

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÜMÜŞHANE İLİ KAPALI OTO PARKININ ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ
İSTASYONUNA DÖNÜŞÜMÜ

YÜKSEK LİSANS

Murat Han ÇİÇEK

TEMMUZ-2023
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜMÜŞHANE İLİ KAPALI OTO PARKININ ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ
İSTASYONUNA DÖNÜŞÜMÜ**

**CONVERSION OF GÜMÜŞHANE CITY PARKING LOT TO ELECTRIC
VEHICLE CHARGING STATION**

YÜKSEK LİSANS

Murat Han ÇİÇEK

**TEMMUZ-2023
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜMÜŞHANE İLİ KAPALI OTO PARKININ ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ
İSTASYONUNA DÖNÜŞÜMÜ**

**CONVERSION OF GÜMÜŞHANE CITY PARKING LOT TO ELECTRIC
VEHICLE CHARGING STATION**

YÜKSEK LİSANS

Murat Han ÇİÇEK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK

**TEMMUZ-2023
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Gümüşhane İli Kapalı Otoparkının Elektrikli Araç Şarj İstasyonuna Dönüşümü**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

14/07/2023

.....
Murat Han ÇİÇEK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her anında kıymetli bilgi, birikimi ve bilimsellikten ödün vermeyen tutumu ile bana yol gösteren destek olan değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK’a gönülden teşekkürü borç bilirim.

Tez verileri konusunda destek olan Gümüşhane Belediyesine ve tez çalışmam süresince yardımını esirgemeyen değerli arkadaşım Halil ÖNDER’e teşekkür ederim. Bu günlere gelmemde büyük emeği olan başta annem Nimet ÇİÇEK ve babam Mustafa ÇİÇEK olmak üzere ablam Seval MİLLET’e kardeşlerim; Ömer ÇİÇEK ve Burak ÇİÇEK’e her zaman yanımda oldukları ve beni destekledikleri için minnettarım. Çalışmam boyunca sürekli artan desteği, sevgisi, anlayışı ve cesareti ile yanımda olan kıymetli eşim Büşra KAYA ÇİÇEK’e, zorlandığım zamanlarda varlığıyla, gülümsemesiyle daima bana umut olan mutluluk kaynağım sevgili oğlum Yiğit Ali ÇİÇEK’e teşekkür ederim.

Murat Han ÇİÇEK
GÜMÜŞHANE – 2023

ÖZET

Günümüz dünyasında, sera gazı salınımının azaltılması amacıyla teknolojik ilerlemelerle çevre dostu ve sürdürülebilir ürünlerin geliştirilmesi önemli bir konudur. Bu bağlamda, elektrikli araçlar, sıfır emisyon özellikleri ve yüksek verimlilikleri nedeniyle çevre dostu ve sürdürülebilir bir ulaşım çözümü olarak değerlendirilmektedir. Ancak, elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki temel engellerden biri, yeterli ve etkin bir şarj altyapısının eksikliğidir. Bu nedenle, şarj istasyonu altyapısının kurulmasında erişilebilirlik birincil ve temel bir parametre olarak kabul edilmektedir. Otoparklar, bu erişilebilirliği sağlamak için ideal ve etkili kullanım alanları olarak değerlendirilmektedir. Otoparklardaki şarj istasyonları aracılığıyla, elektrikli araç sahipleri günlük faaliyetlerinin bir parçası olarak araçlarını şarj etme imkanına sahip olacaklardır.

Bu tezde Gümüşhane 15 Temmuz katlı otoparkına ait bir yıllık araç giriş-çıkış verileri ışığında otoparka kaç adet ve hangi tip şarj ünitesi yerleştirilmesi gerektiği konusu kuyruk teoremi kullanılarak incelenmiştir. Otopark verileri analiz edilerek giriş yapan araç sayılarına göre farklı senaryolar oluşturulmuştur. Çalışmada, kurulması planlanan şarj istasyonlarının AC ve DC tipi şarj istasyonları olması durumlarına göre optimum şarj istasyonu sayıları kuyruk teoremi modeli ile hesaplanmıştır. Oluşturulan senaryolar için kurulum ve bekleme maliyetleri dikkate alınarak, optimum bekleme süresini sağlayacak şarj istasyonlarının sayısı ve tipi belirlenmiştir. Her senaryo için daha basit ve pratik fonksiyonlar elde etmek için eğri uydurma yöntemleri kullanılarak şarj istasyonu sayısı ile toplam maliyet arasındaki ilişki kurulmuştur. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek öneri ve tavsiyeler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlar, Kuyruk teoremi, Otopark, Şarj istasyonu

SUMMARY

In today's world, the development of environmentally friendly and sustainable products through technological advancements is an important subject for addressing the reduction of greenhouse gas emissions. In this context, electric vehicles, which are increasingly being utilized due to their zero-emission characteristics and high efficiency, are considered a solution for environmentally friendly and sustainable transportation. However, one of the major obstacles to the widespread adoption of electric vehicles is the lack of sufficient and efficient charging infrastructure. Therefore, accessibility is the primary and fundamental parameter in the establishment of charging station infrastructure. Parking lots are recognized as ideal and effective utilization areas to ensure this accessibility. Through charging stations in parking lots, electric vehicle owners will have the opportunity to charge their vehicles as part of their daily activities.

This thesis investigates the required number and type of charging units using queueing theory based on data from the Gümüşhane 15 Temmuz parking lot. Different scenarios were constructed through the analysis of the data and electric vehicles. The optimal number of charging stations were calculated using queueing theory model based on whether the planned charging stations are AC or DC type. Considering the installation and waiting costs, the number and type of charging stations that would provide the optimum waiting time were determined. To simplify and make the functions more practical, curve fitting methods were utilized to establish a relationship between the number of charging stations and the total cost for each scenario. By evaluating the results, some recommendations were presented.

Keywords: Electric vehicles, Charging station, Queueing theorem, Parking lot

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLOLAR DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1.GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti	4
1.2. Tezin Amacı ve Özgünlüğü	7
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE ŞARJ İSTASYONLARI	9
2.1. Elektrikli Araçlar.....	9
2.1.1.Elektrikli Araç Türleri.....	10
2.2. Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri	11
2.2.1. Kablolu Şarj	12
2.2.2. Kablosuz Şarj	13
2.2.3. Batarya Değişimi.....	14
2.3. EA Şarj İstasyonları Tipleri	15
2.3.1. Seviye 1 Şarj İstasyonları.....	16
2.3.2. Seviye 2 Şarj İstasyonları.....	17
2.3.3. Seviye 3 Şarj İstasyonları.....	18
2.3.4. Seviye 4 Şarj İstasyonları.....	19
3. KUYRUK TEOREMİ.....	20
3.1. Kuyruk Teoremi Bileşenleri.....	21
3.2. Kuyruk Teorisinde Kullanılan Dağılımlar	22
3.2.1. Poisson Dağılımı	22
3.2.2. Üstel Dağılım	23
3.2.3. Erlang Dağılımı.....	24
3.3. Kuyruk Teoremi Modelleri	25
3.3.1. Tek Kanal Kuyruk Modeli (M/M/1)	27

3.3.2. Çok Kanallı Kuyruk Modeli (M/M/m)	27
3.3.3. Sabit Servis Süresi Modeli (M/D/1).....	29
3.3.4. Sonlu Geliş Kaynak Kuyruk Modeli (M/M/1 Sonlu Kaynaklı).....	30
3.4. Kuyruk Maliyet Modeli	30
4. YÖNTEM VE MATERYAL	32
4.1. 15 Temmuz Zafer Meydanı Katlı Otopark Özellikleri	32
4.2. Verilerin Elde Edilmesi ve Analizi	32
4.3. Benzetim Senaryolarında Kullanılan Elektrikli Araç Özellikleri	51
4.4. WINQSB Programı	53
4.5. Maliyet Hesaplama.....	54
4.5.1. Şarj İstasyonu Kurulum Maliyeti	55
4.5.2. Şarj Maliyeti.....	56
5. UYGULAMA	58
5.1. Senaryo 1.....	61
5.2. Senaryo 2.....	65
5.3. Senaryo 3.....	70
5.4. Senaryo 4.....	74
5.5. Maliyet Optimizasyonu	78
5.5.1. Senaryo 1 Maliyet Optimizasyonu	80
5.5.2. Senaryo 2 Maliyet Optimizasyonu	84
5.5.3. Senaryo 3 Maliyet Optimizasyonu	87
5.5.4. Senaryo 4 Maliyet Optimizasyonu	92
5.6. Senaryo Sonuçları	96
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	99
KAYNAKÇA	102
ÖZGEÇMİŞ	108

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Saatlere göre toplam giriş yapan araç sayıları	34
Tablo 2. Saatlere göre toplam çıkış yapan araç sayıları.....	36
Tablo 3. Aylara ve parklanma sürelerine göre toplam araç sayıları	44
Tablo 4. Parklanma sürelerine göre araç sayıları	47
Tablo 5. Saatlik en yüksek girişlerinin aylara göre dağılımı	49
Tablo 6. Türkiye’de 2022 yılında en çok satışı yapılan ilk 10 elektrikli aracın satış rakamları (TEHAD, 2021).	51
Tablo 7. Ticari şarj istasyonu yaklaşık birim kurulum maliyetleri (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021).....	55
Tablo 8. Elektrikli araç şarj istasyonu firmalarının NİSAN 2023 güncel fiyat listesi	56
Tablo 9. Senaryo 1 için WinQSB programı veri girişi	61
Tablo 10. Senaryo 1’in WinQSB analiz çıktıları	62
Tablo 11. Senaryo 1 çıktılarının açıklaması.....	62
Tablo 12. Senaryo 1 için hizmet veren şarj istasyonu sayısına göre duyarlılık analizi .	63
Tablo 13. Senaryo 2 için WinQSB programı veri girişi	66
Tablo 14. Senaryo 2’nin WinQSB analiz çıktıları	66
Tablo 15. Senaryo 2 çıktılarının açıklaması.....	67
Tablo 16. Senaryo 2 için hizmet veren şarj istasyonu sayısına göre duyarlılık analizi .	67
Tablo 17. Senaryo 3 için WinQSB programı veri girişi	70
Tablo 18. Senaryo 3’ün WinQSB analiz çıktıları	70
Tablo 19. Senaryo 3 çıktılarının açıklaması.....	71
Tablo 20. Senaryo 3 için hizmet veren şarj istasyonu sayısına göre duyarlılık analizi ..	72
Tablo 21. Senaryo 4 için WinQSB programı veri girişi	75
Tablo 22. Senaryo 4’ün WinQSB analiz çıktıları	75
Tablo 23. Senaryo 4 çıktılarının açıklaması.....	76
Tablo 24. Senaryo 4 için hizmet veren şarj istasyonu sayısına göre duyarlılık analizi ..	76
Tablo 25. Senaryo 1 için farklı durumlara göre maliyet hesabı	81
Tablo 26. Senaryo 2 için farklı durumlara göre maliyet hesabı	85
Tablo 27. Senaryo 3 için farklı durumlara göre maliyet hesabı	89
Tablo 28. Senaryo 4 için farklı durumlara göre maliyet hesabı	93
Tablo 29. Senaryo sonuçları.....	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Dünya’da yıllara göre şarj istasyonu sayıları ((EAFO,2020)’den uyarlanmıştır).	2
Şekil 2. Türkiye’de yıllara göre şarj istasyonu sayıları ((EAFO,2020) ve (Kaya, 2022)’den uyarlanmıştır).	2
Şekil 3. Bir elektrikli aracın (a) ve bir fosil yakıtlı aracın (b) iç yapısı (Özdentürk, 2021).	9
Şekil 4. Elektrikli araç tipleri (Gaton, 2018).	10
Şekil 5. Elektrikli araç şarj yöntemleri (Kerem ve Gürbak, 2020 kaynağından uyarlanmıştır).	12
Şekil 6. Dahili ve harici şarj yöntemleri (URL-1, 2023 kaynağından uyarlanmıştır).	13
Şekil 7. OLEV isimli otobüsün gittiği yol ve yola gömülü kablosuz şarj vericisi (Jang vd., 2016).	14
Şekil 8. Batarya değişim işlemi (URL-2, 2023).	15
Şekil 9. EA şarj yöntemleri ve sürelerine genel bakış (Güray ve Merdan, 2021).	15
Şekil 10. Seviye 1 şarj cihazı (URL-3, 2023).	17
Şekil 11. Seviye 2 şarj cihazı (URL-3, 2023).	18
Şekil 12. Seviye 3 şarj cihazı (URL-3, 2023).	18
Şekil 13. Seviye 4 şarj cihazı (URL-6, 2023).	19
Şekil 14. Poisson dağılım grafiği	23
Şekil 15. Kuyruk teoremi modelleri (Erdoğan, 2010 kaynağından uyarlanmıştır).	25
Şekil 16. Elektrikli araç şarj istasyonunun kuyruk modeli	28
Şekil 17. Kuyruk teoreminde maliyet oluşumu (Özkan, 2010 kaynağından uyarlanmıştır).	31
Şekil 18. 15 Temmuz Zafer Meydanı katlı otopark girişi	32
Şekil 19. Aylara göre günlük giriş yapan araç sayısı	33
Şekil 20. Araç girişlerinin saatlik dağılımları	35
Şekil 21. Araç çıkışlarının saatlik dağılımlarının grafiği	37
Şekil 22. Araç giriş-çıkışlarının saatlere göre dağılımı.	38
Şekil 23. Araç girişlerinin günlere göre dağılımı.	39
Şekil 24. Araç girişlerinin günlere ve saatlere göre dağılımları.	40
Şekil 25. Araç çıkışlarının günlere göre dağılımı	41
Şekil 26. Araç çıkışlarının günlere ve saatlere göre dağılımları	42

Şekil 27. Araçların otoparka giriş zamanlarına göre kalma sürelerinin dağılımı	42
Şekil 28. Araçların otoparktan ayrılış zamanlarına göre kalma sürelerinin dağılımı	43
Şekil 29. Araç parklanma sürelerinin aylara göre dağılımı.....	46
Şekil 30. Parklanma sürelerinin yüzdelik dağılım grafiği.....	47
Şekil 31. Yıl boyunca gerçekleşen en yüksek saatlik girişlerin aylara göre dağılımı.....	50
Şekil 32. TOGG T10X elektrikli otomobil	52
Şekil 33. BMW iX elektrikli otomobil (URL-9, 2023).....	53
Şekil 34. TOGG T10X ve BMW iX birlikte şarj olmakta	58
Şekil 35. Uygulamada kullanıcak yöntemlere ait akış şeması	59
Şekil 36. Senaryo 1 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleyen araç sayısı üzerindeki etkisi	64
Şekil 37. Senaryo 1 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleme süresi üzerindeki etkisi	64
Şekil 38. Senaryo 1 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının sistem doluluk oranı üzerindeki etkisi	65
Şekil 39. Senaryo 2 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleyen araç sayısı üzerindeki etkisi	68
Şekil 40. Senaryo 2 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleme süresi üzerindeki etkisi	69
Şekil 41. Senaryo 2 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının sistem doluluk oranı üzerindeki etkisi	69
Şekil 42. Senaryo 3 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleyen araç sayısı üzerindeki etkisi	73
Şekil 43. Senaryo 3 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleme süresi üzerindeki etkisi	73
Şekil 44. Senaryo 3 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının sistem doluluk oranı üzerindeki etkisi	74
Şekil 45. Senaryo 4 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleyen araç sayısı üzerindeki etkisi	77
Şekil 46. Senaryo 4 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleme süresi üzerindeki etkisi	77
Şekil 47. Senaryo 4 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının sistem doluluk oranı üzerindeki etkisi	78
Şekil 48. Senaryolarda maliyet hesaplamalarında kullanacak yönteme ait akış şeması ..	79
Şekil 49. Senaryo 1 için maliyet oluşum grafiği	83

Şekil 50. Senaryo 1 için Matlab’da CFtool ile eğri uydurma sonucu	84
Şekil 51. Senaryo 2 için maliyet oluşum grafiği	86
Şekil 52. Senaryo 2 için Matlab’da CFtool ile eğri uydurma sonucu	87
Şekil 53. Senaryo 3 için maliyet oluşum grafiği	90
Şekil 54. Senaryo 3 için Matlab’da CFtool ile eğri uydurma sonucu	92
Şekil 55. Senaryo 4 için maliyet oluşum grafiği	95
Şekil 56. Senaryo 4 için Matlab’da CFtool ile eğri uydurma sonucu	96



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

P_0	: Sistemde hiç müşteri bulunmama olasılığı
L_q	: Kuyrukta bekleyen ortalama müşteri sayısı
W_q	: Kuyrukta ortalama bekleme süresi
P_n	: n sayıda müşteri veya birim bulunma olasılığı
\$	: Amerikan doları
₺	: Türk lirası
AC	: Alternatif Akım
BEV	: Bataryalı elektrikli araç
DC	: Doğru Akım
e	: Logaritmik taban
EA	: Elektrikli Araç
EAŞİ	: Elektrikli Araç Şarj İstasyonu
F(x)	: Saatlik toplam maliyet
FAHP	: Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
FCEV	: Yakıt hücresi elektrikli araç
HEV	: Hibrit elektrikli araç
İYM	: İçten yanmalı motor
k	: Şekil parametresi
kW	: Kilo Watt
kWh	: Kilo-watt Saat
L	: Kuyruk sisteminde bulunan ortalama toplam müşteri sayısı
PHEV	: Şarj edilebilir hibrit araç
Pw	: Sisteme gelen bir müşterinin bekleme olasılığı
s	: Şarj ünitesi sayısı
W	: Kuyrukta ortalama geçen toplam süre
x	: Olay sayısı
λ	: Birim zamanda sisteme giriş yapan ortalama müşteri yoğunluğu
μ	: Ortalama hizmet süresi
P	: Sistem yoğunluğunu

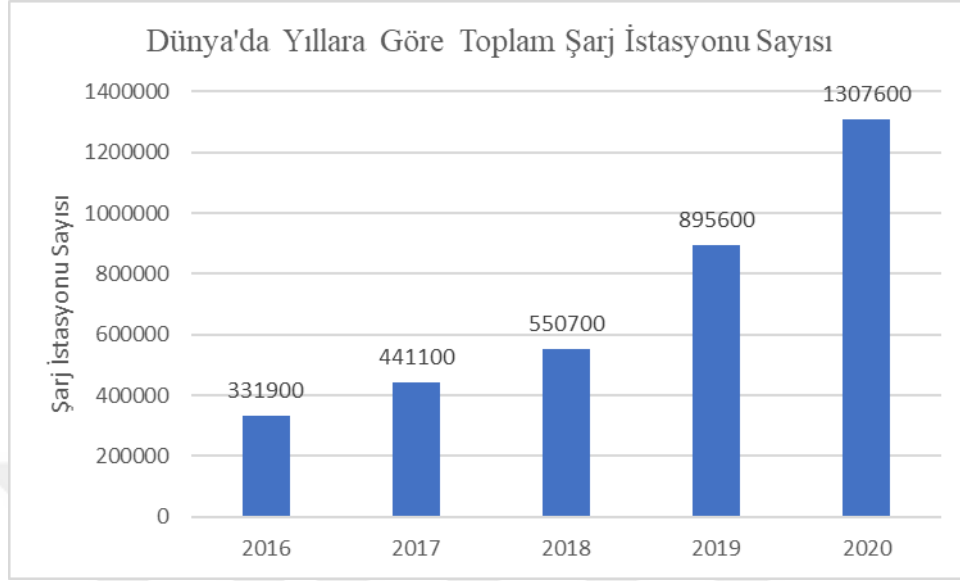
1.GİRİŞ

Günümüzde fosil yakıt kullanan araçlar, dünya genelinde ulaşım da en büyük paya sahip olmasının yanı sıra çevreye ciddi zararlar da vermektedirler. Fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan karbondioksit ve diğer sera gazları, küresel iklim değişikliğine yol açarak iklim sistemlerini bozmakta, hava kirliliğine sebep olmakta ve ekosistemleri olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, fosil yakıt kullanan araçların çevresel etkilerinin anlaşılması ve alternatif çözümlerin geliştirilmesi, sürdürülebilir bir gelecek için önemli bir konu haline gelmiştir.

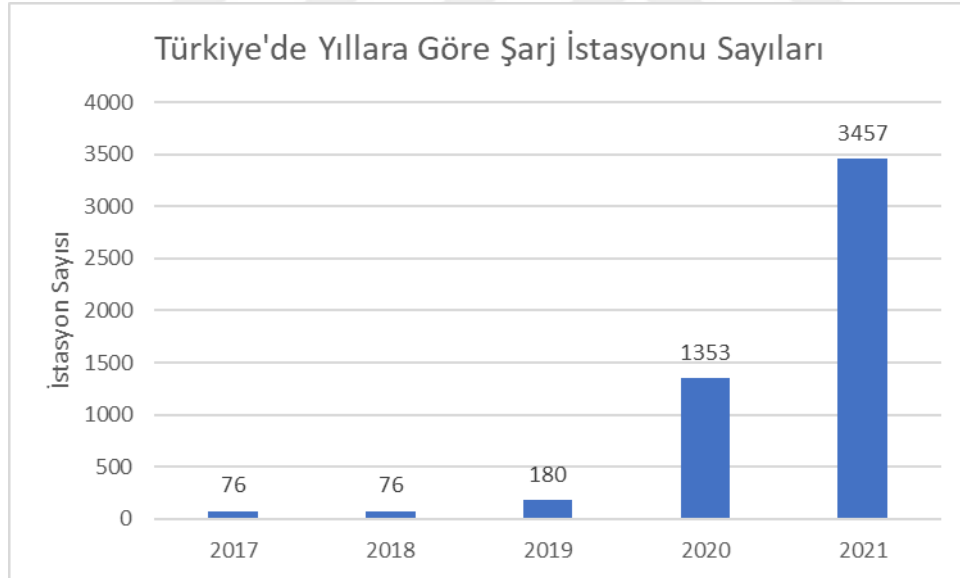
Ulaşım, ısınma, elektrik üretimi gibi sektörlerde yaygın ve çoğunlukla kullanılan enerji kaynağı fosil yakıtlardır (IEA 2020a; Ritchie ve Roser, 2020). Günümüzde tekerlekli kara taşıtlarının neredeyse tamamında içten yanmalı motorlar kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlar, fosil yakıtların en yaygın olarak kullanıldığı yerlerden biridir (Çakmak ve Turan, 2022). Bu noktada fosil yakıtların kullanıldığı içten yanmalı motorlar yerine elektrikli motorları tercih ederek daha çevreci bir çözüme ulaşılmaktadır. Ayrıca elektrik motorlarının verimi geleneksel içten yanmalı motorlara göre çok daha yüksektir. Bu nedenlerden dolayı çevre dostu elektrikli araçların (EA) kullanımı günden güne artmakta ve daha da artması için çalışmalar yürütülmektedir. Bunun yanı sıra artan yakıt fiyatları ve mekanik aksamaların bakım maliyetleri EA'ları bu bağlamda daha avantajlı hale getirmektedir. Bundan dolayı da birçok ülke elektrikli araçların gelişimini ve kullanımını arttırmak için teşvik politikalarına başvurmaktadır.

