli olan HGS anteninin bulunduğu çıkış gişesine gelmektedir. Burada sırasıyla aracın sınıfı, plaka bilgileri ve otoyola giriş yaptığı istasyon bilgileri tespit edilir. Eğer araç üzerinde HGS etiketi bulunuyor ve HGS hesabında yeteri kadar ücret varsa aracın durmasına gerek kalmadan hızını saatte 20 km hıza indirerek sistem tarafından ücret tahsil edilir ve araç otoyoldan çıkış yapabilmektedir. Fakat aracın HGS etiketi bulunmuyor ya da deforme olduğundan HGS anteni tarafından okunamıyorsa bariyer kapalı vaziyette olduğundan aracın durdurulması sağlanır. Sistem tarafından araç ile ilgili bilgilerin ışığında otoyol kullanıcısının ödeme ile yükümlü olduğu ücret gişe operatörü tarafından otoyol kullanıcıya bildirilir. Otoyol kullanıcısı ödeme kanalını söyleyerek (nakit, kredi kartı, ihlali geçiş) ödemesini yapar ve otoyoldan çıkışı sağlanmış olur.

Simülasyon çalışması için otoyoldaki araç geliş verileri, ödeme yöntemleri, çıkış gişesi kullanım oranları ve ödeme yöntemine göre işlem süreleri gözlemlenerek temin edilmiştir.

Çalışmanın amacı, Türkiye’de 1915 Çanakkale Köprüsü ve Otoyolu’nun Malkara ücret toplama istasyonu çıkış gişelerinin bir simülasyon modelini kurarak 10 farklı mevcut durumdaki ortalama bekleme süreleri incelenerek mevcut durumu alternatif senaryolar ile karşılaştırıp araç geliş yoğunluğuna göre gişe modu değişikliği ve açık gişe sayısı belirlemektir. Bu sayede minimum gişe sayısı belirlenmiş olup, âtil vaziyetteki gişenin kapatılmasıyla işletme maliyetlerinde iyileştirilme sağlanacaktır. Ayrıca özel günlerde (resmî tatil, bayram tatilleri gibi) oluşan yoğunlukta araçların bekleme sürelerini azaltmak ve daha iyi hizmet verebilmek adına gerekli olan gişe sayısının ve gişe modu kombinasyonunun tahmini için fikir sağlayacaktır.

2. OTOYOL ÜCRET TOPLAMA SİSTEMLERİ

Boğaziçi Köprüsü'nün 1973 yılı itibariyle hizmete açılmasıyla geçiş ücretleri nakit olarak tahsil edilmiş, ardından OGS (Otomatik Geçiş Sistemi) ve KGS (Kartlı Geçiş Sistemi) ödeme yöntemleri gelmiş, son olarak da HGS olarak adlandırılan elektronik ödeme sistemi ücret toplama sistemlerine entegre edilmiştir. Sistemin ilk zamanlarında ücret toplama istasyonları birbirinden bağımsız olarak çalışmaktaydı. Bugünlerde HGS kullanımının artmasıyla bütünleşik bir otomasyon sistemine dönüşmüştür. ASELSAN'ın girişimleri ile ülkemizde kurulan ücret toplama sistemleri Dünya'nın en ileri ücret toplama otomasyon sistemlerinden biri olmuştur. Otoyolların ücret toplama işlemlerinin büyük bir çoğunluğu ETC (Electronic Toll Collection – Elektronik Ücret Toplama) şeklinde gerçekleşmektedir. MTC (Manuel Toll Collection – Manuel Ücret Toplama) işlemlerinde ETC işlemlerine göre daha fazla zaman gerekeceğinden sürücüler tarafından tercih edilmemektedir. Elektronik olarak ücret toplama işlemleri çıkış istasyonuna gelen araçlar gişelerde araç hareketlerinin algılanması, araçların sınıflandırılması, ücret toplama verisinin merkezlere güvenli bir şekilde aktarılması ve para transferlerinin bankalar aracılığıyla yapılması şeklinde tam otomasyonlu olarak birbirini izlemektedir (Dorken, 2009).

2.1 Açık ve Kapalı Ücret Toplama Sistemleri

Köprüler, tüneller ve kısa otoyollarda sadece ücret toplama gişelerinin bulunduğu ve geçiş ücretinin seyahat edilen mesafeye göre değil de araç sınıfına göre belirlendiği ücret toplama sistemlerine “açık sistem” denilmektedir. Kapalı sistemler ise uzun otoyollarda daha çok tercih edilmektedir. Araçların otoyola giriş ve çıkışlarının gişeler ile kontrol edildiği ve ücretlendirmenin aracın sınıfı ile otoyoldaki seyahat mesafesine göre belirlendiği sisteme “kapalı sistem” denilmektedir. Kapalı sistemlerde otoyol ücreti aracın sınıfı ve seyahat mesafesine göre değişmektedir. Bu sebeple aracın mesafesinin kontrol edilebilmesi için kapalı sistemlerde araçların giriş noktasının belirlenebilmesi adına giriş gişeleri bulunmaktadır (Dorken, 2009).

2.2 Bağımsız ve Tümüleşik Sistemler

Kapalı sistemli bir otoyolun başka bir yol ile bağlantısını sağlayan kavşaklarına konulan ücret toplama gişelerinin bulunduğu bölgeye ücret toplama istasyonu denir. Ücret toplama istasyonları araçların otoyola girişini kontrol eden giriş gişelerinden, araçların otoyoldan

çıkışını kontrol eden ve ücretlerin tahsilatını gerçekleştiren çıkış gişelerinden ve GKM binasından oluşmaktadır.

Eski sistemlerde istasyonlarda sadece nakit ücret toplanmaktaydı. Bu yüzden istasyonlar birbirinden bağımsız olarak düşünülüyordu. İstasyonların giriş gişelerinde OBVC (Otomatik Bilet Verme Cihazları) bulunmakta ve bu cihazlardan otoyola giriş yapmak isteyen araçlar manyetik bilet alarak otoyola giriş yapabilmekteydi. Otoyol kullanıcısı giriş gişelerinden aldığı manyetik bileti çıkış istasyonunda görev alan gişe operatörüne iletmesi gerekmektedir. Böylelikle otoyoldaki mesafesine ve aracının sınıfına göre geçiş ücretini ödeyebilmektedir. Birbirinden bağımsız istasyonların bulunduğu otoyollarda otoyolu kontrol eden merkezi bir yapı bulunmaz ve istasyonların bir bütün olarak tümleşik bir çalışma düzeni yoktur. 1990'lı yıllardan itibaren ülkemizde elektronik para temelli sistemler yaygınlaşmaya başlamıştır. Böylelikle otoyoldaki tüm ücret toplama istasyonlarını tümleştiren bir otoyol kontrol merkezi kurulma gereği doğmuştur. Ayrıca bir ana kontrol merkezi ile ülkemizdeki tüm otoyolların tümleşik bir çalışma düzenine geçişi sağlanmıştır. Buna ek olarak otoyol kullanıcılarından elektronik ortamda ücret tahsil edilebilmesi için ilgili bankalar sisteme entegre edilmiştir. Böylelikle ülkemizde yeni bir ücret sistemi kurularak tüm gişelerin, gişe kontrol merkezinin, otoyol kontrol merkezinin ve ana kontrol merkezinin bir arada çalıştığı otomatik şekilde ücretlerin tahsil edildiği bir sistem oluşturulmuştur (Dorken, 2009).

2.3 Ücret Toplama Gişelerinin Otomasyonu

Ülkemizde açık ve kapalı sisteme sahip otoyollar 1999 yılına kadar nakit ödemeli olarak işlevlerini yerine getirmiştir. 1999 yılından itibaren OGS kurulmuş ve akabinde 2004 yılından itibaren de KGS yürürlüğe girmiştir. 2012 yılında HGS kurulduktan sonra ardından 2013 yılında KGS kaldırılmıştır. Son olarak 2022 yılında alınan kararla birlikte OGS kaldırılarak günümüz itibarıyla sadece HGS kullanılmaktadır. 2004'ten itibaren önce Boğaziçi Köprüsü şimdiki adıyla 15 Temmuz Şehitler Köprüsü ardından Fatih Sultan Mehmet Köprüsü gişelerinde kullanım ücretini nakit şekilde tahsil edecek bir gişe operatörü bulunmadan tam otomatik ücret toplama sistemine geçiş yapılmıştır (Dorken, 2009).

HGS, RFID olarak isimlendirilen teknoloji kullanılmaktadır. Bu teknoloji radyo dalgaları ile nesnelere ve canlıları tanımlamakta kullanılmaktadır. RFID teknolojisi nesnelere ya da canlıların üzerindeki kimlik bilgisini nümerik bir seri numara olarak radyo dalgaları aracılığı ile iletir. Bu sayede sistemler temas etmeden ve görünür olmadan bile iletişim

sağlayabilmektedir. RFID teknolojisi, RFID etiketi ve RFID okuyucusu olmak üzere iki ana unsurdan oluşmaktadır.

RFID etiketi, RFID okuyucusunun kapsam alanına giren bir nesnenin tanınmasını sağlamak üzere nesne üzerine veya içine yerleştirilmiş olan içerisinde mikroçip ve anten bulunduran RFID sisteminin bir bileşenidir. Her etikete benzersiz bir ID numarası atanmıştır. Bu etiketler pasif, yarı pasif ve aktif olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Pasif etiketler, içlerinde iletişim için gerekli olan enerjiyi barındırmazlar. İletişimi sağlayabilmek için gerekli olan bu enerjiyi RFID okuyucusundan gelen sinyaller ile alırlar. Yarı pasif RFID etiketlerinde iletişim sağlayabilmek için kendi güç kaynakları bulunur ve RFID okuyucudan uyarı sinyallerine ihtiyaçları vardır. Aktif RFID etiketlerin ise iletişimi sağlayabilmek için kendi güç kaynakları bulunur ve aktif bir vericiye sahiptirler (Tecim, Topallar, Emç, Şentürk ve Aydın, 2016).

RFID okuyucu, RFID etiketinin içerdiği anten aracılığı ile etiket çipinin kimlik bilgilerini radyo frekansları aracılığı ile okuyarak dijital bilgiye dönüştüren bir bileşendir.

Karayolları Genel Müdürlüğü'nün 2023 faaliyet raporuna göre Türkiye'deki otoyolların 264 giriş ve 312 çıkış gişesinde HGS ile işlem yapılabilmektedir. 2023 yılı sonu itibariyle 526.364.972 araç otoyol ve köprülerden çıkışını sağlarken HGS ile ödemesini gerçekleştirmiştir (Karayolları Genel Müdürlüğü [KGM], 2023).

2.4 Manuel ve Elektronik Ücret Toplama Teknolojisi

Günümüz itibariyle otoyol ücret toplama sistemlerinin gelişmesindeki en önemli faktörler eksik ya da kaçak ücretlerin önlenmesi ve ödeme sırasındaki gecikmelerin azaltılmasıdır. Bunun önlenmesi için yoğun elektronik sistemler kullanılmalı ve insan faktörü ortadan kaldırılmalı ya da en aza indirilmelidir. Aselsan'ın yerli ve milli imkanlarla sağladığı gelişmiş ücret toplama sistemleri ile günümüzde bu sorunları asgari düzeye indirmek için bir teknolojik yapı tesis edilmiştir.

Otoyollardaki ücret toplama sistemleri OBVC ile denetlenen giriş gişesi ekipmanları, ÜTT (Ücret Toplama Terminalleri) tarafındaki çıkış gişesi ekipmanları, çıkış gişelerinin yanında yer alan giriş ve çıkış gişelerinin kontrolünü sağlayan GKM binasından, dahili haberleşme sisteminden, video izleme sisteminden ve enerji denetim sisteminden oluşur.

Otoyol kullanıcılarının otoyoldaki seyahat mesafesinin ölçülebilmesi için giriş gişelerinde plaka tanıma sistemi, OBVC, HGS anteni, trafik geçiş ışığı, saçak göstergesi,

manuel bariyer, otomatik bariyer, araç sensörü, geçiş sensörü, alarm sinyal lambası ve sireni bulunmaktadır. Otoyola giriş yapmak için gişeye gelen araçlar, araç sensörü ile gişeye girişi tanımlanır. Sensörün tetiklenmesinden sonra plaka tanımlama sistemi devreye girmektedir. Plakanın kirli ya da deforme olmadığı durumlarda plaka tanıma sistemi tarafından plaka okunarak aracın giriş yaptığı istasyon ve gişe kaydedilir. Plakanın okunamadığı durumlarda OBVC cihazları aracılığı ile otoyol kullanıcılarına giriş yaptığı otoyol istasyonuna ve gişesine ait bilgilerin bulunduğu manyetik kodlu bir bilet verilmektedir. Böylelikle otoyol kullanıcısı çıkış gişelerine geldiğinde aracının sınıfı ve katetmiş olduğu mesafe belirlenerek ücretlendirme yapılmaktadır.

Çıkış istasyonlarındaki çıkış gişelerinde ÜTT, plaka tanıma sistemi, HGS anteni, gişe kabini, ÜYG (Ücret Yan Göstergesi), trafik geçiş ışığı, saçak göstergesi, otomatik bariyer, manuel bariyer, OST (Otomatik Sınıf Tayini) sistemi, araç sensörü, geçiş sensörü, alarm sinyal lambası ve sireni ekipmanları bulunmaktadır. Çıkış gişesine gelen araç önce araç sensöründen geçerek sisteme tanımlanır. Ardından otomatik sınıf tayini sistemi aracın aks sayısını belirleyerek aracın sınıfını atamaktadır. Sistem tarafından atanan araç sınıfını gişe operatörü gişe bilgisayarından kontrol etmektedir. Bu sırada plaka tanıma sistemi ile aracın plaka bilgileri sisteme tanımlanır. Bu sayede aracın giriş yaptığı giriş istasyonu belirlenir. Eğer aracın plakası kirli ve deforme olmuş ise sürücü giriş gişesinden aldığı bileti gişe operatörüne vererek giriş istasyonu sisteme tanımlanmış olur. Aracın otoyolda katettiği mesafeye ve sınıfına bağlı şekilde ücret yan göstergesinde aracın sınıfı ile ödemesi gereken ücret gösterilir. Sürücü buradan ödemesi gereken ücreti görüp kontrol edebilir. Eğer araç HGS ile ödeme yapacak ise gişe içerisinde 20 km hızla giderek hiç durmadan ödemesi elektronik ortamda gerçekleşir. Ardından trafik geçiş ışığı yeşile döner ve otomatik bariyer kalkar. Böylelikle araç elektronik şekilde gişe operatörüne gerek kalmadan ödemesini gerçekleştirmiş olur. Fakat aracın HGS hesabında bakiyesi olmama ya da HGS etiketine sahip olmama durumunda otoyol kullanıcısı ücretini nakit, kredi kartı ve ihlalli geçiş bildirim (Exit Free Violation - EFV) olarak ödeyebilmektedir. Bu ödeme türlerinde sürücünün gişe kabininin önüne geldiğinde durması gerekmektedir. Sürücü gişe operatörüne istediği ödeme seçeneğini söyleyerek ödemesini gerçekleştirebilir. Nakit ve kredi kartı ödeme seçeneklerinde o anda gişe operatörüne ödemesini gerçekleştirmesi gerekmektedir. Fakat ihlalli geçiş yapmak istiyorsa ödemek ile yükümlü olduğu tutar plakasına işlenerek geçiş gününden 15 gün içerisinde otoyol işletmesi tarafından belirlenen ödeme kanalları aracılığı ile ödemesini gerçekleştirebilme imkânı vardır. Sürücü ödemeyi yaptıktan

sonra ödemeye dair makbuz gişeye operatörü tarafından sürücüye iletilir. Bu sırada trafik geçiş ışığı yeşile döner, otomatik bariyer kalkar ve araç gişeden ayrılır (Tugaç, 2025).



3. MATERYAL VE METOT

3.1 Simülasyon Tanımı

Simülasyon, gerçek dünyadaki bir sürecin veya sistemin çalışma özelliklerine göre tanımlamak, analiz etmek ve çıkarımlar yapmak için zaman içindeki işleyişinin taklit edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Banks, 1998). Kısaca simülasyon bir sistemin taklididir. Genellikle gerçek sistem üzerinde deneyler yapmak zor olduğundan simülasyon ile kurulan model bize yapılandırabilme ve deneyler yapabilme imkânı sunmaktadır. Bu sayede simülasyon ile mevcut veya önerilen sistemin performansını değerlendirebilir, sistemi daha iyi anlayabilir ve iyileştirmeleri belirleyebiliriz (Robinson, 2004). Simülasyon, mevcut bir sistemi değiştirmeden veya yeni bir sistem kurmadan sistemin bilgisayar ortamında bir modelinin kurulmasıyla öngörülemeyen darboğazları ortadan kaldırmak, kaynakların yetersiz veya aşırı kullanımını önlemek ve sistemin performansını optimize etmek için kullanılır (Maria, 1997).

Birçok sektör karşılaştığı problemleri analiz etmek ve iyileştirmek için simülasyon yaklaşımından yararlanmaktadır. Simülasyon yaklaşımının kullanıldığı bazı sektörler ve öne çıkan problemleri aşağıda verilmiştir:

- Üretim sistemlerinin tasarlanması ve analiz edilmesi,
- Askeri silah sistemlerinin veya lojistik gereksinimlerinin değerlendirilmesi,
- İletişim ağları için donanım gereksinimlerinin veya protokollerinin belirlenmesi,
- Bir bilgisayar sistemi için donanım ve yazılım gereksinimlerinin belirlenmesi,
- Havaalanları, otoyollar, limanlar ve metrolar gibi ulaşım sistemlerinin tasarlanması ve işletilmesi,
- Çağrı merkezleri, restoranlar ve hastaneler gibi hizmet kuruluşlarının tasarımlarının değerlendirilmesi,
- İş süreçlerinin yeniden yapılandırılması,
- Tedarik zincirlerinin analiz edilmesi,
- Bir envanter sistemi için sipariş politikalarının belirlenmesi,
- Madencilik operasyonlarının analiz edilmesi (Law, 2015).

Simülasyon, bir sistemi ya da operasyonu analiz etmenin tek yöntemi değildir. Fakat gerçek sistem üzerinde deney yapmak yerine simülasyon modeli ile deneyler yapmanın

sağladığı avantajlar vardır. Gerçek sistem ile deney yapmak, sistem üzerinde yeni fikirler denemek veya değişiklikler yapmak işleyişin bir süre durmasına sebep olabilmektedir. En kötüsü performansın kötüleşme ihtimali müşteri kaybına veya müşteri memnuniyetsizliğine sebep olabilmektedir. Bu durumların ortaya çıkması maliyetin artmasına yol açabilmektedir. Gerçek model üzerinde deney yapmak yerine simülasyon modeli kurarak deneyler yapmak sistemin kesintiye uğramamasına ve olası bir kötüleşme durumuna karşı müşteri memnuniyetini koruyarak müşteri kaybını engelleyecektir. Gerçek sistem üzerinde deney yapmak zaman almaktadır. Gerçek sistem ile yapılan deneylerin performans üzerindeki yansımaları haftalar hatta aylar sürebilmektedir. Fakat simülasyon ile yapılacak deneyler modelin boyutuna ve bilgisayarın hızına bağlı olarak birkaç dakika veya saat içerisinde sonuçlar verebilmektedir. Hızlı sonuç alabilmek farklı fikirlerin uygulanabilmesine ve daha fazla deneyin yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Simülasyon modeli ile alternatifler karşılaştırılırken deneylerin gerçekleştiği koşullar kontrol edilebilir ve tekrar tekrar denenebilmektedir. Fakat gerçek sistem üzerinde yapılan deneylerin tekrarı mümkün olmamakla birlikte koşullar tam olarak kontrol edilememektedir. Simülasyon ile model geliştirerek gerçekte mevcut olmayan bir sistem yaratılabilir ve bunun üzerinde deneyler yapılabilir.

Bir sistemi ya da operasyonu simülasyon kullanarak modellemeden önce bir takım hususları göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Simülasyon yazılımı kullanılırken model geliştirme ve kullanım maliyeti veya simülasyon yazılımı ile ilgili danışmanlık alınması pahalı olabilir. Simülasyon zaman alıcı bir yaklaşım olduğundan simülasyon yazılım kullanımı maliyeti arttırabilir ve fayda göstermesi uzun sürebilir. Genellikle simülasyon modelleri için büyük miktarda veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç duyulan veriler her zaman mevcut olmayabilir veya mevcut olsa bile simülasyon ile analiz yapılabilmesi için gereken formda olmayabilir. Simülasyon ile modelleme yaparken kavramsal modelleme, doğrulama ve istatistik, ekip çalışması ve proje yönetimi becerilerinde uzmanlık gerekmektedir. Bu sebeple simülasyon modellemesi için bir bilgisayar programı ya da yazılım paketi bilmekten fazlasına ihtiyaç duyulmaktadır. Simülasyon ile modelleme uzmanlık gerektirmektedir. Simülasyon kullanılarak yapılan modelleme her zaman doğru değildir. Modele güvenilmesi için modelin geçerliliğine, varsayımlara ve basitleştirmelere dikkat edilmelidir (Robinson, 2004).

3.2 Simülasyon Modelleme Süreci

Bu bölümde bir simülasyon modeli oluşturulmasında ve uygulanmasında takip edilmesi gereken adımlara genel bir bakış sunulmaktadır. Bir sistemin problemini çözmeye yönelik modelleme süreci;

- Problemin tanımlanması ve formülasyonu
- Simülasyon modelinin oluşturması
- Deneysel tasarım ve analiz
- Değerlendirme
- Dokümantasyon

şeklinde ifade edilmektedir.

Problemin tanımlanması ve formülasyonu, bu aşamanın temel amacı, problemi belirleme ve doğru şekilde formülasyonunun oluşturulmasıdır. Problemin tanımlanması, sistemin tanımlanması, performans ölçütlerinin belirlenmesi, kavramsal modellerin oluşturulması ve modelin varsayımlarının belirlenmesi olmak üzere beş alt aşamadan meydana gelir. Problemin tanımı ile çalışmanın hedefleri, modelden istenilen çıktılar, incelenecek senaryolar ve alınacak kararlar ayrıntılı bir şekilde ele alınır. Sistemin tanımlanması ile sistem analiz edilir ve sınırları belirlenir. Performans ölçütleri belirlenerek mevcut durum ile alternatif senaryolar birbiri ile anlamlı şekilde karşılaştırılarak karar verme sağlanır. Kavramsal model diyagramları oluşturularak genel açıklamalar yapılır, sistem vurgulanır ve süreçlerin birbiriyle etkileşimi belirtilir. Modelin varsayımları ile sistemin değiştirilemeyen ve esnetilemeyen ilkeler belirlenir (Rosani, 2013).

Simülasyon modelinin oluşturulması, önceki aşamada oluşturulan kavramsal modeller temel alınarak simülasyon modelleri oluşturulur. Modellerin oluşturulması ve geliştirilmesi için gerekli olan veriler toplanır ve analiz edilir. Ayrıca bu aşamada oluşturulan modelin doğruluğu test edilir. Bu aşama veri toplanması ve girdilerin analizi, modelin simülasyon diline çevrilmesi, doğrulama ve geçerlilik olmak üzere dört farklı süreç bulunmaktadır. Bu süreçlerin ilki veri toplanması ve girdilerin analizidir. İlgili sistemden modelde kullanılacak parametreler ile ilgili veriler toplanarak analiz edilir. Modelin simülasyon diline çevrilmesi sürecinde kavramsal model temel alınarak sistemin simülasyon modeli bilgisayar dilinde oluşturulur. Doğrulama sürecinde kavramsal model temel alınarak bilgisayar dilinde oluşturulan modelin kavramsal

modele göre doğru olup olmadığı kontrol edilir. Geçerlilik sürecinde gerçek sistemden ve modelden elde edilen veriler istatistiksel teknikler yardımıyla karşılaştırılarak kurulan modelin gerçek sistemi tam anlamıyla yansıtmayı yansıtmadığı kontrol edilir (Ersöz, 2021).

Deneysel tasarım ve analiz, kurulan modelin doğruluğundan emin olduktan sonra tekrar sayısının, alternatif senaryoların, modelin çalışma süresinin belirlendiği ve analiz edildiği aşamadır (Ersöz, 2021).

Değerlendirme, bu aşamada modelin çalıştırılması ile elde edilen sonuçların daha önce belirlenen performans ölçütlerinin belli bir anlamlılık düzeyindeki güven aralığına göre istatistiksel analizi yapılarak en iyi senaryonun seçilmesine çalışılır (Ersöz, 2021).

Dokümantasyon, simülasyon modeli hakkında bilgilerin ve model sonuçlarının raporlandığı ve belgelendiği aşamadır (Ersöz, 2021).

3.3 Simülasyon Yönteminin Çeşitleri

İncelenecek olan simülasyon modelleri üç farklı boyutta sınıflandırılmaktadır:

1. Statik ve Dinamik Simülasyon Modelleri: Statik simülasyon modeli, zaman bağı olmayan ve sistemin belirli bir anını gösteren simülasyon modelidir. Dinamik simülasyon modeli ise zaman bağı olan ve sistemin zaman içerisinde değiştiği simülasyon modelidir.
2. Deterministik ve Stokastik Simülasyon Modelleri: Deterministik simülasyon modeli, model içerisinde rassal değişken içermeyen ve tahmin edilebilir davranışı olan simülasyon modelidir. Stokastik simülasyon modeli ise bir veya birden fazla rassal değişken içeren ve davranışı öngörülemeyen bir simülasyon modelidir (Ersöz, 2021).
3. Kesikli ve Sürekli Simülasyon Modelleri: Sürekli simülasyon modeli, sistemin durumu zaman içerisinde sürekli değişen simülasyon modelidir. Kesikli simülasyon modeli ise sistemin durumu zaman içinde ayrı noktalarda değişen simülasyon modelidir (Kelton, Sadowski ve Swets, 2015).

Bu çalışmada ele alınan otoyol kuyruklanma ve bekleme süresi analizi dinamik, stokastik ve kesikli yapıdadır. Araç gelişleri, hizmet süreleri stokastik yapıdadır. Ücret toplama gişelerine gelen araçlar zaman içerisinde sürekli olarak değil ayrı zamanlarda gişelere giriş yapmaktadır.

3.4 Arena Simülasyon Yazılımı

Arena simülasyon yazılımı tedarik zinciri, üretim, süreçler, lojistik, dağıtım, depolama ve hizmet sistemleri gibi karmaşık ve ayrıntılı olan tasarımları modellemek ve optimize etmek için kullanılan bir bilgisayar yazılımıdır. Arena simülasyon yazılımı ile modellenen bazı sistemler aşağıda verilmiştir:

- Malzeme taşıma bileşenleri dahil üretim sistemlerinin analizi,
- Müşteri hizmetleri ve müşteri yönetimi sistemlerinin analizi,
- Depolama, nakliye ve lojistik sistemlerini içeren tedarik zincirlerinin analizi,
- Maliyetler, verim, çevrim süreleri ve kaynak kullanımı gibi temel ölçütlere dayanarak sistem performansının ölçülmesi ve tahmin edilmesi,
- Kuyruk oluşumu ve kaynakların aşırı kullanımı gibi süreçlerde darboğazların belirlenmesi,
- Personel, ekipman veya malzeme ihtiyacının planlanması.