İlk üretildiği andan günümüze dek EA'ların menzilleri ve performansları teknolojik gelişmeler ile birlikte ciddi seviyede arttırılmıştır. Birçok ülke yakın gelecekte EA üretimini ve kullanımını yaygınlaştırmak için mücadele etse de bunu yapabilmenin ön koşulu bu araçlar için yeterli bir şarj altyapısının beraberinde tesis edilmesinden geçmektedir (Xylia vd., 2017). EA sayılarının artması kadar iyi planlanmış ve konumlandırılmış şarj istasyonlarının yapılandırılması da bu noktada büyük bir önem arz etmektedir (Karasu Asnaz ve Özdemir, 2021). Kurulacak olan şarj istasyonları altyapısında da kullanıcıların kolay erişimi için konut tipi (bireysel kullanım) şarj istasyonları kolaylık sağlamaktadır. Fakat konut tipi şarj istasyonlarının kurulumu ülkemizde tercih edilen dikey mimariden dolayı uygun bir tercih olmamaktadır. Bunun dışında dikkate alınması gereken önemli bir husus da dağıtım şebekesi sistemlerinin zarar görmemesi için dağınık ve kontrolsüz şarj istasyonlarının

yerine toplu alanlara kurulan kontrollü şarj istasyonları tercih edilmesi ve kurulmasıdır (Kılıç, 2022).



Şekil 1. Dünya’da yıllara göre şarj istasyonu sayıları ((EAFO,2020)’den uyarlanmıştır).



Şekil 2. Türkiye’de yıllara göre şarj istasyonu sayıları ((EAFO,2020) ve (Kaya, 2022)’den uyarlanmıştır).

Şekil 1’de Dünya’da ve Şekil 2’de Türkiye’de yıllara göre şarj istasyonu sayıları gösterilmektedir. 2030 yılı orta büyüme senaryosuna göre ülkemizde 2.5 milyon elektrikli araç ve 781325 adet elektrikli araç şarj istasyonu olması öngörülmektedir (Saygın vd., 2019). Ayrıca Avrupa Birliği her 10 EA için 1 şarj istasyonu önermektedir (ECA, 2021). Şekil 1, Şekil 2 ve senaryoda öngörülen şarj istasyonu sayıları ele

alındığında günümüzde EA'ların kullanabileceği şarj istasyonlarına olan ihtiyaç hızla artacağı öngörülmektedir. Mevcut bu durum için şehir içi ve şehirlerarası otoparkların aynı zamanda birer EA şarj istasyonu olarak kullanılması şarj istasyonu sorununun çözümü için en uygun önerilerden birisi olarak gösterilmektedir (Çakmak vd., 2018). Resmi Gazete'de yayınlanan otopark yönetmeliğine göre yeni yapılacak olan bölge ve genel otoparklarda en az %10 oranında otopark yerinin ilgili standartlara göre elektrikli araçlara uygun olarak (şarj ünitesi dâhil) düzenlenmesi şartı vardır. Yine bu yönetmelikte zorunlu otopark adedi 20 ve üzeri olan yeni yapılacak yapılara ilişkin yapı ruhsatı başvurularında zorunlu otopark alanlarının 1 adetten az olmamak üzere en az % 5'inin, ilgili standartlara göre şarj ünitesi dâhil elektrikli araçlara uygun olarak düzenlenmesi şartı aranmaktadır (Resmi Gazete, 2022).

Araç yoğunluğu fazla olan otoparklarda EA kullanıcıları aynı zaman diliminde şarj talep edeceğinden bir bekleme söz konusu olmaktadır (Yağcıtekin, 2014). Bu aşamada gelen EA sahipleri şarja daha hızlı ulaşmak isterken bunun neticesinde otopark hizmet yönetimi de müşteri memnuniyeti için bekleme yapmadan müşterinin şarj noktasına ulaşması için yeterli ve minimum sayıda şarj istasyonuna sahip olmak mecburiyetindedir. Çünkü istenilen şarj talebine hızlı bir şekilde karşılık vermek EA kullanıcısının memnuniyetini sağlamaktadır. Bu şarj talebinin çözümü için de yöneylem araştırma tekniklerine başvurulmaktadır (Lee vd., 2022). Bu yöneylem teknikleri arasında bulunan kuyruk teoremi ile bekleme kuyruğu minimize edilebilmekte ve bekleme süresi tahmin edilebilmektedir. Ayrıca bu teorem ile maliyet optimizasyonu planlaması da yapılabilmektedir.

Bu tezde Gümüşhane'de bulunan kapalı otopark verileri incelenerek kurulacak olan şarj altyapısının planlanmasında kuyruk teoreminden faydalanılmıştır. Şarj istasyonu ve kuyruk teoremi modelleriyle ilgili çalışmaların araştırması yapılmış ve otopark verilerine göre en uygun kuyruk teoremi modeli çeşitli senaryolar için uygulanmıştır. Bu çalışma iki ana kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda otopark verilerinden elde edilen saatlik araç giriş sayıları ve senaryolarda belirtilen araç ve şarj istasyonu tipine göre hizmet süreleri hesaplanmış ve bu veriler doğrultusunda şarj sırası bekleyen araç olmaması durumu için optimum şarj istasyonu sayısı bulunmuştur. Elde edilen verilerin performans ölçütleri WinQSB programında incelenmiştir. İkinci kısımda ise bekleme süreleri ve kurulum maliyetleri göz önünde bulundurularak minimum bekleme süresi ve optimum maliyet hesaplanmıştır. Optimum maliyete göre kurulması gereken şarj istasyonu sayıları elde edilmiştir. Ayrıca kurulması gereken şarj

istasyonu sayısına bağı olarak oluşacak toplam maliyet hesabının daha kolay yapılabilmesi için Matlab’da eğri uydurma tekniğı kullanılmıştır. Bu eğri uydurma tekniğı ile farklı regresyon modelleri için fonksiyonlar elde edilmiştir.

1.1. Literatür Özeti

Otoparklarda EA şarj istasyonu kapasitesi belirlemede literatürde farklı yaklaşımlar mevcut olup bunlar içerisinde öne çıkan çalışmalar aşağıda irdelenerek verilmiştir.

Zhenpo vd.(2010) yaptıkları çalışmada EA’ların şarj ihtiyacını karşılayan araç şarj istasyonlarının kapasitesini optimize etmek için bir kuyruk teorisi matematik modeli sunulmuştur. EA’ların ve şarj istasyonunun özelliklerine göre istasyonda bulunması gereken off-broad şarj cihazı sayısını optimize etmek için kuyruk teoremi modeli kullanılmıştır.

Shaoyun vd.’nin (2012) çalışmalarında ise şehir alanındaki elektrikli araç şarj istasyonları için bir planlama yöntemi tasarlanmıştır. Yol ağı yapısı, araç akış bilgileri, dağıtım sistemi yapısı ve kapasite kısıtları gibi faktörleri dikkate alarak şarj istasyonu yerlerini seçerken kullanıcıların harcadığı maddi kayıp maliyeti ile istasyon hatlarının yatırım maliyetlerini en aza indirmeye çalışılmıştır. Kuyruk teoremi kullanılarak istasyon kapasiteleri ve maliyet optimizasyonları gerçekleştirilmiştir.

Yağcıtekin (2014) yaptığı doktora tezinde Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa yerleşkesinde bulunan otopark verilerini kullanarak optimum şarj istasyonu sayısını belirlemiştir. Sonrasında ise akıllı şarj yönetimi sistemini analiz etmiş ve çözüm önerileri sunmuştur. Bu sistem elektrik şebekesi ve kullanıcıların ihtiyaçlarına göre çok amaçlı çok kriterli optimizasyon yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir. Çalışmada elektrikli araçların en uygun şarj noktalarına yönlendirilmesi, enerji verimliliğinin sağlanması ve şebekenin aşırı yüklenmesinin önlenmesi için akıllı şarj yönetimi modellenmiştir. Yapılan simülasyon çalışmaları, tezde önerilen kapsamlı yapı ile gerçek veriler kullanılarak yapılmış ve farklı senaryolarla karşılaştırılmıştır.

Aydın vd. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada ise EA kullanımının yaygınlaşmasıyla ortaya çıkan şarj istasyonlarına kolay erişim problemine çözüm olarak şehirlerdeki açık veya kapalı otoparkların etkin bir şekilde şarj istasyonu olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu çalışmada otoparkların nasıl kullanılacağı tasarım aşamaları ile belirlenmiş ayrıca bu durumun otoparkların kapasitesini nasıl etkileyeceği de incelenmiştir.

Çakmak vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada EA'ların yaygınlaşmasıyla birlikte şehirlerdeki açık veya kapalı otoparklara kurulacak olan şarj istasyonlarının elektrik şebekesine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada elektrikli araç teknolojilerinin yanı sıra trafik ve ulaşım parametreleri de dikkate alınarak bu şarj istasyonlarının yerleştirilmesi için öneriler sunulmuştur. Bütüncül bir yaklaşımla yapılan bu çalışma EA'ların yaygınlaşması ve şehirlerdeki ulaşımın elektrikli araçlarla sağlanması konusunda önemli bir araştırma olmuştur.

Güneri'nin (2018) yaptığı çalışmada, EA otoparkının dağıtım sistemi güvenilirliğine etkilerinin belirlenmesi için üç temel model geliştirilmiştir. İlk modelde EA otoparkının olasılıksal depolama kapasitesi oluşturulmuş ve oluşturulan bu modelin en önemli parametrelerinden birini de araçların otoparka geliş/gidiş örüntüsü teşkil etmiştir. Monte-Carlo benzetimi ile gün içi saat için EA otoparkının ortalama olasılıksal depolama kapasite değeri hesaplanmıştır. İkinci modelde ise otoparkta EA'ların ihtiyaç duyduğu güç hesaplanmıştır. Üçüncü ve son modelde de elektrik dağıtım şirketi tarafından sağlanan veriler kullanılarak fider elemanlarının güvenilirlik parametreleri belirlenmiştir. Bu modellerin birleştirilmesi ile dört farklı senaryo için dağıtım sistemi güvenilirlik ölçütleri hesaplanmış ve EA otoparkının sistem güvenilirliği ölçütlerinde %42'ye kadar iyileşme sağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca şebekeden araca (G2V) ve şebekeden araca (V2G) enerji akışlarından elde edilen ekonomik faydalar da hesaplanmıştır.

Çiftçi (2019) tamamladığı tez çalışmasında 200 araç kapasiteli bir EA şarj istasyonu ve otopark tasarımı yaparak, bu istasyonun talep ettiği gücü en iyi şekilde yönetmeyi amaçlamıştır. Çalışmada şarj istasyonunda bulunan 200 aracın farklı şarj senaryolarındaki maliyetlerini incelemiş ve bu maliyetleri en aza indirmek için sezgisel bir algoritma olan genetik algoritma kullanmıştır. Algoritma kullanımının amacı ise dağıtım sistem şebekesindeki yükü en aza indirecek akıllı bir şarj/deşarj kontrolü sağlamaktır. Bunun için enerjinin anlık fiyatlandırılması kullanılmış ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

İçer (2019), enerji yönetim tabanlı bir akıllı otopark tasarımı gerçekleştirmiştir. Bu tasarımda kontrollü şarj istasyonları içeren merkezileştirilmiş akıllı otoparklar geliştirilmesi hedeflemiştir. Otopark içerisinde şebeke, araç bataryaları, güneş enerjisi sistemi ve ilave batarya grubu olmak üzere dört adet enerji kaynağı bulunmaktadır. PLC tabanlı dinamik bir enerji yönetimi algoritması geliştiren ve bu algoritma şebeke güç talep yoğunluğunu dikkate alarak enerji kaynaklarının etkin kullanımını amaçlayan İçer (2019) şebeke üzerinde aşırı güç talebi oluşan zaman diliminde gereken gücü de farklı

kaynaklardan sağlamıştır. Ayrıca kullanıcı dostu mobil tabanlı bir ara yüz tasarlanmış, bu ara yüz ile de araç kullanıcılarının kendilerine yakın ve müsait olan otoparkları görüntüleyerek rezervasyon işlemlerini kolayca gerçekleştirebileceği bir uygulama tasarlamıştır.

Şengör (2019) doktora tezinde elektrikli araçların şarj işlemlerini düzenleyen yeni bir enerji yönetim stratejisi geliştirmiştir. Bu stratejiyi elektrikli araç park bölgelerinin şebekede olumsuz etkilerini azaltmak için tasarlamıştır. Model gün öncesi planlama ve gerçek zamanlı planlama temelinde test edilmiştir. Ayrıca EA sahiplerinin konforunu dikkate alacak şekilde yeni bir optimal teklif verme stratejisi geliştirmiş ve bu strateji ile EA'ların enerji piyasasında rol almasına olanak sağlamayı hedeflemiştir.

Karasu, Asnaz ve Özdemir (2021) EA'lara yönelik şarj istasyonu altyapısı planlaması üzerine odaklanmış ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü uygulama modelini seçmişlerdir. Çalışmada araç giriş-çıkış verileri toplanmış ve sürücülerin kullanım alışkanlıklarına yönelik anket yapılmıştır. Anket sonuçları değerlendirilerek kampüse yerleştirilecek optimum sayıda şarj istasyonu da kuyruk teorisi ile belirlenmiştir. Kampüs içerisindeki otoparklar şarj istasyonlarının yerleştirileceği alanlar olarak belirlenmiş ve çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak otoparklara şarj istasyonları dağıtılmıştır. Otopark doluluk oranları, otopark kapasiteleri ve trafo merkezine uzaklık gibi kriterler belirlenerek Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (FAHP) yöntemi kullanılmış ve bu sayede kriterler öncelik sırasına konulmuştur. Alternatif konumların performansı ise diğer çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bayram vd.'nin (2021) yaptıkları çalışmada EA'ların yaygınlaşmasıyla birlikte şarj altyapısı planlamasının önemi vurgulanmıştır. Çalışmanın amacı EA şarj istasyonlarının kapasitesiyle ilgili bir matematiksel formül bulmaktır. İki tip şarj istasyonu ele alınarak işyerlerindeki şarj üniteleri için optimum hizmet kapasitesi hesaplanmıştır. Ayrıca birden farklı tip şarj ünitesi bulunan durumlar için de ortalama müşteri yükü hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda optimum kapasite planlamasının bekleme sürelerini ve kuyruk uzunluğunu önemli ölçüde azalttığı görülmüştür.

Bu tez çalışmasında da kullanılan kuyruk teoremi bekleme hattı modelleri kullanılarak literatürde birbirinden farklı alanlarda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Çelikkıran (2019) tamamladığı tezinde kumaş üreten bir tekstil fabrikasının dokuma işletmesinde makine duruşlarının ve tahsis edilen çalışan sayısının optimum sayıda belirlenmesini amaçlamıştır. Çalışma için en çok üretilen üç ürün üzerinde

durulmuş ve bu ürünlerin çalıştığı tezgâh grupları ile ilgili veriler toplanmıştır. Toplanan veriler ile maliyetler de göz önünde bulundurularak kuyruk teoremi yaklaşımına göre optimum makine sayısı ve çalışan sayısı belirlenmiştir.

Karaca (2021) çalışmasında İstanbul Boğazı'nda oluşan gemi trafiğindeki bekleme ve kuyruk oluşumunun nedenlerini ve bu yoğunluğun azaltılması için yapılması gerekenleri incelemiştir. Bu sorunun çözümü için kuyruk teorisi temelli matematiksel modelleme kullanarak durum analizi yapmıştır. Çalışma sonucunda boğaz geçişlerinde trafik olmaması için farklı önerilerde bulunmuştur.

Demirhan (2021) tezinde Türk havacılığının gelişimi için inşa edilen İstanbul Havalimanını hava trafiği açısından incelemiştir. Mevcut uçak trafiği dikkate alınarak pist başı gecikmeleri kuyruk modeli yöntemiyle analiz edilmiştir. 24 saatlik zaman dilimleri boyunca ortalama uçak trafiği tespit edilmiş ve tüm pist konfigürasyonları için pist başı bekleme süreleri ayrı ayrı analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda olası gecikmelerin önceden öngörülmesi ve çözümleyici adımların atılması hedeflemiştir.

Güneş ise (2021) yaptığı çalışmada kuyruk teorisi üzerine odaklanmış ve sahadan elde ettiği verileri kullanarak araçların geliş, gidiş ve akış karakteristiklerine göre kuyruk modelleri oluşturmuştur. Bu modelleri kullanarak sinyalizasyon bir kavşaktaki bağlı kolların kuyruk uzunlukları, sistemde geçirilen zaman, araç başı servis süreleri, ortalama bekleme süreleri gibi ölçütleri hesaplamıştır. Elde edilen sonuçları kullanarak kavşak kollarının sırasını ve bu kolların yoğunluğa göre boşaltılmasını sağlayan bir model önermiştir. Ayrıca trafik akımlarının tahmini için derin öğrenme metotlarını da kullanarak zaman serileri ile tahminler yapmış ve iyileştirmeler önermiştir. Önerilen model ve iyileştirmeleri VISSIM simülasyon aracı ile gerçekleyerek sonuçları incelemiştir.

1.2. Tezin Amacı ve Özgünlüğü

Bu çalışmanın amacı EA'ların artmasıyla ihtiyaç haline gelecek olan şarj istasyonlarının altyapısını planlanmasıdır. Bu doğrultuda optimum kurulum ve bekleme maliyetlerine göre şarj istasyonu sayısı ve tipini belirlenmiştir. Ayrıca, eğri uydurma tekniği kullanılarak daha kolay hesaplamalar yapılabilmesi için maliyet fonksiyonları tanımlanmıştır.

Yapılan literatür taramasında otoparklara kurulacak şarj istasyonu altyapısında bekleme hattı modeli kullanılarak istasyon profili oluşturma çalışmaları mevcut duruma göre yeterli değildir. Gümüşhane'de şarj istasyonu altyapısına dair bir çalışma da bulunmamaktadır. Gerçek otopark kullanım verileri ile kurgulanan

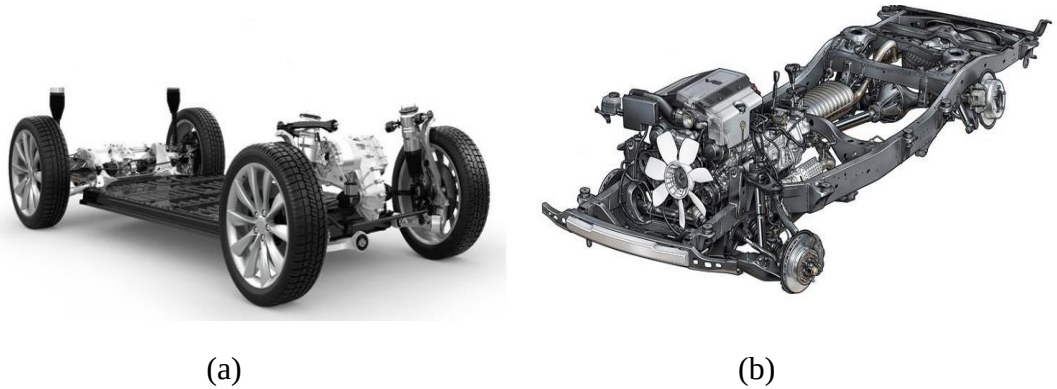
senaryolar 1 ş 1 ğ ı nda Gümüşhane ilindeki otoparka kurulacak olan ş arj istasyonu altyapı sı na dönük veriler sunulmuştur. Gümüşhane ili için elde edilen bu verilerin diğer illerdeki otoparklar için referans teşkil etmesi hedeflenmiştir.

Bu tezin özgünlüğü; Gümüşhane ili merkez ilçesinde bulunan ve en sık kullanılan kapalı otoparkına EA ş arj istasyonu kurulumuna ilişkin gerçek otopark kullanım verileri kullanılarak kapasitenin incelenmesi ve gerekli olan ş arj istasyonu sayısının ve tipinin belirlenmesidir. Literatürde bulunan benzer çalışmalarda ş arj süresi anket verileriyle elde edilen parklanma süresi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada ise oluşturulan senaryolarda kullanılan ş arj üniteleri ve elektrikli araçların kataloglarında yer alan verilerinden ş arj süreleri elde edilmiştir. Ş arj istasyonu sayısının ve maliyetinin optimum değerleri bulunmaya çalışılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda genellikle örnek test sistemleri kullanılmış ve çoğu kez daha büyük otopark kapasitesinden hareketle analizler yapılmıştır. Bunun sonucunda da abartılı ve yüksek maliyetli kurulumlar tasarlanmıştır. Bu çalışmada ise 1 yıllık gerçek kullanım verileri ve elektrikli araçların kataloglarında yer alan ş arj süreleri kullanılarak gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE ŞARJ İSTASYONLARI

2.1. Elektrikli Araçlar

Tarihi 19. yüzyılın başlarına dayanan elektrikli araçların (EA) keşfi Thomas Davenport tarafından 1834 yılında gerçekleştirilmiştir. İlk EA modeli ise Profesör Stratingh tarafından 1835 yılında Hollanda’da geliştirilmiştir (Doğan, 2021). 1859 yılında şarj edilebilen bataryaları icat ederek elektrikli araçların tarihsel gelişimine büyük bir katkıda bulunan isimlerden biri de Gaston Plante’dir. Bu gelişim elektrikli araçların en büyük problemlerinden birini kısmen de olsa çözüm olmuştur (Sulzberger, 2004). Elektrikli araçlar üzerine yapılan çalışmalar yirminci yüzyılın başına kadar hızlı bir şekilde devam etmiştir. Fakat 19. yüzyılın sonunda içten yanmalı motorlu araçlar üzerine çalışmalar başlamış ve içten yanmalı motorlu (İYM) araçlar yaygınlaşmıştır. Bununla birlikte 1930’lu yıllarda elektrikli araçlara olan ilgi giderek azalmıştır. Her ne kadar 20. yüzyılın son çeyreğinde meydana gelen petrol krizi nedeniyle farklı kaynak arayışları hız kazansa da etkisi çok fazla sürmemiştir. Fakat 20. yüzyılın son 10 yılında çevresel kaygılar, petrol fiyatlarındaki artış ve elektrik fiyatlarının ucuz olmasından dolayı elektrikli araçlar konusu yeniden gündeme gelmiştir (Kaya,2019). Şekil 3’te elektrikli araç ve fosil yakıtlı araçların iç yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3. Bir elektrikli aracın (a) ve bir fosil yakıtlı aracın (b) iç yapısı (Özdentürk, 2021).

Karbon salımlarını azaltmak için atılması gereken önemli adımlardan biri, fosil yakıtlarla çalışan içten yanmalı motorlara sahip araçlardan vazgeçip, doğayı kirletmeyen ve daha verimli motorlara sahip araçların kullanımının arttırılmasıdır. Elektrikli araç

teknolojisi, sera gazı salımı yapmayan, temiz ve içten yanmalı motorlara göre çok daha verimli olan elektrik motorlarının kullanılmasıyla dünya genelinde hızla gelişmektedir (Çakmak ve Turan, 2022). Ayrıca, elektrikli araçlar şehir içi kullanımda daha verimlidirler ve uzun vadede daha az bakım maliyeti gerektirirler. Bunun yanı sıra batarya teknolojisi de geliştikçe çok kısa sürelerde şarj olabilen ve daha uzun menzile sahip elektrikli araçlar ortaya çıkmaya başlamıştır.

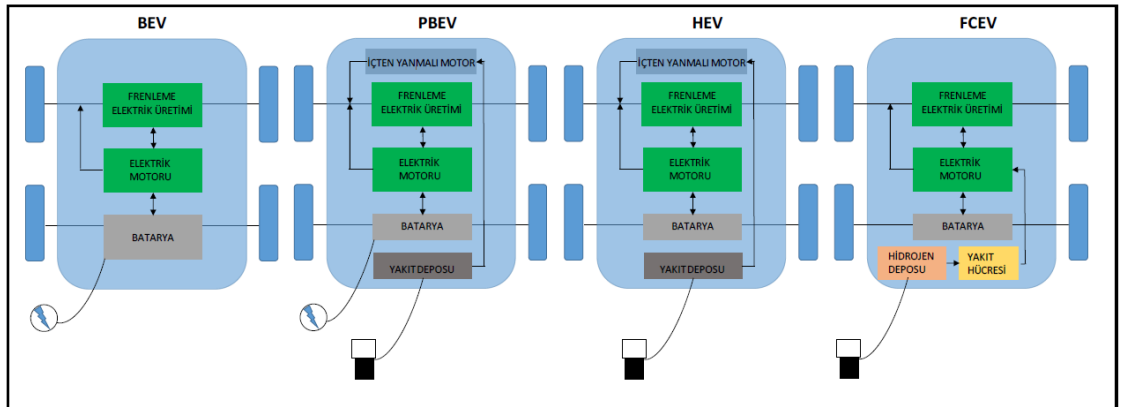
Yapay zekâ gibi teknolojiler, elektrikli araçlarla birleşerek daha güvenli ve daha akıllı araçların piyasada yerlerini almasına katkı sağlamıştır. Bu gelişmelerden dolayı son yıllarda dünya çapında elektrikli araçlara olan ilgi giderek artmış ve birçok ülke elektrikli araçlara geçiş için yeni teşvikler ve düzenlemeleri hayata geçirmeye başlamıştır (Köksal vd., 2021).

2.1.1. Elektrikli Araç Türleri

Elektrikli araçlar, güçlerinin tamamını veya bir kısmını şebekeden ya da yakıt hücrelerinden sağlanan elektrik enerjisini elektrik motorları aracılığıyla hareket enerjisine çeviren araçlar olarak tanımlanabilir. Elektrikli araçlar kendi içinde dört ana grupta incelenebilir:

- Bataryalı elektrikli araç (Battery Electric Vehicle (BEV))
- Hibrit elektrikli araç (Hybrid Electric Vehicle (HEV))
- Şarj edilebilir hibrit araç (Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV))
- Yakıt hücresi elektrikli araç (Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV))

Şekil 4'te elektrikli araç tipleri gösterilmiştir.



Şekil 4. Elektrikli araç tipleri (Gaton, 2018).

Bataryalı elektrikli araçlar (BEV) fiş-priz tertibatı ve şarj istasyonu vasıtasıyla şebekeden aldıkları elektrik enerjisini bataryalarında depolayan araçlardır. EA'nın bu tipinde bataryalarda depolanan elektrik enerjisi en az bir elektrik motoru vasıtasıyla tekerleklerle aktararak hareket sağlanır. BEV'de sadece elektrik motorları bulunur ve İYM bulunmamaktadır, bundan dolayı da emisyon salımı olmamaktadır. BEV'ler daha sesiz çalışmakta olup rejeneratif frenleme özelliği sayesinde daha uzun fren ömrü sunmaktadır. Fakat sınırlı batarya kapasitelerinden dolayı kısıtlı menzile sahiptirler.

Hibrit elektrikli araçlar (HEV), hem içten yanmalı bir motorun hem de bir elektrik motorunun kullanılarak çalıştırıldığı araçlardır. HEV'lerde bataryanın şebekeye bağlantısı yoktur. Elektrik motoru frenleme sırasında kinetik enerjiyi geri kazanarak ya da generatör yapısıyla elektrik motorunun İYM tarafından döndürülmesiyle bataryayı şarj etmektedir. Şarj olan batarya grubu ihtiyaç durumunda elektrik motorunu besleyerek İYM'ye destek sağlamaktadır. Bu durum daha verimli bir yaklaşım oluşturmakla beraber, geleneksel benzinli veya dizel araçlara kıyasla daha düşük yakıt tüketimi ve daha az emisyon salımı sağlarlar. Hibrit elektrikli araçlar, tamamen elektrikli araçların sınırlı menzil problemlerine çözüm olarak görülmektedir.

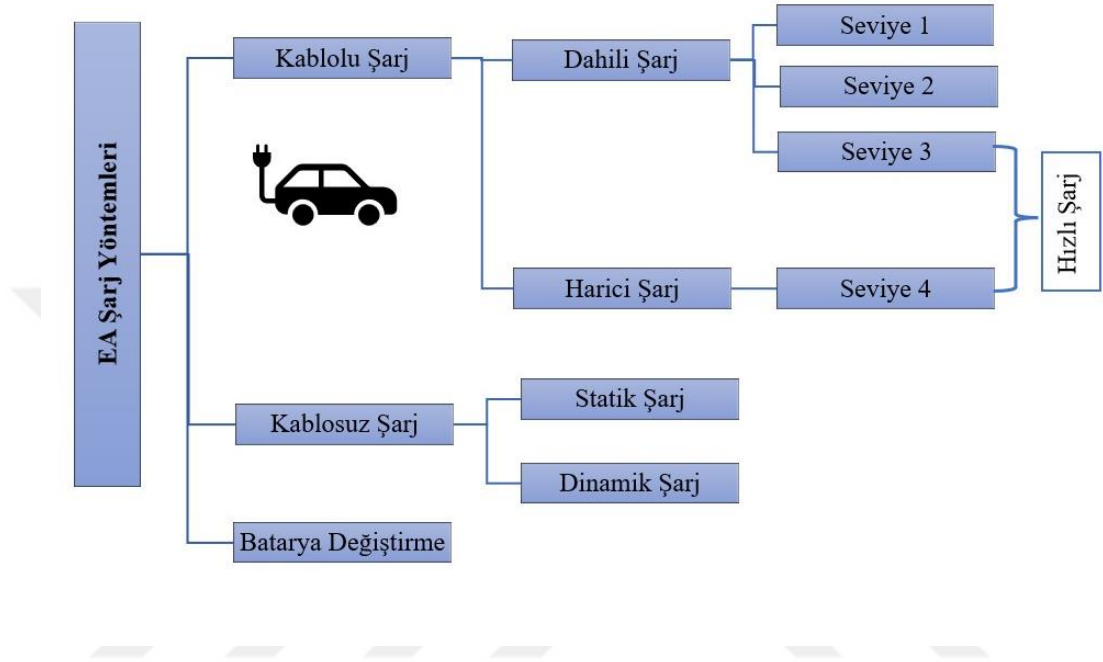
Şarj edilebilir hibrit araç (PHEV) ise adından da anlaşılacağı üzere dışardan fiş ile bağlantı yapılarak şarj olabilen ya da aşırı motor gücünden şarj olabilen hibrit yapıda bir araçtır. HEV gibi hem içten yanmalı hem de elektrikli bir motora sahiptir. Fakat HEV'lerin tam tersi, araç hareket halinde genellikle elektrik motorunu kullanmaya yönelik tasarlanmıştır. Batarya şarj durumuna bağlı olarak ya da yüksek performans istendiği durumlarda içten yanmalı motor devreye girmektedir. Elektrik enerjisi tüketimini azaltarak sürüş aralığını uzatmak için bir İYM tarafından desteklenmektedir. PHEV'lar, BEV'lerden daha fazla emisyon salımı yapmalarına rağmen, PHEV'lerin sera gazı emisyonları İYM araçlara kıyasla daha azdır.

Son olarak yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV) da direkt yakıt pilinden enerji dönüşümü sağlayarak çalışmakta ve enerji kaynağı olarak hidrojen kullanılmaktadır. FCEV'ler egzoz salımı olarak sadece su buharı salmakta ve en çevreci otomobil teknolojisi olarak gösterilmektedir (Yılmaz vd., 2017).

2.2. Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri

Elektrikli araçların hareket edebilmeleri için bataryalarının elektrik enerjisiyle dolu olması gerekmektedir. Elektrikli araçlar her ne kadar rejeneratif frenleme sistemini kullanıyor olsalar da bataryalarını tam şarj edememektedirler (Erdem vd., 2018). Bu

sebeple, EA'lar bataryalarını ihtiyaç duydukları seviyelerde şarj etmek için harici dış kaynaktan elektrik enerjisine ihtiyacı duyarlar. İhtiyaç duyulan bu şarj evde, işyerlerinde ve kamuya açık yerlerde yapılabilir. Elektrikli araçlar için günümüz teknolojisinde üç türlü şarj etme yöntemi bulunmaktadır. Kablolu şarj, kablosuz şarj ve batarya değiştirme yöntemleridir. Şekil 5'te elektrikli araçlara ait şarj yöntemleri gösterilmiştir.

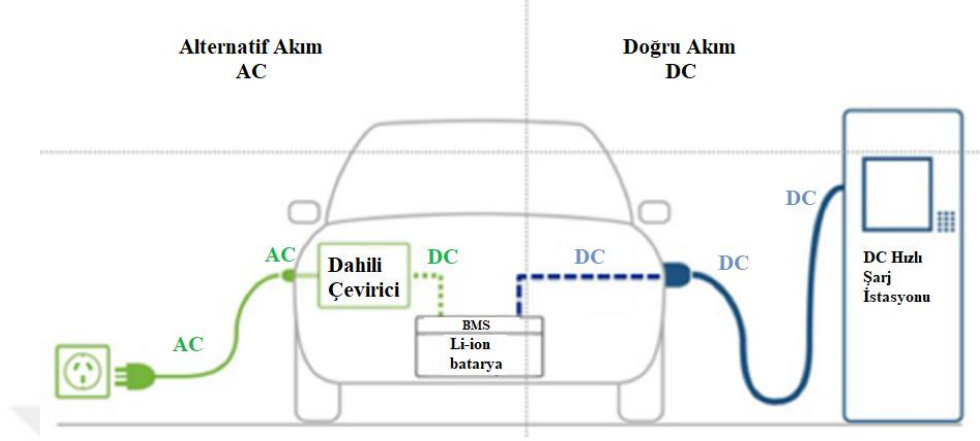


Şekil 5. Elektrikli araç şarj yöntemleri (Kerem ve Gürbak, 2020 kaynağından uyarlanmıştır).

2.2.1. Kablolu Şarj

Elektrikli araçlarda kablolu şarj etme yöntemi, aracın bataryasının şarj edilmesi için elektrik enerjisinin bir kablo aracılığıyla doğrudan bataryanın içine aktarılmasıdır. Bu işlem genellikle bir şarj istasyonunda veya evdeki bir şarj ünitesinde yapılır. Kullanılan bu metot dâhili şarj (on-board) ve harici şarj (off-board) olmak üzere iki çeşittir. Dâhili şarj yönteminde doğrultma devresi araç üzerinde yer alır ve AC-DC dönüşümü araç üzerinde bulunan on board çeviricide gerçekleşir. Harici şarj yönteminde ise AC-DC dönüşüm şarj istasyonunda gerçekleşerek araca aktarılmaktadır (Özdentürk, 2021). Dâhili şarj yönteminde transfer edilen enerji on-board çeviricinin gücüne bağlıdır ve soğutma problemleri yüzünden düşük güçlerde enerji transferi sağlanır. Soğutucuların büyük olması araçta ek yüklerle neden olup, aracın performansına etki edeceğinden ağırlıkları sınırlandırılmaktadır. Bu durum da şarj süresinin uzun olmasına neden olmaktadır. Harici şarjda ise dönüştürücü ve soğutucu

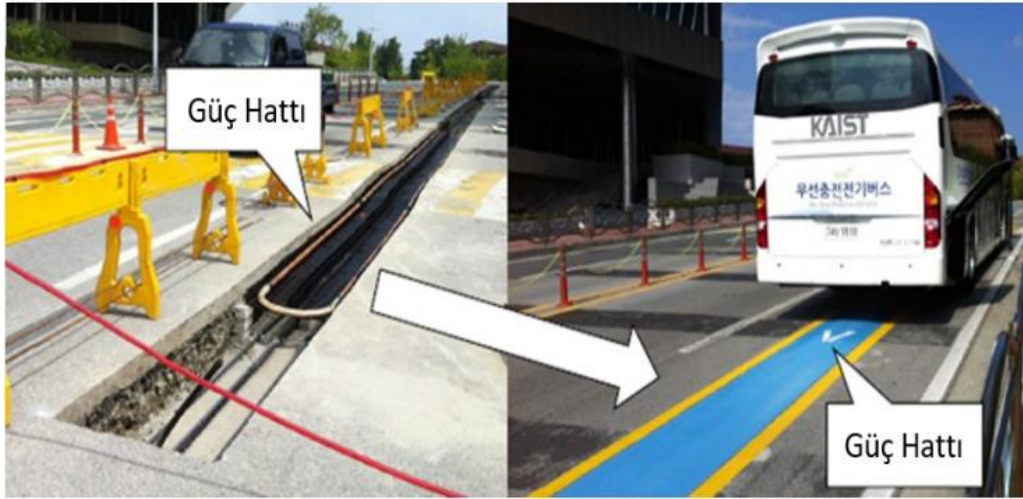
sistemler şarj istasyonu üzerinde bulunduğundan güç aktarımı daha fazladır. Buna bağlı olarak da şarj süreleri dâhili şarjlara göre daha kısadır. Şekil 6’da harici ve dahili şarj yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 6. Dahili ve harici şarj yöntemleri (URL-1, 2023 kaynağından uyarlanmıştır).

2.2.2. Kablosuz Şarj

Kablosuz şarj yöntemi, araç bataryasını şarj etmek için bir kablo kullanmadan, manyetik alan kullanılarak enerji aktarımı sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem şarj istasyonlarına fiziksel bir bağlantıya gerek duymadan bataryanın şarj edilmesini sağlar. Kablosuz şarjda gücü aktarmak için ana topraklama bobini (verici) ve ikincil bobin arasındaki hava boşluğunda değişken manyetik alan kullanılarak şarj aktarımı sağlanmaktadır. Şebeke frekansı yüksek frekanslara çevrilerek alıcıya gönderilmektedir. Fakat bu teknoloji günümüz teknolojisi için ticarileştirilemeyecek kadar pahalı ve verimsizdir. Böyle olmasına rağmen yakın geleceğin teknolojisi olarak görülen otonom araçlar için daha kullanışlı bir yöntem olarak da görülmektedir. Hareket halinde şarja imkân sağlaması da avantajlarından biri olarak görülebilir. Şekil 7’de 2012 yılında Kore İleri Bilim ve Teknoloji Enstitüsü kampüsünde kullanılmaya başlanan OLEV isimli kampüs içi otobüs ve yola gömülü kablosuz şarj vericisi gösterilmektedir.



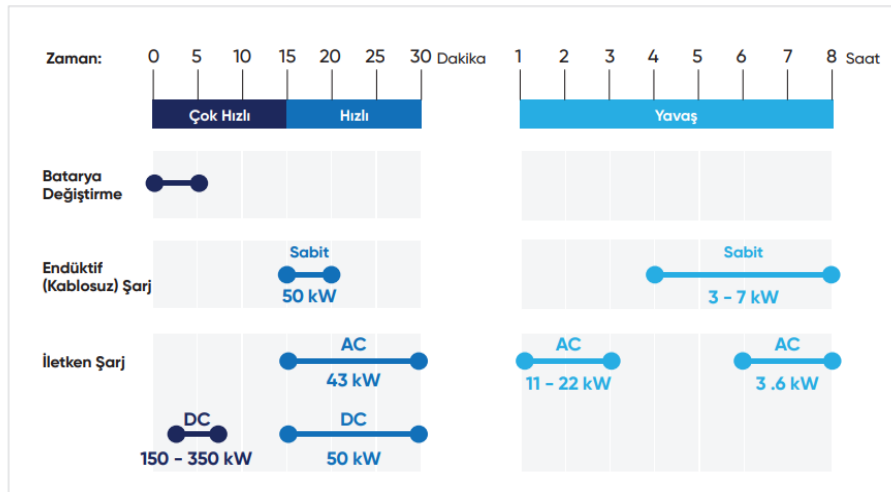
Şekil 7. OLEV isimli otobüsün gittiği yol ve yola gömülü kablosuz şarj vericisi (Jang vd., 2016).

2.2.3. Batarya Değişimi

Batarya değiştirme yöntemi ise araç bataryasının enerjisinin azalması durumunda bataryanın araçtan çıkarılıp yeni bir batarya ile değiştirilmesi yöntemidir. Batarya değiştirme işlemi genellikle bir batarya değiştirme istasyonunda gerçekleştirilmektedir. Bu istasyonlarda araç altından bataryalar çıkarılır ve yeni bir batarya grubu araca takılır. Batarya değiştirme işlemi birkaç dakika sürmektedir. Bu yöntemin sağladığı faydalar arasında; batarya değiştirme işleminin hızlı ve pratik olması ve aracın şarj edilmesine gerek kalmamasıdır. Ancak batarya değiştirme yöntemi aynı zamanda bazı dezavantajlar da taşımaktadır. Batarya değiştirme sistemlerinin yatırım maliyetlerinin fazla olmasından dolayı batarya değişim istasyonları sınırlı sayıda kalmaktadır. Ayrıca farklı araç modelleri için farklı bataryalar kullanıldığından istasyonlarda bulunan bataryaların araçlarla uyumlu olması gerekmektedir. Bu sorunun çözümü için araç üreticilerin ortak bir karar alarak her araç için uyumlu bir batarya üretmeleri gerekecektir. Şekil 8’de batarya değişim istasyonu gösterilmektedir. Şekil 9’da ise elektrikli araç şarj yöntemleri ve süreleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 8. Batarya değişim işlemi (URL-2, 2023).



Şekil 9. EA şarj yöntemleri ve sürelerine genel bakış (Güray ve Merdan, 2021).

2.3. EA Şarj İstasyonları Tipleri

Şarj üniteleri aracın ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin aktarımını güvenli olarak gerçekleştiren bir altyapı ekipmanıdır. Elektrikli araç bataryaları alternatif akım ya da doğru akım ile şarj olabilmektedir. Günümüzde bu akımları kullanan birçok şarj istasyonları kurulmuştur. Genel olarak şarj istasyon tipleri ikiye ayrılır. Bunlar AC ve DC şarj istasyonlarıdır.

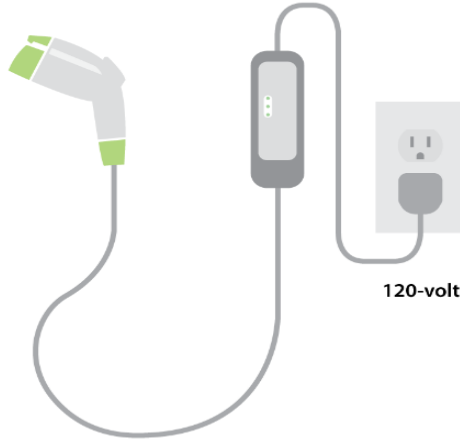
EA kullanıcıları şarj ihtiyaçlarını genellikle evlerde ve iş yerlerinde karşılamaktadır. Elektrikli araçlar şehir içi kullanımının dışında günümüzde uzun

menziller için de tercih edilebilir hâle gelmiştir. Bu durum elektrikli araçların kullanımını arttırmakla birlikte EA kullanıcılarının da araçlarının daha kısa sürelerde şarj olma taleplerini doğurmuştur. Bu durumda da kullanıcılar belirli bir aşamada kamuya açık alanlarda şarj istasyonlarına erişim talep etmelerine neden olacaktır. Asıl amacı araba park bölgesi olan ve kısa süreli beklemenin bir problem yaratmayacağı otoparklar aynı zamanda kamuya açık alan olarak da şarj istasyonları için ideal kullanım alanları oluşturmaktadır. EA'lar çok farklı yerlerde farklı parklanma karakteristikleri gösterirler; bu yüzden de araçların ortalama park etme alışkanlıkları bilinerek hangi şarj seviyesinin ihtiyacı karşılayacağı konusunda ön fikir sahibi olunabilir (Yağcıtekin,2014).

Şarj dolum tipleri yavaş (Seviye 1), normal (Seviye 2) ve hızlı (Seviye 3 ve Seviye 4) olarak üç başlık altında incelenir. Elektrikli araçlar genellikle uzun süre park edildikleri ev gibi yerlerde yavaş şarj dolumu yöntemini kullanarak şarj edilirler. Normal hızlı şarj dolumu ise ortalama park süresinin 3-6 saat olduğu yerlerde, örneğin alışveriş merkezleri gibi yerlerde kullanılırken hızlı şarj dolumu ise trafiğin yoğun olduğu yerlerde ve şehirlerarası yollarda acil şarj ihtiyacını karşılamak için tercih edilir (Dericioglu vd ., 2018).

2.3.1. Seviye 1 Şarj İstasyonları

Seviye 1 şarj cihazları araç satın alındığında birlikte verilen istasyonsuz standart şarj cihazlarıdır. Bu şarj cihazları, düşük güç kapasitesine sahip oldukları için yavaş şarj cihazları olarak adlandırılırlar. Genellikle 120 V gerilim ve 12-16 A nominal tek fazlı AC veya 230-450 V, 16 A ve 4-7 kW değerlerinde çalışırlar (Doğan, 2021). Seviye 1 şarj cihazları kablo kesiti ve termal kısıtlamalar nedeniyle şarj akımını sınırlı bir derecede destekler. Bu durum da uzun şarj sürelerine neden olmaktadır (Falvo vd., 2014). Şekil 10'da Seviye 1 şarj istasyonu gösterilmiştir.



Şekil 10. Seviye 1 şarj cihazı (URL-3, 2023).

Yavaş şarj cihazları genellikle araçların konut veya iş yerlerinde uzun süre park edildiği durumlarda kullanılır. Bataryanın enerji kapasitesine göre şarj süresi genellikle 8 ila 10 saat arasında değişmektedir. Bu yerlerde araçların uzun süre park edildiği göz önüne alındığında, şarj süresinin uzun olması bir sorun teşkil etmez ve elektrik şebekesine aşırı yüklenme sorunu yaratmaz (Çiftçi, 2019).

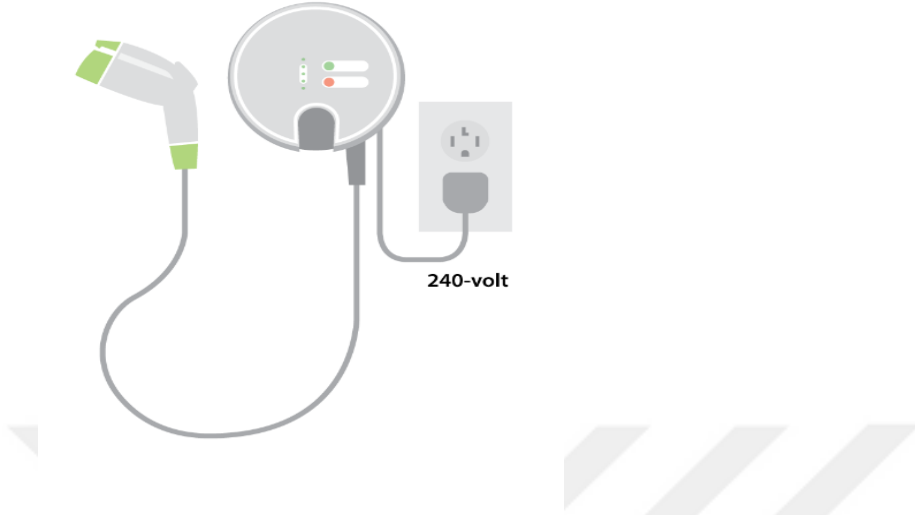
2.3.2. Seviye 2 Şarj İstasyonları

Seviye 2 şarj birimleri, istasyon tipi şarj ekipmanları olarak adlandırılır ve araçların daha hızlı şarj edilmesi için özel olarak tasarlanmıştır. Tek fazlı konnektörler, 240 V, 80 A ve yaklaşık 19,2 kW güç sağlayabilen özelliktedirler. SAE, Tesla ve IEC standartlarına uygun olarak tasarlanan Seviye 2 şarj cihazları 400 V, 63 A ve 22 kW güç kapasitesine sahiptir (Doğan, 2021).