Arena simülasyon yazılımını kullanarak iş süreçlerini tanımlanabilir ve belgelenebilir. Ele alınan sistemi modelleyerek karmaşık yapısını anlayabilir ve iyileştirme yapılabilir. İlgili operasyonları dinamik animasyon grafikleriyle görselleştirilebilir. Sistemin mevcut durumunu inceleyebilir ve alternatif senaryolar oluşturup deneyler yaparak en iyi performansı veren senaryoyu belirlenebilir.

Arena simülasyon programında modelleme yapılabilmesi için uygulamanın açılış penceresinde üç ana bölge bulunmaktadır. Bu bölgeler “Project Bar”, “Spreadsheet View” ve “Flowchart View” adı verilen modelleme yapılırken temel olarak kullanılan bölgelerdir. “Flowchart View” adı verilen bölge animasyon, süreç akışı şeması ve diğer çizim nesneleri gibi modelin tüm grafiklerini gösterir. “Spreadsheet View” bölgesinde süreler, maliyetler ve diğer parametrelerin verileri gösterilir. “Project Bar” denilen kısımda modelleme yapılırken kullanılan nesneleri içeren paneller bulunmaktadır. Bu paneller aşağıda açıklanmıştır:

- Basic Process, Advanced Process ve Advanced Transfer panelleri: Süreci modellemek için kullanılan modül adı verilen modelleme şekillerinin bulunduğu paneldir.
- Reports paneli: Simülasyon modelinin çalışmasıyla sonuçları görüntülemek için kullanılan raporları içeren paneldir.
- Navigate paneli: Model üzerinde gezinmeyi sağlayan alanın bulunduğu paneldir.

Arena simülasyon yazılımının “Project Bar” bölümünde bir sistemin modellenmesinde kullanılan başlıca modüller bulunmaktadır. Bu modüller ve kullanımı ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir:

- Create modülü: Bu modül, varlık tipinin belirlendiği, varlıkların bir programa göre ya da gelişler arası süreye bağlı olarak oluşturulduğu ve sistemin başlangıç noktası olarak tasarlandığı modüldür. Create modülü, bir parçanın üretim hattına girişinde, bir belgenin iş sürecine girişinde veya bir müşterinin hizmet sürecine girişinde kullanılan bir modüldür.
- Dispose modülü: Varlıklar ile ilgili istatistiklerin elde edilebileceği ve simülasyon modelindeki varlıkların modelden çıkışının sağlanması için tasarlanan bir modüldür. Bir tesisten çıkan parçalarda, bir iş sürecinin bitişinde veya müşterilerin hizmet aldığı alandan çıkışında kullanılan modüldür.
- Process modülü: Bu modül, kaynak kısıtlarını tutma ve serbest bırakma, varlığı işlem süresinin verildiği, varlığa değer ekleme ya da eklememe, transfer ve bekleme gibi komutların bulunduğu modüldür. Bir parçanın işlenmesi, bir belgenin gözden geçirilmesi, siparişlerin hazırlanması veya bir müşterinin hizmet alması gibi süreçlerde kullanılmaktadır.
- Decide modülü: Bir veya birden fazla koşula ya da olasılığa bağlı olarak karar verme durumlarında kullanılan modüldür. Hatalı bir parçanın yeniden işlem görmek üzere geri gönderilmesi, kabul edilen ve reddedilen başvuruların ayrılması veya önceliğe sahip müşterilerin özel bir sürece gönderilmesi gibi durumlarda kullanılmaktadır.
- Assign modülü: Varlıklara veya değişkenlere yeni değerler atamak için kullanılan modüldür. Montaj hattındaki bir parçaya eklenen alt montaj sayısının belirlenmesi veya bir müşterinin önceliğini belirlenmesi gibi durumlarda kullanılmaktadır.
- Record modülü: Bu modül çıkışlar arasındaki sürenin, zaman ve maliyet gibi varlık değerlerinin, genel gözlemler veya modelin istatistik sonuçlarını elde etmek için kullanılan bir modüldür. Tamamlanan iş sayısının toplamı, geciken siparişlerin sayımı veya özel müşterilerin hizmet sürecinde geçirdiği sürenin kaydedilmesi gibi durumlarda kullanılmaktadır.
- Station modülü: Modelde varlıkların bir sonraki işlemine karşılık gelen konumun tanımlandığı modüldür. Bir torna istasyon alanının tanımlanması veya gişelerin tanımlanması gibi durumlarda kullanılmaktadır.
- PickStation modülü: Bu modül ile modüle tanımlanan seçim mantığına göre varlıkların birden fazla istasyon arasından belirli bir istasyonu seçmesini sağlamakta kullanılmaktadır. Makinenin kullanılabilirlik durumuna göre işleme istasyonuna gönderilen parça veya sırada en az bekleyene göre seçim yapan müşteri gibi durumlarda kullanılmaktadır.
- Batch modülü: Bu modül belirlenen bir sayıda biriken ve belirli özelliğe sahip varlıkları geçici ya da kalıcı olarak gruplayarak temsili varlık oluşturmak için

tasarlanmıştır. Hastanede randevuya gelen hasta ile kayıt formunu bir araya getirmek veya bir dizi parçayı işleme girmeden önce bir araya getirmek gibi durumlarda kullanılabilir.

- Separate modülü: Bu modül önceden gruplanan temsili varlığı bölmek ya da bir varlığı birden fazla kopyaya ayırmak için tasarlanmıştır. Bir konteynerden çıkan kutuları göstermek veya önceden gruplanan belge kümesini ayırmak için kullanılabilir.
- Entity modülü: Bu veri modülü, modelde gösterilen varlıklar ve bu varlıkların değerlerini tanımlar. Belgeler, parçalar, paletler veya müşteriler gibi öğeleri tanımlamak için kullanılabilir.
- Queue modülü: Bu veri modülü, belirli bir kuyruk durumunun sıralama kurallarını değiştirmek için tasarlanmıştır. Onaylanmayı bekleyen belgeler için kullanılabilir.
- Resource modülü: Bu veri modülü, simülasyon sisteminde kaynaklara ilişkin bilgilerin tanımlandığı modüldür. Makine, telefon hattı, satış personeli veya operatör gibi unsurları temsil etmek için kullanılabilir.
- Variable modülü: Bu veri modülü, bir değişkeni ve ilk değerini tanımlamak için tasarlanmıştır. Saat başına işlenen belge sayısını veya işlem görecekt parçalara atanan seri numarayı temsil etmek için kullanılabilir.
- Schedule modülü: Bu veri modülü, bir resource modülü için varış, işletim veya zamana bağlı olarak gecikmelerin belirtildiği çizelgeleri tanımlamak için tasarlanmıştır. Personelin molalar dahil çalışma çizelgesi veya ekipman arıza çizelgesi gibi durumlarda kullanılabilir (Rockwell Software, 2004).

3.5 İncelenen Ücret Toplama İstasyonu

Otoyollarda ücret toplama gişeleri müşteri memnuniyeti açısından büyük bir öneme sahiptir. Gişelerde oluşan kuyruklarda bekleme süreleri genel olarak verilen hizmeti olumsuz etkilemektedir. Otoyollarda ücret toplama gişelerinin ve gişelerde görev alan operatörlerin etkin kullanımı müşteri memnuniyetsizliğini önlemenin temel unsurlarıdır. Bu tezin amacı, Arena simülasyon programını kullanarak bir otoyol işletmesinin idaresinde olan çıkış istasyonunun mevcut durumunu göstermek ve alternatif senaryolar geliştirerek gişe ve personel yönetimini etkin ve verimli şekilde yönetmektir. Bu kapsamda, otoyol ücret toplama operasyonuna ilişkin veriler toplanmıştır.

Otoyollarda müşteri memnuniyetinin sağlanabilmesi için dikkate alınması gereken en önemli unsurlardan biri otoyol kullanıcılarının gişelerdeki bekleme süreleridir. Genel olarak hizmet sektöründe yer alan her işletme müşterilerinin bekleme sürelerini azaltmaya yönelik çalışmalar yapmaktadır. Mevcut gişeler etkin kullanılmadığı zaman otoyol ücret toplama operasyonunda bekleme süreleri uzun olmaktadır. Bu sebeple müşteri memnuniyetinin

sağlanması adına otoyol kullanıcılarının bekleme sürelerini azaltmayı hedeflemek işletme için faydalı olacaktır. Yapılan çalışmada müşteri memnuniyetinin sağlanması, ücret toplama gişelerinin ve operatörlerinin etkin kullanılması için performans göstergesi olarak otoyol kullanıcılarının ortalama bekleme süreleri belirlenmiştir.

Artan araç geliş yoğunluklarına göre bekleme sürelerinin azaltılması için açılması gereken gişe sayısına ve bu gişelerin nasıl kullanılması gerektiğine karar verilmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda yapılan incelemeler sonucunda aşağıdaki bilgiler ve değişkenler otoyoldan elde edilmiştir.

- Otoyol işletmesi hakkında bilgiler
- Ödeme yöntemleri hakkında bilgiler
- Çıkış istasyonundaki toplam gişe sayısı
- Gişe modları ve gişe bariyer kullanımı hakkında bilgiler
- Araç yoğunluğuna göre açık olan gişe sayısı ve gişe modları
- Tercih edilen ödeme yöntemlerinin oranları
- Ödeme yöntemlerine göre gişe kullanım oranları
- Ödeme yöntemlerine göre hizmet süreleri
- Araç yoğunluklarına göre gelişler arası süreler

Yapılan incelemeler sonucunda simülasyon uygulaması gerçekleştirilmeden önce ilgili çıkış istasyonunun sorunları listelenmiştir. Bu sorunlar aşağıda verilmiştir.

- Araç geliş yoğunluğuna göre açık olması gereken gişe sayısının ve gişe modlarının öngörülememesi
- Yoğunluktan oluşan kuyruklarda araçların bekleme süreleri
- Müşteri memnuniyetsizliği
- Mevcut ücret toplama gişelerinin ve gişe operatörlerinin verimli şekilde planlanamaması

Bu sorunların giderilmesi için öncelikle hedefler belirlenmiştir. Çalışmada sorunların giderilmesi için belirlenen hedefler aşağıda listelenmiştir.

- Gişe performansının iyileştirilmesi için performans göstergesi olarak belirlenen araç bekleme sürelerini tespit etmek ve azaltmak

- Açık gişe sayısını, gişelerin çalışması gereken modları ve personelin etkin şekilde planlanması
- Müşteri memnuniyetinin sağlanması

Türkiye’de 1915 Çanakkale Köprüsü ve Otoyolu üzerinde bulunan Malkara çıkış istasyonunda 4 ücret toplama gişesi ve ilave olarak ücret toplama gişesi olarak kullanılan 2 giriş gişesi ile toplamda 6 ücret toplama gişesi bulunmaktadır. Çıkış istasyonu 3 vardiya şeklinde 7/24 açık tutulmaktadır. Açık olan her ücret toplama gişesinde 1 ücret toplama operatörü bulunmaktadır. Her vardiyada 1 vardiya amiri GKM’de görev almaktadır.

Hizmet süresi ölçümü araçların ödeme yapmak için geldikleri gişenin ön tarafında bulunan araç sensöründen, gişenin son kısmında bulunan geçiş sensörüne kadarki geçen süre olarak alınmıştır.

Sürücüler, otoyolda kullandıkları mesafeye ve aracın sınıfına göre ücret ödemektedirler. Çıkış gişesine gelen sürücüler, otoyol ücretlerini nakit, banka kartı, kredi kartı, HGS ve her iki kanalla ödeyemediklerinde aracın plakası üzerinden İhlalli Geçiş Bildirimi ödeme kanalıyla ödeme yapabilmektedirler.

Çıkış istasyonlarına gelen kullanıcılar 3 farklı gişe modu ile karşılaşmaktadır. Bunlardan birincisi HGS Gişe Modu’dur. Bu gişe modunu genellikle HGS ile geçiş yapacak sürücüler tercih etmektedir. Fakat HGS ile ödemede sorun yaşayan sürücüler nakit-kredi kartı veya daha sonradan ödemek kaydıyla ihlalli geçiş ödeme yöntemi ile geçişlerini tamamlayabilmektedirler. İkinci gişe modu Karma Gişe Modu olarak isimlendirilen her çeşit ödeme yönteminin uygulanabildiği gişe modudur. Üçüncü ise sadece nakit-kredi kartı ödemelerinin gerçekleşebildiği Nakit Gişe Modu’dur.

Türkiye’de otoyollarda kullanılan ücret toplama sistemleri kapalı ve açık olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. 1915 Çanakkale Köprüsü ve Otoyolunda bariyerli kapalı sistem kullanılmaktadır. Bu sayede araçların giriş bilgisine ve sınıfına göre ücretlendirme yapılmaktadır. Nakit veya kredi kartı ile ödeme alınabilirken, aynı zamanda HGS bakiyesi olmayan ya da HGS etiketi kullanılamaz halde olan araçların kaçak geçişine de engel olunabilmektedir.

1915 Çanakkale Köprüsü ve Otoyolu’nun Malkara ücret toplama istasyonu incelendiğinde araç çıkış sayıları günlere ve saatlere göre değişmektedir. Bu sebeple model üzerinde tutarlılık sağlanabilmesi için araçlar saatlik çıkış sayılarına göre Excel üzerinden

tablolar oluşturularak kategorize edilmiştir. Modelin kurulumunda Arena Simulation programı kullanılmıştır. Gelişlerin olasılık dağımı için ise Arena Simulation programının Input Analyzer modülünden yararlanılmıştır. Modelin geçerlilik testleri SPSS istatistik programında gerçekleştirilmiştir.

Çıkış yapan araçlar 100'lü gruplar halinde farklı gün ve saatlerde toplanan veriler ile kategorize edilmiştir. Aynı saat periyodu içerisinde araçların ödeme tipi yüzdeler dağılımları ve tercih ettiği çıkış gişesi yüzdeler dağılımları sistemden elde edilmiştir. Araç geliş yoğunluğuna göre istasyonda açık gişe sayısı ve gişe modu farklılık göstermekte ve ödeme tipine göre gişelerde farklı yoğunluklar ve bekleme süreleri oluşmaktadır. Elde edilen verilerden her araç geliş yoğunluğuna göre ödeme yüzdesi Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Kategorilere göre ödeme tipi yüzdeleri

Geçiş Sayısı Aralığı	ETC Ödeme Yüzdesi	MTC Ödeme Yüzdesi	EFV Ödeme Yüzdesi
100 - 199	69%	24%	8%
200 - 299	71%	22%	7%
300 - 399	73%	20%	6%
400 - 499	75%	19%	6%
500 - 599	74%	19%	7%
600 - 699	76%	18%	6%
700 - 799	76%	18%	7%
800 - 899	77%	17%	7%
900 - 999	78%	15%	7%
1000 - 1099	73%	19%	8%

Elde edilen verilere göre otoyol kullanıcılarının büyük bir çoğunluğu ETC olarak ödeme yapmaktadır. Gelen araçların minimum %69'u ve maksimum %78'i ETC ödeme kanalını tercih etmektedir. Bunun ardından en çok tercih edilen ödeme kanalı MTC ödeme yöntemidir. İstasyonda ücretlerin minimum %15'i ve maksimum %24'ü MTC ödeme kanalı ile tahsil edilmektedir. En az da EFV ödeme kanalı tercih edilmektedir. Otoyol kullanıcılarının minimum %6'sı ve maksimum %8'i EFV ödeme kanalını tercih etmektedir.

Otoyol kullanıcılarının geliş yoğunluğuna göre istasyonlarda ücret toplama gişesi açılmaktadır. MTC ve EFV ödeme yöntemleri ETC ödeme yöntemine göre daha uzun işlem sürelerine sahip olduğundan istasyonlarda ETC ödemeleri için ayrı olarak HGS Gişe Modu açılmaktadır. Ödeme yöntemleri arasında büyük bir dilime sahip olan ETC ödemeleri bu

gişeleri tercih ederek kuyrukta MTC ve EFV ödemesi yapan kullanıcıları beklemeyerek otoyoldan çıkış yapabilmektedirler.

Farklı ödeme yapacak olan otoyol kullanıcıları, ödeme türlerine uygun olan gişeleri tercih etmektedir. Bu sebeple gişelerden eşit sayıda araç çıkışı olmamaktadır. Mevcut durumun kurulabilmesi için her geçiş aralığına göre tercih edilen ödeme yöntemleri göz önünde bulundurularak ödeme yöntemlerinin gişelere dağılımları incelenmiştir. Gişelere göre ödeme oranları Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Gişelere ve ödeme kanallarına göre araç çıkış yüzdeler dağılımlar

Ödeme Türü	Geçiş Sayısı Aralığı	Çıkış - 21 Oranı	Çıkış - 22 Oranı	Çıkış - 23 Oranı	Çıkış - 24 Oranı	Çıkış - 25 Oranı	Çıkış - 26 Oranı
ETC	100 - 199	29%	71%	0%	0%	0%	0%
	200 - 299	27%	73%	0%	0%	0%	0%
	300 - 399	12%	43%	45%	0%	0%	0%
	400 - 499	11%	43%	45%	0%	0%	0%
	500 - 599	13%	23%	41%	23%	0%	0%
	600 - 699	12%	21%	38%	28%	0%	0%
	700 - 799	11%	20%	38%	31%	0%	0%
	800 - 899	11%	18%	37%	34%	0%	0%
	900 - 999	12%	17%	35%	36%	0%	0%
	1000 - 1099	7%	14%	27%	26%	19%	7%
MTC	100 - 199	70%	30%	0%	0%	0%	0%
	200 - 299	68%	32%	0%	0%	0%	0%
	300 - 399	59%	24%	16%	0%	0%	0%
	400 - 499	61%	23%	16%	0%	0%	0%
	500 - 599	39%	39%	17%	5%	0%	0%
	600 - 699	39%	39%	16%	6%	0%	0%
	700 - 799	41%	36%	16%	7%	0%	0%
	800 - 899	39%	37%	16%	8%	0%	0%
	900 - 999	38%	36%	16%	10%	0%	0%
	1000 - 1099	33%	31%	17%	11%	7%	2%
EFV	100 - 199	35%	65%	0%	0%	0%	0%
	200 - 299	29%	71%	0%	0%	0%	0%
	300 - 399	17%	43%	40%	0%	0%	0%
	400 - 499	15%	45%	40%	0%	0%	0%
	500 - 599	16%	28%	38%	17%	0%	0%
	600 - 699	15%	24%	38%	23%	0%	0%
	700 - 799	18%	23%	38%	22%	0%	0%
	800 - 899	16%	19%	35%	30%	0%	0%
	900 - 999	14%	21%	35%	30%	0%	0%
	1000 - 1099	10%	15%	28%	19%	23%	6%

Sınıflandırılmış geçiş sayılarının oranlarından anlaşılacağı üzere geçiş sayısı arttıkça açılmış olan gişe sayısı da artmaktadır. Böylelikle artan yoğunluktan ötürü bekleme süreleri azaltılmaya çalışılmıştır. ETC, MTC ve EFV ödeme kanallarında aynı açık gişe adedi bulunan geçiş sayısı aralıklarında Çıkış-21'deki kullanım oranı azalırken diğer gişelerde kullanım oranları artmaktadır. Açık gişe sayısı arttıkça sürücüler farklı gişeleri tercih etmektedir. Bu nedenle geçiş oranları açık gişeler arasında dağılmaktadır.

Araç yoğunluklarına göre istasyonda açık gişe sayısı ve gişe modları değişmektedir. Araç geçiş aralıklarına göre açık olan gişelerin modları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Gişe modları

Geçiş Aralığı	Çıkış - 21	Çıkış - 22	Çıkış - 23	Çıkış - 24	Çıkış - 25	Çıkış - 26
100 - 199	KARMA	HGS	KAPALI	KAPALI	KAPALI	KAPALI
200 - 299	KARMA	HGS	KAPALI	KAPALI	KAPALI	KAPALI
300 - 399	KARMA	HGS	HGS	KAPALI	KAPALI	KAPALI
400 - 499	KARMA	HGS	HGS	KAPALI	KAPALI	KAPALI
500 - 599	KARMA	KARMA	HGS	HGS	KAPALI	KAPALI
600 - 699	KARMA	KARMA	HGS	HGS	KAPALI	KAPALI
700 - 799	KARMA	KARMA	HGS	HGS	KAPALI	KAPALI
800 - 899	KARMA	KARMA	HGS	HGS	KAPALI	KAPALI
900 - 999	KARMA	KARMA	HGS	HGS	KAPALI	KAPALI
1000 - 1099	KARMA	KARMA	HGS	HGS	HGS	HGS

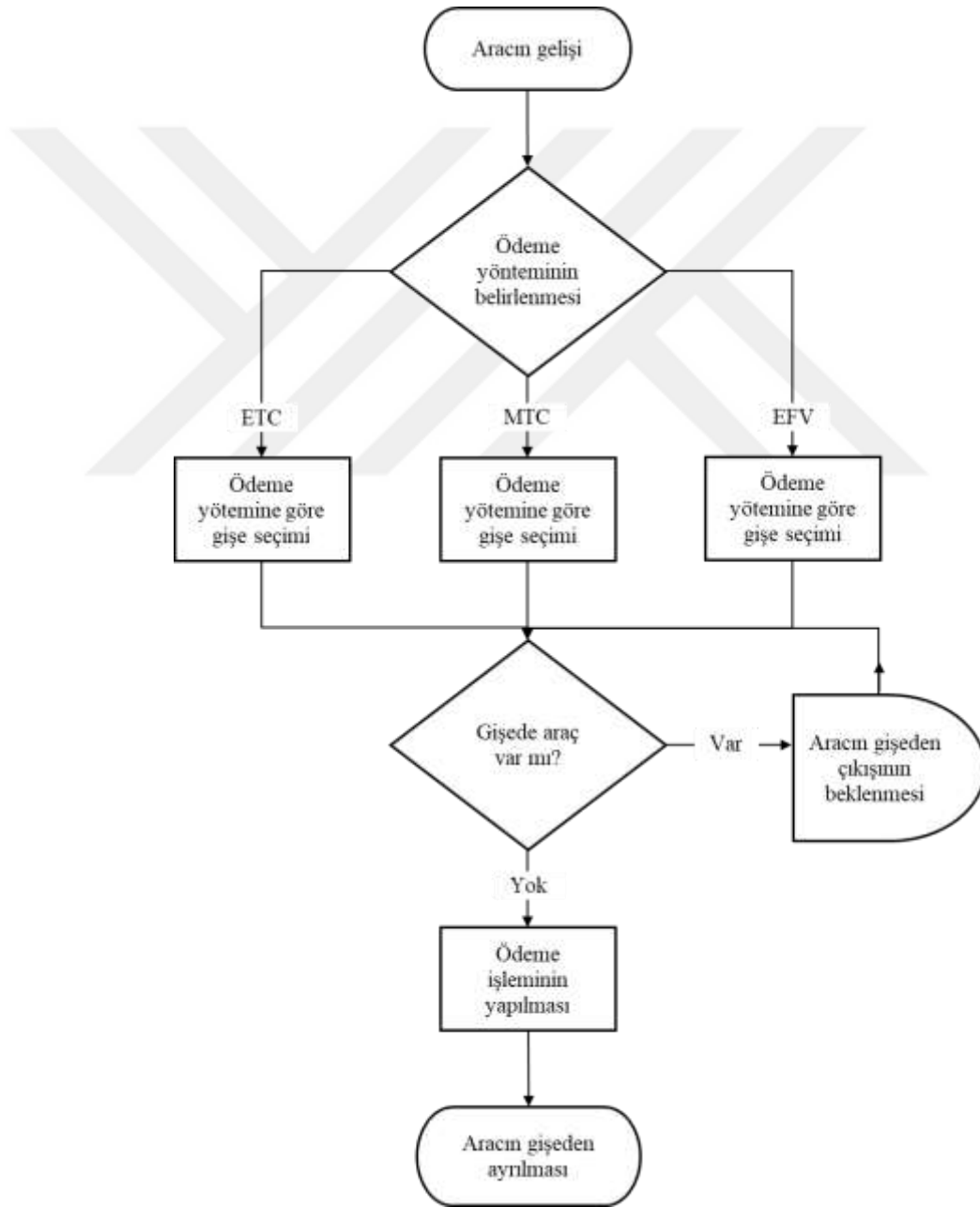
Tüm geçiş aralıkları incelendiğinde Çıkış-21 ve Çıkış-22 gişeleri her zaman açık olduğu görülmektedir. Çıkış-22 düşük geçiş sayılarında HGS modunda açılırken, Çıkış-21 diğer gişelere göre geniş araçlar için de uygun olduğundan her ödeme kanalının kullanılabilirdiği KARMA modda açılmaktadır. Sürücüler çıkış istasyonuna geldiklerinde 21'den 26'ya doğru gişeler sağdan sola doğru sıralanmaktadır. Genellikle sağ tarafta kalan gişeler KARMA modda, sola doğru gişeler HGS modunda açılmaktadır. Bunun sebebi MTC veya EFV ödemesi yapacak olan araçların ETC ödemesi yapan araçlara göre daha çok yavaşlayıp ve durması gerekeceğinden ETC ödemesi yapacak araçların ödeme yönteminin sağladığı konforu azaltılmasından kaçınarak sağ tarafta bulunan gişeleri tercih etmeleri sağlanmaktadır.

Trafik yoğunluğuna göre gişelerde bariyerler kapalı ve açık konumda kullanılabilir. Bariyerler kapalı durumda ETC, MTC ve EFV ödeme türlerinin hepsi ile ücret tahsil edilirken, bariyerlerin açık olduğu durumlarda trafiğin sıkışmaması adına sadece ETC ve EFV ödeme türleri ile tahsilat yapılmaktadır. Sistem üzerinden elde edilen veriler

doğrultusunda araçların işlem süreleri hesaplanmıştır. ETC, MTC ve EFV ödemelerinin işlem süreleri olası bir operatör, otoyol kullanıcısı ya da sistem hatası gözetilerek analiz edilmiştir.