Bu şarj birimleri yüksek güç aktarım kapasitelerine sahip olduklarından hızlı şarj yapabilme özelliğine sahiptirler. Hızlı şarj birimleri son yıllarda giderek yaygınlaşmıştır ve elektrikli araçların daha pratik ve kullanışlı hale gelmesine katkı sağlamaktadır (Özcan, 2019).

Seviye 2 araç şarj istasyonları Seviye 1 şarj istasyonlarına göre daha yüksek bir fiyat etiketine sahiptir. Ancak daha yüksek bir güç aktarım kapasitesine sahip oldukları için daha hızlı şarj olma özelliği sunarlar. Bu sayede elektrikli araç sürücüleri araçlarını daha kısa sürede daha fazla şarj edebilirler. Bu şarj istasyonu tipi genellikle halka açık yerlerde kullanım için tasarlanmıştır. Örneğin havaalanları, üniversite kampüsleri,

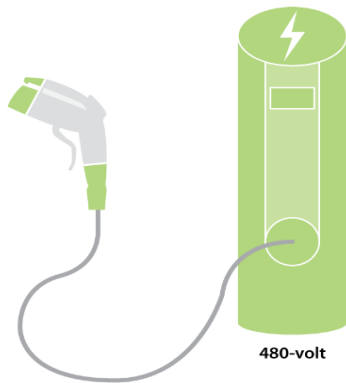
alışveriş merkezleri ve benzin istasyonları gibi yerlerde kurulabilirler. Şekil 11’de Seviye 2 şarj istasyonu gösterilmiştir.



Şekil 11. Seviye 2 şarj cihazı (URL-3, 2023).

2.3.3. Seviye 3 Şarj İstasyonları

Hızlı şarj olarak da bilinen 3. Seviye AC istasyonlarında SAE standartları ve Tesla süper şarjı gibi standart bağlantılar kullanılır. Elektrikli araçların batarya şarjı için üç fazlı 480 V seviyesinde 100 A’dan fazla ve 48 kW’tan fazla gücü destekleyen konnektörler kullanılır. Bu sınıf EA batarya takımını 30 dk ve 1 saat içinde tamamen şarj edilebilen hızlı şarj cihazlarını içermektedir. Çoğu EA kullanıcısı tarafından tercih edilen Seviye 3 şarj istasyonu AC gücü, hızlı ve rahat şarj sağlayan en yüksek güç seviyesidir (Doğan, 2021). Şekil 12’de Seviye 3 şarj istasyonu gösterilmiştir.

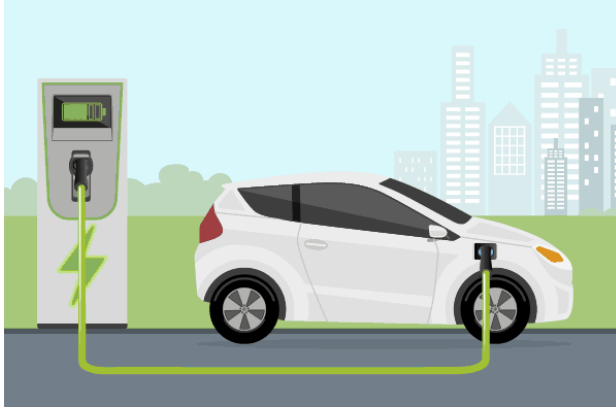


Şekil 12. Seviye 3 şarj cihazı (URL-3, 2023).

2.3.4. Seviye 4 Şarj İstasyonları

DC şarj sistemleri AC muadillerine göre daha çok dış istasyonlarda kullanılmak üzere modellenmekte ve üretilmektedir. DC hızlı şarj olarak da bilinen bu yöntemde EA'lar harici bir şarj cihazı ile güç şebekesine bağlanmaktadır. Bu yöntemde AC-DC dönüşüm araç dışındaki şarj cihazında gerçekleşir. Bu şarj istasyonları 48 kW'tan başlar ve on-board çevirici bypass edilerek doğrudan EA bataryasını şarj eder. Boyut ve ağırlık açısından off-board şarj cihazları kısıtlanmadığı için yüksek güçte şarj seviyelerine çıkabilmektedirler.

SAE J1772 Combo ve Japon CHAdeMO standardı tarafından yönetilen bu yöntemde bataryaya 400A ve 1000V DC'ye kadar gerilim sağlayabilmektedir. Bu sayede EA bataryasını 20-30 dk gibi kısa bir sürede şarj edebilmektedir. Her iki şarj da standart maksimum gücü 400kW (1000V DC'da 400A) olarak belirlemiştir (URL-4 ve URL-5, 2023). Şekil 13'te Seviye 4 şarj istasyonu gösterilmektedir.



Şekil 13. Seviye 4 şarj cihazı (URL-6, 2023).

3. KUYRUK TEOREMİ

Yöneylem araştırma ileri analitik teknikler kullanılarak karar verme sürecinde daha etkili ve verimli sonuçlara ulaşmak için kullanılan bir disiplindir. Gündelik yaşam akışında bekleme olayı her daim karşılaşılan bir durumdur. Banka gişelerinde işlem için bekleyen müşterilerden, marketlerde kasada ödeme için bekleyen insanlardan, hastanede hasta kuyrukları, trafikte araçların oluşturduğu kuyruklar bu durumun en bariz örneklerindendir. Bu kuyrukların oluşmasının nedeni ise hizmete olan talebin hizmeti veren biriminin kapasitesinden fazla olmasıdır.

Beklemenin söz konusu olduğu her işletmede hizmet talebinin belirsizliği iki farklı sonucu beraberinde getirmektedir. Birinci durumda, müşterinin tahammülü aşan bekleme sürelerince hizmet alamaması nedeniyle müşteri kaybı yaşanabileceken ikinci durumda ise hizmet sağlayıcı sayısının rastgele ya da tahminlere göre belirlenmesi ile hizmet birimlerinin boşa kalmasıdır. Bu nedenle varsa geçmiş verileri kullanarak müşteri talebini doğru tahmin etmek ve buna bağlı olarak hizmet maliyetlerini optimize etmek için stratejilerin geliştirilmeleri büyük önem taşımaktadır. Kuyruk modelleri, birbirini ters yönde etkileyen iki bekleme durumu arasında optimum bir bekleme süresi bulmak için kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu yöntemin amacı hizmet talebinin yoğunluğuna ve ilgili maliyet türlerine göre sıra bekleme süresiyle ilgili toplam maliyeti en aza indireyecek bir hizmet kapasitesinin belirlenmesidir. Bu sayede işletmeler en az maliyetle müşterilerini kaçırmadan optimum bekleme sürelerinde hizmet verebileceklerdir (Özkan, 2010).

Rastgele gerçekleşen olguların olasılık modelinde en geniş kullanım alanına sahip olan teorem kuyruk teoremidir. Bu çalışmada da şarj talebi ve farklı sürüş profillerinin olması sebebiyle kuyruk teoremi kullanılabilir. Kuyruk teoremi ile birçok gerçek-hayat kuyruk problemi matematiksel olarak modellenabilir (Cooper, 1981).

Şarj istasyonları da akaryakıt istasyonları gibi servis hizmeti veren yerlerdir. Aralarındaki fark şarj sürelerinin akaryakıt dolum süresine göre çok uzun olmasıdır. Bundan dolayı şarj istasyonlarında oluşacak sıranın en aza indirgenmesi için çalışmada kuyruk teoremi kullanılmıştır. Şarj talebi poisson dağılımına uymaktadır ve sürücü girişleri ise negatif üstel dağılıma sahiptir (Zhenpo vd., 2010).

3.1. Kuyruk Teoremi Bileşenleri

Bekleme hattı problemlerinin temel kavramları müşteriler, geliş özellikleri, kuyruk disiplini, servis disiplini, servis olanaklarının yapısı ve servis oranı olarak tanımlanabilmektedir (Koç Gülbaz, 2020).

Müşteri; geliş amacı ile alakalı hizmet almak için servis sistemine gelen kişiler, araç gereçler veya makinelerdir. Müşterilerin servis sistemine gelişleri belirli veya belirsiz olabilir.

Geliş özellikleri (λ); servis hizmeti almak için gelen müşterilerin birim zamandaki sayısıdır.

Kuyruk disiplini; kuyruktan seçilen müşterilerin sırasını gösterir ve modellerinin analizinde önemli bir faktördür.

Servis disiplini; kuyrukta bekleyen müşterilerin servise dâhil edilme sırası ve önceliğidir. Kuyruk sistemlerinde çok çeşitli servis disiplinleriyle karşılaşılabilir. En çok karşılaşılan servis disiplinleri FCFS, LIFO, SIRO, PRI, RR, PS ve IS'dır.

- FCFS–İlk gelen ilk servis alır (First Come First Served): İlk servis hizmetini ilk gelen alır. Müşterinin hangi amaçla geldiğine göre değil sisteme geliş sırasına göre öncelik verilmektedir.
- LIF–Son gelen ilk servisi alır (Last In First Out): Son gelenin ilk servisi almasına dayanan disiplindir. Sistemde yeni gelen müşteriler ilk sıradan işleme alınmaktadırlar. Eğer servis alan bir müşteri varsa yeni gelen müşterinin servisi tamamlanana kadar bekletilir.
- SIRO-Rastgele Sırayla Servis (Service In Random Order): Rassal sırada, rastgele hangi müşteri denk gelir ise ona hizmet verilmektedir.
- PRI-Öncelikli Servis Disiplini (Priority Queue Discipline): İki biçimde uygulanmaktadır. İlki eğer öncelikli bir müşteri sisteme gelir ise o anda hizmet almakta olan müşteri sistemden çıkartılıp yerine öncelikli olan müşteriye hizmet vermeye başlanmaktadır. Tam öncelikli servis olarak ifade edilmektedir. İkincisi ise hizmet alan kişinin hizmeti biter ardından kuyrukta bekleyen müşterilerden önce yeni gelen müşteri alınır ise tam öncelikli olmayan hizmet servisini ifade etmektedir.

- RR (Round Robin): RR disiplinde bir işin servisi, belirlenen bir zaman diliminde tamamlanamaz ise sıra FCFS disiplinine göre kuyrukta bekleyen bir diğer müşteriye geçmektedir.
- PS (Processor Sharing): İşler çok küçük dilimlere ayrılmaktadır. Tüm müşterilere eş zamanlı servis yapılmaktadır. Bu nedenle her işin servis süresi de artmaktadır.
- IS (Infinite Server): Sunucu sayısı talep miktarının çok üzerindedir. Bu nedenle hiçbir zaman bir kuyruk oluşmaz.

Kanal sayısı; müşterilere hizmet verilen noktaların sayısını ifade eder. Genellikle servis olanaklarının düzenlenmesinde hizmet yapısı tek kanallı ve çok kanallı şeklinde bir ayırım yapılmaktadır.

Servis oranı (μ); hizmet almak için sisteme gelen müşterilerin hizmet almaları için istenen servis süresini ifade eder.

3.2. Kuyruk Teorisinde Kullanılan Dağılımlar

Müşterilerin hizmet almak için kuyruğa girmesi bazen rastgele bir şekilde gerçekleşebileceği gibi, tahmin edilebilir durumlarda da olabilirler. Ancak müşterilerin gelişlerinin genellikle tesadüfi olduğu kabul edilir (Ullmann, 1976). Literatürde gelişler arasındaki süreyi açıklamada olasılık dağılımları kullanılmaktadır. En çok kullanılan olasılık dağılımları ise Poisson, Üstel ve Erlang dağılımlarıdır.

3.2.1. Poisson Dağılımı

Olasılık dağılımlarından biri olan Poisson dağılımı kesikli rassal değişkenler içerir ve belli bir sabit zaman içerisinde meydana gelme sayısının olasılığını ifade eder. Günlük hayatta sürekli karşılaştığımız kuyruk oluşumuna sebep olabilecek durumlarda ve hatta pek çok uygulamada kullanım alanı bulunmaktadır. Bir hastaneye belli bir saat aralığında gelen hasta sayısı, bir üretim fabrikasında arızalanan araç sayısı gibi örnekler verilebilir. Poisson dağılımında olaylar önceden tahmin edilemeyen rassal bir şekilde ortaya çıkar ve belirli bir sırayı takip etmezler. Bu dağılım rastgele bir şekilde dağılan olayların olasılıklarının hesaplanmasında kullanılır. Poisson dağılımının ortalaması ile standart sapması eşittir (Özkan, 2010).

Poisson dağılımında $x > 0$ olması durumu için olasılık yoğunluk fonksiyonu Eşitlik 1'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

(Eşitlik 1)

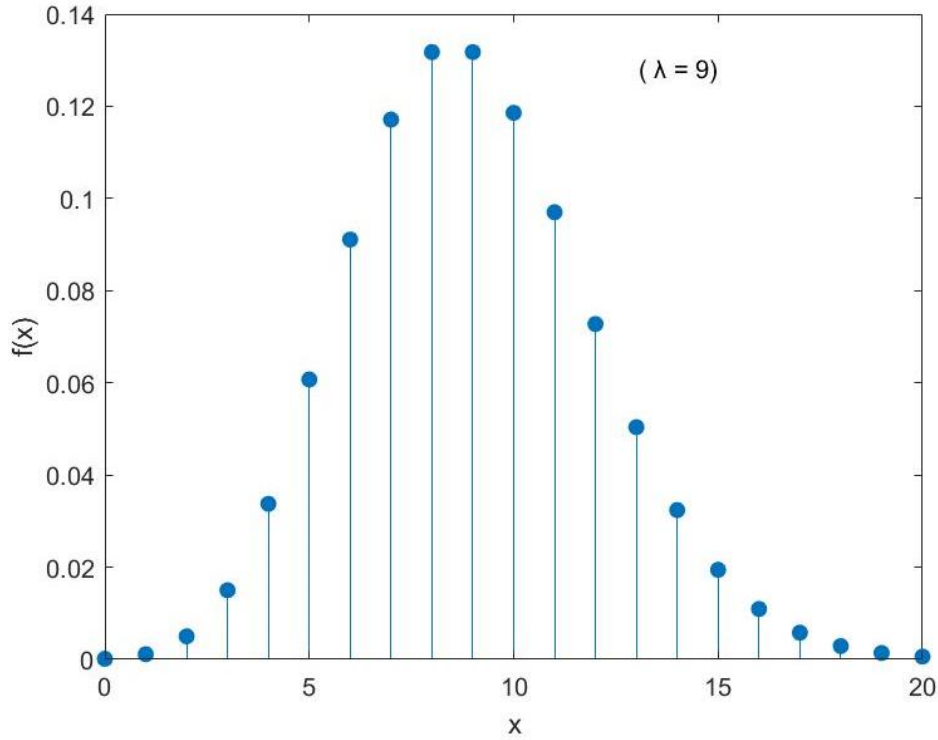
Bu eşitlikte:

λ : Birim zamanda servis görmek üzere gelen müşterilerin sayısı,

x : Olay sayısı (Ortaya çıkma olasılığına bakılan olay sayısı),

e : Logaritmik tabandır.

Şekil 14'te Poisson dağılımına ait grafik gösterilmektedir. Grafikte birim zamanda otoparka giriş yapan araç sayısının 9 olması durumu için farklı olay sayılarına göre yoğunluk fonksiyon değerleri hesaplanarak grafik elde edilmiştir.



Şekil 14. Poisson dağılım grafiği

3.2.2. Üstel Dağılım

Gelişlerin poisson dağılımına uyduğu süreçlerde varışlar arası süreler üstel dağılım ile açıklanır. Kuyruk modelleri oluşturulurken rassal olarak gelen müşterilerin aralarındaki geliş süreleri ve alınan her bir hizmet süresi amacıyla niceleyici olarak üstel dağılım ile açıklanmaktadır.

Üstel dağılımın bu kadar popüler ve faydalı olmasının nedeni olarak hafızasız olma özelliği gösterilebilir (Gamgam ve Yiğit, 2008). Tüm üstel zamanlar olasılıkla baştan başlar yani son varış veya hizmetin başlangıcı olayların üzerinden ne kadar zaman geçtiğinden bağımsızdır. Bu durum meydana gelen olayların birbirinden bağımsız olarak gerçekleştiği anlamına gelmektedir. Bu özelliğe sahip tek sürekli olasılık dağılımı üstel dağılımdır (Çelikkıran, 2019).

Dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu $x \geq 0$ olması durumu için Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmaktadır (Uyrun, 2012).

$$f(x) = \frac{1}{\mu} e^{-\frac{x}{\mu}} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Bu eşitlikte:

μ : Servis oranı,

e : Logaritmik tabandır.

3.2.3. Erlang Dağılımı

Erlang dağılımı Gamma dağılımı olarak da bilinir ve bir k (k=1, 2,...) parametresine bağlı olarak değişen bir karakteristiği modeller. Bu dağılım, üstel ve sabit servis zaman dağılımı modellerinin özel bir türü olarak kabul edilir. Erlang dağılımının şekil parametresi olarak bilinen k değeri 1 ise, dağılım üstel bir dağılım haline gelir. Bu dağılım, özellikle işlem sırasındaki zaman aralıklarının modellenmesinde yaygın bir şekilde kullanılır.

Erlang tarafından önerilen Erlang dağılımı telekomünikasyon mühendisliği gibi birçok alanda kullanılır. Kuyruk teorisi rastgele süreçler ve trafik analizi gibi alanlarda Erlang dağılımı sıklıkla kullanılan bir araçtır. Erlang dağılım modelinin olasılık dağılım fonksiyonu x ve $\lambda \geq 0$ olması durumunda Eşitlik 3'teki gibi ifade edilmektedir (Güneş, 2021).

$$f(x; k, \lambda) = \frac{\lambda^k x^{k-1} e^{-\lambda x}}{(k-1)!} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Bu eşitlikte:

k: Şekil parametresi,

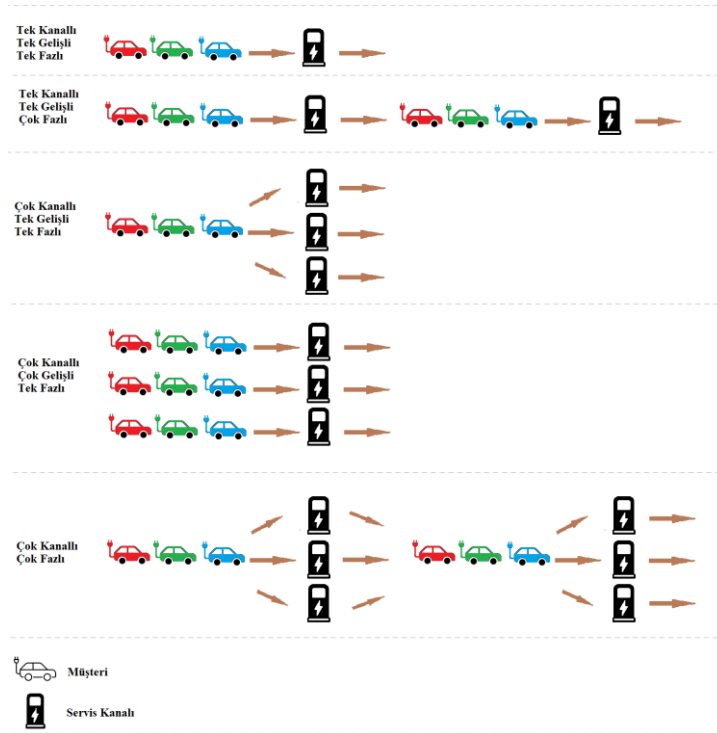
λ : Birim zamanda servis görmek üzere gelen müşterilerin sayısı,

x: Olay sayısıdır.

3.3. Kuyruk Teoremi Modelleri

Kuyruk teorisi sistemlerin kaynaklarını ve kapasitelerini müşterilere hizmet vermek adına optimize etmek için kullanılmaktadır. Modelleme; sistemin revize edilmesi ve performansının artırılması için güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır. Kuyruk modelleri geliş kaynağının büyüklüğüne ve kanal sayılarına göre sınıflandırılmaktadır (Koç Gülbaz, 2020).

Servis kanalı terimi müşterilere hizmet verilen noktaları ifade eder. Tek bir hizmet noktası bulunan sistemlere tek kanallı sistemler denirken, birden fazla hizmet noktası olan sistemlere ise çok kanallı sistemler denir (Karanfil Kostak, 2016). Kuyruk sistemlerindeki diğer bir ayrım ise kanalların tek fazlı ve çok fazlı olması durumudur. Müşteriler sistem içerisinde tek bir kanaldan hizmet alıp sistemi terk ediyorsa tek fazlı kanal olarak adlandırılır ancak bir kanaldan hizmet aldıktan sonra sistemden ayrılmadan başka bir kanalda hizmet almaya geçiyorlarsa bu tip kanallar da çok fazlı kanallardır. Şekil 15'te kuyruk modellerinin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 15. Kuyruk teoremi modelleri (Erdoğan, 2010 kaynağından uyarlanmıştır).

Kuyruk sistemlerini tanımlamak için kullanılan (a/b/c):(d/e/f) notasyonu ilk olarak 1953 yılında D.G. Kendall tarafından ilk üç eleman (a/b/c) önerilmiştir. Daha sonra 1966 yılında A.M. Lee tarafından d ve e sembolleri eklenerek notasyon yenilenmiştir. Ve son olarak 1968 yılında Hamdy A. Taha tarafından f sembolü de eklenerek günümüzde kullanılan halini almıştır. Bu notasyon, kuyruk modellerinde bir standart haline gelmiştir ve kuyruk sistemlerinin analizinde kullanılan önemli bir araçtır (Koç Gülbaz, 2020).

Bu notasyon, kuyruk sistemlerinin analizi ve tasarımı için kullanılan bir araçtır. İlgili sembollerin değerleri sistem performansının belirlenmesinde önemli bir role sahiptir. Notasyon kuyruk sistemlerinin özelliklerini açıklayan sembollerden oluşur. Bu sembollere ilgili açıklamalar aşağıda belirtilmiştir (Koç Gülbaz, 2020).

(a/b/c) : (d/e/f)

a: Gelişlerin veya gelişler arası zaman dağılımı,

b: Servis süresinin veya gidişlerin (ayrılış) dağılımı,

c: Paralel servis kanalı sayısı,

d: Servis disiplini,

e: Sistemde (serviste ya da kuyrukta) müsaade edilen maksimum sayı,

f: Kaynak kapasitesi (birey sayısı).

Standart notasyondaki bu simgelerin yerlerini sistemin özelliğine göre aşağıdaki tanımlamalar olacaktır.

M: Poisson geliş veya ayrılış dağılımları

D: Sabit gelişler arası veya servis süresi

Ek: Müşteri geliş süreleri veya aldıkları hizmet sürelerinin Erlang dağılımlıdır. N gelişler arası veya servis dağılımının k parametrelili Erlang veya Gamma dağılımı olması

GL: Gelişlerin (veya gelişler arası sürenin) bağımsız dağılımı

G: Ayrılış (veya servis süresinin) genel dağılımı

FIFO: İlk giren ilk çıkar disiplini

LCFS: Son giren ilk çıkar disiplini

SIRO: Rastgele servis.

GD: Genel servis disiplini

Kuyruk modelleri müşteri gelişlerinin şekline, servis türlerine, kaynakların sonlu ya da sonsuz oluşuna ve hizmet disiplinine göre değişiklik gösterirler. Bu çalışmada ele alınan kuyruk sistemi ise birden fazla hizmet sağlayıcının aynı anda çalıştığı ve müşteri kaynağının da sonsuz olduğu için sonsuz gelişli ve çok kanallı bir model olarak tasarlanacaktır. Bu model ayrıntılı olarak ele alınacak ve diğer modeller hakkında da bilgi verilecektir.

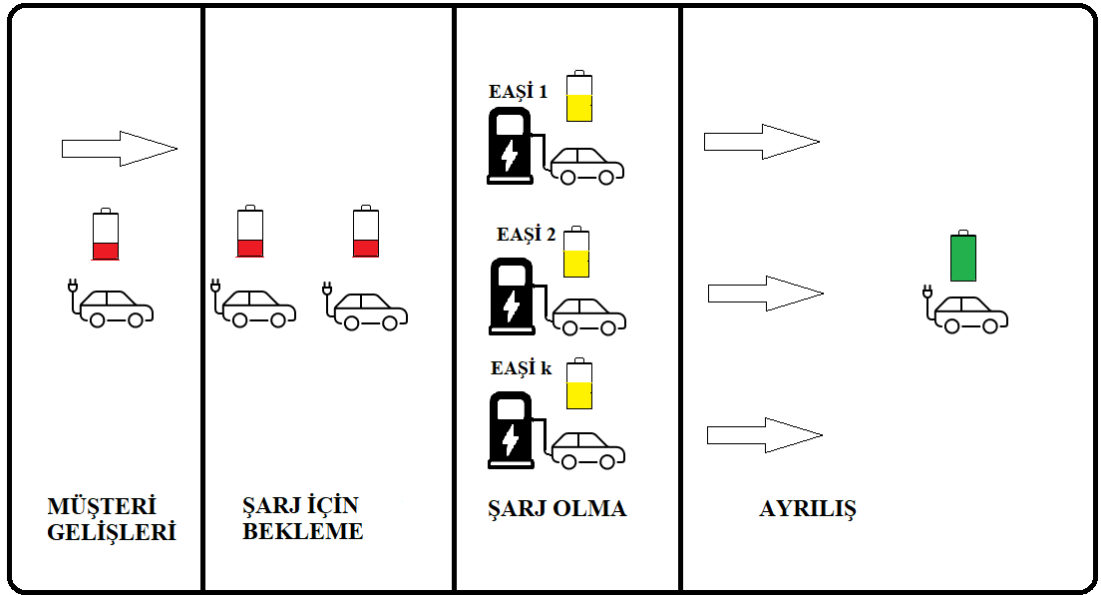
3.3.1. Tek Kanal Kuyruk Modeli (M/M/1)

M/M/1 kuyruk modeli kuyruk alanındaki en temel ve genel kullanıma sahip bir yapıdır. Bu modelde rastgele bir şekilde Poisson dağılımına uygun olarak yapılan müşteri gelişleri ve üstel dağılım sergileyen servis süreleri olduğu kabul edilir. Sistemde sadece tek bir servis kanalı vardır ve müşteri gelişimleri sonsuzdur ve sistem kapasitesi sınırsızdır (Güneş, 2021).

Kuyruk modelleri matematiksel analizler yaparak belirli bir kuyruk sisteminin performans değerlerini hesaplamamıza imkan sağlar. Bu değerler arasında sistem doluluk oranı, kuyruk uzunluğu, ortalama birim sayısı, kuyrukta veya sistemde harcanan zaman gibi ölçütler yer alır. Bu kuyruk modellerine tek çalışan hasta kayıt bölümleri, tek vapurluk iskeleler, lokantalarda bulunan tek ödeme noktaları örnek olarak gösterilebilir.

3.3.2. Çok Kanallı Kuyruk Modeli (M/M/m)

Bu kuyruk sistemi müşterilerin geliş ve servis sürelerinin üstel dağılıma uyduğu ve sistemde sadece bir adet müşteri hattının bulunduğu bir yapıya sahiptir. Müşteriler Poisson dağılımında olduğu gibi rastgele aralıklarla gelmektedir ve sırayla hizmet almaktadırlar. Bu sistemde hizmet veren birden fazla servis kanalı vardır. Bu paralel kanalların birinden servis almak için bekleyen tek bir müşteri hattı bulunmaktadır. Bu modele örnek olarak çağrı merkezleri ve banka gişeleri verilebilir. Şekil 16'da Şarj olmak için kuyrukta bekleyen araçların oluşturduğu M/M/m model kuyruk yapısı gösterilmektedir.



Şekil 16. Elektrikli araç şarj istasyonunun kuyruk modeli

M/M/s modelinde geliş süreleri (λ) ve servis süreleri (μ) ve (s) servis sayısı olmak üzere ρ sistem yoğunluğunu Eşitlik 4'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Sistemin boş olma olasılığı ya da müşteri bulunmama olasılığı P_0 Eşitlik 5'e göre hesaplanmaktadır.

$$P_0 = \left[\left(\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} \right) + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} \left(\frac{1}{1-\rho} \right) \right]^{-1} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Hizmet bekleyen sıradaki ortalama müşteri veya birim sayısı L_q Eşitlik 6'ya göre hesaplanmaktadır.

$$L_q = \frac{P_0 (\lambda/\mu)^s \rho}{s! (1-\rho)^2} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Bir müşterinin veya birimin kuyrukta hizmet için beklediği ortalama süre W_q Eşitlik 7'ye göre hesaplanmaktadır.

$$W_q = \frac{L_q}{\mu} \quad (\text{Eşitlik 7})$$

Bir birimin bekleme hattında veya serviste geçirdiği ortalama toplam süre P_0 Eşitlik 8'e göre hesaplanmaktadır.

$$W = W_q + 1/\mu \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Sistemdeki ortalama müşteri veya birim sayısı L Eşitlik 9'da gösterilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$L = \lambda W \quad (\text{Eşitlik 9})$$

Sistemde herhangi bir anda n sayıda müşteri veya birim bulunma olasılığı P_n Eşitlik 10'a göre hesaplanmaktadır.

$$P_n = \begin{cases} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} P_0, & n \leq s \\ \frac{(\lambda/\mu)^n}{s!s^{n-s}} P_0, & n > s \end{cases} \quad (\text{Eşitlik 10})$$

Bu kuyruk modelinde $\frac{s\mu}{\lambda} > 1$ kuyruk uzunluğunun sürekli artmaması için bu eşitlik sürekli sağlanmalıdır (Yağcıtekin, 2014).

3.3.3. Sabit Servis Süresi Modeli (M/D/1)

Sabit servis süreli kuyruk modeli (M/D/1) bir kuyruğun bir dizi gelen isteklerin tek bir sunucu tarafından sabit bir hızda hizmet edildiği bir modeldir. M/D/1 bir sisteme

giren müşteri gelişlerinin Poisson akışı olduğunu varsayar. Bu modelde kuyruk boyutu sınırlı değildir ve sonsuz olabilir. Kuyruk boyutu arttıkça müşterilerin beklemesi de artar.

Bazı hizmet sistemleri hizmet sürelerinin üssel olarak dağılmadığı bunun yerine sabit bir hizmet süresine sahiptirler. Bu durum genellikle müşterilerin veya ekipmanların sabit bir döngü içinde hareket ettiği sistemlerde görülür. Örneğin otomatik araba yıkama bantları veya lunaparklardaki bazı oyunlar gibi (Render vd., 2011). Bu tür sistemlerde hizmet süresi sabit olduğundan müşterilerin veya ekipmanların hareketlerine göre hizmet hızı değişmeyecektir.

3.3.4. Sonlu Geliş Kaynak Kuyruk Modeli (M/M/1 Sonlu Kaynaklı)

Bir hizmet tesisi için hizmet almaya gelen müşterilerin sayısının sınırlı olması söz konusu olduğunda sonlu bir kuyruk modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin bir ustabaşı fabrikada ancak N sayıda makinanın onarımından sorumlu olur. Onarım için gelen makinelerin kuyruktaki sayısı N-1'dir. Bir anlamda sınırlı bir kuyruk vardır. Kuyruk sistemindeki en fazla müşteri sayısı tüm makinelerin arızalanması durumu olan N adet olabilir (Erşahin, 1995). Sınırlı nüfus modelinde tek bir hizmet sunucusu vardır ve hizmet almak isteyen kişi ya da birim nüfusu sonludur. Gelişlerin Poisson dağılımı sergilediği ve hizmet sürelerinin ise üssel dağıldığı varsayılmaktadır. Hizmet alma şekli ise ilk gelen ilk hizmet alır kuralına göre sunulmaktadır.

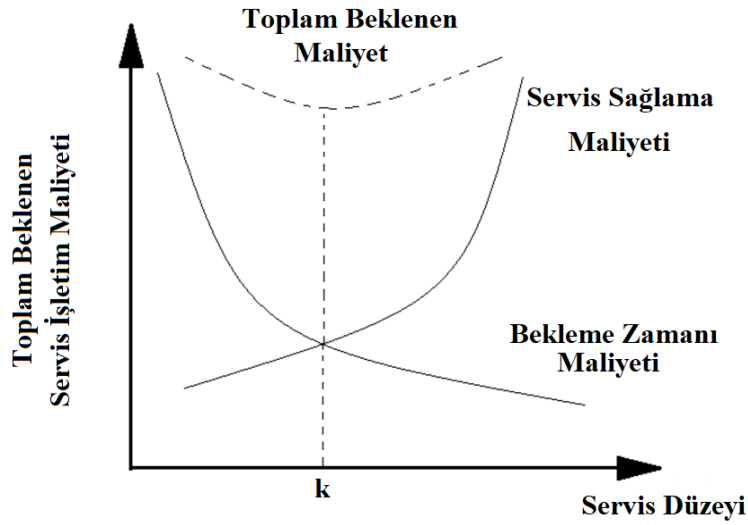
3.4. Kuyruk Maliyet Modeli

Bugünün işletmeleri müşterilerine verimli ve etkili bir hizmet sistemi sunmakta zorlanmaktadır. Müşteriler hizmet talepleriyle geldiklerinde hızlı bir şekilde bu hizmeti almak istediklerinden işletmelerin bekletme süreleri müşteri kaybına neden olabilir. İşletme yöneticileri ise hizmet sağlama sürecinde mevcut çalışan sayısını da göz önünde bulundurarak, hizmet kalitesini artırmak ve müşteri bekleme sürelerini minimize etmek istemektedirler. Bu nedenle işletmeler ekonomik bir denge sağlamak amacıyla bekleme hattı modelleri kullanırlar. Bu sayede işletmeler müşterilerine kaliteli hizmet sunarken aynı zamanda da maliyetleri kontrol altında tutabilirler (Şahin, 1995).

Kuyruk modelinde müşteri hizmeti için iki farklı maliyet söz konusudur. Birincisi müşterilerin hizmet almak için bekledikleri sürenin neden olduğu kayıp maliyetidir ve bunun adı bekleme süresi maliyetidir. İkincisi de işletmenin hizmet sunum maliyetidir. İşletmeler hizmet seviyelerini artırırken bekleme süresi maliyetini mümkün olduğunca

düşük tutmaya ve aynı zamanda hizmet sunum maliyetlerini artırmamaya çalışırlar. Hizmet düzeyi arttıkça bekleme maliyeti azalır fakat hizmet sunum maliyeti artar. İşletmeler en iyi hizmet seviyesini belirlerken bu iki maliyetin toplamının en az olduğu noktayı dikkate alırlar. Bu sayede işletmeler hem müşteri bekleme süresini minimum düzeyde tutar hem de hizmet sunum maliyetlerini azaltarak en uygun hizmet seviyesini belirlerler (Özkan, 2010).

Yüksek düzeyde hizmet sunmak müşterilerin memnuniyetini artırırken servis maliyetlerini de yükseltir. Düşük seviyede hizmet sunmak servis maliyetlerini azaltırken müşteri bekleme süresinin ve buna bağlı olarak bekleme maliyetinin de artmasına neden olur. Optimum seviye ise yeterli seviyede hizmet sunmak ve maliyetleri minimize etmek arasındaki denge noktasıdır. Şekil 17’de hem bekleme hem de servis maliyetlerinin toplamı olan toplam maliyetlerin en düşük seviyede olduğu nokta işletme için en uygun olan optimum seviyeyi verecektir (Koç Gülbaz, 2020).



Şekil 17.Kuyruk teoreminde maliyet oluşumu (Özkan, 2010 kaynağından uyarlanmıştır).

4. YÖNTEM VE MATERYAL

4.1. 15 Temmuz Zafer Meydanı Katlı Otopark Özellikleri

Gümüşhane ili merkez ilçesinde bulunan ve Zafer Meydanının altına yapılan 15 Temmuz Zafer Meydanı katlı otoparkı 150 araç kapasiteli ve iki kat olarak inşa edilmiştir. Kent merkezinde bulunan bu otopark, merkez ilçenin en çok tercih edilen otoparkı olma özelliğine de haizdir. Kentin park sorununa çözüm bulmak amacıyla yapımına 2008 yılında başlanan otopark yaklaşık 1 yıl süren yapım aşamasından sonra hizmete açılmıştır. Otopark araç giriş ve çıkışları otomatik çalışan bariyer sistemleri ile kumanda edilerek 7 gün 24 saat hizmet esasına göre çalışmaktadır. Otopark ayrıca otomatik yangın söndürme ve kamera sistemleriyle donatılarak üst düzey güvenlik önlemlerine göre tasarlanmıştır. Şekil 18’de otopark girişi gösterilmektedir.

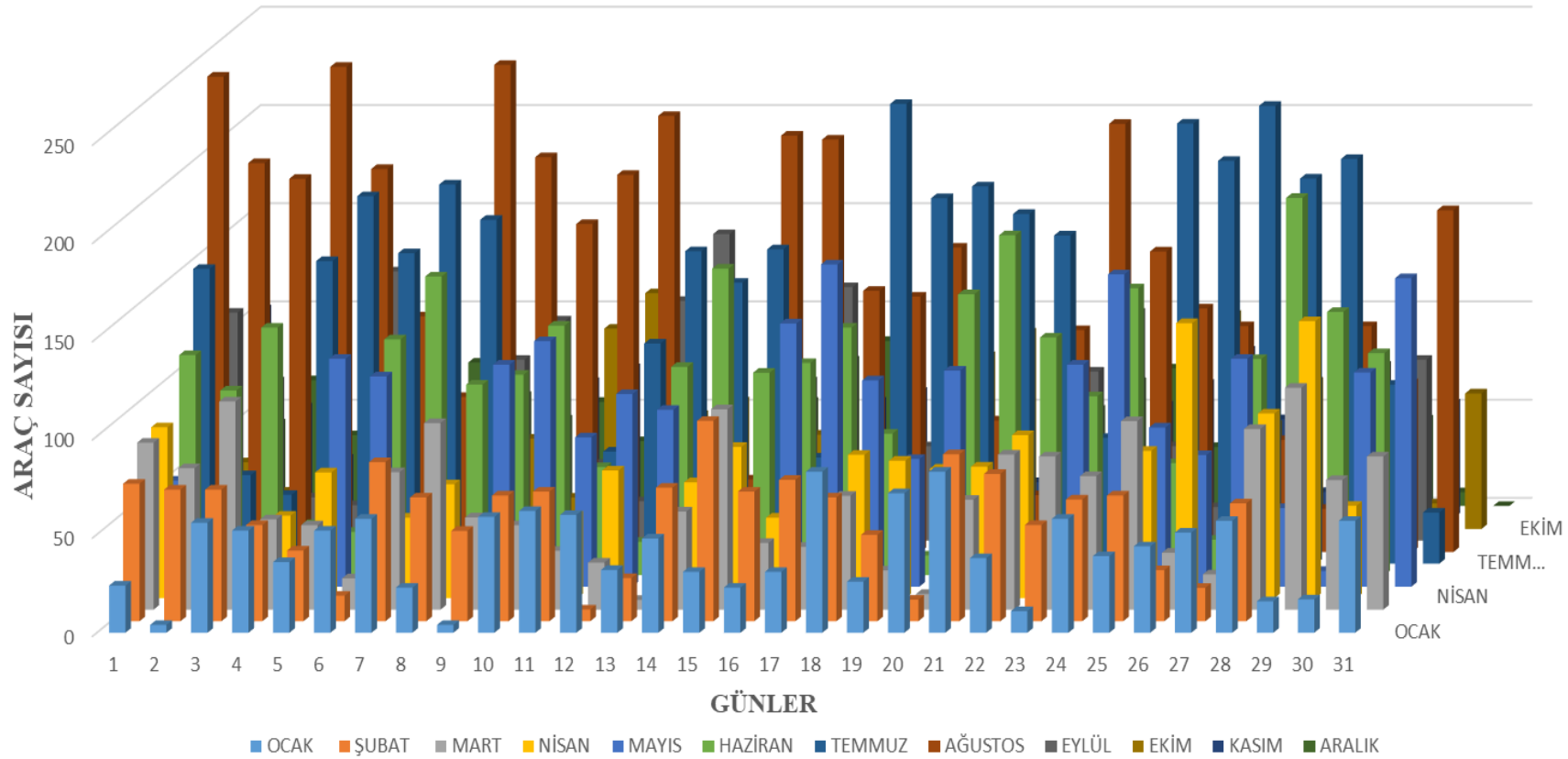


Şekil 18. 15 Temmuz Zafer Meydanı katlı otopark girişi

4.2. Verilerin Elde Edilmesi ve Analizi

Bu çalışma verilerinin yüksek doğruluk ile sonuçlanması için 15 Temmuz Zafer Meydanı katlı otoparkına ait 01.01.2022 ile 31.12.2022 tarihleri arasında 1 yıllık araç giriş-çıkışları ele alınarak veri analizi yapılmıştır. Gümüşhane Belediyesi’nden temin edilen verilere göre ve belirlenen süre zarfında toplam 27717 adet araç giriş bilgisi kaydedilmiş ve bu bilgiler ışığında çeşitli analizler ve çıkarımlar yapılmıştır.

GÜNLÜK ARAÇ GİRİŞ SAYILARI



Şekil 19. Aylara göre günlük giriş yapan araç sayısı

Şekil 19’da verilen grafik, otoparkın bir yıllık dönemdeki araç girişlerini aylık göstermektedir. Grafik incelendiğinde yaz aylarında otoparkın araç girişlerinin daha yoğun olduğu gözlemlenmiştir. Bir günde en fazla giriş yapan araç sayısı 248 araç girişi ile 8 Ağustos gününe aittir. Aylık bazda en düşük araç giriş sayısı ocak ayında (1304) olmuşken en yüksek araç giriş sayısı ise ağustos ayında (4491) kaydedilmiştir. Araç giriş trafiği, bahar ve yaz aylarında artmakta iken (Nisan - 1619, Mayıs - 2369, Haziran - 3029, Temmuz - 4086, Ağustos - 4491) kış ve sonbahar aylarında (Eylül - 2482, Ekim - 2013, Kasım - 1551) azalmıştır. Aralık ayı ise 1445 araç girişiyle yılın en düşük ikinci ayıdır.

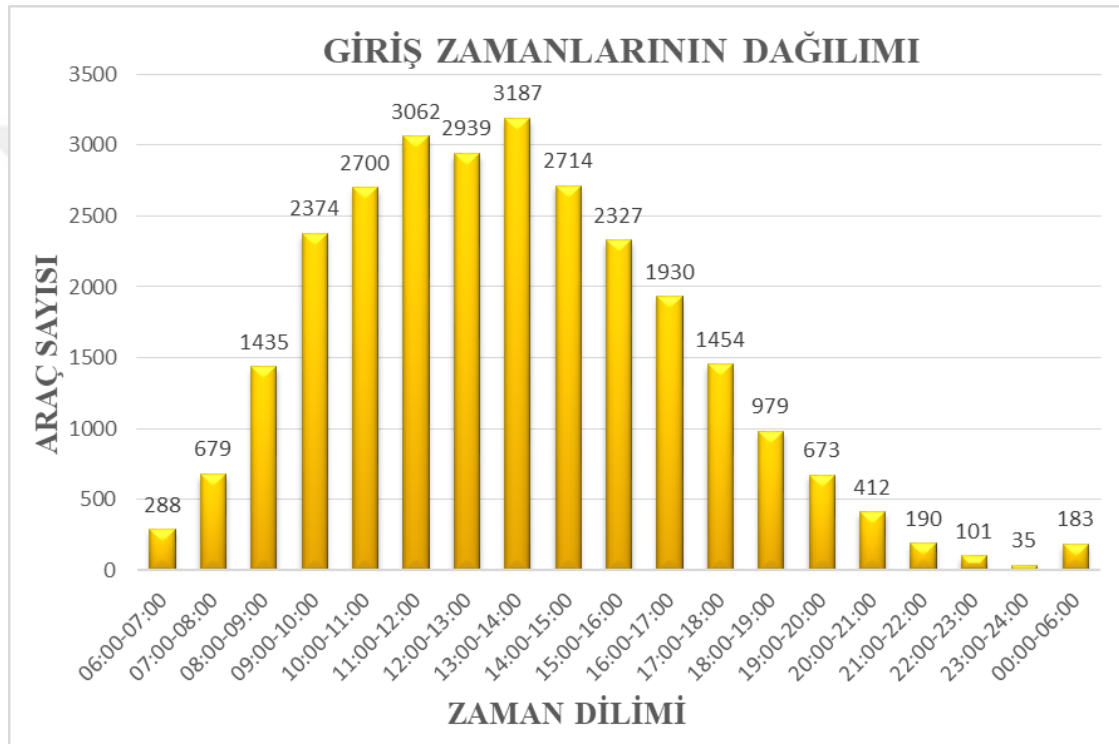
Tablo 1. Saatlere göre toplam giriş yapan araç sayıları

Araç Sayısı	Giriş Zamanı
288	06:00-07:00
679	07:00-08:00
1435	08:00-09:00
2374	09:00-10:00
2700	10:00-11:00
3062	11:00-12:00
2939	12:00-13:00
3187	13:00-14:00
2714	14:00-15:00
2327	15:00-16:00
1930	16:00-17:00
1454	17:00-18:00
979	18:00-19:00
673	19:00-20:00
412	20:00-21:00
190	21:00-22:00
101	22:00-23:00
35	23:00-24:00
183	00:00-06:00

Tablo 1 incelendiğinde öğlen saatlerinde otopark araç girişlerinin daha yoğun olduğu ve en fazla giriş yapılan saatlerin ise 13:00 ile 14:00 arası 3187 adet araç girişiyle olduğu gözlemlenmiştir. Tabloya bakarak, otoparka giriş yapan araç sayısının, sabah saat 8:00’den itibaren arttığını ve öğle saatlerinde zirve yaptığını görmekle birlikte bu saatlerde yaklaşık 1435 ile 3187 arasında araç girişi yapıldığı anlaşılmaktadır. Öğleden sonraki saatlerde ise araç giriş sayısının azalmaya başladığı ve akşam saatlerinde ise en düşük rakamlara ulaştığını görmekteyiz. Gün içerisinde en

düşük araç giriş sayısının ise 23:00-24:00 saatleri arasında kaydedildiği görülebilmektedir.