3.6 Model İş Akış Diyagramlarının Belirlenmesi

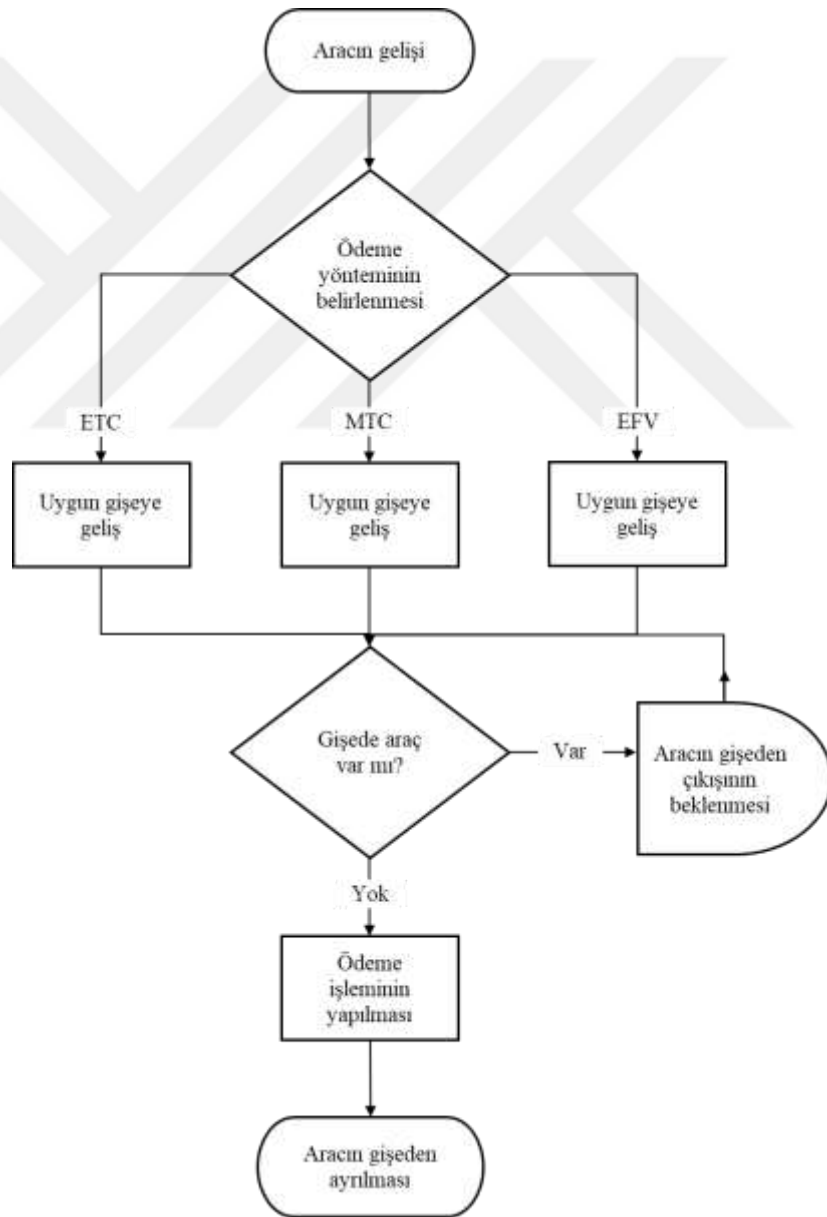
Gerekli gözlemler yapıldıktan ve veriler elde edildikten sonra bu çalışma çerçevesinde mevcut ve alternatif durumların Arena Simülasyon programına aktarılırken daha iyi anlaşılması için iş akış diyagramları oluşturulmuştur. İş akış diyagramlarında ana süreçler ve karar noktaları gösterilmektedir. Mevcut durum modelinin iş akış diyagramı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Mevcut durum iş akış diyagramı

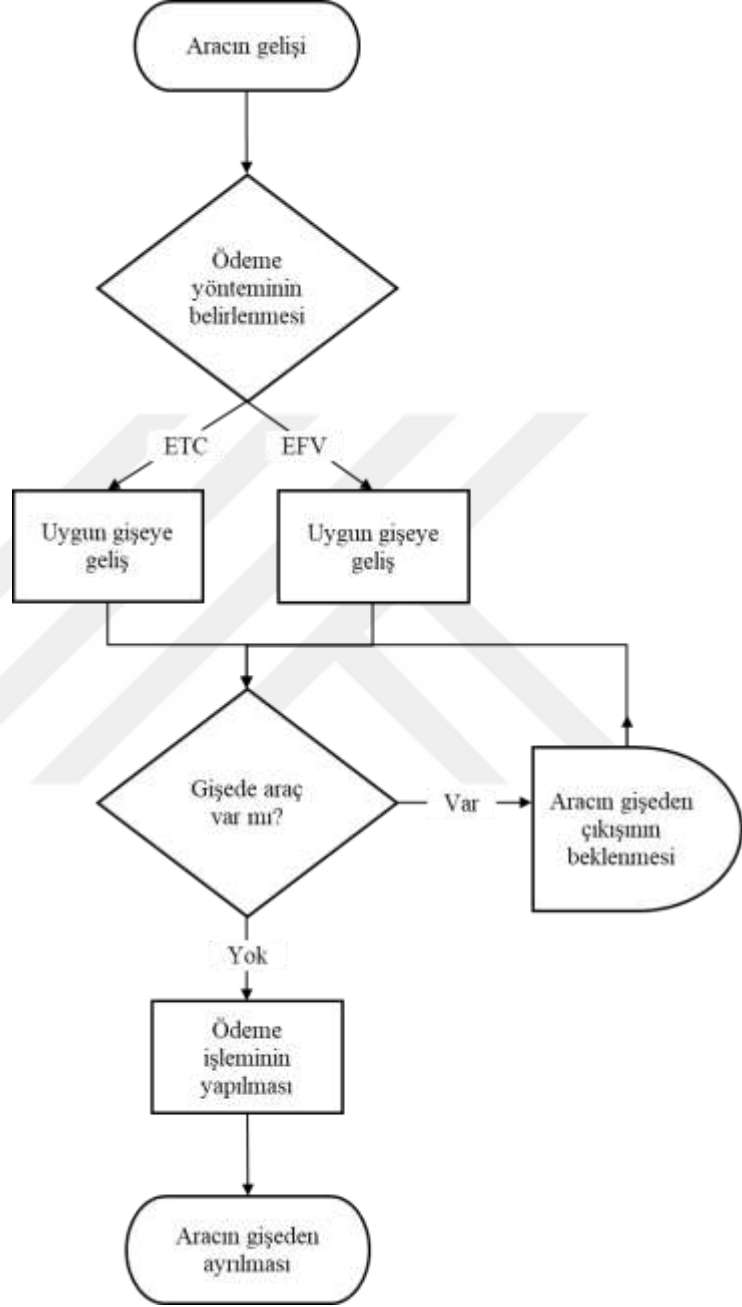
Gişelerde ücret toplama operasyonu genellikle aracın gişelere gelişiyle başlar. Gelen araç ETC, MTC veya EFV ödeme yöntemlerinden birini gişeye gelmeden belirler ve ardından belirlediği ödeme yöntemine göre açılmış olan gişeye doğru giriş yapmaya hazırlanır. Gişede ödeme yapan araç varsa yeni gelen araç beklemektedir. Eğer araç yoksa ya da beklerken önündeki aracın ödeme işlemi biterse araç ödemesini yapmak için gişeye giriş yapar. Ödeme işlemi bittikten sonra gişe sahasından ayrılır.

Karma gişe modelinin mevcut durum modelinden farkı açık olan gişeler 3 farklı ödeme yöntemiyle ödeme alabilmektedir. Bu sebeple gelen araç müsait gördüğü herhangi bir gişeye giriş yapabilmektedir. Karma gişe modelinin iş akış diyagramı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Karma gişe modeli iş akış diyagramı

Açık bariyerli gişeye modelinin mevcut durum ve karma gişeye modelinden farkı MTC ödeme yönteminin olmamasıdır. Açık bariyerli gişeye modelinin iş akışı diyagramı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

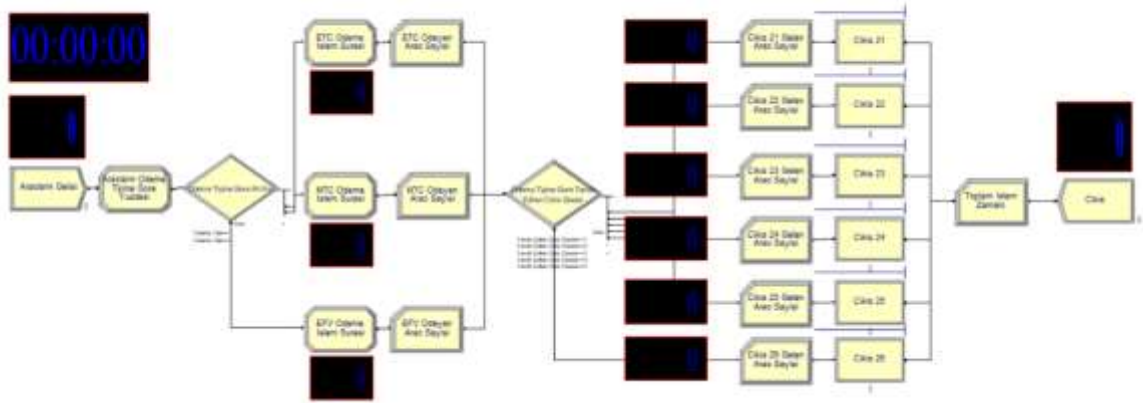


Şekil 3.3. Açık bariyer gişeye modeli iş akışı diyagramı

3.7 Ücret Toplama İstasyonu için Kurulan Simülasyon Modeli

1915 Çanakkale Köprüsü ve Otoyolu'nun Malkara ücret toplama istasyonundaki oluşan kuyruk sisteminin modeli bu kısımda anlatılmıştır. İstasyonda toplamda 6 çıkış gişesi bulunmaktadır. Her gişede bir ücret toplama operatörü çalışmaktadır. Gelen araç sayısına göre açık gişe sayısı artırılmakta veya azaltılmaktadır. Araç geliş aralığına göre 10, senaryolar gereği 3 farklı model tipi yani toplamda 30 farklı model bulunmaktadır. Araç geliş aralığına göre araçların geliş olasılık dağılımı değişirken, senaryolar gereği açık gişe sayısı, ödeme türüne göre gişe dağılımı ve ödeme türlerine göre işlem süreleri değişmektedir. Görsel ile anlatılmak üzere sadece 100 – 199 araç geçiş aralığındaki modelin 3 farklı senaryosu sunulmuştur.

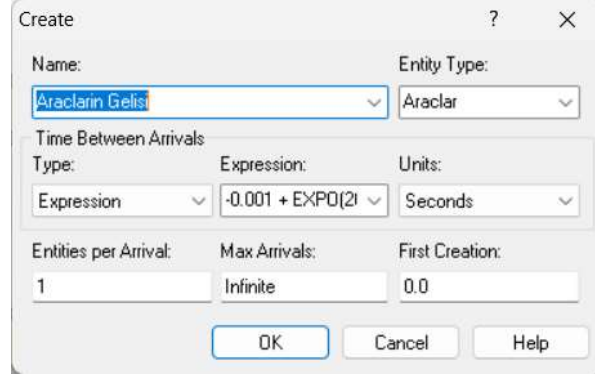
İlk olarak mevcut durum incelenerek bir model kurulmuştur. Mevcut durumun Arena simülasyon modeli Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Mevcut duruma ait uygulama modeli

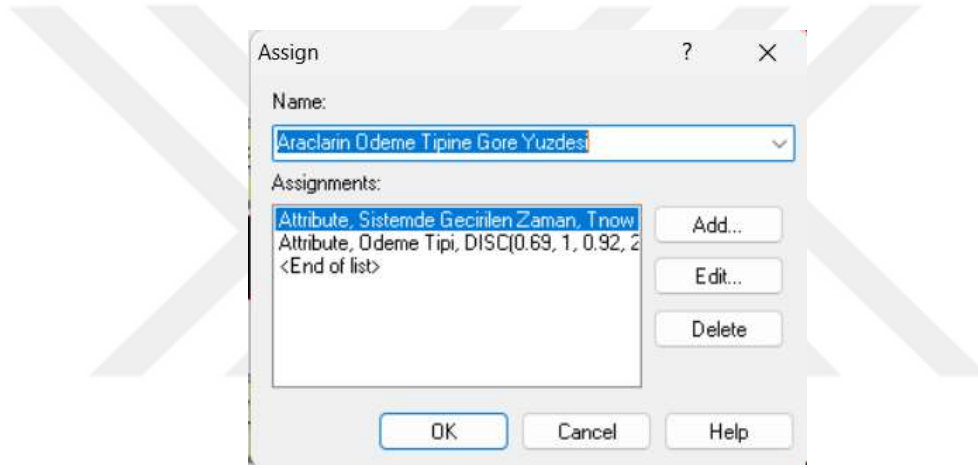
Mevcut durumun modellenmesinde 1 CREATE modülü, 4 ASSIGN modülü, 2 DECIDE modülü, 10 RECORD modülü, 6 PROCESS modülü ve 1 DISPOSE modülü kullanılmıştır.

Mevcut durumun modeli kurulurken araçların sisteme gelişleri için CREATE modülü kullanılmıştır. CREATE modülü Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



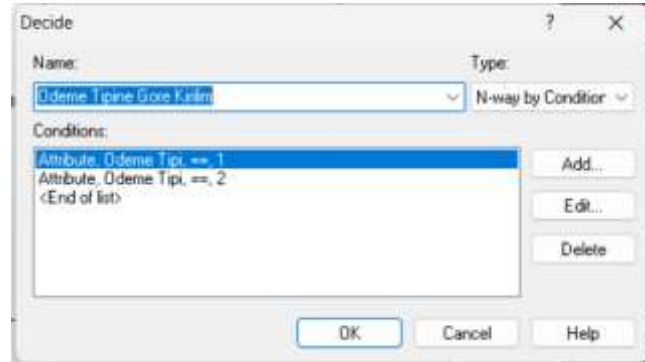
Şekil 3.5. Sisteme gelen araçları oluşturmak için kullanılan CREATE modülü

Gelen araçların ödeme türüne göre yüzdelik dağılımları için ASSIGN modülü kullanılmıştır. ASSIGN modülü Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



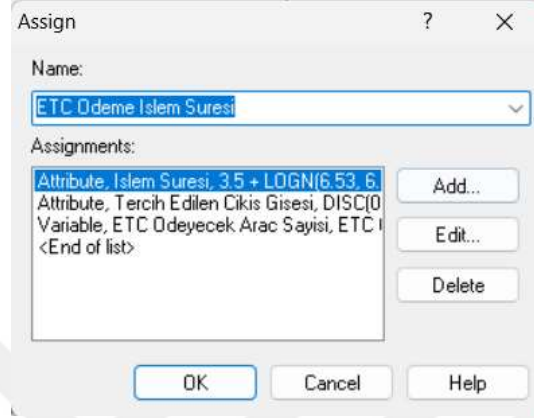
Şekil 3.6. Ödeme türlerine göre araçları ayırmak için kullanılan ASSIGN modülü

Araçları ödeme türlerine göre ayırıp işlem süresini belirlemek için DECIDE modülü kullanılmıştır. Kullanılan DECIDE modülü Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Araçları ödeme türüne göre ayıran DECIDE modülü

Ödeme türüne göre işlem sürelerinin ENTITY'lere özellik olarak eklenmesi için ASSIGN modülü kullanılmıştır. Aynı modül MTC ve EFV ödeme işlem süresi için kullanılmıştır. MTC ve EFV için yine aynı prensip kullanılmıştır ve sadece işlem süresi ile tercih edilen çıkış gişesi değerleri değişmiştir. Kullanılan ASSIGN modülü Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Ödeme türüne göre işlem süresi ve tercih edilen gişe yüzdeleri için kullanılan ASSIGN modülü

Ödeme yöntemine göre toplam araç sayısının hesaplanabilmesi için RECORD modülü kullanılmıştır. Her ödeme türü için aynı prensip ile çalışmaktadır. Kullanılan RECORD modülü Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



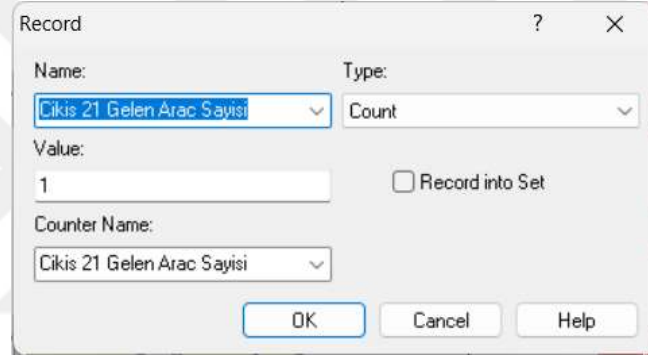
Şekil 3.9. Ödeme türüne göre araç sayısını sayan RECORD modülü

Araçları, ödeme türüne göre tercih edilen gişelere yönlendirmek için DECIDE modülü kullanılmıştır. Kullanılan DECIDE modülü Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



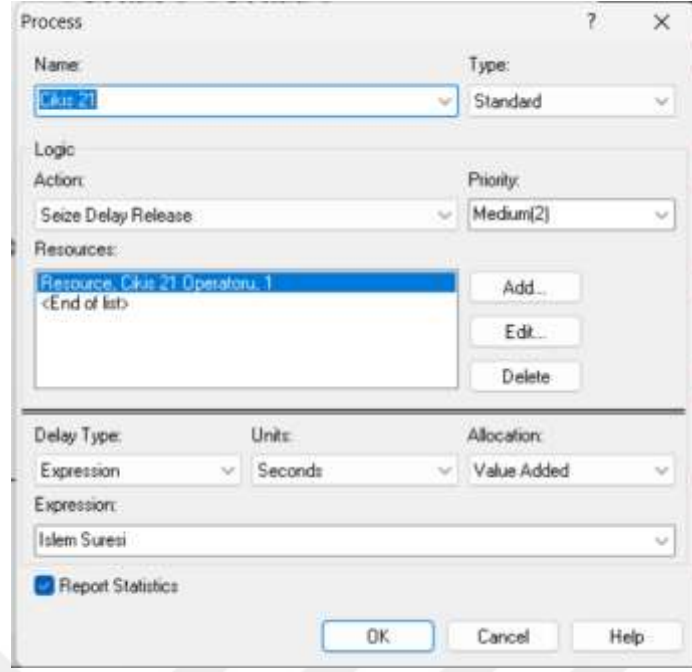
Şekil 3.10. Araçların ödeme türüne göre gişelere dağılımını sağlayan DECIDE modülü

Ücret ödemek amacıyla gişelere gelen araçların hesabını yapabilmek için çıkış gişesi olarak isimlendirilen PROCESS modülünün önüne bir RECORD modülü yerleştirilmiştir. Örnek olarak Çıkış-21 gişesi için kullanılan RECORD modülü Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



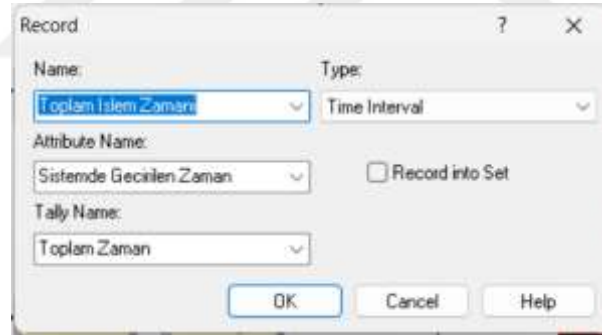
Şekil 3.11. Gişelere çıkış yapmak için gelen araçların sayısını belirlemekte kullanılan RECORD modülü

Araçların ücret ödemek için geldiği çıkış gişelerini temsil etmesi için PROCESS Modülü kullanılmıştır. Örnek olarak Çıkış-21 gişesi için kullanılan PROCESS modülü Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



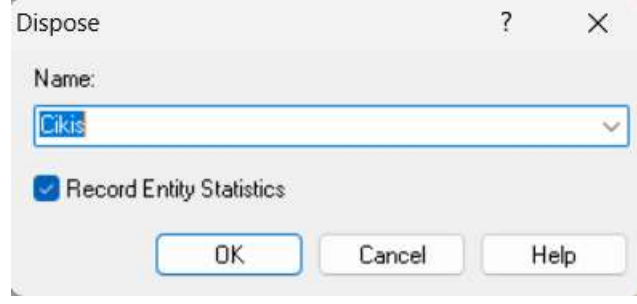
Şekil 3.12. Gişeleri temsil için kullanılan PROCESS modülü

Araçların sistemde geçirdikleri toplam süreyi takip edebilmek için RECORD modülü kullanılmıştır. Kullanılan RECORD modülü Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



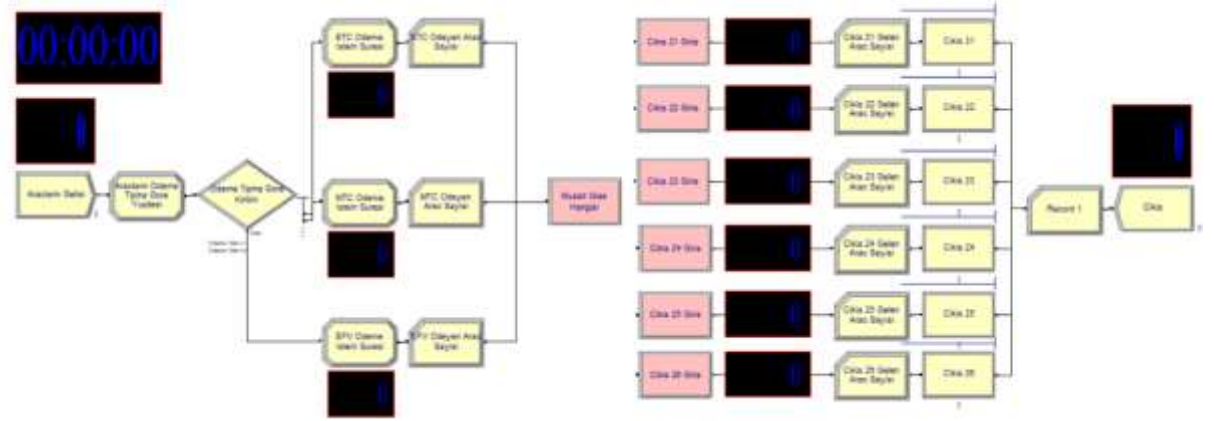
Şekil 3.13. Toplam süre için kullanılan RECORD modülü

Son olarak araçların sistemden çıkabilmesi için bir DISPOSE modülü kullanılmıştır. Kullanılan DISPOSE modülü Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



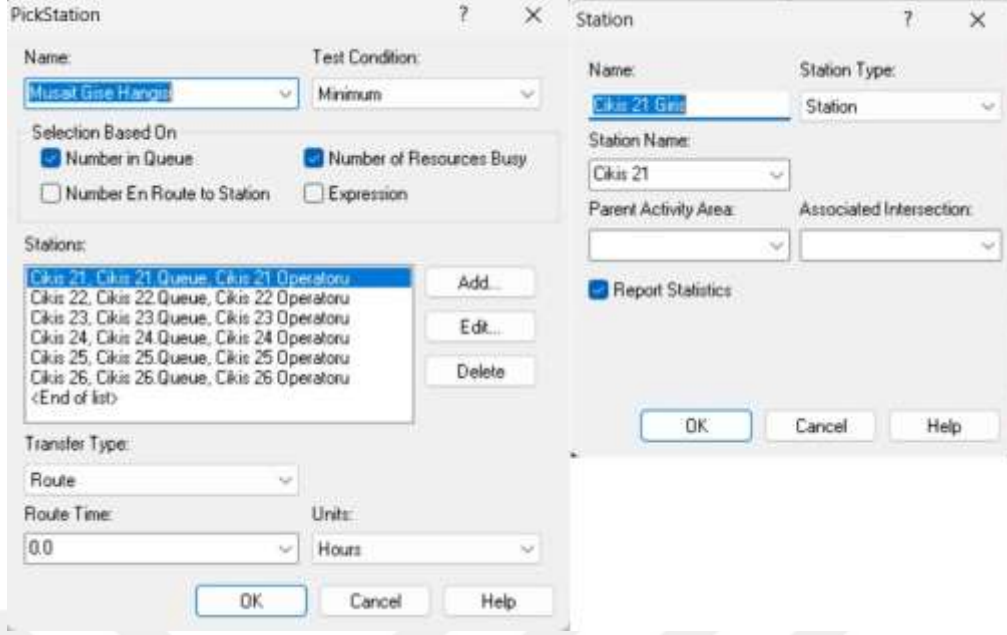
Şekil 3.14. Araçların sistemden çıkışı için kullanılan DISPOSE modülü

Alternatif bir senaryo yaklaşımı olan mevcut durumdaki gişelerin KARMA modda kullanıldığı bir model oluşturulmuştur. Bu model otoyol kullanıcılarının en düşük kuyruklanmanın olduğu ve müsait olan gişeyi tercih edeceği şekilde tasarlanmıştır. Gelişler arası süre ve ödeme türü yüzdesi bakımından mevcut durum ile aynı olan bu modelde ödeme türüne göre tercih edilen gişeyi belirlemek için kullanılan DECIDE modülü yerine PICK STATION ve STATION modülleri gelmektedir. Gişelerin KARMA modda kullanıldığı Arena Simülasyon modeli Şekil 3.15’te gösterilmiştir.



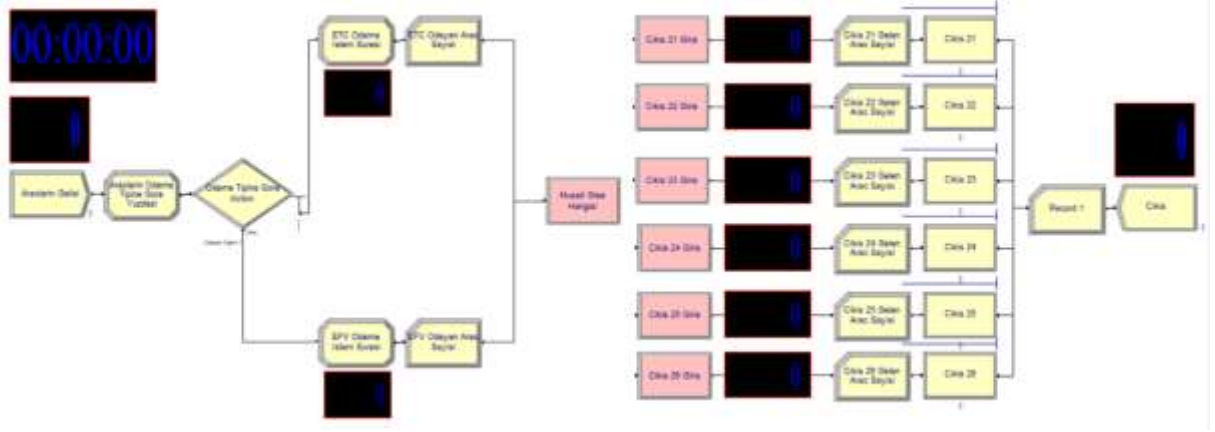
Şekil 3.15. Karma gişe modundaki sisteme ait uygulama modeli

Otoyol kullanıcılarının en az kuyruklanma olan ya da hiç kuyruk oluşmayan ve operatörünün boşa olan gişeleri tercih etmesini sağlamak için PICK STATION - STATION modüllerinden yararlanılmıştır. Kullanılan PICK STATION – STATION modülleri Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Araçların müsait gişelere erişimini sağlayan PICK STATION - STATION modülleri

Çıkış istasyonuna araç gelişlerinin yoğun olduğu zamanlarda trafiği rahatlatmak adına gişelerde bariyer kaldırılarak araçların akışı sağlanmaktadır. Bu durumda MTC ödemesi yok sayılarak ETC ve EFV ödemelerinin süreci hızlandırılmaktadır. Karma moddaki gişelerde olduğu gibi otoyol kullanıcıları en az kuyruklanmanın olduğu ve operatörü müsait olan gişeyi tercih etmektedir. PICK STATION – STATION modüllerinin kullanıldığı fakat MTC ödemesi yapacak olan otoyol kullanıcılarının EFV ödemesi yapacağı göz önünde bulundurularak bir model kurulmuştur. MTC ödeme türü artık olmadığından MTC ödeme türünün işlem süresi modelde yer almamaktadır. ETC ve EFV ödemelerinin işlem süreleri açık bariyer durumunda sistemden elde edilen verilerden Arena Simulation programının Input Analyzer modülü kullanılarak olasılık dağılımları hesaplanmıştır. Gişelerde bariyerlerin açık durumda olduğu Arena simülasyon modeli Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Açık bariyer gişe sistemine ait uygulama modeli

3.8 Modele Ait Varsayımlar

Simülasyon modellerinde gerçek sistemin tüm detaylarının yansıtılabilmesi mümkün olmamasından dolayı model ile ilgili varsayımlar bulunmaktadır. Varsayımlar hariç geriye kalan etkenler modelde yansıtılmıştır. Otoyol simülasyon çalışmasındaki varsayımlar aşağıda verilmiştir;

- Otoyolun işleyişi elektrik kesintisi gibi bir etkenle bölünmemektedir.
- Gişe operatörünün vardiyası boyunca çalışma alanını terketmediği ve molaya çıkmadığı varsayılmıştır.
- Çıkış gişesine gelen araçların önceden ödeme yöntemini belirlediği, ödeme esnasında fikir değiştirmedeği varsayılmıştır.
- Otoyol ile ilgili arıza, bakım ve onarım gibi faaliyetlerin olmadığı varsayılmıştır.
- Sürücülerin ödeme yapmak dışında (yol tarifi, sohbet etmek gibi) bir nedenle gişede bulunmadığı varsayılmıştır.