Ayrıca, sabahın geç saatleri (06:00-10:00) ve öğleden sonraki ilk saatler (12:00-16:00) arasında toplamda en fazla araç girişi yapıldığı belirlenmiştir. Bu saat aralıklarında toplamda yaklaşık 16000 araç girişi yapılmış iken gece yarısı ve sabahın ilk saatlerinde (00:00-06:00) ise yaklaşık 183 araç girişi yapıldığı tespit edilmiştir. Gece yarısından sonra yapılan araç giriş sayıları diğer saatlere göre çok daha az olmasına rağmen hala otoparka araç giriş yapıldığını bizlere göstermektedir.



Şekil 20. Araç girişlerinin saatlik dağılımları

Otoparka giriş yapan araçların dağılımını gösteren Şekil 20’de giriş zamanı ve araç sayısı arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Otopark tasarımcılarının ve aynı zamanda yöneticilerin bu bilgileri kapasite planlamalarında ve müşterilerin daha uygun saatlerde otoparka giriş yapmalarını teşvik etmede yardımcı parametre olarak kullanabileceği anlaşılmaktadır.

Tablo 2. Saatlere göre toplam çıkış yapan araç sayıları

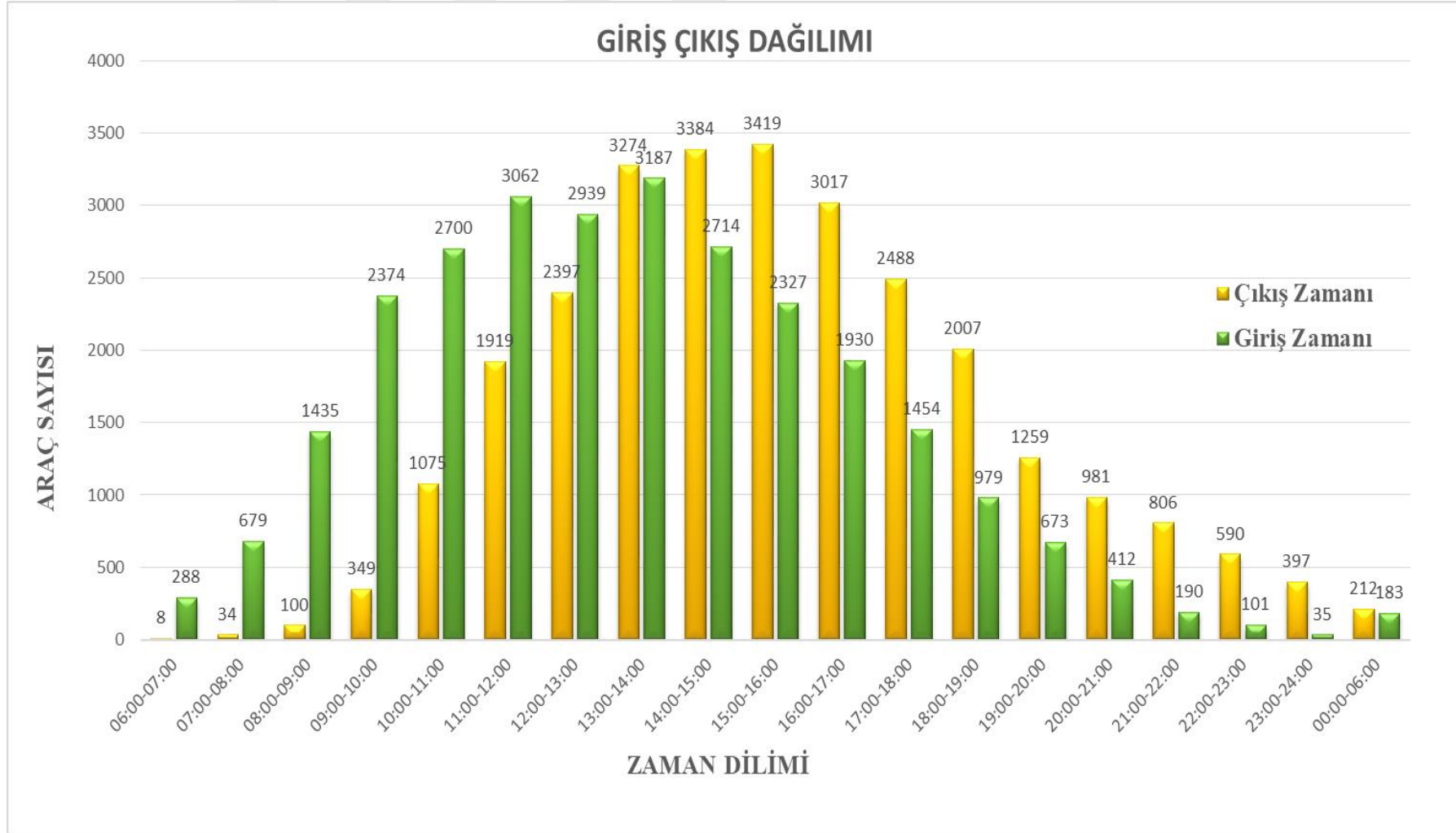
Araç Sayısı	Çıkış Zamanı
8	06:00-07:00
34	07:00-08:00
100	08:00-09:00
349	09:00-10:00
1075	10:00-11:00
1919	11:00-12:00
2397	12:00-13:00
3274	13:00-14:00
3384	14:00-15:00
3419	15:00-16:00
3017	16:00-17:00
2488	17:00-18:00
2007	18:00-19:00
1259	19:00-20:00
981	20:00-21:00
806	21:00-22:00
590	22:00-23:00
397	23:00-24:00
212	00:00-06:00

Araç çıkışlarının incelendiği Tablo 2’de ise öğlenden sonra otoparkın araç çıkışlarının daha yoğun olduğu ve en fazla çıkış yapılan saatin ise 15:00 ile 16:00 arasında 3419 adet araç çıkışı ile yapıldığı görülmüştür. Tabloya genel olarak baktığımızda, otoparkın özellikle sabah 8-10 arası, öğle saatleri ve akşam 16-18 arası yoğun olduğunu görülmektedir. Bu tespit de bu saatlerde otoparkın doluluk oranının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Gece saatlerinde özellikle gece 23:00’den sabah 6:00’ya kadar otoparktan çıkış yapan araç sayısının oldukça düştüğü de gözlemlenmiştir.



Şekil 21. Araç çıkışlarının saatlik dağılımlarının grafiği

Şekil 21’de gösterilen yıl boyunca çıkış yapan araçların saatlere göre dağılımı incelendiği ise çıkışların 13:00 ile 18:00 arasında yükselişte olduğu görülmektedir. Otopark yöneticilerinin bu bilgiler ışığında hangi saatlerde ne kadar personel ile hizmet verilmesi gerektiğini belirlemede bir referans olarak kullanabileceği söylenebilir. Ayrıca bu bilgiler, müşterilerin hangi saatlerde otoparka daha fazla talep gösterdiğini belirleyerek, fiyatlandırma ve pazarlama stratejilerinin oluşturulmasına da katkı sağlayabileceği aşikârdır.

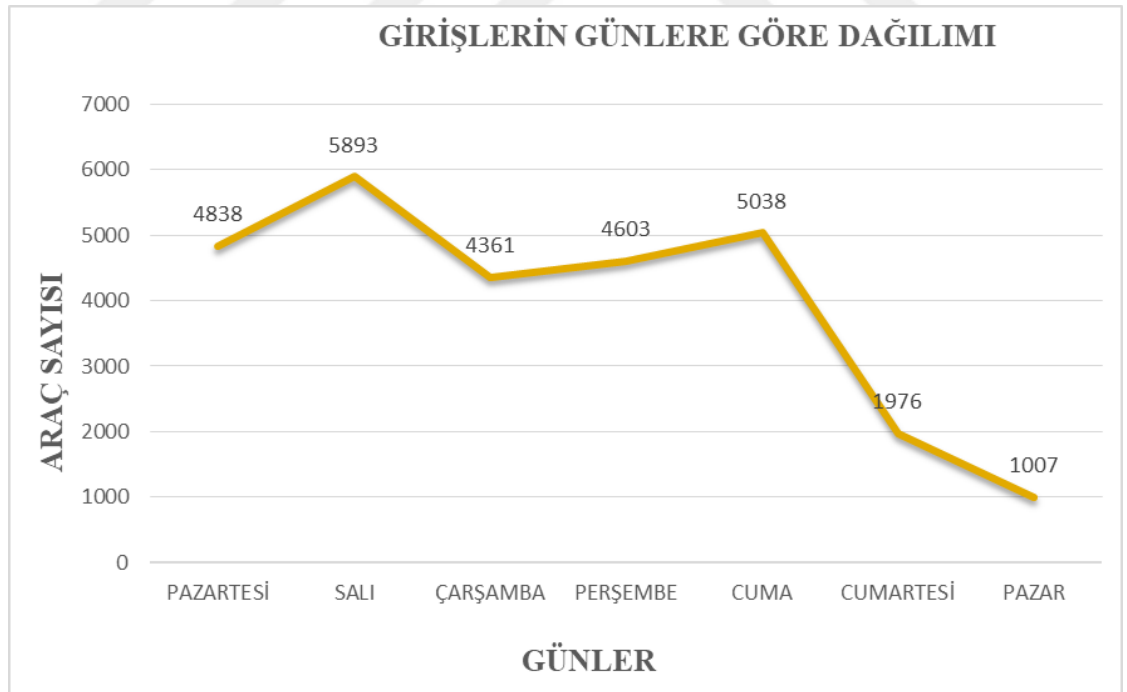


Şekil 22. Araç giriş-çıkışlarının saatlere göre dağılımı

Araç giriş-çıkışlarının saatlere göre dağılımının irdelendiği Şekil 22’de araç girişlerinin sabah saatlerinde çıkışlarının ise öğleden sonra yoğun olduğu görülmektedir. Grafikte, otoparka en çok aracın girişin yapıldığı saatlerin belirli bir trend izlediği tespit edilmiştir. Bu zaman dilimleri genellikle öğle saatleridir. Bu dilimler içerisinde de en geniş dilim 12:00-14:00 arasındaki saatlerdir. Bu saatlerde araç giriş sayısının diğer tüm saatlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Aynı şekilde, otoparktan en çok aracın çıktığı saatler de belirli bir trend izlemektedir. Bu zaman dilimleri genellikle akşam saatleri, özellikle de 15:00-16:00 arasındaki saatlerdir. Bu saatlerde araç çıkış sayısı, diğer saatlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

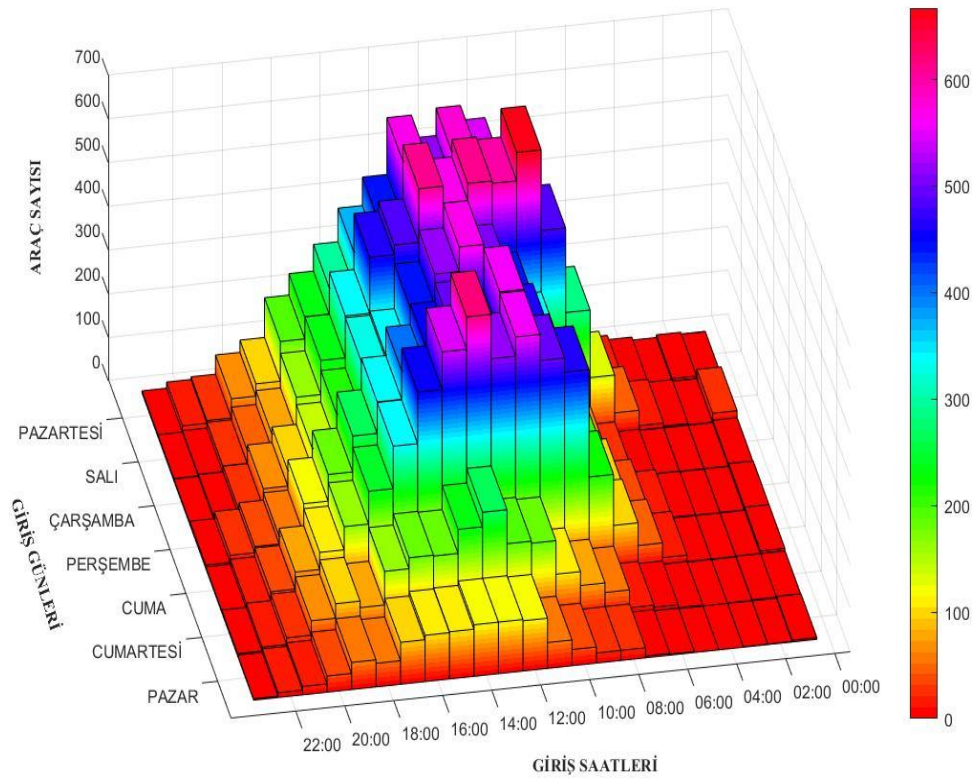
Bunun yanı sıra bazı saatlerde giriş veya çıkış sayısında belirgin bir artış veya azalış gözlenmiştir. Bu belirgin artış veya azalışların nedenleri arasında o saatlerde gerçekleştirilen etkinlikler, çalışma saatleri, trafik yoğunluğu gibi durumların olabileceği düşünülmektedir. Bu veriler, otoparkın ne zaman yoğun olduğunu ve hangi saatlerde daha fazla araca hizmet verebileceğini belirlemek açısından kriter olarak kullanılabilir.



Şekil 23. Araç girişlerinin günlere göre dağılımı

Şekil 23’e göre araç girişlerinin hafta içi günlerinde haftasonlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Hafta içi ve hafta sonu araç giriş sayıları genel bir

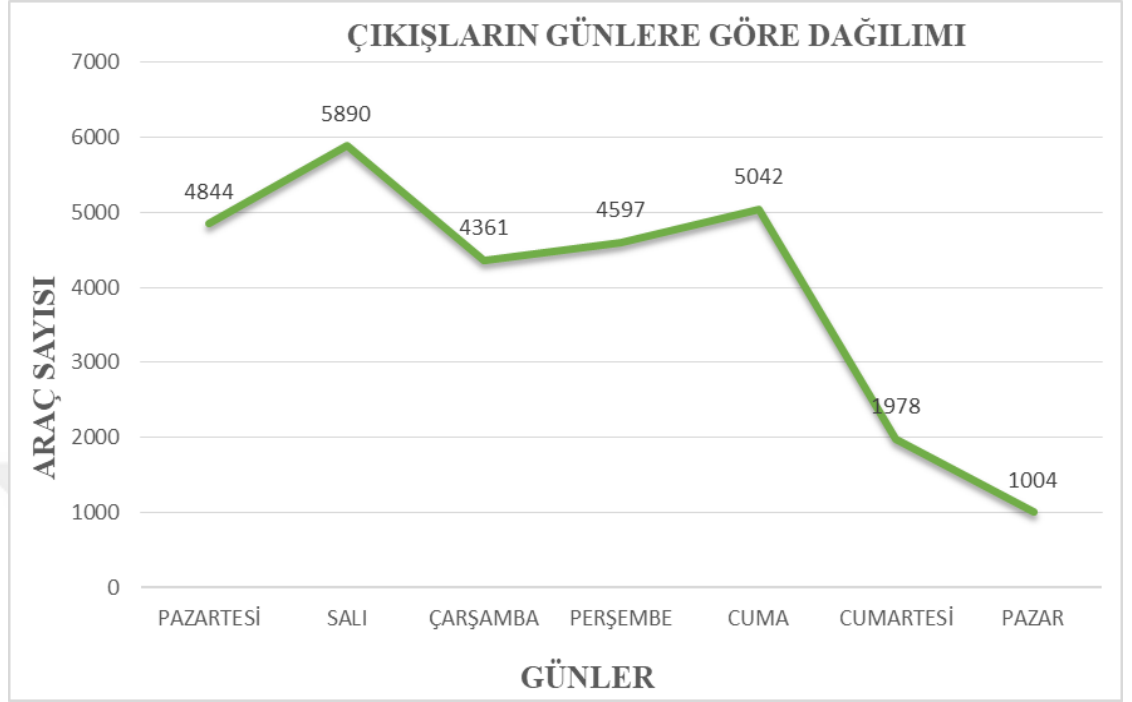
değerlendirmeye tabi tutulduğunda arada beş katlık büyük bir farkla hafta içi günlerinin daha yoğun kullanıldığını rahatlıkla görülmektedir. Bunun dışında Pazartesi, Salı ve Cuma günlerinde haftanın en yüksek araç girişleri yapılmışken, Cumartesi ve Pazar günleri ise en düşük araç girişi yapılmıştır. Özellikle Salı günü otopark kullanımının diğer günlere göre ciddi bir artış göstermesinin sebeplerini; bölgeye yakın yerde kurulan semt pazarına çevre köylerden ve ilçelerden gelenlerin ve bölge halkının semt pazarını kullanmak için bölgeye intikal etmeleri ve dolayısıyla bu nüfusun da otoparkı kullanımını şeklinde sıralanabilir.



Şekil 24. Araç girişlerinin günlere ve saatlere göre dağılımları

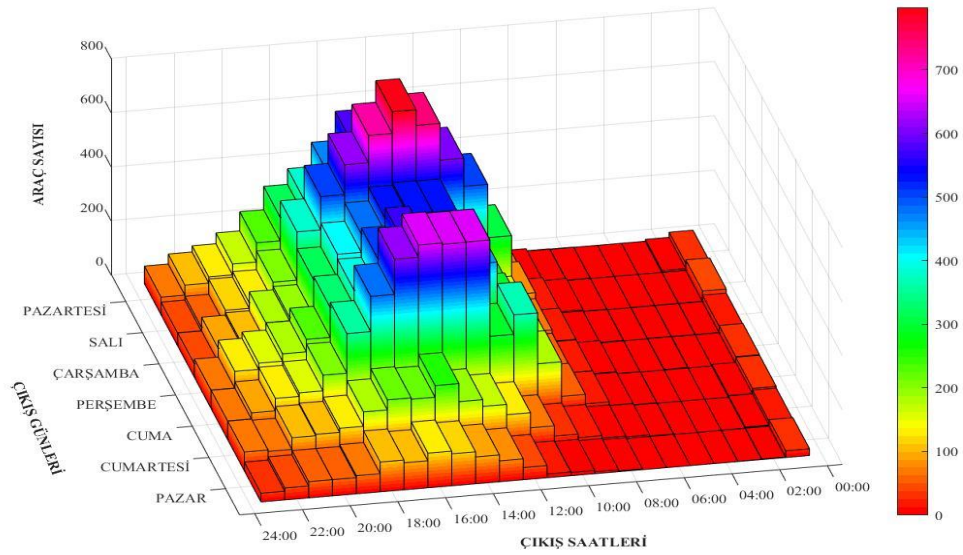
Araç giriş sayılarının saat dilimlerine ve günlere göre ortak değerlendirildiği Şekil 24'e göre en yoğun araç girişi Salı günleri sabah saatlerinde gerçekleşmiştir. Otoparka giriş yapan araçların hafta içi genel olarak saat 10:00 ile 15:00 arasında ve hafta sonları ise de 12:00 ile 14:00 arasında daha yoğun olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra gece saatlerinde araç girişi minimum seviyelere gerilemektedir. Bu bilgiler, otoparkın yoğunluğunu ve hangi günlerde daha fazla personel ve kaynak gerektirebileceğini

belirlemek adına önemli bir veri kaynağı olarak kullanılabilecekken aynı zamanda otoparkın işletme stratejisini optimize etmek için de kullanılabilir.



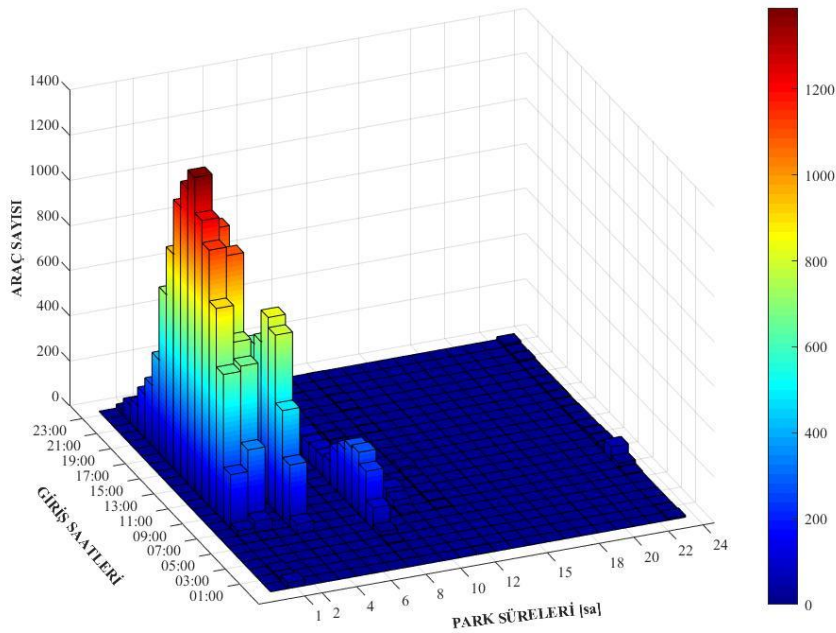
Şekil 25. Araç çıkışlarının günlere göre dağılımı

Şekil 25'te bir otoparktan 1 yıllık dönemde günlere göre kaç aracın çıkış yaptığını göstermektedir. Haftaya 4844 araç çıkışı ile başlanırken bu rakam salı günü 5890 araçla en yüksek çıkış sayısına ulaşmaktadır. Çarşamba ve perşembe günleri de salı günü yoğunluğuna yakın bir rakam olan 4361 ve 4597 araç çıkışı ile birbirine yakın bir seyir izlemişken cuma günü ise aynı seyir ile 5042 araç çıkışı sayısına ulaşmıştır. Cumartesi ve pazar günlerinde de hafta sonu olması itibarıyla oldukça düşük çıkış sayılar belirlenmiş ve sırasıyla 1978 ve 1004 araç çıkışı yapıldığı kayıt altına alınmıştır.



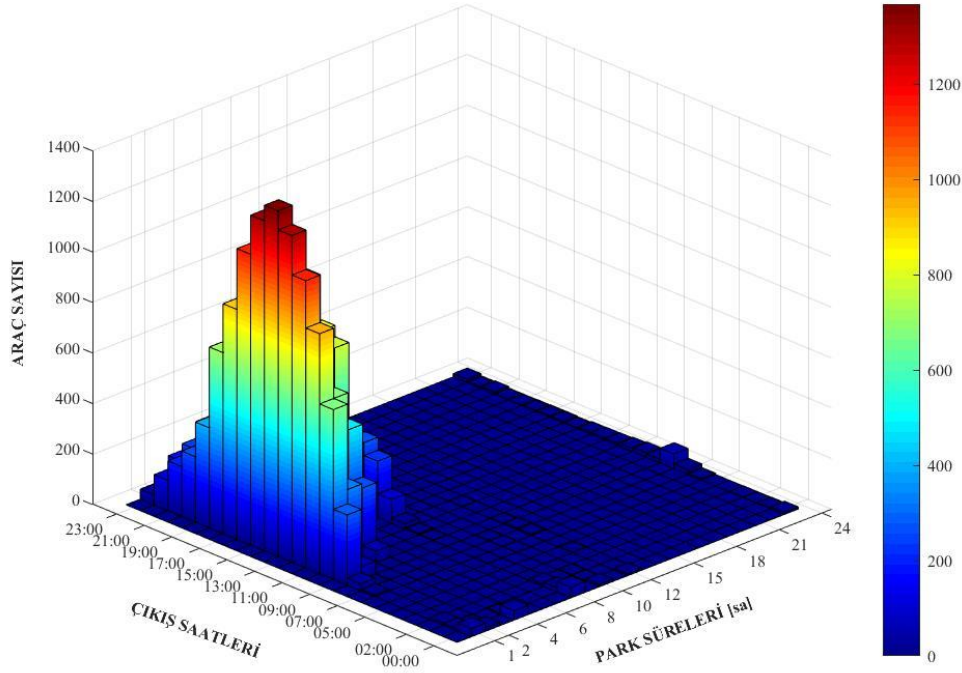
Şekil 26. Araç çıkışlarının günlere ve saatlere göre dağılımları

Araç çıkış sayılarının saat dilimlerine ve günlere göre ortak değerlendirildiği Şekil 26'ya göre ise en yoğun araç çıkışı Salı günleri öğlenden sonra gerçekleşmiştir. Otoparktan çıkış yapan araçların hafta içi saat 13:00 ile 17:00 arasında ve hafta sonları ise 14:00 ile 18:00 arasında yoğun olduğu görülmüş ve gece saatlerinde de araç çıkışının en düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 27. Araçların otoparka giriş zamanlarına göre kalma sürelerinin dağılımı

Araçların otoparkta kalma sürelerinin değerlendirildiği Şekil 27’de otoparkta bir yıl boyunca giriş yapan araç sayıları baz alınmıştır. Giriş Saatleri sütunu, araçların otoparka giriş yaptığı saati göstermekte iken Park Süresi (Saat) sütunu da her aracın otoparkta kaldığı toplam süreyi göstermektedir. Araç Sayısı sütunu ise giriş saatlerine göre her bir parklanma süresi aralığındaki araç sayısını göstermektedir. Tablodaki verileri incelediğimizde, otopark kullanıcıların kısa süreli parkları daha fazla tercih ettikleri görülmektedir. En fazla parklanma süresi olan 1-2 saatlik park eden araçların en çok 14:00-16:00 saatleri arasında giriş yaptığı görülmektedir. Ayrıca, parklanma sürelerinin 4 saatten az olan sürelerde daha yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 28. Araçların otoparktan ayrılış zamanlarına göre kalma sürelerinin dağılımı

Şekil 28’de ise bir otoparkın bir yıllık dönemdeki çıkış saatleri ve parklanma sürelerine göre araç sayıları gösterilmektedir. Her çıkış saati için, o saatte otoparktan ayrılan araç sayısı ve bu araçların otoparkta kaldıkları süreler belirtilmiştir. Tabloya bakıldığında, otoparktan ayrılışların en yoğun saatleri 13:00-15:00 ve 17:00-19:00 saatleri olduğu görülmektedir. Bu saatlerde, otoparktan ayrılan araçların en çok tercih edilen kalış süreleri 1-2 saat arasında olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 27 ile Şekil 28 birlikte değerlendirildiğinde otoparkın çoğunlukla kısa süreli kullanım için tercih edildiği sonucu rahatlıkla çıkarılabilmektedir. En sık tercih edilen kalış süresi 1-2 saat arasında gerçekleşmiş iken az da olsa uzun süreli kullanımın (8 saat ve daha fazla) da tercih edildiği anlaşılmaktadır.

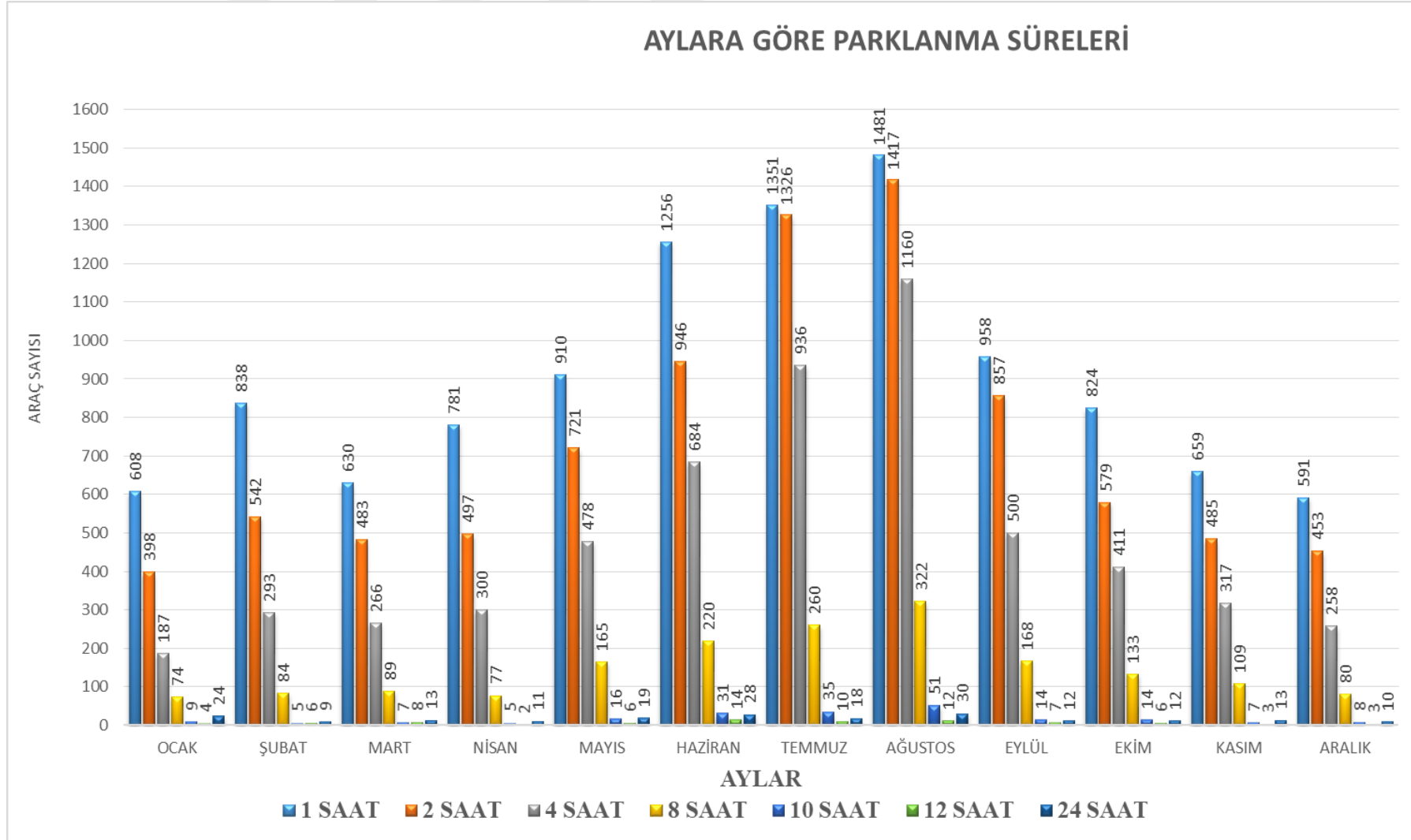
Tablo 3. Aylara ve parklanma sürelerine göre toplam araç sayıları

	1	2	4	8	10	12	24
	SAAT	SAAT	SAAT	SAAT	SAAT	SAAT	SAAT
OCAK	608	398	187	74	9	4	24
ŞUBAT	838	542	293	84	5	6	9
MART	630	483	266	89	7	8	13
NİSAN	781	497	300	77	5	2	11
MAYIS	910	721	478	165	16	6	19
HAZİRAN	1256	946	684	220	31	14	28
TEMMUZ	1351	1326	936	260	35	10	18
AĞUSTOS	1481	1417	1160	322	51	12	30
EYLÜL	958	857	500	168	14	7	12
EKİM	824	579	411	133	14	6	12
KASIM	659	485	317	109	7	3	13
ARALIK	591	453	258	80	8	3	10
TOPLAM	10887	8704	5790	1781	202	81	199

Saatlik ve haftalık verilerin değerlendirilmesinin ardından aylara göre değerlendirmenin yapıldığı Tablo 3'te bir otoparka aylara göre gelen araçların park süresine ilişkin bilgilere yer verilmiştir. X eksenini "Aylar" olarak ve y eksenini "Parklanma Süresi" olarak belirtilmiştir. Her bir ayın altında, araçların park süresi aralıklarını gösteren sütunlar koyulmuştur. Tabloya göre, Ocak ayında en yoğun parklanma süresi 2-4 saat arasında gerçekleşmiş iken genel olarak her ayda park süresi 0-4 saat arasında olan araç sayısı diğer parklanma sürelerinden daha fazladır. Bu veriler otoparkımızın çoğunlukla kısa süreli kullanıldığını göstermektedir. Fakat farklı bir tespit ise özellikle yaz aylarında daha uzun park sürelerinin olduğudur. Bu duruma da il dışında yaşayan yerlilerin, tatilcilerin veya turistlerin bu dönemlerde şehire gelerek nüfusu ve dolayısıyla otoparkı uzun süreli kullanarak şehri gezdiklerini sebep olarak gösterilebilir. Yaz aylarının dışında Eylül ve Ekim aylarında da uzun süreli parklanmaların olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni olarak da özellikle okulların açılması olarak

gösterilebilir ki öğrenci servislerinin ve öğretmenlerin daha çok okula yakın bölgelerde açık otoparkları tercih etmelerinden dolayı diğer grupların otoparkımıza yönelimlerini arttırmış olabileceğidir.





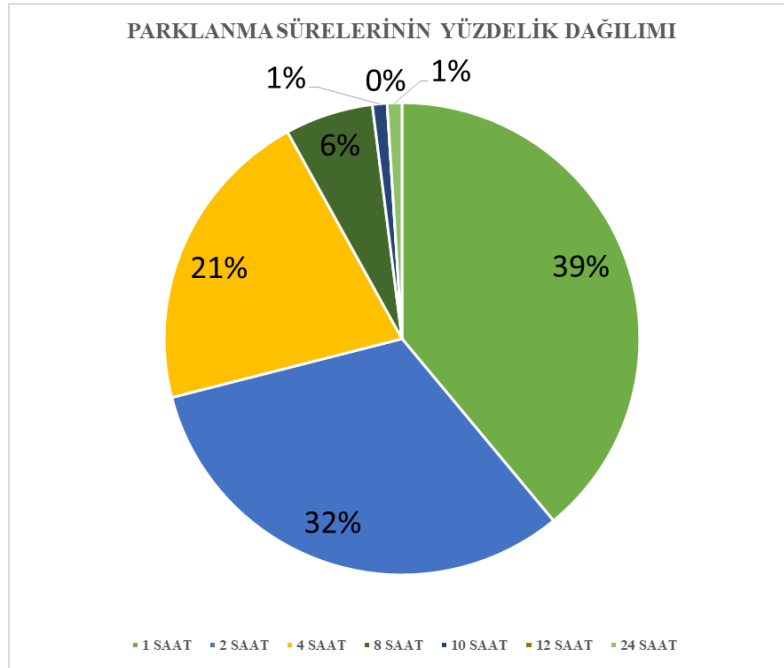
Şekil 29. Araç parklanma sürelerinin aylara göre dağılımı

Parklanma sürelerinin aylık dağılım verilerini irdelendiği Şekil 29'a göre yıl boyunca araçların en fazla 1 ve 2 saatlik parkta kaldıkları görülmektedir. Yaz aylarında giriş yapan araç sayıları artmasına bağlı olarak parklanma sürelerinin de arttığı görülmüştür. Bunun yanı sıra yıl boyunca 8 saat parkta kalan araçların sayısının çok değişmediği tespit edilmiştir.

Tablo 4. Parklanma sürelerine göre araç sayıları

Parklanma Süreleri	Araç Sayısı
1 SAAT	10877
2 SAAT	8714
4 SAAT	5790
8 SAAT	1781
10 SAAT	202
12 SAAT	81
24 SAAT	199

Parklanma sürelerinin araç sayısına göre dağılımının görüldüğü Tablo 4'ten görülebileceği gibi, en yüksek araç sayısı 10877 araç ile 1 saatlik parklanma süresine aittir. Diğer parklanma süreleri ise, daha az araç kullanıcısı tarafından tercih edildiği ve 24 saat boyunca park eden araç sayısının ise sadece 199 olduğu böylelikle de uzun süreli park yapan araçların otoparkı daha az kullandığı anlaşılmaktadır.



Şekil 30. Parklanma sürelerinin yüzdelik dağılım grafiği

Parklanma sürelerinin yüzdelik olarak pasta dilimleri içerisinde gösterildiği Şekil 30'da en yüksek dilim 1 saatlik park süresine karşılık gelmektedir ve araçların yaklaşık %39'u bu sürede park etmiştir. 1 ve 2 saat arasındaki sürelerde park eden araç sayısı toplam araç sayısının %71'ini kapsamaktadır. 2 ve 4 saatlik park süresi aralığındaki araç sayısı ise yaklaşık olarak toplam araçların %21'ine denk gelmektedir. Grafikte uzun süreli parkların çok daha düşük bir orana sahip olduğu da ayrıca görülebilmektedir. 10 saatten fazla park yapan araçların sayısı ise oldukça azdır ve toplam araç sayısının yaklaşık %8'ini oluşturmaktadır. Bu durum diğer şekil ve tablolarla da görüldüğü gibi bu grafikte de otoparkın daha çok kısa süreli park için tercih edildiğini, uzun süreli park için ise daha az tercih edildiğini bizlere göstermektedir. Bu bilgiler neticesinde de otoparkın uzun süreli park yeri ihtiyacına yönelik daha az alan ayrılabilceğinin planlanmasına yardımcı olabilecektir.

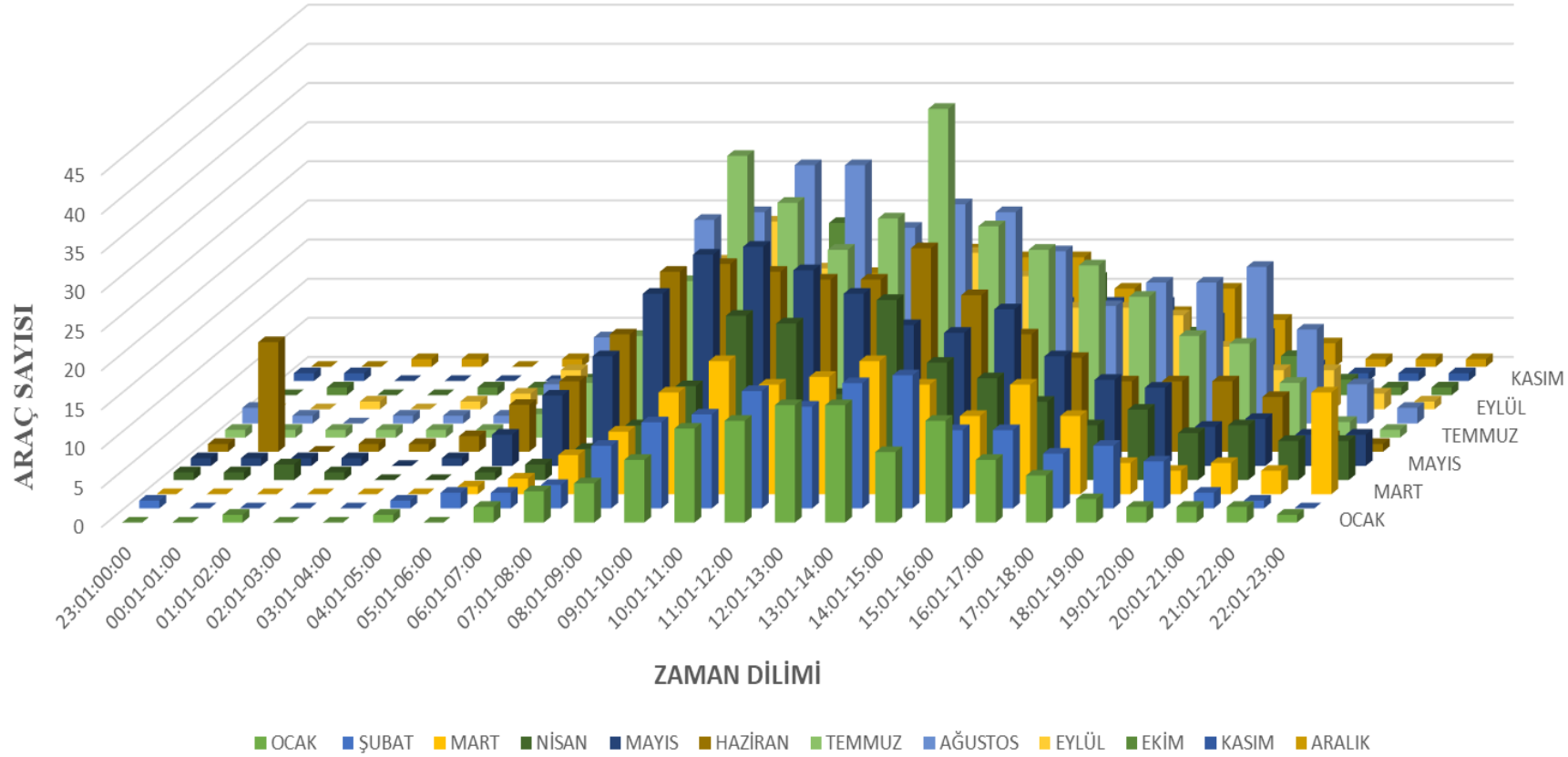
Tablo 5, yıl içerisinde saatlik olarak en yüksek giriş yapan araç sayılarının aylara göre dağılımını göstermektedir. Tabloya bakıldığında yıl içerisinde saatlik en yüksek araç girişi temmuz ayında saat 13:00 ile 14:00 arasında 42 araç girişi ile gerçekleşmiştir. Saatlik girişlerin en fazla olduğu 07:00 ile 20:00 saatler aralığında giriş yapan araç sayılarının ortalaması 14 tür. Ayrıca yine yaz aylarında saatlik girişlerin de artışı görülebilmektedir.

Uygulama bölümünde yapılacak hesaplamalarda kullanılacak saatlik araç giriş sayısı Temmuz ayında 1 saatte girişi gerçekleşen 42 adet araç sayısıdır. Şekil 31'de yıl boyunca gerçekleşen en yüksek saatlik girişlerin aylara göre dağılımını gösterilmektedir.

Tablo 5. Saatlik en yüksek girişlerinin aylara göre dağılımı

	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
23:01-00:00	0	1	0	1	1	1	1	2	0	0	1	0
00:01-01:00	0	0	0	1	1	14	1	1	0	1	1	0
01:01-02:00	1	0	0	2	1	0	1	0	1	0	0	1
02:01-03:00	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
03:01-04:00	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
04:01-05:00	1	1	0	0	1	2	1	1	2	1	0	1
05:01-06:00	0	2	1	1	4	6	3	5	5	2	2	1
06:01-07:00	2	2	2	2	9	9	7	11	4	6	1	1
07:01-08:00	4	3	5	4	14	15	13	16	10	10	5	4
08:01-09:00	5	8	8	7	22	23	20	26	19	14	7	6
09:01-10:00	8	11	13	12	27	24	36	27	24	20	12	8
10:01-11:00	12	12	17	21	28	23	30	33	18	22	12	12
11:01-12:00	13	15	14	20	25	22	24	33	16	20	17	12
12:01-13:00	15	13	15	11	22	22	28	25	16	18	11	15
13:01-14:00	15	16	17	23	18	26	42	28	20	15	13	14
14:01-15:00	9	17	14	15	17	20	27	27	17	13	10	14
15:01-16:00	13	10	10	13	20	15	24	22	13	15	10	10
16:01-17:00	8	10	14	10	14	12	22	15	13	10	10	7
17:01-18:00	6	7	10	7	11	9	18	18	12	8	8	10
18:01-19:00	3	8	4	9	10	9	13	18	8	5	6	6
19:01-20:00	2	6	3	6	5	9	12	20	5	5	2	3
20:01-21:00	2	2	4	7	6	7	7	12	5	2	1	1
21:01-22:00	2	1	3	5	4	2	2	5	2	1	1	1
22:01-23:00	1	0	13	5	4	1	1	2	1	1	1	1

1 YILIN EN YÜKSEK GİRİŞLERİNİN SAATLİK DAĞILIMI



Şekil 31. Yıl boyunca gerçekleşen en yüksek saatlik girişlerin aylara göre dağılımı

4.3. Benzetim Senaryolarında Kullanılan Elektrikli Araç Özellikleri

Tezin senaryo kısımlarında kullanılacak olan elektrikli araçlar TOGG T10X ve BMW iX olarak seçilmiştir. TOGG Türkiye'nin ilk "yerli ve milli" doğuştan elektrikli aracı olduğu için özellikle seçilmiştir. BMW iX'in seçilme sebebi ise 2022 yılında Türkiye de en çok satılan elektrikli araç olmasından dolayıdır. Tablo 6'da Türkiye'de 2022 yılında en çok satış yapılan ilk 10 araca ait satış verileri gösterilmektedir.

Tablo 6. Türkiye'de 2022 yılında en çok satışı yapılan ilk 10 elektrikli aracın satış rakamları (TEHAD, 2021).

	Marka / Model	Adet
1	BMW İX	1502
2	Renault ZOE	1155
3	Skywell ET5	1150
4	Mercedes Benz EQE	704
5	Mercedes Benz EQS	528
6	Volvo XC40	417
7	BMW İX3	408
8	DFSK SERES 3	352
9	Hyundai KONA	231
10	BMW İ4	189

2021 yılında toplam 2849 adet elektrikli araç satışı gerçekleşmiş iken 2022 yılında bu rakam 2021 yılına göre %188'lik artışla toplam 8210 adet olmuştur. Türkiye'de 2022 yılı Elektrikli Otomobil pazarında BMW markası; markalar klasmanında çok satılan marka sıralamasında birinci olmuştur ve 1502 adet ile BMW markasının iX model aracı da zirveye yerleşmiştir (TEHAD, 2021).

Türkiye'nin ilk elektrikli otomobili olan T10X modeli kullanım şartlarına uygun olarak yüksek menzilli ve hızlı şarj sistemleri ile donatılmış bir bataryaya sahip, tek bir motor seçeneği ile 3 farklı model olarak satışa sunulmuş ve tüm seçeneklerde 160 kW güç üretebilen motor kullanılmıştır. Yerli otomobilin bataryasında ise iki farklı güç seçeneği yer almaktadır. Standart modelleri olan V1 RWD ve V2 RWD'nin batarya kapasitesi 52.4 kWh iken uzun menzilli olan V2 RWD'nin ise 88.5 kWh'tir. Standart menzilli modelleri tek şarj ile 314 km mesafe kat edebilirken uzun menzilli olan V2 RWD modeli ise tek şarj ile 523 km yol alabilmektedir. Tüm modellerde AC dahili şarj gücü 11 kW'tır. 11 kW AC şarj istasyonu ile bataryalarının %20'den %80 şarja ulaşma süresi V2 RWD uzun menzil modelinde 345 dk iken diğer iki modelde bu süre 195

dakikadır. DC 180 kW şarj gücü ile batarya kapasitelerinin %20'den %80'e ulaşma süresi tüm modellerde 28 dakika gibi kısa bir süredir (URL-7, 2023). Şekil 32'de TOGG T10X gösterilmektedir.



Şekil 32. TOGG T10X elektrikli otomobil

BMW iX, BMW'nin elektrikli SUV segmentinde yer alan elektrikli bir araç modelidir. 2021 yılında piyasaya sürülen bu araç, BMW'nin geleceğe yönelik sürdürülebilir mobilite vizyonunun bir parçası olarak tasarlanmıştır (URL-8, 2023). Şekil 33'te BMW iX'e ait görsel gösterilmektedir.