4. BULGULAR

Bu bölümde ilgili ücret toplama istasyonu incelenip uygun simülasyon modeli göz önünde bulundurularak performans analizi yapılmıştır. Simülasyon modeli için olasılık dağılımları tespit edilmiş ve modelin geçerliliği test edilmiştir. Mevcut durum ile alternatif senaryoların model sonuçları elde edilmiştir. Araçların bekleme süreleri dikkate alınarak mevcut durum ve alternatif senaryolar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

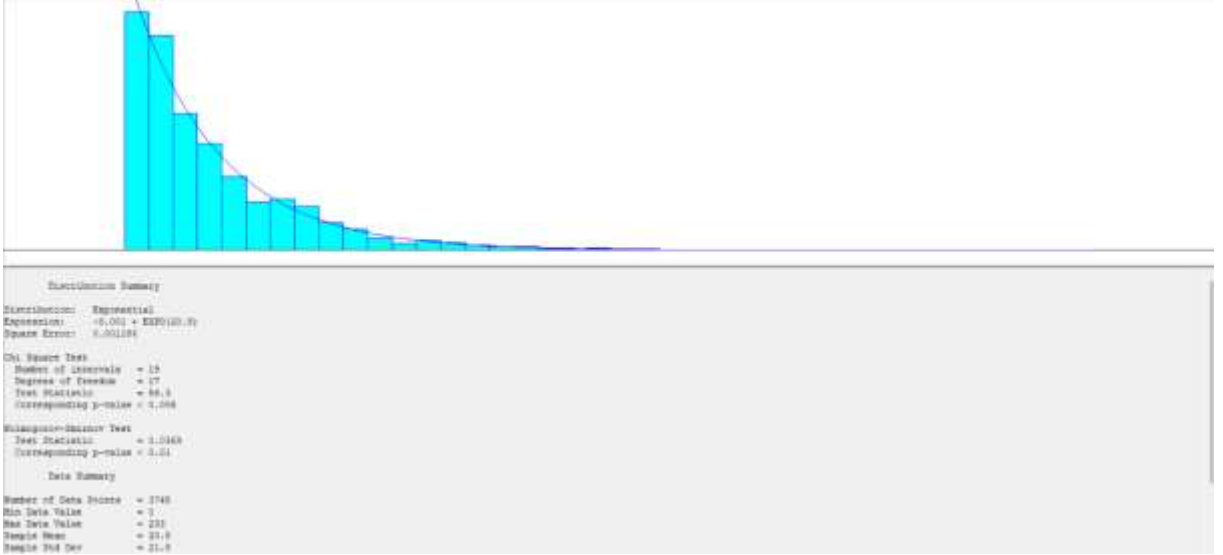
4.1 Gelişler Arası ve İşlem Süreleri Olasılık Dağılımlarının Tespiti

Araç geliş yoğunluklarına göre gelişler arası süre ve farklı ödeme türlerinin kapalı ve açık bariyer durumlarına göre hizmet süreleri tespit edilmiştir. Hizmet süreleri için gişelerdeki araç sensöründen geçiş sensörüne kadarki geçen süre ölçülmüştür. Olasılık dağılımları Arena Simulation yazılımının Input Analyzer modülünde değerlendirilerek elde edilmiştir. Input Analyzer modülü ile elde edilen değerlere en uygun olan olasılık dağılımları otomatik olarak hesaplanmaktadır.

Model için elde edilen verilerin istatistiksel dağılımlarının belirlenmesinden önce bağımsızlığı SPSS istatistik programında aracılığıyla hazırlanan serpm diyagramları EK 1’de gösterilmiş olup sezgisel olarak test edilmiştir. Diyagramların incelenmesi sonucunda veriler arasında doğrusal bir ilişkinin bulunmadığı ve verilerin birbirinden bağımsız olduğu sonucuna varılmıştır.

100 – 199 arası araç geliş yoğunluğuna göre elde edilen 3.745 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Gelişler arası süreler en küçük 0, en büyük 233 ve ortalama 20,8 saniye olmaktadır. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı üstel dağılım olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

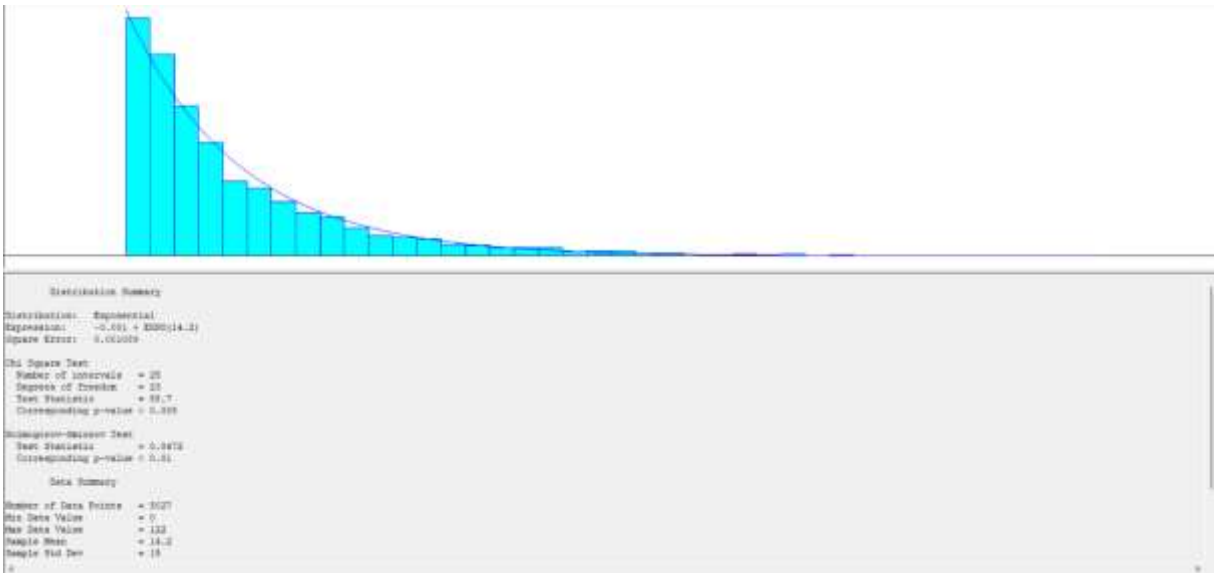
$$-0.001 + \text{EXPO}(20.8)$$



Şekil 4.1. 100-199 gelişler arası olasılık dağılımı

200 – 299 arası araç geliş yoğunluğuna göre elde edilen 5.027 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Gelişler arası süreler en küçük 0, en büyük 122 ve ortalama 14,2 saniye olmaktadır. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı üstel dağılım olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

$$-0.001 + \text{EXPO}(14.2)$$

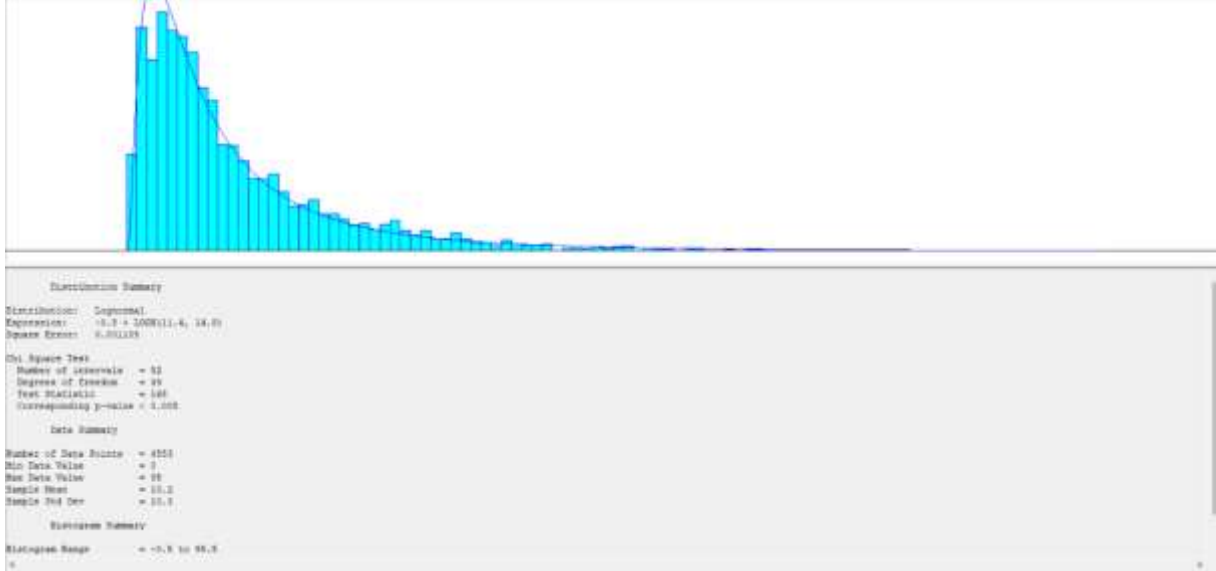


Şekil 4.2. 200-299 gelişler arası olasılık dağılımı

300 – 399 arası araç geliş yoğunluğuna göre elde edilen 4.553 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Gelişler arası süreler en küçük 0, en büyük 95 ve ortalama 10,2

saniye olmaktadır. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı lognormal dağılım olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

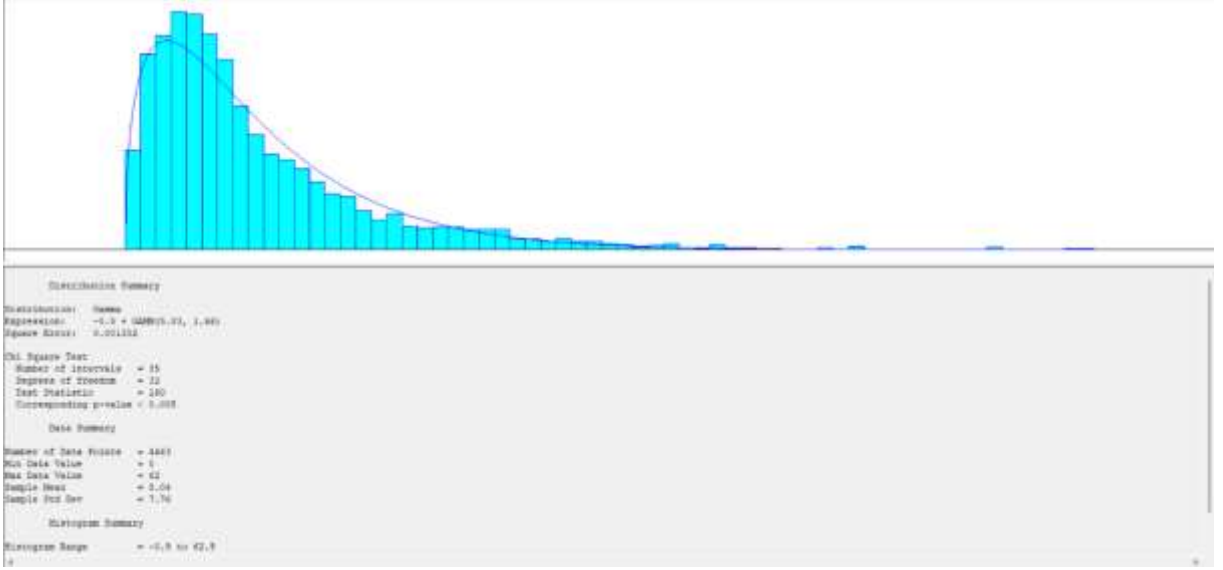
$$-0.5 + \text{LOGN}(11.4, 14.8)$$



Şekil 4.3. 300-399 gelişler arası olasılık dağılımı

400 – 499 arası araç geliş yoğunluğuna göre elde edilen 4.463 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Gelişler arası süreler en küçük 0, en büyük 62 ve ortalama 8,04 saniye olmaktadır. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı gamma dağılım olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

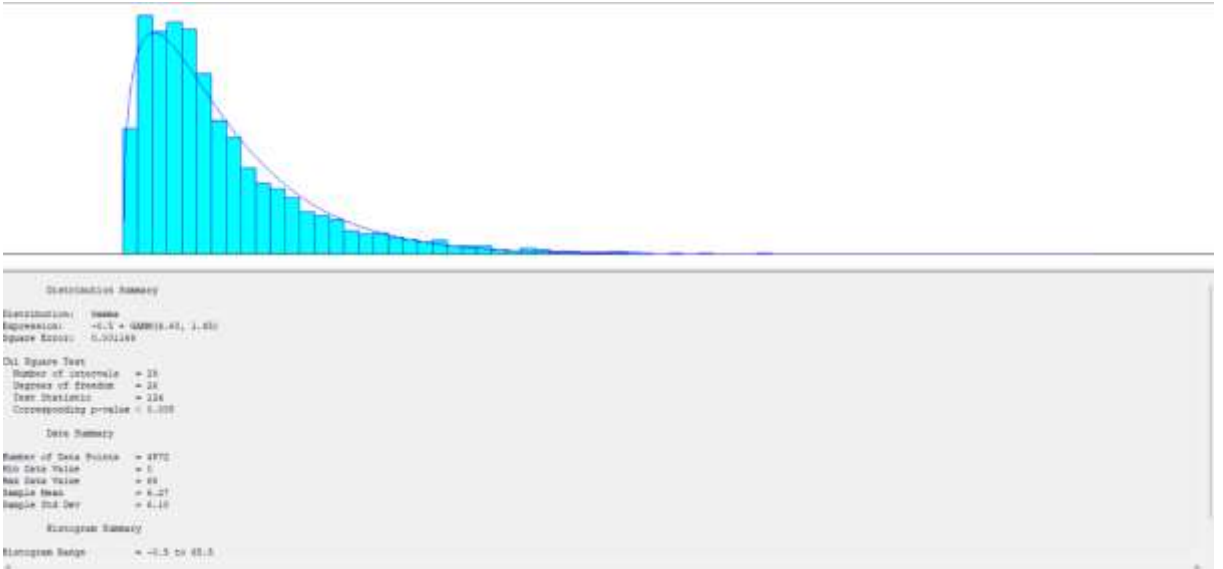
$$-0.5 + \text{GAMM}(5.83, 1.46)$$



Şekil 4.4. 400-499 gelişler arası olasılık dağılımı

500 – 599 arası araç geliş yoğunluğuna göre elde edilen 4.572 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Gelişler arası süreler en küçük 0, en büyük 65 ve ortalama 6,27 saniye olmaktadır. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı gamma dağılımı olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

$$-0.5 + \text{GAMM}(4.68, 1.45)$$

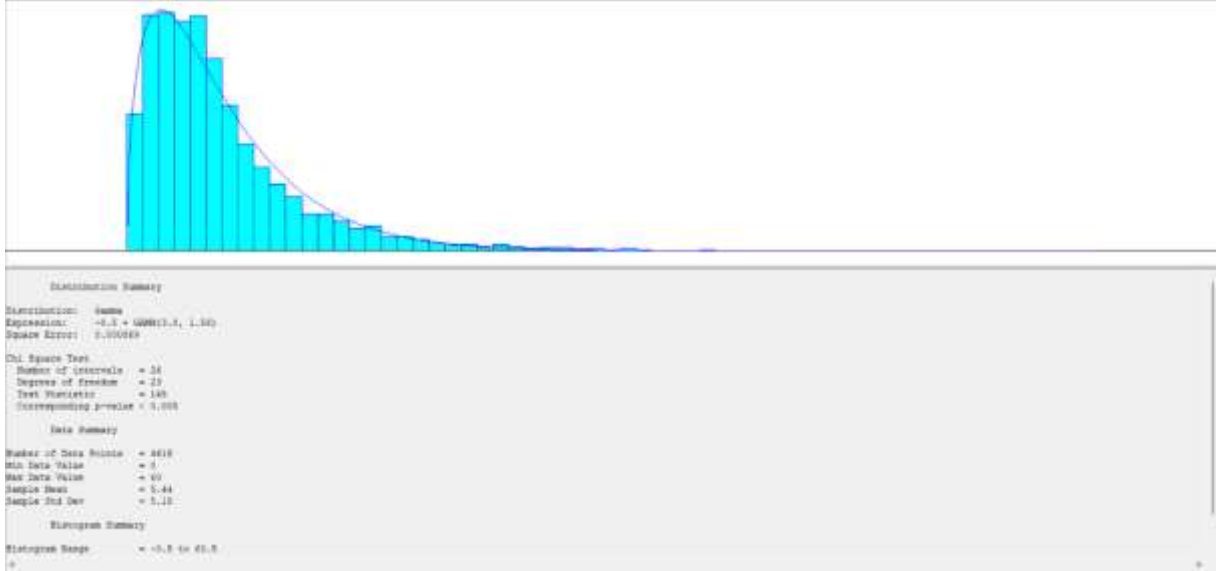


Şekil 4.5. 500-599 gelişler arası olasılık dağılımı

600 – 699 arası araç geliş yoğunluğuna göre elde edilen 4.615 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Gelişler arası süreler en küçük 0, en büyük 60 ve ortalama 5,44 saniye olmaktadır. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı gamma

dağılım olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

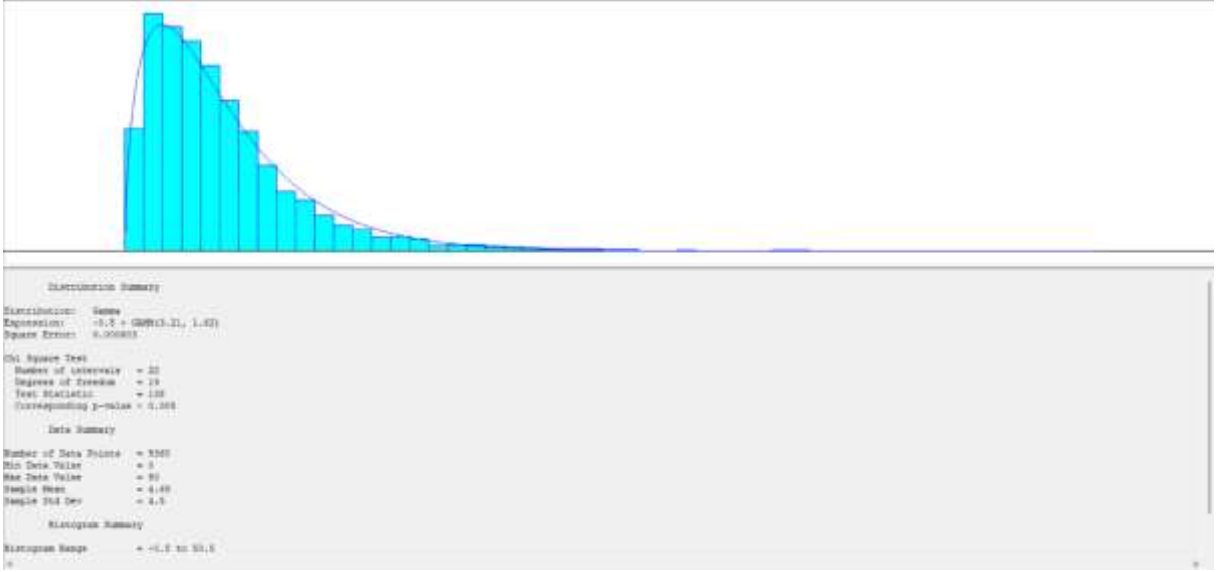
$$-0.5 + \text{GAMM}(3.8, 1.56)$$



Şekil 4.6. 600-699 gelişler arası olasılık dağılımı

700 – 799 arası araç geliş yoğunluğuna göre elde edilen 5.360 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Gelişler arası süreler en küçük 0, en büyük 50 ve ortalama 4,69 saniye olmaktadır. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı gamma dağılım olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

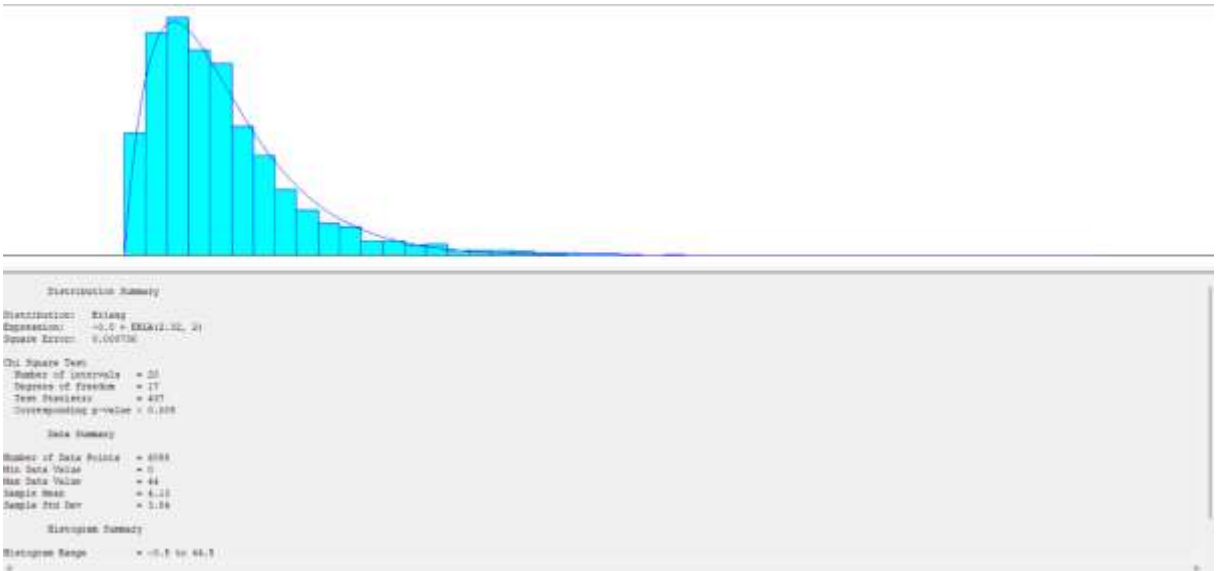
$$-0.5 + \text{GAMM}(3.21, 1.62)$$



Şekil 4.7. 700-799 gelişler arası olasılık dağılımı

800 – 899 arası araç geliş yoğunluğuna göre elde edilen 6.088 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Gelişler arası süreler en küçük 0, en büyük 44 ve ortalama 4,13 saniye olmaktadır. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı erlang dağılımı olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

$$-0.5 + \text{ERLA}(2.32, 2)$$

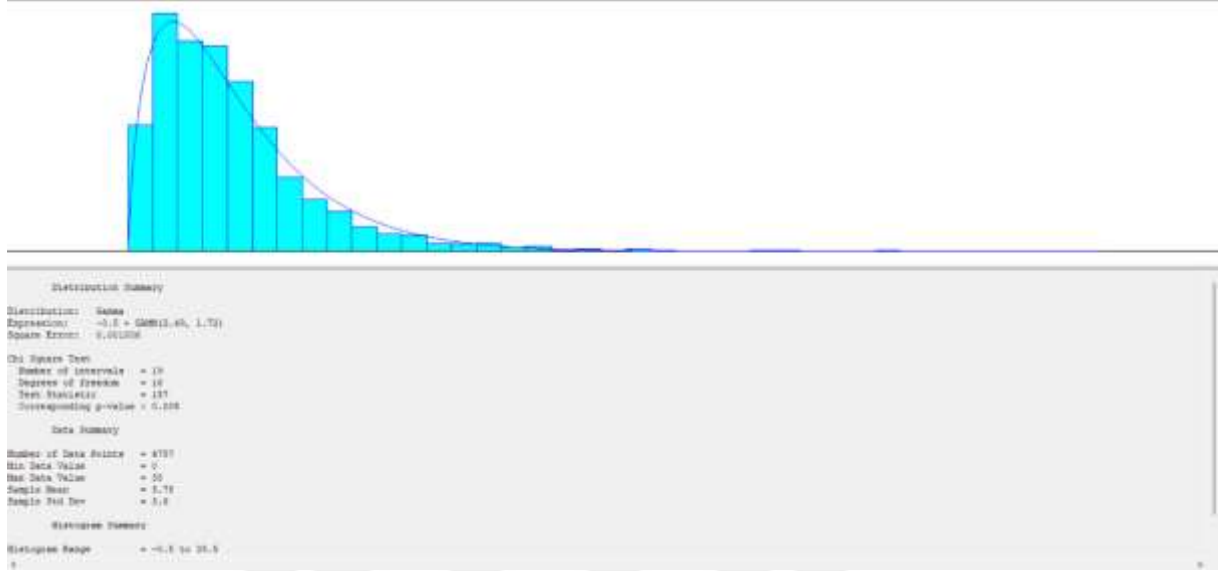


Şekil 4.8. 800-899 gelişler arası olasılık dağılımı

900 – 999 arası araç geliş yoğunluğuna göre elde edilen 4.757 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Gelişler arası süreler en küçük 0, en büyük 38 ve ortalama 3,78 saniye olmaktadır. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı gamma

dağılım olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

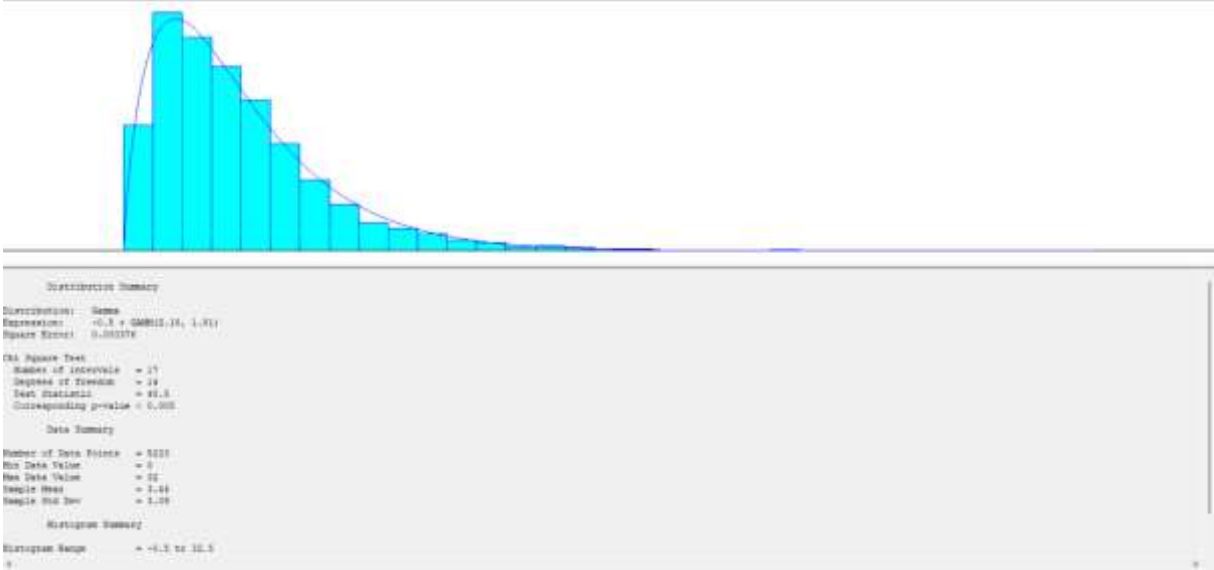
$$-0.5 + \text{GAMM}(2.49, 1.72)$$



Şekil 4.9. 900-999 gelişler arası olasılık dağılımı

1000 – 1099 arası araç geliş yoğunluğuna göre elde edilen 5.223 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Gelişler arası süreler en küçük 0, en büyük 32 ve ortalama 3,44 saniye olmaktadır. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı gamma dağılım olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.10’da gösterilmiştir.

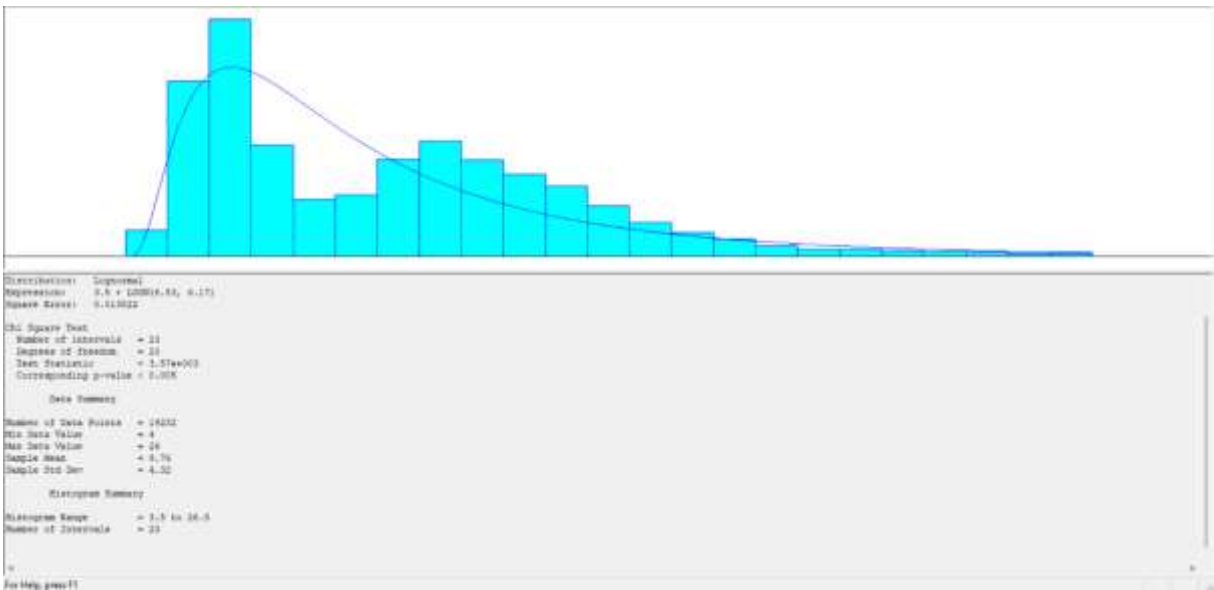
$$-0.5 + \text{GAMM}(2.18, 1.81)$$



Şekil 4.10. 1000-1099 gelişler arası olasılık dağılımı

Kapalı bariyer durumundayken en hızlı ödeme türü ETC ödeme türüdür. ETC hizmet süresi için elde edilen 19.232 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. ETC ile otoyol kullanıcıları en küçük 4, en büyük 26 ve ortalama 9,76 saniyede ödemelerini gerçekleştirmektedir. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı lognormal dağılım olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.11’de gösterilmiştir.

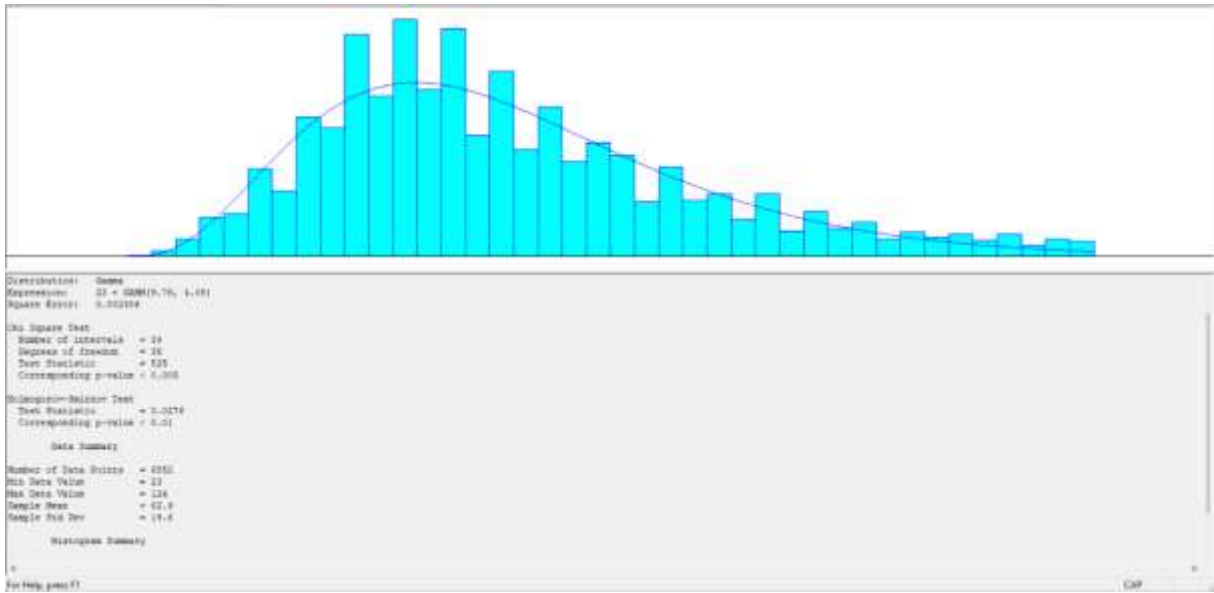
$$3.5 + \text{LOGN}(6.53, 6.17)$$



Şekil 4.11. Kapalı bariyer durumunda ETC ödeme süresi olasılık dağılımı

Kapalı bariyer durumundayken ETC ödemelerinde otoyol kullanıcıları araçlarını yavaşlatmakta fakat durdurmamaktadır. MTC ve EFV ödemelerinde otoyol kullanıcılarının durması gerekmektedir. MTC hizmet süresi için elde edilen 6.852 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. MTC ile otoyol kullanıcıları en küçük 23, en büyük 124 ve ortalama 62,9 saniyede ödemelerini gerçekleştirmektedir. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı gamma dağılımı olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

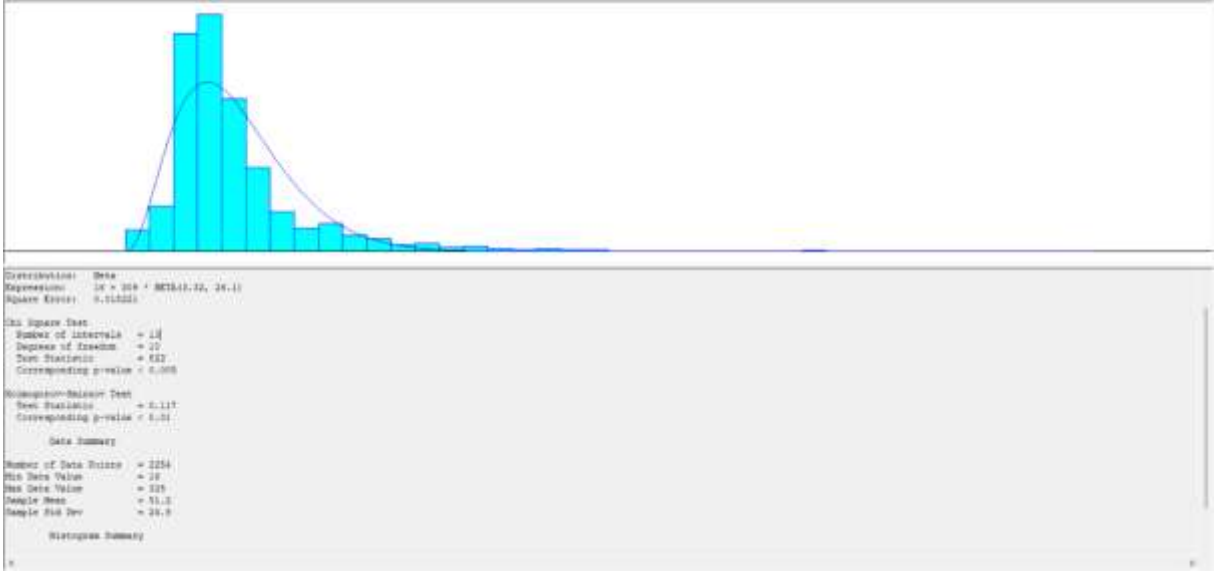
$$23 + \text{GAMM}(9.76, 4.08)$$



Şekil 4.12. Kapalı bariyer durumunda MTC ödeme süresi olasılık dağılımı

Kapalı bariyer durumunda EFV hizmet süresi için elde edilen 2.254 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. EFV ile otoyol kullanıcıları en küçük 16, en büyük 325 ve ortalama 51,2 saniyede ödemelerini gerçekleştirmektedir. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı beta dağılımı olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.13’te gösterilmiştir.

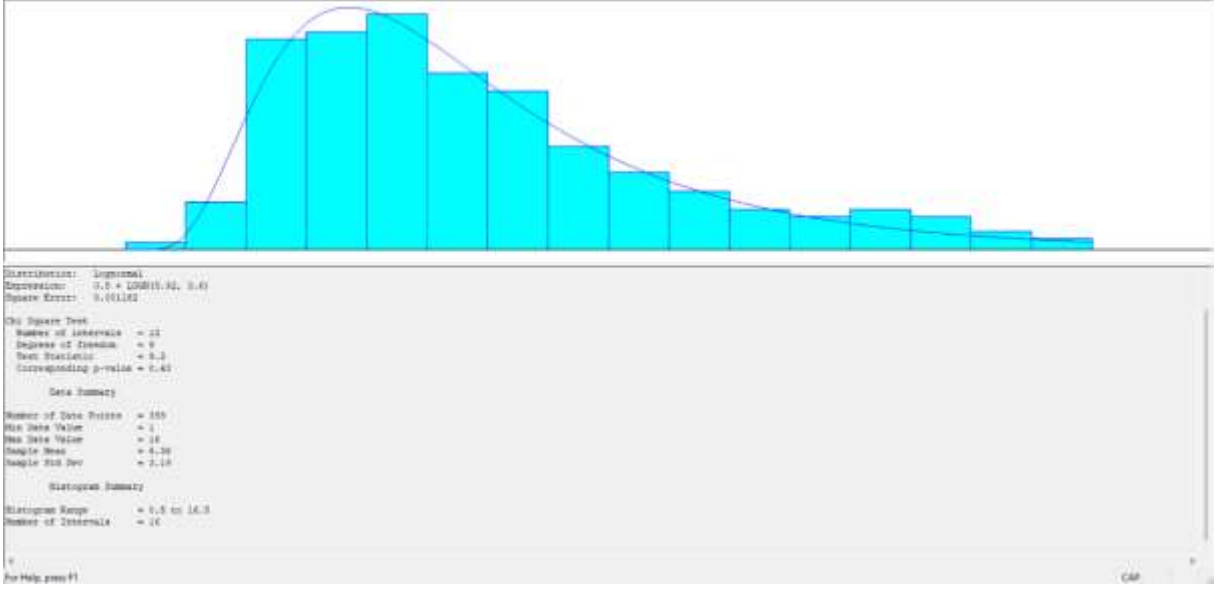
$$16 + 309 * \text{BETA}(3.32, 26.1)$$



Şekil 4.13. Kapalı bariyer durumunda EFV ödeme süresi olasılık dağılımı

Trafiğin çok yoğun olduğu zamanlarda bariyerler açık halde kullanılmaktadır. Bu durumda trafiğin akışını sağlamak adına MTC ödemesi kullanılmaması sağlanmaktadır. ETC ödemeleri kapalı bariyer durumundaki gibi yapılabilmekteyken EFV ödemeleri otomatik olarak sistem tarafından operatörün müdahalesi olmadan yapılmaktadır. Açık bariyer durumundayken ETC ve EFV ödeme türleri neredeyse aynı işlem süresine sahiptir. Açık bariyer durumunda ETC hizmet süresi için elde edilen 399 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. ETC ile otoyol kullanıcıları en küçük 1, en büyük 16 ve ortalama 6,36 saniyede ödemelerini gerçekleştirmektedir. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı lognormal dağılım olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.14'te gösterilmiştir.

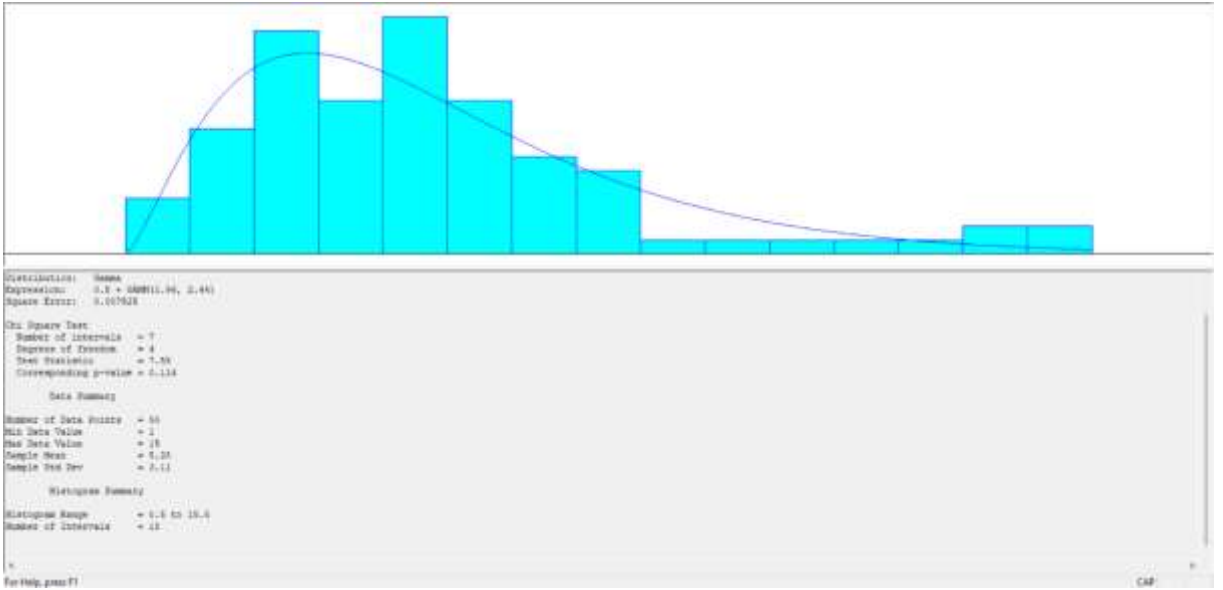
$$0.5 + \text{LOGN}(5.92, 3.6)$$



Şekil 4.14. Açık bariyer durumunda ETC ödeme süresi olasılık dağılımı

Açık bariyer durumunda EFV hizmet süresi için elde edilen 90 gözlem verisi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. EFV ile otoyol kullanıcıları en küçük 1, en büyük 15 ve ortalama 5,28 saniyede ödemelerini gerçekleştirmektedir. Değerlendirme sonucunda verilere en uygun olasılık dağılımı gamma dağılımı olmaktadır. Input Analyzer modülünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

$$0.5 + \text{GAMM}(1.96, 2.44)$$



Şekil 4.15. Açık bariyer durumunda EFV ödeme süresi olasılık dağılımı

4.2 Simülasyon Modelinin Geçerliliği

Bu bölümde ilgili otoyol çıkış istasyonuna gelen araç sayısı bakımından kurulan mevcut durum modelinin çalıştırılmasıyla elde edilen veriler ile gerçek sistem verilerinin geçerlilik analizleri anlatılmıştır. Tüm analizler SPSS istatistik programında gerçekleştirilmiştir. Öncelikle verilerin normal dağılıma sahip olup olmadığı durumu Shapiro-Wilk testi ile incelenmiştir. Ardından normal dağılıma sahip olan verilerin karşılaştırılmasında F testi uygulanarak varyanslar arasında anlamlı bir fark olup olmadığı incelenmiştir. Varyanslar arasında anlamlı bir fark olmadığı durumda ortalamalar açısından anlamlı bir fark olup olmadığını anlayabilmek için T testi uygulanmıştır. Veriler normal dağılım olmama durumunda Mann-Whitney testi uygulanmıştır.

100 – 199 araç geliş aralığında mevcut durum için kurulan model 22 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Gerçek sistemden ve modelden elde edilen verilerin normal dağılıma sahip olup olmadığını tespit edebilmek için Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır. Normal dağılımı tespit edebilmek için uygulanan Shapiro-Wilk testine göre gerçek sistem verilerine ait $p = 0,038$ değeri $p < 0,05$ olduğundan dolayı veriler normal dağılıma sahip değildir (Şekil 4.16). Modelin çalıştırılmasıyla elde edilen verilere ait $p = 0,528$ değeri $p > 0,05$ olduğundan veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.17).

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
100-199 geliş aralığına göre gerçek sistem verileri	,163	22	,132	,905	22	,038

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.16. 100-199 gerçek sistem normallik testi sonuçları

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
100-199 geliş aralığına göre model verileri	,123	22	,200*	,962	22	,528

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.17. 100-199 model normallik testi sonuçları

100 – 199 araç geçiş aralığındaki gerçek sistem verileri normal olmayan dağılıma ve modelin çalıştırılmasıyla elde edilmiş veriler normal dağılıma sahip olmasından dolayı iki veri setinin geçerlilik analizi için non-parametrik test olan Mann-Whitney testinin uygulanmasına karar verilmiştir. İncelenen araç geliş sayısından $p = 0,452$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem değerleri arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir (Şekil 4.18).

	100-199 Değerler
Mann-Whitney U	210,000
Wilcoxon W	463,000
Z	-,752
Asymp. Sig. (2-tailed)	,452

a. Grouping Variable: Gerçek Sistem & Model

Şekil 4.18. 100-199 gerçek&model Mann-Whitney testi sonuçları

200 – 299 araç geliş aralığında mevcut durum için kurulan model 20 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Gerçek sistemden ve modelden elde edilen verilerin normal dağılıma sahip olup olmadığını tespit edebilmek için Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır. Normal dağılımı tespit edebilmek için uygulanan Shapiro-Wilk testine göre gerçek sistem verilerine ait $p = 0,556$ değeri $p > 0,05$ olduğundan dolayı veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.19). Modelin çalıştırılmasıyla elde edilen verilere ait $p = 0,434$ değeri $p > 0,05$ olduğundan veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.20).

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
200-299 geliş aralığına göre gerçek sistem verileri	,146	20	,200*	,961	20	,556

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.19. 200-299 gerçek sistem normallik testi sonuçları

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
200-299 geliş aralığına göre model verileri	,136	20	,200 [*]	,954	20	,434

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.20. 200-299 model normallik testi sonuçları

200 – 299 araç geçiş aralığındaki gerçek sistemden ve modelin çalıştırılmasıyla elde edilmiş veriler normal dağılıma sahip olmasından dolayı iki veri setinin geçerlilik analizi için öncelikle varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi için gerçekleştirilen Levene's Test sonucunda $p = 0,057$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem varyansları arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Ardından bağımsız örneklem için T testi sonuçlarına göre $p = 0,274$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem ortalamaları açısından anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür (Şekil 4.21).

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		T-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
200-299 Değerler	Equal variances assumed	3,862	,057	-1,109	38	,274	-7,700	6,941	-21,751	6,351
	Equal variances not assumed			-1,109	30,809	,276	-7,700	6,941	-21,859	6,459

Şekil 4.21. 200-299 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları

300 – 399 araç geliş aralığında mevcut durum için kurulan model 13 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Gerçek sistemden ve modelden elde edilen verilerin normal dağılıma sahip olup olmadığını tespit edebilmek için Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır. Normal dağılımı tespit edebilmek için uygulanan Shapiro-Wilk testine göre gerçek sistem verilerine ait $p = 0,044$ değeri $p < 0,05$ olduğundan dolayı veriler normal dağılıma sahip değildir (Şekil 4.22). Modelin çalıştırılmasıyla elde edilen verilere ait $p = 0,439$ değeri $p > 0,05$ olduğundan veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.23).

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
300-399 geliş aralığına göre gerçek sistem verileri	,226	13	,068	,864	13	,044

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.22. 300-399 gerçek sistem normallik testi sonuçları

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
300-399 geliş aralığına göre model verileri	,172	13	,200 [*]	,939	13	,439

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.23. 300-399 model normallik testi sonuçları

300 – 399 araç geçiş aralığındaki gerçek sistem verileri normal olmayan dağılıma ve modelin çalıştırılmasıyla elde edilmiş veriler normal dağılıma sahip olmasından dolayı iki veri setinin geçerlilik analizi için non-parametrik test olan Mann-Whitney testinin uygulanmasına karar verilmiştir. İncelenen araç geliş sayısından $p = 0,369$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem değerleri arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir (Şekil 4.24).

Test Statistics^a

	300-399 Değerler
Mann-Whitney U	67,000
Wilcoxon W	158,000
Z	-,898
Asymp. Sig. (2-tailed)	,369
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,390 ^b

a. Grouping Variable: Gerçek sistem & Model

b. Not corrected for ties.

Şekil 4.24. 300-399 gerçek&model Mann-Whitney Testi sonuçları

400 – 499 araç geliş aralığında mevcut durum için kurulan model 12 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Gerçek sistemden ve modelden elde edilen verilerin normal dağılıma sahip olup

olmadığını tespit edebilmek için Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır. Normal dağılımı tespit edebilmek için uygulanan Shapiro-Wilk testine göre gerçek sistem verilerine ait $p = 0,112$ değeri $p > 0,05$ olduğundan dolayı veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.25). Modelin çalıştırılmasıyla elde edilen verilere ait $p = 0,772$ değeri $p > 0,05$ olduğundan veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.26).

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
400-499 geliş aralığına göre gerçek sistem verileri	,268	12	,017	,888	12	,112

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.25. 400-499 gerçek sistem normallik testi sonuçları

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
400-499 geliş aralığına göre model verileri	,167	12	,200*	,959	12	,772

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.26. 400-499 model normallik testi sonuçları

400 – 499 araç geçiş aralığındaki gerçek sistemden ve modelin çalıştırılmasıyla elde edilmiş veriler normal dağılıma sahip olmasından dolayı iki veri setinin geçerlilik analizi için öncelikle varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi için gerçekleştirilen Levene's Test sonucunda $p = 0,061$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem varyansları arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Ardından bağımsız örneklem için T testi sonuçlarına göre $p = 0,347$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem ortalamaları açısından anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür (Şekil 4.27).

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		Test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
400-499 Değerler	3,888	,061	-.961	22	,347	-9,583	9,969	-30,267	11,091
Equal variances assumed									
Equal variances not assumed			-.961	19,027	,348	-9,583	9,969	-30,446	11,280

Şekil 4.27. 400-499 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları

500 – 599 araç geliş aralığında mevcut durum için kurulan model 10 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Gerçek sistemden ve modelden elde edilen verilerin normal dağılıma sahip olup olmadığını tespit edebilmek için Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır. Normal dağılımı tespit edebilmek için uygulanan Shapiro-Wilk testine göre gerçek sistem verilerine ait $p = 0,313$ değeri $p > 0,05$ olduğundan dolayı veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.28). Modelin çalıştırılmasıyla elde edilen verilere ait $p = 0,863$ değeri $p > 0,05$ olduğundan veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.29).

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
500-599 geliş aralığına göre gerçek sistem verileri	,229	10	,145	,914	10	,313

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.28. 500-599 gerçek sistem normallik testi sonuçları

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
500-599 geliş aralığına göre model verileri	,120	10	,200*	,967	10	,863

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.29. 500-599 model normallik testi sonuçları

500 – 599 araç geçiş aralığındaki gerçek sistemden ve modelin çalıştırılmasıyla elde edilmiş veriler normal dağılıma sahip olmasından dolayı iki veri setinin geçerlilik analizi için öncelikle varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi için gerçekleştirilen Levene's Test sonucunda $p = 0,386$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem varyansları arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Ardından bağımsız örneklem için T testi sonuçlarına göre $p = 0,836$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem ortalamaları açısından anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür (Şekil 4.30).

		Levene's Test for Equality of Variances		Test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
500-599 Değerler	Equal variances assumed	,790	,386	-,210	18	,836	-,1700	8,079	-18,674	15,274
	Equal variances not assumed			-,210	16,737	,836	-,1700	8,079	-18,766	15,366

Şekil 4.30. 500-599 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları

600 – 699 araç geliş aralığında mevcut durum için kurulan model 11 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Gerçek sistemden ve modelden elde edilen verilerin normal dağılıma sahip olup olmadığını tespit edebilmek için Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır. Normal dağılımı tespit edebilmek için uygulanan Shapiro-Wilk testine göre gerçek sistem verilerine ait $p = 0,526$ değeri $p > 0,05$ olduğundan dolayı veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.31). Modelin çalıştırılmasıyla elde edilen verilere ait $p = 0,470$ değeri $p > 0,05$ olduğundan veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.32).

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
600-699 geliş aralığına göre model verileri	,170	11	,200 [*]	,936	11	,470

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.31. 600-699 gerçek sistem normallik testi sonuçları

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
600-699 geliş aralığına göre gerçek sistem verileri	,142	11	,200 [*]	,941	11	,526

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.32. 600-699 model normallik testi sonuçları

600 – 699 araç geçiş aralığındaki gerçek sistemden ve modelin çalıştırılmasıyla elde edilmiş veriler normal dağılıma sahip olmasından dolayı iki veri setinin geçerlilik analizi için öncelikle varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi için gerçekleştirilen Levene's Test sonucunda $p = 0,917$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem varyansları arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Ardından bağımsız örneklem için T testi

sonuçlarına göre $p = 0,713$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem ortalamaları açısından anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür (Şekil 4.33).

		Levene's Test for Equality of Variances		Test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
600-699 Değerler	Equal variances assumed	,011	,917	,373	20	,713	4,545	12,201	-20,904	29,995
	Equal variances not assumed			,373	19,774	,713	4,545	12,201	-20,923	30,014

Şekil 4.33. 600-699 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları

700 – 799 araç geliş aralığında mevcut durum için kurulan model 8 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Gerçek sistemden ve modelden elde edilen verilerin normal dağılıma sahip olup olmadığını tespit edebilmek için Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır. Normal dağılımı tespit edebilmek için uygulanan Shapiro-Wilk testine göre gerçek sistem verilerine ait $p = 0,223$ değeri $p > 0,05$ olduğundan dolayı veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.34). Modelin çalıştırılmasıyla elde edilen verilere ait $p = 0,370$ değeri $p > 0,05$ olduğundan veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.35).

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
700-799 geliş aralığına göre gerçek sistem verileri	,206	8	,200 [*]	,888	8	,223

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.34. 700-799 gerçek sistem normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
700-799 geliş aralığına göre model verileri	,168	8	,200 [*]	,912	8	,370

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.35. 700-799 model normallik testi sonuçları

700 – 799 araç geçiş aralığındaki gerçek sistemden ve modelin çalıştırılmasıyla elde edilmiş veriler normal dağılıma sahip olmasından dolayı iki veri setinin geçerlilik analizi için

öncelikle varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi için gerçekleştirilen Levene's Test sonucunda $p = 0,411$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem varyansları arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Ardından bağımsız örneklem için T testi sonuçlarına göre $p = 0,807$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem ortalamaları açısından anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür (Şekil 4.36).

	Levene's Test for Equality of Variances	Test for Equality of Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
700-799 Değerler	Equal variances assumed	,718	,411	,249	14	,807	3,250	13,033	-24,702	31,202
	Equal variances not assumed			,249	12,408	,807	3,250	13,033	-25,042	31,542

Şekil 4.36. 700-799 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları

800 – 899 araç geliş aralığında mevcut durum için kurulan model 11 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Gerçek sistemden ve modelden elde edilen verilerin normal dağılıma sahip olup olmadığını tespit edebilmek için Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır. Normal dağılımı tespit edebilmek için uygulanan Shapiro-Wilk testine göre gerçek sistem verilerine ait $p = 0,431$ değeri $p > 0,05$ olduğundan dolayı veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.37). Modelin çalıştırılmasıyla elde edilen verilere ait $p = 0,434$ değeri $p > 0,05$ olduğundan veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.38).

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
800-899 geliş aralığına göre gerçek sistem verileri	,160	11	,200 [*]	,932	11	,431

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.37. 800-899 gerçek sistem normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
800-899 geliş aralığına göre model verileri	,153	11	,200 [*]	,932	11	,434

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.38. 800-899 model normallik testi sonuçları

800 – 899 araç geçiş aralığındaki gerçek sistemden ve modelin çalıştırılmasıyla elde edilmiş veriler normal dağılıma sahip olmasından dolayı iki veri setinin geçerlilik analizi için öncelikle varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi için gerçekleştirilen Levene's Test sonucunda $p = 0,333$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem varyansları arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Ardından bağımsız örneklem için T testi sonuçlarına göre $p = 0,382$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem ortalamaları açısından anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür (Şekil 4.39).

		Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		T-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
800-999 Değerler	Equal variances assumed	,984	,333	,894	20	,382	8,364	9,355	-11,150	27,877
	Equal variances not assumed			,894	19,491	,382	8,364	9,355	-11,183	27,910

Şekil 4.39. 800-899 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları

900 – 999 araç geliş aralığında mevcut durum için kurulan model 9 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Gerçek sistemden ve modelden elde edilen verilerin normal dağılıma sahip olup olmadığını tespit edebilmek için Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır. Normal dağılımı tespit edebilmek için uygulanan Shapiro-Wilk testine göre gerçek sistem verilerine ait $p = 0,928$ değeri $p > 0,05$ olduğundan dolayı veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.40). Modelin çalıştırılmasıyla elde edilen verilere ait $p = 0,744$ değeri $p > 0,05$ olduğundan veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.41).

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
900-999 geliş aralığına göre gerçek sistem verileri	,158	9	,200 [*]	,974	9	,928

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.40. 900-999 gerçek sistem normallik testi sonuçları

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
900-999 geliş aralığına göre model verileri	,167	9	,200 [*]	,955	9	,744

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.41. 900-999 model normallik testi sonuçları

900 – 999 araç geçiş aralığındaki gerçek sistemden ve modelin çalıştırılmasıyla elde edilmiş veriler normal dağılıma sahip olmasından dolayı iki veri setinin geçerlilik analizi için öncelikle varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi için gerçekleştirilen Levene's Test sonucunda $p = 0,661$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem varyansları arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Ardından bağımsız örneklem için T testi sonuçlarına göre $p = 0,648$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem ortalamaları açısından anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür (Şekil 4.42).

		Levene's Test for Equality of Variances		T-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
900-999 Değerler	Equal variances assumed	,200	,661	,466	16	,648	4,667	10,016	-16,567	25,901
	Equal variances not assumed			,466	15,916	,648	4,667	10,016	-16,576	25,910

Şekil 4.42. 900-999 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları

1000 – 1099 araç geliş aralığında mevcut durum için kurulan model 5 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Gerçek sistemden ve modelden elde edilen verilerin normal dağılıma sahip olup olmadığını tespit edebilmek için Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır. Normal dağılımı tespit edebilmek için uygulanan Shapiro-Wilk testine göre gerçek sistem verilerine ait $p = 0,805$ değeri $p > 0,05$ olduğundan dolayı veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.43). Modelin çalıştırılmasıyla elde edilen verilere ait $p = 0,142$ değeri $p > 0,05$ olduğundan veriler normal dağılıma sahiptir (Şekil 4.44).

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
1000-1099 geliş aralığına göre gerçek sistem verileri	,229	5	,200 [*]	,960	5	,805

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.43. 1000 - 1099 gerçek sistem normallik testi sonuçları

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
1000-1099 geliş aralığına göre model verileri	,298	5	,166	,831	5	,142

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.44. 1000 - 1099 model normallik testi sonuçları

1000 – 1099 araç geçiş aralığındaki gerçek sistemden ve modelin çalıştırılmasıyla elde edilmiş veriler normal dağılıma sahip olmasından dolayı iki veri setinin geçerlilik analizi için öncelikle varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi için gerçekleştirilen Levene's Test sonucunda $p = 0,987$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem varyansları arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Ardından bağımsız örneklemeler için T testi sonuçlarına göre $p = 0,508$ değeri $p > 0,05$ olduğundan model ve gerçek sistem ortalamaları açısından anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür (Şekil 4.45).

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-Test for Equality of Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
1000-1099 Değerler	Equal variances assumed	,000	,987	-,592	8	,508	-12,200	17,624	-52,841	28,441
	Equal variances not assumed			-,592	7,999	,508	-12,200	17,624	-52,842	28,442

Şekil 4.45. 1000 - 1099 gerçek&model Levene's ve T Testi sonuçları

4.3 Mevcut Durum Modelinin Analizi

Türkiye'deki ilgili çıkış istasyonunun gözlemlenen verilerinden hareketle mevcut durum modelinin analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda kuyruklardaki araçların bekleme süreleri incelenmiştir. Analizler araç geliş aralığına göre sınıflara ayrılarak yapılmıştır. Her

model araç geliş aralığına göre sistemden elde edilen farklı veri kümesi kadar tekrarlanmıştır. Veriler gerçek sistemde birer saatlik dilimler halinde elde edildiği için mevcut durum modelleri birer saat çalıştırılmıştır. Analizlerin sonucunda mevcut durumlar için alternatif gişe sayıları ve gişe modları belirlenmiştir. Her durum kendi geliş aralığı içerisinde değerlendirilmiştir.

4.3.1 100 – 199 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi

Saatte 100 – 199 adet aralığında araç geldiğinde mevcut durumda biri Karma ve biri HGS modunda olmak üzere 2 çıkış gişesi açık olmaktadır. Mevcut durum 100 ile 199 adet aracın sisteme geleceği şekilde kurulmuştur. Bu model için sistemden 22 farklı veri kümesi elde edildiğinden mevcut durum 22 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Mevcut durumun modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Çizelge 4.1. 100 - 199 sistemde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	40,7842	9,14	11,5428	106,23	0,00	463,23

Çizelge 4.1’deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 40,78 saniye ve en fazla 463,23 saniye beklemektedir.

4.3.2 200 – 299 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi

Saatte 200 – 299 adet aralığında araç geldiğinde mevcut durumda biri Karma ve biri HGS modunda olmak üzere 2 çıkış gişesi açık olmaktadır. Mevcut durum 200 ile 299 adet aracın sisteme geleceği şekilde kurulmuştur. Bu model için sistemden 20 farklı veri kümesi elde edildiğinden mevcut durum 20 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Mevcut durumun modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Çizelge 4.2. 200 - 299 sistemde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	126,64	35,53	37,6849	348,97	0,00	828,49

Çizelge 4.2’deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 126,64 saniye ve en fazla 828,49 saniye beklemektedir.

4.3.3 300 – 399 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi

Saatte 300 – 399 adet aralığında araç geldiğinde mevcut durumda biri Karma ve ikisi HGS modunda olmak üzere 3 çıkış gişesi açık olmaktadır. Mevcut durum 300 ile 399 adet aracın sisteme geleceği şekilde kurulmuştur. Bu model için sistemden 13 farklı veri kümesi elde edildiğinden mevcut durum 13 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Mevcut durumun modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Çizelge 4.3. 300 - 399 sistemde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	69,1077	21,87	24,4369	135,58	0,00	636,43

Çizelge 4.3'teki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 69,11 saniye ve en fazla 636,43 saniye beklemektedir.

4.3.4 400 – 499 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi

Saatte 400 – 499 adet aralığında araç geldiğinde mevcut durumda biri Karma ve ikisi HGS modunda olmak üzere 3 çıkış gişesi açık olmaktadır. Mevcut durum 400 ile 499 adet aracın sisteme geleceği şekilde kurulmuştur. Bu model için sistemden 12 farklı veri kümesi elde edildiğinden mevcut durum 12 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Mevcut durumun modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Çizelge 4.4. 400 - 499 sistemde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	129,53	44,83	53,3995	309,10	0,00	1027,16

Çizelge 4.4'teki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 129,53 saniye ve en fazla 1027,16 saniye beklemektedir.

4.3.5 500 – 599 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi

Saatte 500 – 599 adet aralığında araç geldiğinde mevcut durumda ikisi Karma ve ikisi HGS modunda olmak üzere 4 çıkış gişesi açık olmaktadır. Mevcut durum 500 ile 599 adet aracın sisteme geleceği şekilde kurulmuştur. Bu model için sistemden 10 farklı veri kümesi elde edildiğinden mevcut durum 10 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Mevcut durumun modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Çizelge 4.5. 500 - 599 sistemde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	184,65	60,30	66,3927	321,69	0,00	1092,77

Çizelge 4.5'teki sonuçlar neticesinde araçlar girişte ortalama 184,65 saniye ve en fazla 1092,77 saniye beklemektedir.

4.3.6 600 – 699 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi

Saatte 600 – 699 adet aralığında araç geldiğinde mevcut durumda ikisi Karma ve ikisi HGS modunda olmak üzere 4 çıkış gişesi açık olmaktadır. Mevcut durum 600 ile 699 adet aracın sisteme geleceği şekilde kurulmuştur. Bu model için sistemden 11 farklı veri kümesi elde edildiğinden mevcut durum 11 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Mevcut durumun modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Çizelge 4.6. 600 - 699 sistemde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	223,46	45,85	138,21	329,76	0,00	1282,01

Çizelge 4.6'daki sonuçlar neticesinde araçlar girişte ortalama 223,46 saniye ve en fazla 1282,01 saniye beklemektedir.

4.3.7 700 – 799 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi

Saatte 700 – 799 adet aralığında araç geldiğinde mevcut durumda ikisi Karma ve ikisi HGS modunda olmak üzere 4 çıkış gişesi açık olmaktadır. Mevcut durum 700 ile 799 adet aracın sisteme geleceği şekilde kurulmuştur. Bu model için sistemden 8 farklı veri kümesi elde edildiğinden mevcut durum 8 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Mevcut durumun modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Çizelge 4.7. 700 - 799 sistemde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	296,58	84,05	173,77	435,21	0,00	1347,33

Çizelge 4.7'deki sonuçlar neticesinde araçlar girişte ortalama 296,58 saniye ve en fazla 1347,33 saniye beklemektedir.

4.3.8 800 – 899 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi

Saatte 800 – 899 adet aralığında araç geldiğinde mevcut durumda ikisi Karma ve ikisi HGS modunda olmak üzere 4 çıkış gişesi açık olmaktadır. Mevcut durum 800 ile 899 adet aracın sisteme geleceği şekilde kurulmuştur. Bu model için sistemden 11 farklı veri kümesi elde edildiğinden mevcut durum 11 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Mevcut durumun modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Çizelge 4.8. 800 - 899 sistemde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	389,21	53,95	245,98	503,02	0,00	1497,24

Çizelge 4.8’deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 389,21 saniye ve en fazla 1497,24 saniye beklemektedir.

4.3.9 900 – 999 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi

Saatte 900 – 999 adet aralığında araç geldiğinde mevcut durumda ikisi Karma ve ikisi HGS modunda olmak üzere 4 çıkış gişesi açık olmaktadır. Mevcut durum 900 ile 999 adet aracın sisteme geleceği şekilde kurulmuştur. Bu model için sistemden 9 farklı veri kümesi elde edildiğinden mevcut durum 9 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Mevcut durumun modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Çizelge 4.9. 900 - 999 sistemde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	477,63	84,80	286,76	623,24	0,00	1566,29

Çizelge 4.9’deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 477,63 saniye ve en fazla 1566,29 saniye beklemektedir.

4.3.10 1000 – 1099 Geliş Aralığı Mevcut Durum Sonuçlarının Analizi

Saatte 1000 – 1099 adet aralığında araç geldiğinde mevcut durumda ikisi Karma ve dördü HGS modunda olmak üzere 6 çıkış gişesi açık olmaktadır. Mevcut durum 1000 ile 1099 adet aracın sisteme geleceği şekilde kurulmuştur. Bu model için sistemden 5 farklı veri kümesi elde edildiğinden mevcut durum 5 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Mevcut durumun modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Çizelge 4.10. 1000 - 1099 sistemde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time			Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
	Average	Half Width	Average	Average	Value	Value
Araclar	400,63	114,54	260,66	477,41	0,00	1690,39

Çizelge 4.10'daki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 400,63 saniye ve en fazla 1690,39 saniye beklemektedir.

4.4 Karma Gişe Modelinin Analizi

Türkiye'deki ilgili çıkış istasyonunun gözlemlenen verilerinden hareketle alternatif senaryo olarak gişelerin Karma Gişe Modunda açıldığı varsayılmıştır. Bu modeller araçların ödeme yapabilmek için operatörü müsait olan veya ödeme kuyruğunda en az araç bekleyen gişeyi tercih edeceği şekilde tasarlanmıştır. Analiz sonucunda iyileştirme yapılmak istenen bekleme süreleri incelenerek aynı araç geliş aralığındaki mevcut durum modeli sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Alternatif modeller araç geliş aralığına göre sistemden elde edilen gelişler arası süre, ödeme türüne göre yüzdelerik dağılım ve ödeme türüne göre işlem süreleri kullanılarak kurgulanmıştır. Karma gişe modelleri mevcut durum modelleri gibi birer saat çalıştırılmış ve sistemden elde edilen veri kümeleri kadar tekrarlanmıştır. Analizlerin sonucunda ortalama olarak en iyi bekleme süresini veren modellere yer verilmiştir. Her durum kendi geliş aralığı içerisinde değerlendirilmiştir. Mevcut durum modelindeki gişe sayısından daha fazla gişe açılmamasına dikkat edilmiştir. Böylelikle gerekli personel sayısı gerçeğe yakın olarak kullanılmıştır.

4.4.1 100 – 199 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 100 – 199 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Karma Modda 2 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 22 farklı veri kümesi elde edildiğinden 22 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak Karma gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. 100 - 199 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time			Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
	Average	Half Width	Average	Average	Value	Value
Araclar	17,1697	2,82	3,9537	28,5438	0,00	261,37

Çizelge 4.11'deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 17,1697 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 40,7842 saniye beklerken alternatif modelde araçlar ortalama 17,1697 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 2 Karma gişeli alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme sürelerinde %58 oranında azalma sağlanarak iyileştirilme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.4.2 200 – 299 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 200 – 299 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Karma Modda 3 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 20 farklı veri kümesi elde edildiğinden 20 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak Karma gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. 200 - 299 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	8,2421	1,44	2,5647	17,3908	0,00	184,77

Çizelge 4.12'deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 8,2421 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 126,64 saniye beklerken alternatif modelde araçlar ortalama 8,2421 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 3 Karma gişeli alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme sürelerinde %93 oranında azalma sağlanarak iyileştirilme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.4.3 300 – 399 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 300 – 399 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Karma Modda 3 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 13 farklı veri kümesi elde edildiğinden 13 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak Karma gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. 300 - 399 karma gişede araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	19,2285	3,35	12,1037	30,3123	0,00	253,59

Çizelge 4.13'teki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 19,2285 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 69,1077 saniye beklerken alternatif modelde araçlar ortalama 19,2285 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 3 Karma gişeli alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme sürelerinde %72 oranında azalma sağlanarak iyileştirilme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.4.4 400 – 499 Geliş Aralığı Karma Gişede Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 400 – 499 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Karma Modda 4 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 12 farklı veri kümesi elde edildiğinden 12 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak Karma gişede modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. 400 - 499 karma gişede araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	9,0435	2,10	4,6057	14,0076	0,00	197,81

Çizelge 4.14'teki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 9,0435 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 129,53 saniye beklerken alternatif modelde araçlar ortalama 9,0435 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 4 Karma gişeli alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme sürelerinde %93 oranında azalma sağlanarak iyileştirilme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.4.5 500 – 599 Geliş Aralığı Karma Gişede Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 500 – 599 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Karma Modda 5 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 10 farklı veri kümesi elde edildiğinden 10 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak Karma gişer modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.15. 500 - 599 karma gişer modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araçlar	7,8486	1,78	4,3036	11,3578	0,00	187,74

Çizelge 4.15'teki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 7,8486 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 184,65 saniye beklerken alternatif modelde araçlar ortalama 7,8486 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 5 Karma gişeli alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme sürelerinde %96 oranında azalma sağlanarak iyileştirilme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.4.6 600 – 699 Geliş Aralığı Karma Gişer Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 600 – 699 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Karma Modda 5 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 11 farklı veri kümesi elde edildiğinden 11 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak Karma gişer modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.16. 600 - 699 karma gişer modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araçlar	12,7797	2,68	5,0427	20,2022	0,00	193,53

Çizelge 4.16'daki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 12,7797 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 223,46 saniye beklerken alternatif modelde araçlar ortalama 12,7797 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 5 Karma gişeli alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme sürelerinde %94 oranında azalma sağlanarak iyileştirilme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.4.7 700 – 799 Geliş Aralığı Karma Gişer Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 700 – 799 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Karma Modda 6 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 8 farklı

veri kümesi elde edildiğinden 8 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak Karma gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. 700 - 799 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	8,6045	2,98	3,4557	16,0421	0,00	172,39

Çizelge 4.17’deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 8,6045 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 296,58 saniye beklerken alternatif modelde araçlar ortalama 8,6045 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 6 Karma gişeli alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme sürelerinde %97 oranında azalma sağlanarak iyileştirilme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.4.8 800 – 899 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 800 – 899 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Karma Modda 6 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 11 farklı veri kümesi elde edildiğinden 11 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak Karma gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.18. 800 - 899 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	13,4500	4,11	4,9935	26,4068	0,00	233,22

Çizelge 4.18’deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 13,4500 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 389,21 saniye beklerken alternatif modelde araçlar ortalama 13,4500 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 6 Karma gişeli alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme sürelerinde %97 oranında azalma sağlanarak iyileştirilme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.4.9 900 – 999 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 900 – 999 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Karma Modda 6 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 9 farklı veri kümesi elde edildiğinden 9 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak Karma gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.19’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. 900 - 999 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	21,6192	10,43	6,9714	48,4870	0,00	339,45

Çizelge 4.19’deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 21,6192 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 477,63 saniye beklerken alternatif modelde araçlar ortalama 21,6192 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 6 Karma gişeli alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme sürelerinde %95 oranında azalma sağlanarak iyileştirilme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.4.10 1000 – 1099 Geliş Aralığı Karma Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 1000 – 1099 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Karma Modda 6 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 5 farklı veri kümesi elde edildiğinden 5 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak Karma gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.20. 1000 - 1099 karma gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	133,58	117,15	28,1579	267,55	0,00	758,25

Çizelge 4.20’deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 133,58 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 400,63 saniye beklerken alternatif modelde araçlar ortalama 133,58 saniye bekleme süresine sahiptir.

Böylelikle önerilen 6 Karma gişeli alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme sürelerinde %67 oranında azalma sağlanarak iyileştirilme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.5 Açık Bariyerli Gişe Modelinin Analizi

Türkiye'deki ilgili çıkış istasyonunun gözlemlenen verilerinden hareketle alternatif senaryo olarak gişelerin Açık Bariyer Modunda açıldığı varsayılmıştır. Bu modeller araçların ödeme yapabilmek için operatörü müsait olan veya ödeme kuyruğunda en az araç bekleyen gişeyi tercih edeceği şekilde tasarlanmıştır. Açık bariyer modunda olan gişelerde MTC ödemesi olmadığından MTC ödemelerinin tamamı EFV ödemesi olarak varsayılmıştır. Analiz sonucunda iyileştirme yapılmak istenen bekleme süreleri incelenerek aynı araç geliş aralığındaki mevcut durum ve karma gişe modeli sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Alternatif modeller araç geliş aralığına göre sistemden elde edilen gelişler arası süre, ödeme türüne göre yüzdelik dağılım ve ödeme türüne göre işlem süreleri kullanılarak kurgulanmıştır. Açık bariyerli gişe modelleri mevcut durum modelleri gibi birer saat çalıştırılmış ve sistemden elde edilen veri kümeleri kadar tekrarlanmıştır. Analizlerin sonucunda ortalama olarak en iyi bekleme süresini veren modellere yer verilmiştir. Her durum kendi geliş aralığı içerisinde değerlendirilmiştir.

4.5.1 100 – 199 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 100 – 199 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Açık Bariyerli Gişe Modunda 1 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 22 farklı veri kümesi elde edildiğinden 22 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak açık bariyer gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.21. 100 - 199 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	1,5114	0,23	0,6028	2,7847	0,00	36,7450

Çizelge 4.21'deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 1,5114 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 40,7842 saniye, karma gişe modelinde araçlar ortalama 17,1697 saniye beklerken alternatif bir model

olan açık bariyerli gişe modelinde araçlar ortalama 1,5114 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 1 açık bariyerli gişe alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme süreleri mevcut durum modeline göre %96, karma gişe alternatif senaryo modeline göre %91 oranında azalma sağlanarak iyileştirme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.5.2 200 – 299 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 200 – 299 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Açık Bariyerli Gişe Modunda 1 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 20 farklı veri kümesi elde edildiğinden 20 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak açık bariyer gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.22’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.22. 200 - 299 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	2,9408	0,38	2,0607	4,6651	0,00	49,6433

Çizelge 4.22’deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 2,9408 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 126,64 saniye, karma gişe modelinde araçlar ortalama 8,2421 saniye beklerken alternatif bir model olan açık bariyerli gişe modelinde araçlar ortalama 2,8408 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 1 açık bariyerli gişe alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme süreleri mevcut durum modeline göre %98, karma gişe alternatif senaryo modeline göre %64 oranında azalma sağlanarak iyileştirme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.5.3 300 – 399 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 300 – 399 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Açık Bariyerli Gişe Modunda 1 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 13 farklı veri kümesi elde edildiğinden 13 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak açık bariyer gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.23’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.23. 300 - 399 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time			Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
	Average	Half Width	Average	Average	Value	Value
Araclar	6,2105	1,09	3,5612	9,8303	0,00	56,5494

Çizelge 4.23'teki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 6,2105 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 69,1077 saniye, karma gişe modelinde araçlar ortalama 19,2285 saniye beklerken alternatif bir model olan açık bariyerli gişe modelinde araçlar ortalama 6,2105 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 1 açık bariyerli gişe alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme süreleri mevcut durum modeline göre %91, karma gişe alternatif senaryo modeline göre %68 oranında azalma sağlanarak iyileştirme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.5.4 400 – 499 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 400 – 499 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Açık Bariyerli Gişe Modunda 2 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 12 farklı veri kümesi elde edildiğinden 12 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak açık bariyer gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.24'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.24. 400 - 499 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time			Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
	Average	Half Width	Average	Average	Value	Value
Araclar	0,6581	0,10	0,3777	0,9172	0,00	24,4578

Çizelge 4.24'teki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 0,6581 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 129,53 saniye, karma gişe modelinde araçlar ortalama 9,0435 saniye beklerken alternatif bir model olan açık bariyerli gişe modelinde araçlar ortalama 0,6581 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 2 açık bariyerli gişe alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme süreleri mevcut durum modeline göre %99, karma gişe alternatif senaryo modeline göre %93 oranında azalma sağlanarak iyileştirme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.5.5 500 – 599 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 500 – 599 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Açık Bariyerli Gişe Modunda 2 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 10 farklı veri kümesi elde edildiğinden 10 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak açık bariyer gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.25'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.25. 500 - 599 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time			Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
	Average	Half Width	Average	Average	Value	Value
Araclar	1,2452	0,22	0,7133	1,8864	0,00	54,0441

Çizelge 4.25'teki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 1,2452 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 184,65 saniye, karma gişe modelinde araçlar ortalama 7,8486 saniye beklerken alternatif bir model olan açık bariyerli gişe modelinde araçlar ortalama 1,2452 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 2 açık bariyerli gişe alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme süreleri mevcut durum modeline göre %99, karma gişe alternatif senaryo modeline göre %84 oranında azalma sağlanarak iyileştirme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.5.6 600 – 699 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 600 – 699 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Açık Bariyerli Gişe Modunda 2 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 11 farklı veri kümesi elde edildiğinden 11 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak açık bariyer gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.26'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.26. 600 - 699 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time			Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
	Average	Half Width	Average	Average	Value	Value
Araclar	1,7757	0,17	1,3809	2,1450	0,00	35,9176

Çizelge 4.26'daki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 1,7757 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 223,46 saniye, karma gişe modelinde araçlar ortalama 12,7797 saniye beklerken alternatif bir model olan açık bariyerli gişe modelinde araçlar ortalama 1,7757 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 2 açık bariyerli gişe alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme süreleri mevcut durum modeline göre %99, karma gişe alternatif senaryo modeline göre %86 oranında azalma sağlanarak iyileştirme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.5.7 700 – 799 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 700 – 799 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Açık Bariyerli Gişe Modunda 2 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 8 farklı veri kümesi elde edildiğinden 8 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak açık bariyer gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.27'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.27. 700 - 799 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araçlar	2,4375	0,36	1,9899	3,0871	0,00	35,4621

Çizelge 4.27'deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 2,4375 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 296,58 saniye, karma gişe modelinde araçlar ortalama 8,6045 saniye beklerken alternatif bir model olan açık bariyerli gişe modelinde araçlar ortalama 2,4375 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 2 açık bariyerli gişe alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme süreleri mevcut durum modeline göre %99, karma gişe alternatif senaryo modeline göre %72 oranında azalma sağlanarak iyileştirme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.5.8 800 – 899 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 800 – 899 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Açık Bariyerli Gişe Modunda 2 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 11 farklı veri kümesi elde edildiğinden 11 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak açık bariyer gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.28’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.28. 800 - 899 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	3,8080	0,69	2,8835	6,3870	0,00	50,4212

Çizelge 4.28’deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 3,8080 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 389,21 saniye, karma gişe modelinde araçlar ortalama 13,45 saniye beklerken alternatif bir model olan açık bariyerli gişe modelinde araçlar ortalama 3,8080 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 2 açık bariyerli gişe alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme süreleri mevcut durum modeline göre %99, karma gişe alternatif senaryo modeline göre %72 oranında azalma sağlanarak iyileştirme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.5.9 900 – 999 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 900 – 999 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Açık Bariyerli Gişe Modunda 2 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 9 farklı veri kümesi elde edildiğinden 9 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak açık bariyer gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.29’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.29. 900 - 999 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Araclar	6,3786	1,59	4,4321	11,1616	0,00	85,7121

Çizelge 4.29’deki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 6,3786 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 477,63 saniye, karma gişe modelinde araçlar ortalama 21,6192 saniye beklerken alternatif bir model olan açık bariyerli gişe modelinde araçlar ortalama 6,3786 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 2 açık bariyerli gişe alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme süreleri mevcut durum modeline göre %99, karma gişe alternatif senaryo modeline göre %70 oranında azalma sağlanarak iyileştirme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

4.5.10 1000 – 1099 Geliş Aralığı Açık Bariyerli Gişe Modeli Sonuçlarının Analizi

Saatte 1000 – 1099 adet aralığında araç geldiğinde en iyi sonucu alabilmek adına model Açık Bariyerli Gişe Modunda 3 çıkış gişesi açık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu model için sistemden 5 farklı veri kümesi elde edildiğinden 5 tekrarlı olarak çalıştırılmıştır. Alternatif modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar bu araç geliş aralığına göre analiz edilmiştir.

Alternatif senaryo olarak açık bariyer gişe modeli çalıştırıldığında ödeme yapmak için gişeye gelen araçların ortalama bekleme süreleri Çizelge 4.30’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.30. 1000 - 1099 açık bariyerli gişe modelinde araçların bekleme süresi (saniye)

Wait Time			Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
	Average	Half Width	Average	Average	Value	Value
Araclar	0,9950	0,19	0,8090	1,2283	0,00	28,0395

Çizelge 4.30’daki sonuçlar neticesinde araçlar gişede ortalama 0,9950 saniye beklemektedir. Aynı geçiş aralığındaki mevcut durum modelinde araçlar ortalama 400,63 saniye, karma gişe modelinde araçlar ortalama 133,58 saniye beklerken alternatif bir model olan açık bariyerli gişe modelinde araçlar ortalama 0,9950 saniye bekleme süresine sahiptir. Böylelikle önerilen 3 açık bariyerli gişe alternatif senaryo modeli ile araçların bekleme süreleri mevcut durum modeline göre yaklaşık %100, karma gişe alternatif senaryo modeline göre yaklaşık %99 oranında azalma sağlanarak iyileştirme yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ

Bu çalışma Türkiye’de bulunan 1915 Çanakkale Köprüsü ve Otoyolu üzerindeki Malkara çıkış istasyonu incelenerek gerçekleştirilmiştir. İncelenen çıkış istasyonu Arena Simulation programı ile modellenmiştir. Hali hazırda istasyondaki gişeler bariyerli olarak işletilmektedir. Otoyol kullanıcıları sistem üzerinde ETC, MTC ve EFV olarak isimlendirilen ödemelerinden birini kullanarak ödemelerini yapabilmektedir. Çalışmanın amacı çıkış istasyonunun 10 farklı yoğunluk durumuna göre bir simülasyon modeli kurularak mevcut durumun incelenmesi ve mevcut durumdaki araçların ortalama bekleme süreleri üzerinden 2 farklı alternatif model önerilerek gişelerdeki bekleme süreleri üzerine değerlendirmelerde bulunarak en uygun gişe modunu ve açık gişe sayısını belirlemektir. Mevcut durumda otoyol kullanıcılarının tercih edeceği ödeme türüne göre gişeler farklı ödeme türü modlarında ve bariyerler kapalı halde kullanılmaktadır. İlk alternatif senaryoda ödeme türlerinin hepsinin kullanıldığı Karma gişe modu üzerinde durulmuştur. İkinci alternatif senaryoda ise MTC ödeme türünün kullanılmadığı ve bariyerlerin açık halde olduğu gişe modeli üzerinde durulmuştur. Çıkış istasyonu yılın her günü ve 24 saat boyunca faaliyet göstermektedir. Ücret toplama istasyonunda ilk giren ilk çıkar hizmet disiplinine ve çok kuyruklu paralel kanallı hizmet mekanizmasına sahip 6 ücret toplama gişesi bulunmaktadır.

SPSS istatistik programı üzerinden gerçekleştirilen %95 güven aralığında eşleştirilmiş örneklem t testi sonuçlarına göre anlamlılık değerleri $p < 0,05$ olduğu için araç geliş sayılarına göre mevcut durum, karma gişe modeli ve açık bariyerli gişe modellerindeki araçların bekleme süreleri arasında ortalamalar bakımından fark vardır sonucuna ulaşılmıştır. SPSS programı ile yapılan testlerin sonuçları EK 2’de yer almaktadır. Çalışmanın amacı doğrultusunda araçların ortalama bekleme sürelerinin minimum olması istenmektedir. Bu sebeple araçların ortalama bekleme süreleri üzerinden karma gişe modeli, mevcut gişe modeline göre ve açık bariyerli gişe modeli hem mevcut durum modeline göre hem de karma gişe modeline göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Mevcut durum ile alternatif senaryolar karşılaştırıldığında alternatif senaryoların daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. En iyi bekleme süresinin bulunabilmesi için alternatif senaryolar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda 100 – 199 arası araç geliş yoğunluğunda mevcut durumda açık olan 2 gişe ile bekleme süresi 40,7842 saniye iken karma gişe modunda açık olan 2 gişe ile bekleme süresi %58 oranında azalmayla 17,1697 saniye, açık bariyer gişe modunda açık olan 1 gişe ile bekleme süresi mevcut duruma göre %96

ve karma giş e moduna göre %91 oranında azalma ile 1,5114 saniye olmaktadır. 200 – 299 arası araç geliş yoğunluğ unda mevcut durumda açık olan 2 giş e ile bekleme süresi 126,64 saniye iken karma giş e modunda açık olan 3 giş e ile bekleme süresi %93 oranında azalmayla 8,2421 saniye, açık bariyer giş e modunda açık olan 1 giş e ile bekleme süresi mevcut duruma göre %98 ve karma giş e moduna göre %64 oranında azalma ile 2,8408 saniye olmaktadır. 300 – 399 arası araç geliş yoğunluğ unda mevcut durumda açık olan 3 giş e ile bekleme süresi 69,1077 saniye iken karma giş e modunda açık olan 3 giş e ile bekleme süresi %72 oranında azalmayla 19,2285 saniye, açık bariyer giş e modunda açık olan 1 giş e ile bekleme süresi mevcut duruma göre %91 ve karma giş e moduna göre %68 oranında azalma ile 6,2105 saniye olmaktadır. 400 – 499 arası araç geliş yoğunluğ unda mevcut durumda açık olan 3 giş e ile bekleme süresi 129,53 saniye iken karma giş e modunda açık olan 4 giş e ile bekleme süresi %93 oranında azalmayla 9,0435 saniye, açık bariyer giş e modunda açık olan 2 giş e ile bekleme süresi mevcut duruma %99 ve karma giş e moduna göre %93 oranında azalma ile 0,6581 saniye olmaktadır. 500 – 599 arası araç geliş yoğunluğ unda mevcut durumda açık olan 4 giş e ile bekleme süresi 184,65 saniye iken karma giş e modunda açık olan 5 giş e ile bekleme süresi %96 oranında azalmayla 7,8486 saniye, açık bariyer giş e modunda açık olan 2 giş e ile bekleme süresi mevcut duruma göre %99 ve karma giş e moduna göre %84 oranında azalma ile 1,2452 saniye olmaktadır. 600 – 699 arası araç geliş yoğunluğ unda mevcut durumda açık olan 4 giş e ile bekleme süresi 223,46 saniye iken karma giş e modunda açık olan 5 giş e ile bekleme süresi %94 oranında azalmayla 12,7797 saniye, açık bariyer giş e modunda açık olan 2 giş e ile bekleme süresi mevcut duruma göre %99 ve karma giş e moduna göre %86 oranında azalma ile 1,7757 saniye olmaktadır. 700 – 799 arası araç geliş yoğunluğ unda mevcut durumda açık olan 4 giş e ile bekleme süresi 296,58 saniye iken karma giş e modunda açık olan 6 giş e ile bekleme süresi %97 oranında azalmayla 8,6045 saniye, açık bariyer giş e modunda açık olan 2 giş e ile bekleme süresi mevcut duruma göre %99 ve karma giş e moduna göre %72 oranında azalma ile 2,4375 saniye olmaktadır. 800 – 899 arası araç geliş yoğunluğ unda mevcut durumda açık olan 4 giş e ile bekleme süresi 389,21 saniye iken karma giş e modunda açık olan 6 giş e ile bekleme süresi %97 oranında azalmayla 13,45 saniye, açık bariyer giş e modunda açık olan 2 giş e ile bekleme süresi mevcut duruma göre %99 ve karma giş e moduna göre %72 oranında azalma ile 3,8080 saniye olmaktadır. 900 – 999 arası araç geliş yoğunluğ unda mevcut durumda açık olan 4 giş e ile bekleme süresi 477,63 saniye iken karma giş e modunda açık olan 6 giş e ile bekleme süresi %95 oranında azalmayla 21,6192 saniye, açık bariyer giş e modunda açık olan 2 giş e ile bekleme süresi mevcut duruma göre %99 ve karma giş e moduna göre %70 oranında azalma ile 6,3786 saniye olmaktadır. 1000 – 1099 arası araç geliş yoğunluğ unda mevcut durumda açık olan 6 giş e ile bekleme süresi 400,63

saniye iken karma gişe modunda açık olan 6 gişe ile bekleme süresi %67 oranında azalmayla 133,58 saniye, açık bariyer gişe modunda açık olan 3 gişe ile bekleme süresi mevcut duruma göre %100 ve karma gişe moduna göre %99 oranında azalma ile 0,9950 saniye olmaktadır. Sonuçlarla ilgili özet Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Mevcut durumun ve alternatif senaryoların sonuçlarının özeti

Araç Geliş Aralığı	Gişe Sayısı	Ort. Bekleme Zamamı (Saniye)		Gişe Sayısı	Karma Gişe	Gişe Sayısı	Açık Bariyer
		Mevcut Durum					
100 - 199	2	40,7842	▲ 58%	2	17,1697	▲ 91%	1
			→			▲ 96%	
200 - 299	2	126,64	▲ 93%	3	8,2421	▲ 64%	1
			→			▲ 98%	
300 - 399	3	69,1077	▲ 72%	3	19,2285	▲ 68%	1
			→			▲ 91%	
400 - 499	3	129,53	▲ 93%	4	9,0435	▲ 93%	2
			→			▲ 99%	
500 - 599	4	184,65	▲ 96%	5	7,8486	▲ 84%	2
			→			▲ 99%	
600 - 699	4	223,46	▲ 94%	5	12,7797	▲ 86%	2
			→			▲ 99%	
700 - 799	4	296,58	▲ 97%	6	8,6045	▲ 72%	2
			→			▲ 99%	
800 - 899	4	389,21	▲ 97%	6	13,45	▲ 72%	2
			→			▲ 99%	
900 - 999	4	477,63	▲ 95%	6	21,6192	▲ 70%	2
			→			▲ 99%	
1000 - 1099	6	400,63	▲ 67%	6	133,58	▲ 99%	3
			→			▲ 100%	

Mevcut durum analiz edildiğinde gişeler Karma ve HGS modunda açık olmaktadır. Böyle bir durumda nakit, kredi kartı veya banka kartı ile ödeme yapacak olan otoyol kullanıcıları müsait olan gişe yerine ödeme türüne göre gişe tercih etmektedir. Haliyle çıkış istasyonuna gelindiğinde manuel olarak ödeme yapabilecekleri gişeyi tercih etmeleri gerektiğini ya da tam tersi olarak elektronik olarak ödeme yapabilecekleri gişeyi tercih etmeleri gerektiğini düşünmektedirler. Bu sebeple hem açık gişe sayısı hem de gişe modları dikkate alındığında sürücülerin bekleme süreleri epey fazladır.

Karma mod gişe modelinde araçlar hazır oldukları ödeme türüne göre her gişede ödeme yapabilmektedirler. Fakat mevcut duruma göre kıyaslandığında iyi bir sonuç elde edilmesi için

araç geliş sayısı arttığında açılması gereken gişe sayısı da arttırılmalıdır. Analiz edilen modellerden yola çıkarak araçların bekleme süreleri mevcut duruma göre büyük oranda düşmektedir. Ama böylelikle mevcut duruma kıyasla daha fazla gişenin açık olması işletmenin maliyetlerini arttıracaktır. Genel olarak 100 ile 199 araç geliş yoğunluğunda 2 gişe 200 ile 399 araç geliş yoğunluğunda 3 gişe, 400 ile 499 araç geliş yoğunluğunda 4 gişe ve 500 ile 699 araç geliş yoğunluğunda 5 gişe, 700 ile 999 araç geliş yoğunluğunda 6 gişenin açık olması mevcut duruma göre yeterli olacaktır. Fakat 1000'den sonra gelecek araç yoğunluğunda çıkış istasyonunun sahip olduğu gişe sayısından dolayı açık bariyerli gişe modeline geçilmesi gerekmektedir. 1000 – 1099 araç geçiş aralığında ortalama bekleme süresi 133,58 saniyeye ulaşması kabul edilemez seviyededir.

Açık bariyerli gişe modelinde sürücüler manuel olarak ödeme yapamadıklarından gişelerde tamamen durmaları gerekmemektedir. Mevcut durum ve karma gişe modeline göre daha az sayıda gişe açarak daha iyi sonuçlar elde edilmesi işletme maliyetlerini düşürecek ve müşteri memnuniyetini arttıracaktır. Ancak MTC ile ödeme yapacak otoyol kullanıcıları EFV ile ödeme kanalı ile geçişlerini sağlayarak daha sonra internet üzerinden ödeme yapmaları gerekmektedir. Genel olarak 100 ile 399 araç geliş yoğunluğunda 1 gişe, 400 ile 999 araç geliş yoğunluğunda 2 gişe ve 1000 ile 1099 araç geliş yoğunluğunda 3 gişenin açık olması yeterli olacaktır.

Sürücülerin ücretli otoyolları tercih etmelerinin en önemli sebeplerinden biri zamandır. Ücretli otoyolların sağladığı zaman avantajı ödeme esnasında zarar görmektedir. Araç geliş yoğunluğu arttığında gişe modları değişmeli ve açık gişe sayısı arttırılmalıdır. Fakat çıkış istasyonlarının tasarımından dolayı ücret toplama gişe sayıları kısıtlıdır. Belli yoğunluğa kadar gişeler tüm ödeme yöntemlerinin kullanılacağı şekilde açılrsa da yoğunluk arttıkça bu durum yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple çıkış istasyonlarında açık bariyerli gişe modelinin kullanılması kaçınılmaz olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Bai, Y., Wang, K., Yi, L., and Peng, B. (2023). The cellular traffic capacity model of toll station square. *Archives of transport*, 67(3), pp. 35-47.
- Banks, J. (1998). *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*. New York: John Wiley & Sons.
- Bari, C., Gupta, U., Chandra, S., Antoniou, C., and Dhamaniya, A. (2021). Examining effect of electronic toll collection (ETC) system on queue delay using microsimulation approach at Toll Plaza-a case study of Ghoti Toll Plaza, India. *In 2021 7th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*, pp. 1-6.
- Bari, C. S., Chandra, S., and Dhamaniya, A. (2023). Reliable capacity of electronic toll collection lanes. *In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, pp. 1-13.
- Bari, C. S., Chandra, S., and Dhamaniya, A. (2023). Estimation of system delay based toll equivalency factors at toll plazas using simulation. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 12(3), pp. 822-835.
- Boz, F. K., and Özen, H. Trafik olaylarının çevresel etkileri: İstanbul O2 (TEM) otoyolu örneği. *Journal of Innovative Engineering and Natural Science*, 4(2), pp. 658-671.
- Chen, B., and Li, W. (2022). Improving highway traffic performance: Merging pattern design of a departure zone after tollbooths or ETC. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, pp. 608.
- Dorken, E. (2020). Tolling in Turkey. *Traffic Technology International 2020*, pp. 56-57.
- Dorken, E. (2009). *Türkiye Otoyol Ücret Toplama Sistemleri V. Otomasyon Sempozyumu*. İzmir. 10 Mayıs 2025, Erişim adresi: https://www.emo.org.tr/ekler/b8e55e68a7f5bc0_ek.pdf
- Ersöz, F. (2021). *Benzetim ve Modelleme* (3. Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Hafram, S. M., Valery, S. and Hasim, A. H. (2023). Calibrating and validation microscopic traffic simulation models vissim for enhanced highway capacity planning. *International Journal of Engineering*, 36(8), pp. 1509-1519.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2023). *2023 Faaliyet Raporu*. 15 Mayıs 2025, Erişim adresi: <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/MerkezBirimler/Kurumsal/FaaliyetRaporu/2023Faaliyet.pdf>
- Karim, A., Abdellah, A., and Hamid, S. (2020). Analysis of the Operational Impact of ETC Lanes on Toll Station. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5, pp. 1286-1292.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., and Swets, N. B. (2015) *Simulation with Arena* (6th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Law, A. M. (2015). *Simulation Modeling and Analysis* (Vol. 5). New York: McGraw-Hill Education.

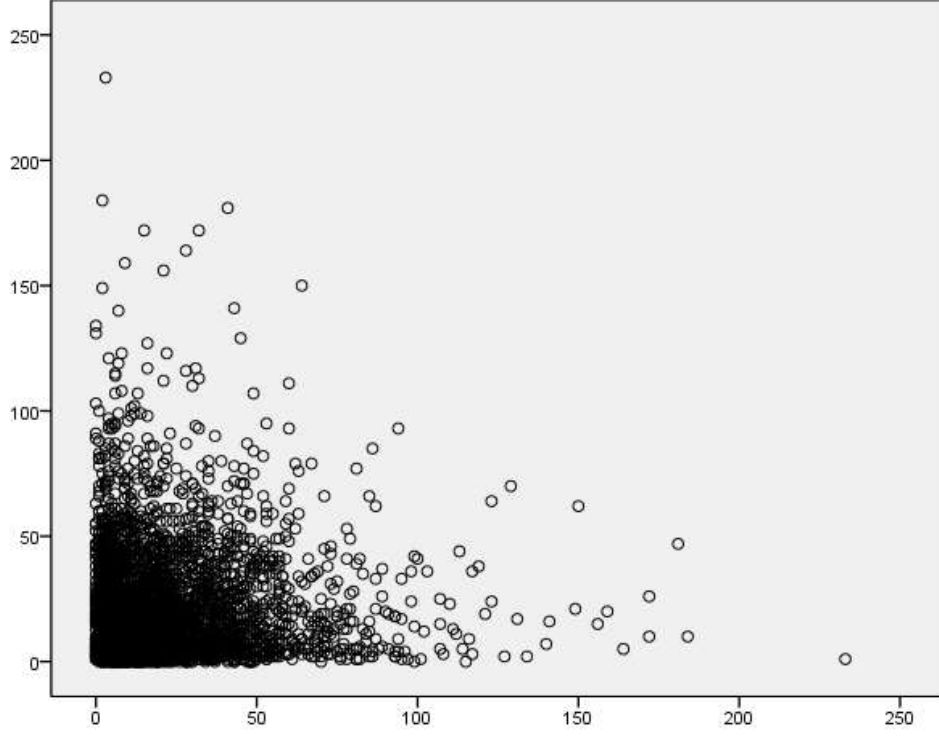
- Maria, A. (1997). Introduction to modeling and simulation. *In Proceedings of the 29th conference on Winter simulation*, pp. 7-13.
- Mittal, H., and Sharma, N. (2022). Operational Optimization of Toll Plaza Queue Length Using Microscopic Simulation VISSIM Model. *Journal of Algebraic Statistics*, 13(1), pp. 418-425.
- Noh, S. M., Kang, H. S., and Jang, S. Y. (2020). The Effects of Smart Tolling for the Improvement of Traffic Flow on the Seoul Tollgate with ARENA. *Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering*, 7(2), pp. 279-290.
- Özdemir, Ü., Gürsoy, M., and Aksoy, G. (2022). Examination of Delay and Travel Time at Highway Toll Booths Using A Micro Simulation Program: Example of Northern Marmara Highway Kurnaköy Toll Booth. *Int. J. Sci. Manag. Res*, 5, pp. 1-11.
- Park, S., Park, J., Yoon, Y., Kim, J., and So, J. (2024). Operation standards for exclusive bus lane on expressway using simulation and traffic big data. *Electronic Research Archive*, 32(4).
- Radiansyah, K. A., Isheka, R. P., and Aurarisa, I. (2024). The Effectiveness of Traffic Flow Scenarios during Eid Al-Fitr at The Sidoarjo Tollgates Based on Microsimulation Modeling. *Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 12(1), pp. 1-12.
- Robinson, S. (2004). *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. New York: John Wiley & Sons.
- Rockwell Software, (2004). *Arena User's Guide*. Milwaukee: Rockwell Software.
- Rosani, G. (2012). *Resource optimization in a Danish Hospital using discrete-event simulation*. University of Padova. Italia.
- Sewagegn, A. (2022). Optimization of toll services using queuing theory in the case of Ethiopia. *Perner's Contacts*, 17(2).
- Talavirya, A., Laskin, M., & Dubgorn, A. (2023). Application of simulation modeling to assess the operation of urban toll plazas. In *Simulation Modeling-Recent Advances, New Perspectives, and Applications*. IntechOpen.
- Tecim, V., Topallar, M., Emç, M., Şentürk, S., ve Aydın, C. (2016). RFID Tabanlı Hızlı Geçiş Sistemleri için İş Akışlarının Yönetim Amaçlı Modellenmesi. *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 2(2), pp. 307-316.
- Tugaç, T. (2025). *Otoyol Ücret Toplama Sistemleri*. 25 Mayıs 2025, Erişim Adresi: <https://www.qsl.net/ta1kb/aselsan/otoyolucrettoplama.htm>
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2023). *2002 – 2023 Ulaşan ve Erişen Türkiye*. 15 Mayıs 2025, Erişim adresi: <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/bakanlik-yayinlari/ulasan-erisen-turkiye-2002-2023-20240710.pdf>
- Wang, L., Wang, P., and Zhao, J. (2020). Simulation of Toll Lane Capacity of Highway Toll Station. *In 2020 IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering*, pp. 151-154.

- Wicaksana, P. M., Buchari, E., and Agustien, M. (2022). The Impact of Trans Sumatera Toll Road Development on The National Road in Palembang City. *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 11(1), pp. 65-72.
- Zahedieh, F., and Lee, C. (2024). Impacts of a Toll Information Sign and Toll Lane Configuration on Queue Length and Collision Risk at a Toll Plaza with a High Percentage of Heavy Vehicles. *Vehicles*, 6(3), pp. 1249-1267.
- Zein, F. H., Muhammadun, H., and Marleno, R. (2024). Road Network Simulation Model Analysis of Pahlawan Road Area with Traffic Management and Engineering Efforts. *International Journal on Advanced Technology, Engineering, and Information System*, 3(4), pp. 408-421.

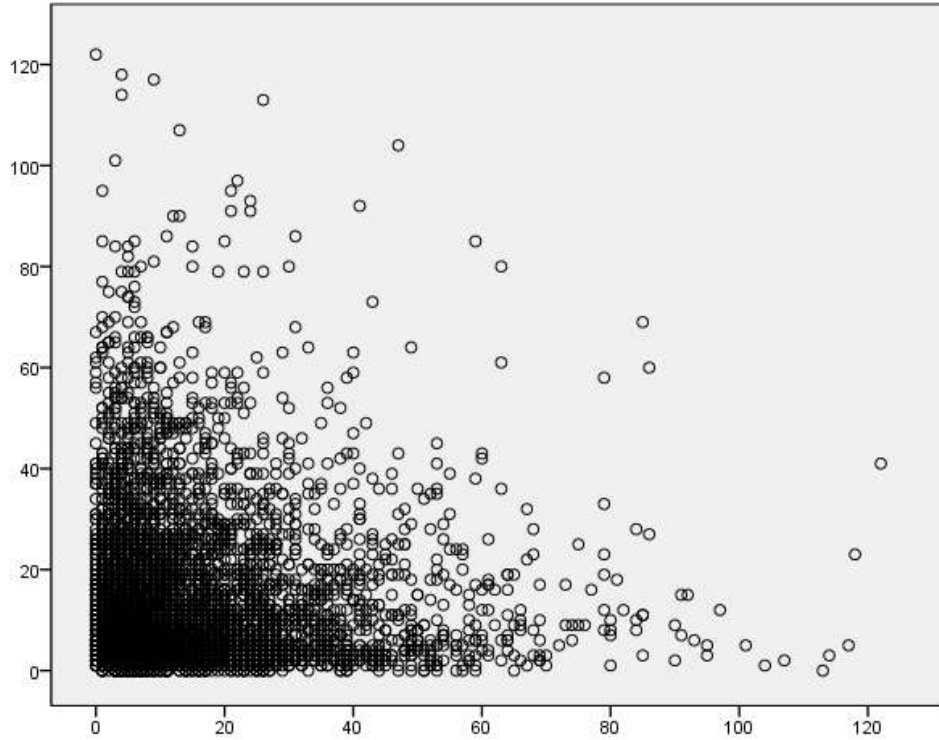


EKLER

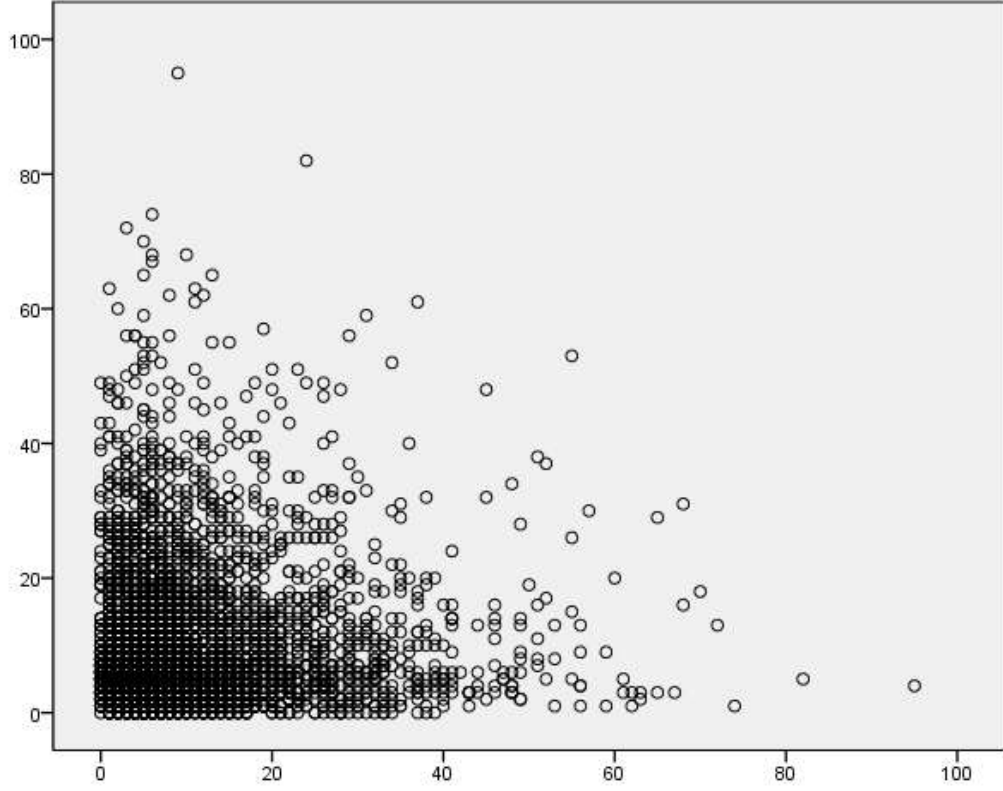
EK-1. ARAÇ GELİŞ ARALIKLARINA GÖRE GELİŞLER ARASI SÜRELERE AİT SERPME DİYAGRAMLARI



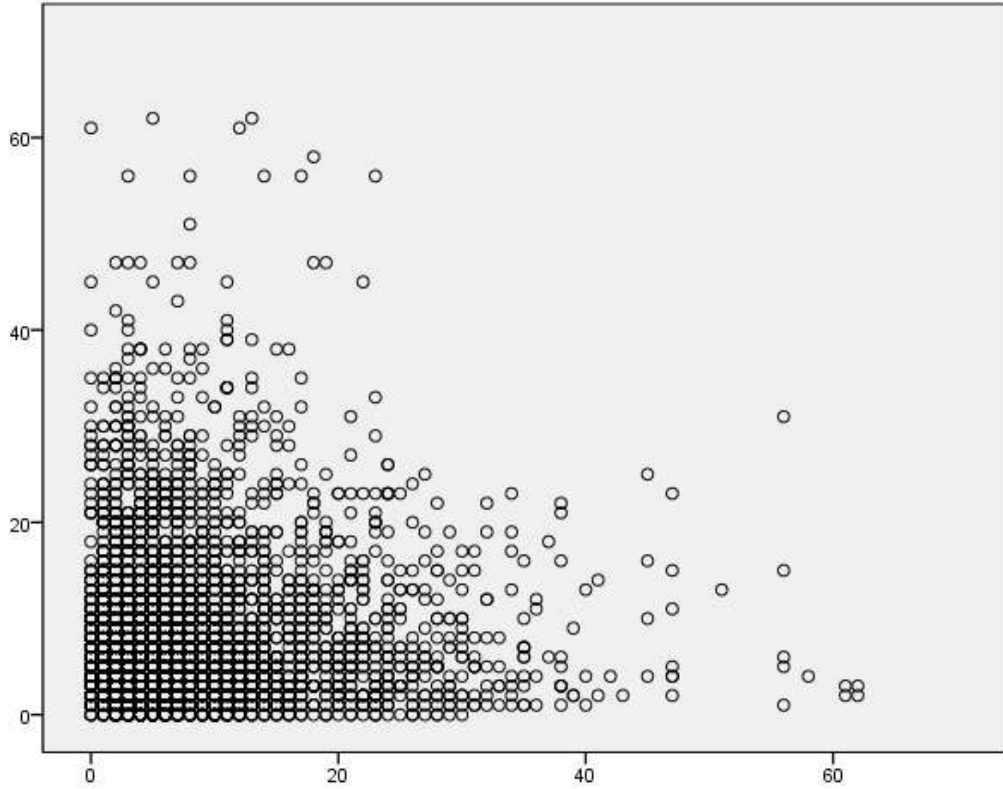
100 - 199 Araç Gelişler Arası Sürelerine ait Serpme Diyagramı



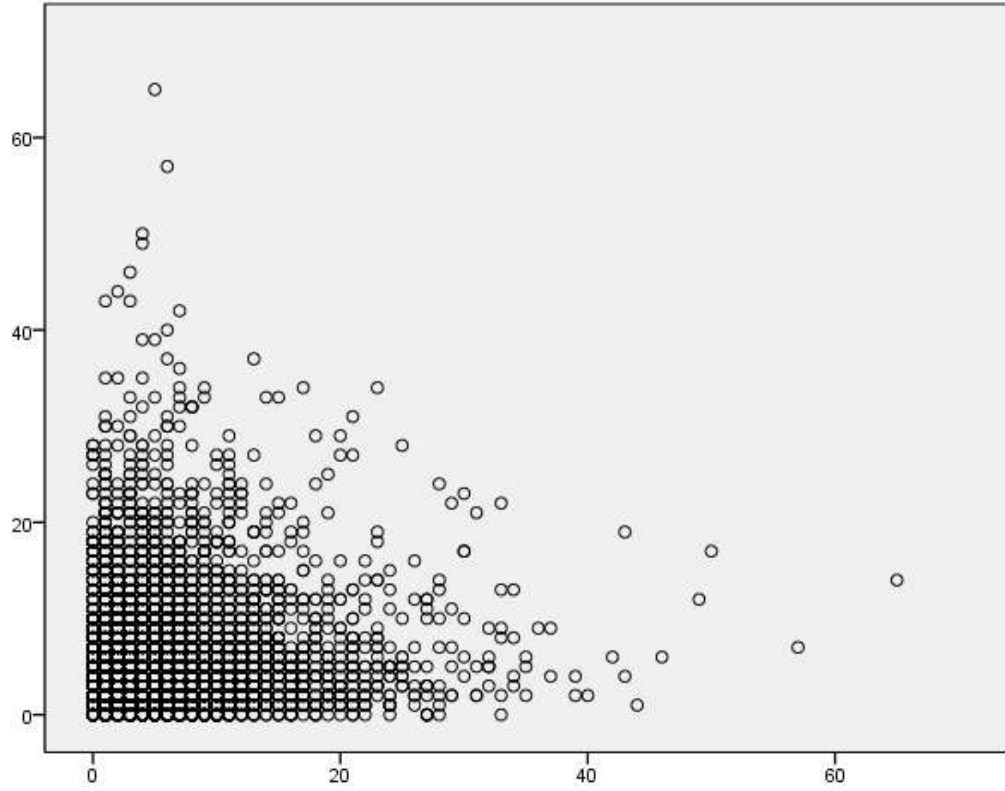
200 - 299 Araç Gelişler Arası Sürelerine ait Serpme Diyagramı



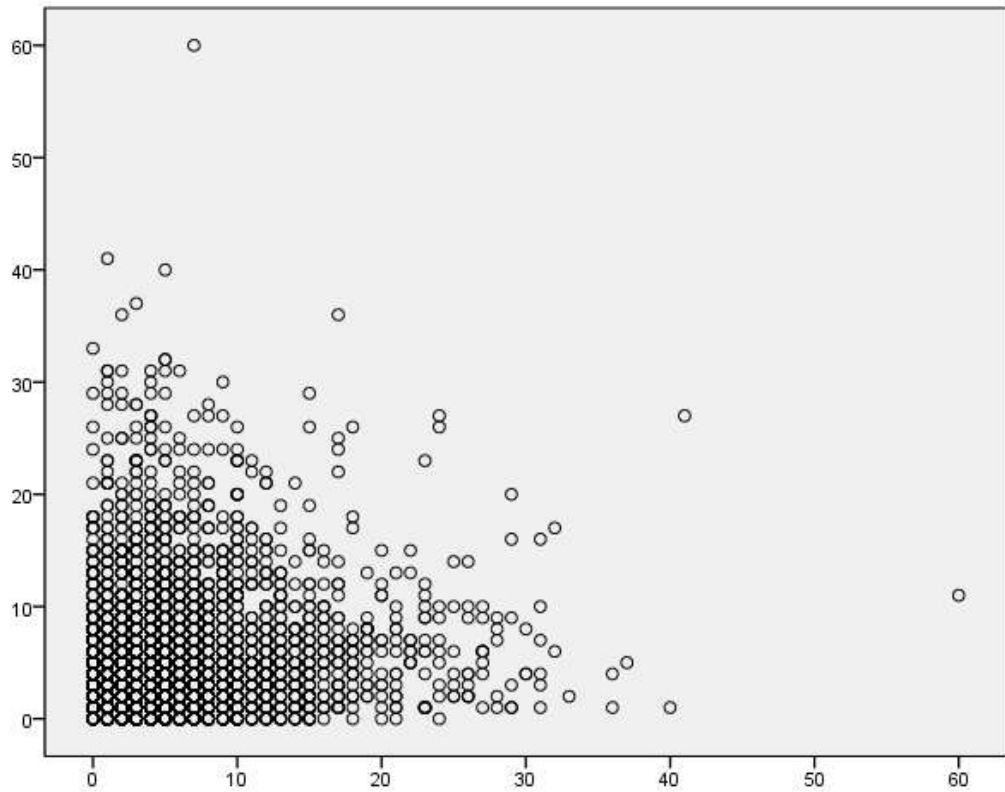
300 - 399 Araç Gelişler Arası Sürelerine ait Serpme Diyagramı



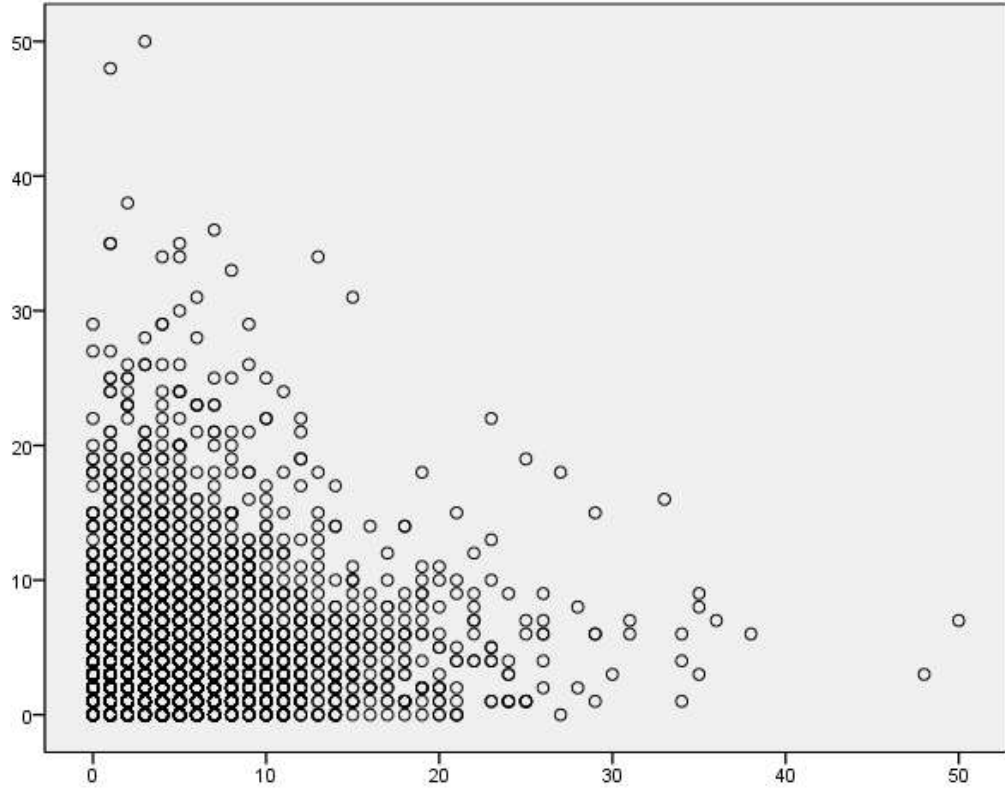
400 - 499 Araç Gelişler Arası Sürelerine ait Serpme Diyagramı



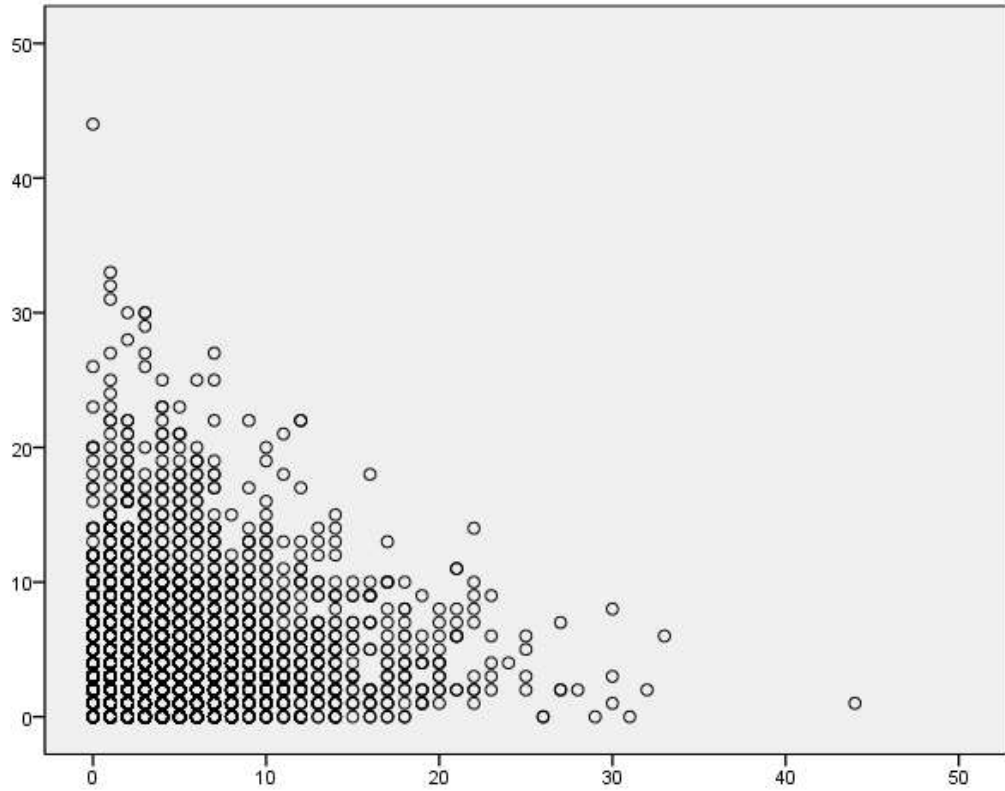
500 - 599 Araç Gelişler Arası Sürelerine ait Serpme Diyagramı



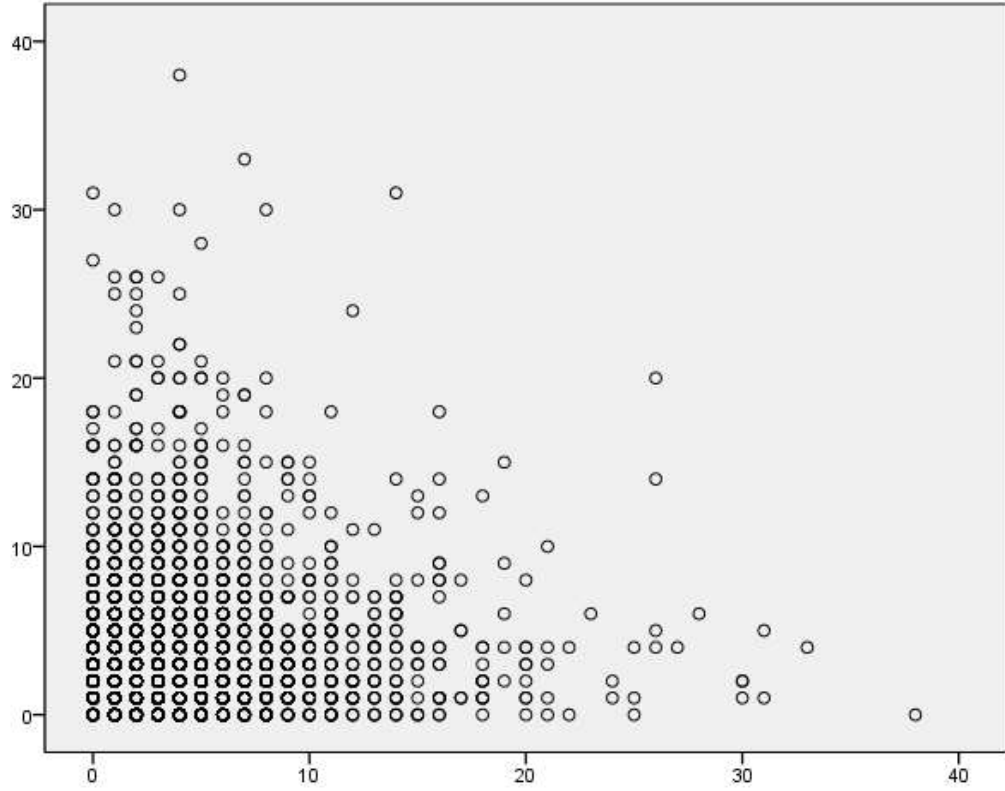
600 - 699 Araç Gelişler Arası Sürelerine ait Serpme Diyagramı



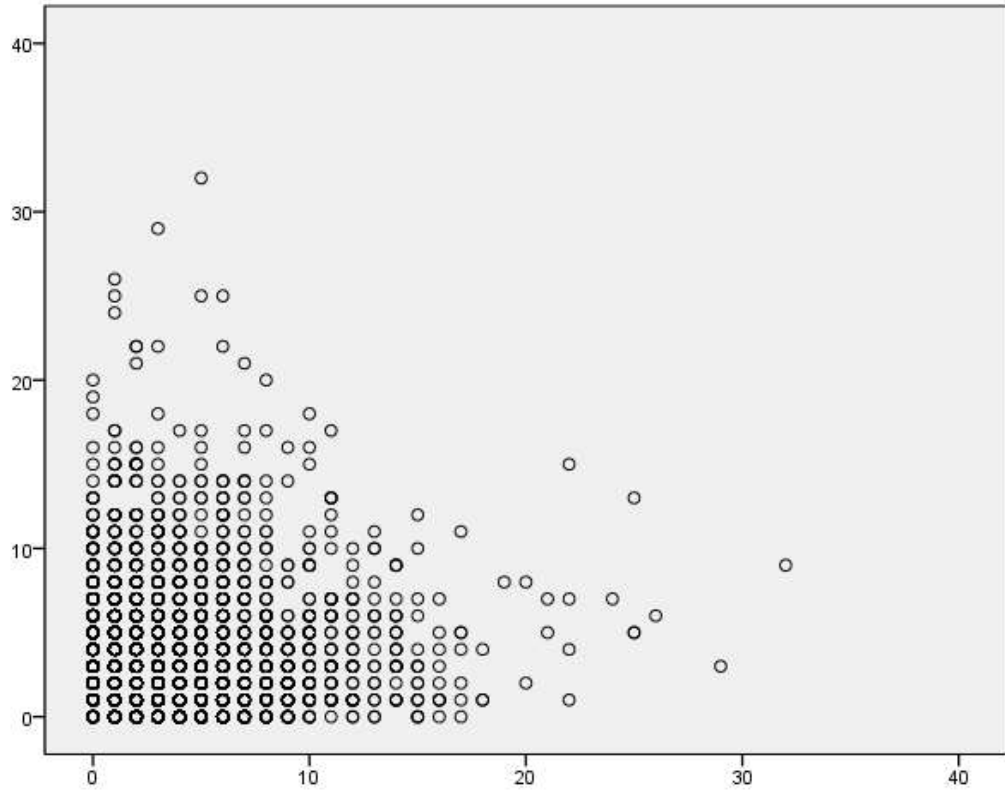
700 - 799 Araç Gelişler Arası Sürelerine ait Serpme Diyagramı



800 - 899 Araç Gelişler Arası Sürelerine ait Serpme Diyagramı



900 - 999 Araç Gelişler Arası Sürelerine ait Serpme Diyagramı



1000 - 1099 Araç Gelişler Arası Sürelerine ait Serpme Diyagramı

EK-2. MEVCUT DURUM VE ALTERNATİF MODELLERİN EŞLEŞTİRİLMİŞ ÖRNEKLEM T TESTİ SONUÇLARI

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Mevcut_Durum_100_199 - Karma_Giße_100_199	23,6142227	22,8687350	4,8756307	13,4747937	33,7536518	4,843	21	,000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Mevcut_Durum_100_199 - Acik_Bariyerli_100_199	39,2720364	20,5772285	4,3870799	30,1486043	48,3954684	8,952	21	,000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Karma_Giße_100_199 - Acik_Bariyerli_100_199	15,6578136	6,4367006	1,3723092	12,8039405	18,5116868	11,410	21	,000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Mevcut_Durum_200_299 - Karma_Giße_200_299	118,2400450	74,7792335	16,7211449	83,2422864	153,2378036	7,071	19	,000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Mevcut_Durum_200_299 - Acik_Bariyerli_200_299	123,5412100	75,8084335	16,9512811	88,0617710	159,0206490	7,288	19	,000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Karma_Giße_200_299 - Acik_Bariyerli_200_299	5,3011650	2,8720526	,6422105	3,9570030	6,6453270	8,255	19	,000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Mevcut_Durum_300_399 - Karma_Giße_300_399	49,8775385	37,0480240	10,2752731	27,4896416	72,2654353	4,854	12	,000

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Mevcut_Durum_300_399 - Acik_Bariyerli_300_399	62,8951385	35,9133409	9,9605686	41,1929238	84,5973532	6,314	12	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Karma_Giše_300_399 - Acik_Bariyerli_300_399	13,0176000	5,1822196	1,4372891	9,8860160	16,1491840	9,057	12	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Mevcut_Durum_400_499 - Karma_Giše_400_499	120,4872333	68,2166987	19,6924647	77,1444108	163,8300559	6,118	11	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Mevcut_Durum_400_499 - Acik_Bariyerli_400_499	128,8723000	70,5107238	20,3546927	84,0719235	173,6726765	6,331	11	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Karma_Giše_400_499 - Acik_Bariyerli_400_499	8,3850667	3,2166899	,9285784	6,3412794	10,4288539	9,030	11	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Mevcut_Durum_500_599 - Karma_Giše_500_599	176,7946800	83,3963288	26,3722348	117,1365402	236,4528198	6,704	9	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Mevcut_Durum_500_599 - Acik_Bariyerli_500_599	183,3979600	84,1890210	26,6229060	123,1727624	243,6231576	6,889	9	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Karma_Giše_500_599 - Acik_Bariyerli_500_599	6,6032800	2,2633372	,7157301	4,9841861	8,2223739	9,226	9	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Mevcut_Durum_600_699 - Karma_Giše_600_699	210,6788636	66,5566250	20,0675775	165,9655146	255,3922127	10,498	10	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Mevcut_Durum_600_699 - Acik_Bariyerli_600_699	221,6825455	68,1149073	20,5374173	175,9223281	267,4427628	10,794	10	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Karma_Giše_600_699 - Acik_Bariyerli_600_699	11,0036818	3,8888280	1,1725258	8,3911316	13,6162320	9,385	10	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Mevcut_Durum_700_799 - Karma_Giše_700_799	287,9743375	102,1405617	36,1121419	202,5826909	373,3659841	7,974	7	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Mevcut_Durum_700_799 - Acik_Bariyerli_700_799	294,1412375	100,4301143	35,5074074	210,1795608	378,1029142	8,284	7	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Karma_Giše_700_799 - Acik_Bariyerli_700_799	6,1669000	3,6424806	1,2878114	3,1217100	9,2120900	4,789	7	,002	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Mevcut_Durum_800_899 - Karma_Giše_800_899	375,7540273	82,6941829	24,9332343	320,1993193	431,3087353	15,070	10	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Mevcut_Durum_800_899 - Acik_Bariyerli_800_899	385,3957091	80,0293645	24,1297613	331,6312505	439,1601677	15,972	10	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Karma_Giše_800_899 - Acik_Bariyerli_800_899	9,6416818	6,4242811	1,9369936	5,3257910	13,9575726	4,978	10	,001	

Paired Samples Test

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1 Mevcut_Durum_900_999 - Karma_Giše_900_999	456,0079667	114,7012819	38,2337606	367,8407565	544,1751768	11,927	8	,000	

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Mevcut_Durum_900_999 - Acik_Bariyerli_900_999	471,2482000	109,9663125	36,6554375	386,7206096	555,7757904	12,856	8	,000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Karma_Giße_900_999 - Acik_Bariyerli_900_999	15,2402333	13,7576304	4,5858768	4,6651825	25,8152842	3,323	8	,010

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Mevcut_Durum_1000_1099 - Karma_Giße_1000_1099	267,0522000	163,0782737	72,9308211	64,5637787	469,5406213	3,662	4	,022

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Mevcut_Durum_1000_1099 - Acik_Bariyerli_1000_1099	399,6330200	92,2499587	41,2554357	285,0895674	514,1764726	9,687	4	,001

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Karma_Giße_1000_1099 - Acik_Bariyerli_1000_1099	132,5808200	94,4434431	42,2363918	15,3137968	249,8478432	3,139	4	,035