Şekil 33. BMW iX elektrikli otomobil (URL-9, 2023).

BMW iX'e ait teknik veriler incelendiğinde BMW iX'in 240 kW güç üretebilen elektrik motoruna sahip olduğu görülmektedir. Aracın bataryası, yaklaşık 425 km menzil sağlayabilen 71 kWh'lık bir kapasiteye sahiptir. 150 kW'a kadar çıkabilen DC şarj istasyonları ile 31 dakikada batarya kapasitesinin % 80'inin; 11 kW AC şarj istasyonları ile 8 saatte % 100'ünün şarj edilmesi mümkündür. 150 kW'a kadar çıkabilen DC (hızlı şarj) ile 100 km'lik bir menzil artışı 10 dakika gibi kısa bir süre içerisinde elde edilebilmektedir (URL-9, 2023).

4.4. WinQSB Programı

İşletme, endüstri mühendisliği ve yöneylem araştırması alanlarında kullanılan bir yazılım olan WinQSB; kullanıcıların çeşitli problemlere yönelik çözümler oluşturmalarına yardımcı olan bir araçtır. WinQSB kullanıcıların farklı modelleri oluşturmalarına, verileri analiz etmelerine, optimize etmelerine ve raporlamalarına olanak tanımaktadır.

WinQSB kullanıcıların farklı problemleri ele almalarına imkan sunmaktadır. Örneğin; üretim süreçleri, envanter yönetimi, nakliye ve lojistik, finansal planlama ve tahminleme gibi alanlarda kullanılabilmektedir. Kullanıcılar, programın sunduğu araçları ve modelleri kullanarak bu problemlere yönelik çözümler üretebilmektedirler. Programın arayüzü kullanıcı dostudur ve kolayca öğrenilebilmektedir. Kullanıcılar, farklı modelleri oluşturmak için menülerden seçim yapabilir ve verileri girdikten sonra çözümleri görselleştirmek için grafikler oluşturabilmektedirler. Ayrıca program

kullanıcıların analizlerini optimize etmelerine yardımcı olan çeşitli araçlar da sunmaktadır.

WinQSB'nin en önemli avantajlarından biri kullanıcıların farklı problemlere yönelik modelleri kolayca oluşturabilmesidir. Program, çeşitli matematiksel modelleri kullanarak analizler yapabilir ve sonuçları optimize edebilir. Ayrıca, programın sunduğu raporlama özellikleri kullanıcıların analizlerini diğer kişilerle paylaşımlarını ve sonuçları daha iyi anlamalarını sağlayabilir.

WinQSB yöneylem literatürünü barındıran ve modüllerden oluşan bir programdır. Her bir modül kendi içerisinde literatürdeki algoritma ve çözüm yöntemlerini içermektedir (Erdoğan, 2010). WinQSB programının içerdiği modüllerden bazıları toplu üretim planı, karar analizi, dinamik programlama, doğrusal ve tamsayı programlama, markov süreçleri, doğrusal olmayan programlama ve kuyruk analizi modülleridir.

Kuyruk Analizi Modülü ile kuyruk performans analizi, sistem parametreleri için duyarlılık analizi, kuyruk ve servis kapasitesi için kapasite analizi, uygun bir formülasyon bulunamadığında yakınlaştırma, simülasyon, servis süresi, gelişler arası süre ve yığılma miktarı için 15 olasılık dağılımı, kuyruk performansı ve maliyet analizinin gösterimi ve duyarlılık analizinin grafiksel sonucunun gösterimi yapılabilmektedir (Erdoğan, 2010).

4.5. Maliyet Hesaplama

Bir işletme için kurulması gereken şarj cihazı sayısını belirlemede en önemli parametre maliyettir. Yönetici, makinenin atıl durumda kalması ile oluşacak maliyet ile, makinelerin sürekli çalışması için gereken şarj istasyonu sayısının oluşturduğu kurulum maliyeti arasında optimum noktayı bulmak durumundadır. Verimli bir işletme için hem makine atıl kalmıyor olmalıdır hem de şarj için bekleyen araç sayısı fazla olmamalıdır.

Bu çalışmada kullanılan maliyet çalışmaları bu iki faktör baz alınarak hesaplanmıştır. Oluşan toplam maliyet denkleminin genel hali Eşitlik 11'de ayrıntılı hesap yöntemi ise Eşitlik 12'de gösterilmektedir.

$$\frac{\text{Toplam Maliyet}}{\text{Saat}} = \frac{\text{Servis Maliyeti}}{\text{Saat}} + \frac{\text{Bekleme Maliyeti}}{\text{Saat}} \quad (\text{Eşitlik 11})$$

$$\text{Toplam Maliyet} = (\text{Saatlik Şarj İstasyonu Maliyeti} \times s) + (\text{Saatlik Kazanç Kaybı Maliyeti} \times W_q \times L_q) \quad (\text{Eşitlik 12})$$

Bu eşitlikte:

s = Şarj İstasyonu Sayısı,

W_q = Birim zamanda şarj için bekleme süresi,

L_q = Birim zamanda şarj için bekleyen EA sayısıdır.

Kazanç kaybı maliyeti; işletmenin şarj istasyonlarından saatlik kazanacağı şarj ücretini, bekleyen araçlardan bekleme süresince kazanamamasından kaynaklı kayıp maliyet olarak kabul edilmiştir (Çelikkıran, 2019).

4.5.1. Şarj İstasyonu Kurulum Maliyeti

Şarj istasyonu kurulum maliyetinin hesaplanması için ortalama kurulum maliyetleri kullanılacaktır. Toplam maliyet; altyapı maliyeti, donanım-yazılım maliyeti, danışmanlık maliyeti ve ofis, muhasebe, sigorta vb. giderlerin maliyetlerinin toplam maliyete %10 ilave eklenen diğer maliyetlerin toplamı olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7. Ticari şarj istasyonu yaklaşık birim kurulum maliyetleri (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021).

Maliyetler	Miktar	AC Şarj Cihazı >22kW-2'li Soket	DC Hızlı Şarj Cihazı>100kW-2'li Soket
Altyapı Maliyeti	1 adet	5740.00 \$	5740.00 \$
Donanım-Yazılım Maliyeti	1 adet	11150.00 \$	23150.00 \$
Danışmanlık Maliyeti	1 adet	250.00 \$	250.00 \$
Diğer maliyetler	1 adet	500.00 \$	2500.00 \$
Toplam Birim Maliyet	1 adet	17640.00 \$	31640.00 \$

Tablo 7’de verilen ticari şarj istasyonu kurulum maliyetleri doğrultusunda senaryolarda kullanılacak olan şarj istasyonu kurulum maliyetleri hesaplanmıştır. AC 22 kW ve DC >100 kW şarj istasyonlarının amortisman süresi 5 yıl olarak belirlenmiştir. Benzer bir çalışmada girdi maliyetleri ve sabit yatırım tutarı verileri kullanılarak hızlı

şarj cihazlı şarj istasyonunda yapılan yatırımın geri dönüş süresi 4.86 yıl olarak hesaplanmıştır (Avci, 2022). Amortisman süresi göz önüne alınarak şarj istasyonu kurulum maliyeti saatlik olarak hesaplanmıştır. AC 22 kW şarj istasyonu için kurulum maliyeti 0.408 \$/h iken DC >100 kW şarj istasyonu için kurulum maliyeti 0.722 \$/h'tir. Şarj istasyonlarının her ikisi de çift soketli olduğundan kurulum maliyeti olarak hesaplanan maliyetin yarısı değerlemeye alınacaktır. 24.04.2023 döviz kuruna göre 1\$ 19.405 ₺'dir. AC 22 kW şarj istasyonu için kurulum maliyeti 3.958 ₺/h ve DC >100 kW şarj istasyonu için kurulum maliyeti ise 7.005 ₺/h'tir.

4.5.2. Şarj Maliyeti

Ülkemizde Ağustos 2022'ye kadar şarj istasyonu firmaları müşterilerine dakika başına ya da kW saat başına birim fiyat ile ücretlendirme yapmaktaydı. Ancak bu durum birçok müşteri için karışık ve hesaplamada çeşitli problemlere yol açmaktaydı. Şarj ağı işletmeciliği faaliyetlerinin lisansa tabi tutulması ile birlikte şarj hizmet tarifelerinde değişikliklere gidilmiş ve düzenleme ile birlikte elektrikli şarj istasyonlarında ücretlendirmeler sadece kWh üzerinden yapılacak şekilde değiştirilmiştir. 1 Ağustos 2022 de yürürlüğe giren bu yeni düzenleme ile birlikte istasyonlar fiyatlandırmalarını buna göre ayarlamaya başlamıştır.

Türkiye'de faaliyet gösteren altı büyük elektrikli araç şarj istasyonu firmasının güncel şarj fiyatları listesi Tablo 8'de gösterilmiştir. Tablo şarj firmalarının güncel fiyat listelerinden alınarak hazırlanmıştır.

Tablo 8. Elektrikli araç şarj istasyonu firmalarının NİSAN 2023 güncel fiyat listesi

Şarj Soketi Tipi	Trugo	ZES	Eşarj	Sharz.net	Voltrun
AC 22 kW	—	5.99 ₺/kWh	6.18 ₺/kWh	6.5 ₺/kWh	6.45 ₺/kWh
DC 50 kW	—	—	—	8.25 ₺/kWh	—
DC 60 kW	—	6.99 ₺/kWh	7.32 ₺/kWh	—	—
DC 120 kW	—	7.49 ₺/kWh	7.79 ₺/kWh	9.0 ₺/kWh	—
DC 180 kW	7.99 ₺/kWh	7.49 ₺/kWh	—	—	8.75 ₺/kWh
DC 300 kW	7.99 ₺/kWh	—	—	—	—

Tablo 8'de verilen ticari şarj istasyonu birim fiyatları doğrultusunda senaryolarda kullanılacak olan şarj maliyetleri hesaplanmıştır. Hesaplama AC 22 kW ve DC 120-180 kW ortalama şarj maliyeti dikkate alınacaktır. AC 22 kW şarj maliyeti dört

firmanın birim fiyatlarının ortalaması olan 6.28 ₺/kWh, DC 120-180 kW şarj maliyeti de yine dört firmanın birim fiyatlarının ortalaması olan 8.08 ₺/kWh olarak baz alınmıştır. Senaryolarda bu iki ortalama birim fiyat kullanılacaktır.



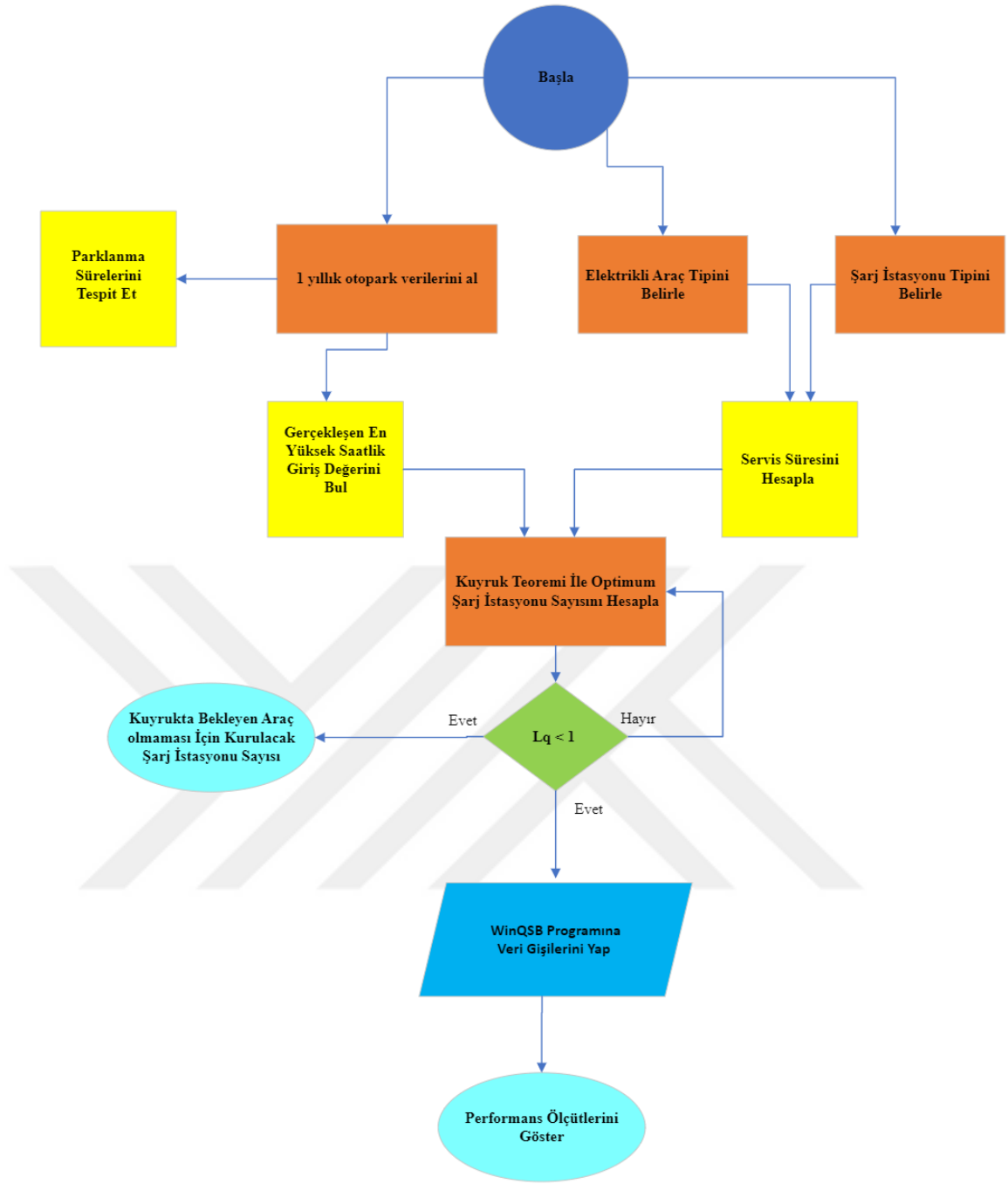
5. UYGULAMA

15 Temmuz Zafer Meydanı Katlı otoparkına dört farklı senaryoya göre farklı tip ve sayıda şarj istasyonu kurulacaktır. Bu senaryoların işletilmesi neticesinde optimum şarj istasyonu sayısı ve tipi belirlenecektir. Senaryolarda farklı teknik özelliklere sahip iki araç kullanılacak olup bu araçlar TOGG ve BMW iX'tir. BMW iX Türkiye'de son yıllarda en çok satın alınan elektrikli araç olma özelliğine sahip iken TOGG ise ilk yerli ve milli doğuştan elektrikli araçtır.



Şekil 34. TOGG T10X ve BMW iX birlikte şarj olmakta

Servis hizmetlerinin sağlandığı şarj istasyonları araçların uzun sürede şarj olmalarını olumsuz etkileyen bir özelliktir. Bu durumun göz ardı edilmesi sonucunda hizmet talep eden kullanılcılara yetkin bir karşılık verilemeyeceğinden dolayı servis hizmetinde uzun kuyruklar oluşmasına sebep olacaktır. Buna bağlı olarak bekleme süreleri artacak ve müşteri kaybına yol açacaktır. Bu durumların önüne geçebilmek adına kuyruk teoremi kullanılarak bekleme süresini en aza indirgeyecek şarj istasyonu sayısı bulunacaktır. Seneryolarda uygulanacak yönteme ait akış diyagramı Şekil 35'te gösterildiği gibidir.



Şekil 35. Uygulamada kullanıcak yöntemlere ait akış şeması

Bu çalışmadaki şarj istasyonunun servisi; tek sıra, tek faz, çoklu sunucu kuyruk teoremi modeliyle kurulmuştur. Tek sıra seçilmesinin nedeni otoparkta tek bir kapıdan giriş ve çıkış yapılması ve tek faz seçilmesinin nedeni ise araçların sadece şarj olacak olmasıdır. Çoklu sunucu seçilmesi de otoparkta birden fazla şarj istasyonu olduğundan dolayı gelen müşterinin istediğini kullanabilecek olmasıdır. Uygulamada böyle bir model kurulabilmesi için elektrikli araçlar ve şarj istasyonlarıyla ilgili bazı kabuller yapılmalıdır;

- Gelen her bir elektrikli araç kuyruğa girmeli ve kuyruğu terketmemelidir.
- Her bir şarj ünitesine birbirinden bağımsız ve sınırsız elektrikli araç gelmektedir.
- Elektrikli araçlar şarj istasyonuna poisson dağılımına uygun geliş yaptığı ve negatif exponansiyel dağılım şeklinde bir çıkış sergiledikleri varsayılmıştır.
- Tüm şarj istasyonlarının verimleri aynı kabul edilmiştir.
- Otoparka gelen elektrikli araçların teknik verilerde paylaşılan şarj verilerine göre şarj olup otoparktan ayrılacakları kabul edilmiştir.
- Servis disiplini ise (FIFO) ilk giren ilk çıkar şeklinde kabul edilmiştir.

Bütün senaryolarda bir saatte giren araç sayısının %5'i elektrikli araç olması esasına göre kabul edilmiştir. Seçimin bu şekilde yapılmasını nedeni birçok makale ve raporda 2020 yılı gerçekçi rakamlarının tüm iyimser senaryolarda ortalama %5 olarak alınmasıdır (Yağcıtekin, 2014). Farklı bir raporda ise yüksek büyüme senaryosu için 2030 yılında elektrikli araç payının %10 olacağı, orta büyüme senaryolarında ise bu payın %5 civarı olacağı öngörülmektedir (Saygın vd., 2019). Bölüm 4.2'de bir yıl boyunca otoparka giriş yapan araç sayısının bir saatte en fazla 42 olduğu tespit edilmiştir. Bu verilere bağlı olarak senaryoların tümünde bir saatte giriş yapan araç sayısı olan 42' nin %5'i olma durumunda, bir saatte otoparka giriş yapan elektrikli araç sayısı 2 olarak kabul edilecektir.

Senaryolarda kurulan modellerin sağlamlasını ve elde edilen sonuçların ne kadar geçerli olduğunu tespit etmek için duyarlılık analizleri yapılacaktır. Duyarlılık analizi, model parametrelerindeki tek bir değişkenin değişiminin sistem performans değerlerini nasıl değiştirdiğini gösteren bir analizdir. Örneğin kurulması planlanan şarj istasyonu sayısındaki artışın kuyrukta bekleme sürelerinin ya da kuyrukta bekleyen araç sayılarının nasıl etkilendiği incelenmektedir (Köfteci ve Gerçek, 2010).

Eğri uydurma tekniği, belirli noktalarda verilen bir fonksiyonun, daha kolay hesaplamalar yapılabilmesi veya pratikte kullanımı zor olan fonksiyonların yerine geçebilecek başka bir fonksiyonun bulunması sürecini ifade etmektedir. Bu süreçte, verilen noktalardaki değerlere en yakın olan yeni bir fonksiyon oluşturulmaya çalışılmaktadır. Matlab'da bulunan Curve Fitting kütüphanesi, verileri uyumlamak için en küçük kareler yöntemini kullanır. Uyum süreci, yanıt verilerini bir veya daha fazla katsayıyla ilişkilendiren bir model gerektirir. Uyum sürecinin sonucu, modelin gerçek ancak bilinmeyen katsayılarının bir tahminidir (Wen vd., 2012). Senaryoların maliyet optimizasyon kısımlarında elektrikli araç şarj istasyonu sayısına göre kuyruk teoremi kullanılarak hesaplanacak beklenen saatlik toplam maliyet değerleri matlab programına

veri olarak girilerek ve Matlab programının curve fitting kütüphanesi kullanılarak şarj istasyonu sayısına göre toplam saatlik maliyeti veren farklı fonksiyonlar elde edilecektir.

5.1. Senaryo 1

İlk senaryomuzda saatte otoparka giriş yapan elektrikli araç sayısı 2, tüm araçlar TOGG T10X standart menzill model ve kurulacak olan şarj istasyonları AC tip seçilmiştir. 2023 Mart ayında satışa giren T10X standart menzilli modelin Bölüm 4.3'te verilen teknik özelliklerine göre AC 11 kW şarj istasyonu ile %20' den %80 şarja 195 dakikada ulaşmaktadır. Bu nedenle şarj istasyonu servis süresi 3 saat 15 dakika olarak belirlenmiştir.

Kuyruk teoremi kullanılarak yapılacak hesaplamaların tümü kuyruk teoreminin M/M/s modeline göre yapılmıştır. Farklı senaryo ve şarj sürelerine göre farklı sayılarda ve tipte optimum şarj istasyonu sayısı elde edilebilmektedir. Bu çalışmada öncelikli olarak kuyrukta bekleyen EA sayısının ve bekleme süresinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Senaryo 1 için yapılan hesaplamalar sonucunda kuyrukta bekleyen araç olmaması durumunu sağlayacak şarj istasyonu sayısının 9 adet olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen veriler WinQSB programına girdi olarak verilerek sonuçlar irdelenmiştir. Maliyet optimizasyonu ise Bölüm 5.5'te ele alınmıştır.

Programa girilen veriler saatlik müşteri gelişi 2, sunucu sayısı 9 ve servis oranı ise 0.31 olacak şekilde yapılmıştır. Tablo 9'da WinQSB programına Senaryo 1 için girişi yapılan değerler gösterilmiştir.

Tablo 9. Senaryo 1 için WinQSB programı veri girişi

Veri Tanımı	Giriş
Sunucu Sayısı	9
Servis Oranı (Her Sunucu İçin Saatte)	0.31
Müşteri Gelişleri (Saatlik)	2
Kuyruk Kapasitesi	M
Müşteri Popülasyonu	M

WinQSB programına girişlerin yapılması sonucunda Tablo 10'da gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 10. Senaryo 1'in WinQSB analiz çıktıları

Performans Ölçütleri	Sonuç
Sistem : M/M/9	
Saatlik Müşteri Gelişleri	2
Saatlik Servis Oranı	0.31
Sistem Kullanımı	% 71.68
Sistemdeki Ortalama Müşteri Sayısı	7.13
Kuyruktaki Ortalama Müşteri Sayısı	0.6878
Meşgul Sistemdeki Kuyruktaki Ortalama Müşteri Sayısı	2.53
Sistemde Harcanan Ortalama Süre	3.5697 Saat
Kuyrukta Harcanan Ortalama Süre	0.3439 Saat
Meşgul Sistemdeki Kuyrukta Harcanan Ortalama Müşteri Süresi	1.2658 Saat
Tüm Şarj istasyonlarının Boşta Kalma Olasılığı	% 0.14
Gelen Müşterinin Bekleme ya da Sistemin Meşgul Olma Olasılığı	% 27.16

Tablo 10'da görüldüğü gibi şarj istasyonu sayısının 9 olması durumunda sistem kullanım oranı %71 olmuştur. Sistemde bulunan ortalama müşteri sayısı 7.13 kuyruktaki ortalama müşteri sayısı ise 0.6878 adettir. Kuyrukta harcanan ortalama süre de 0.3439 saattir. Tüm şarj istasyonlarının boşta kalma olasılığı %0,14 ve gelen müşterinin bekleme ya da sistemin meşgul olma olasılığı ise %27.16'dır. M/M/9 modeli için Senaryo 1 çıktılarının açıklamaları Tablo 11'deki gibidir.

Tablo 11. Senaryo 1 çıktılarının açıklaması

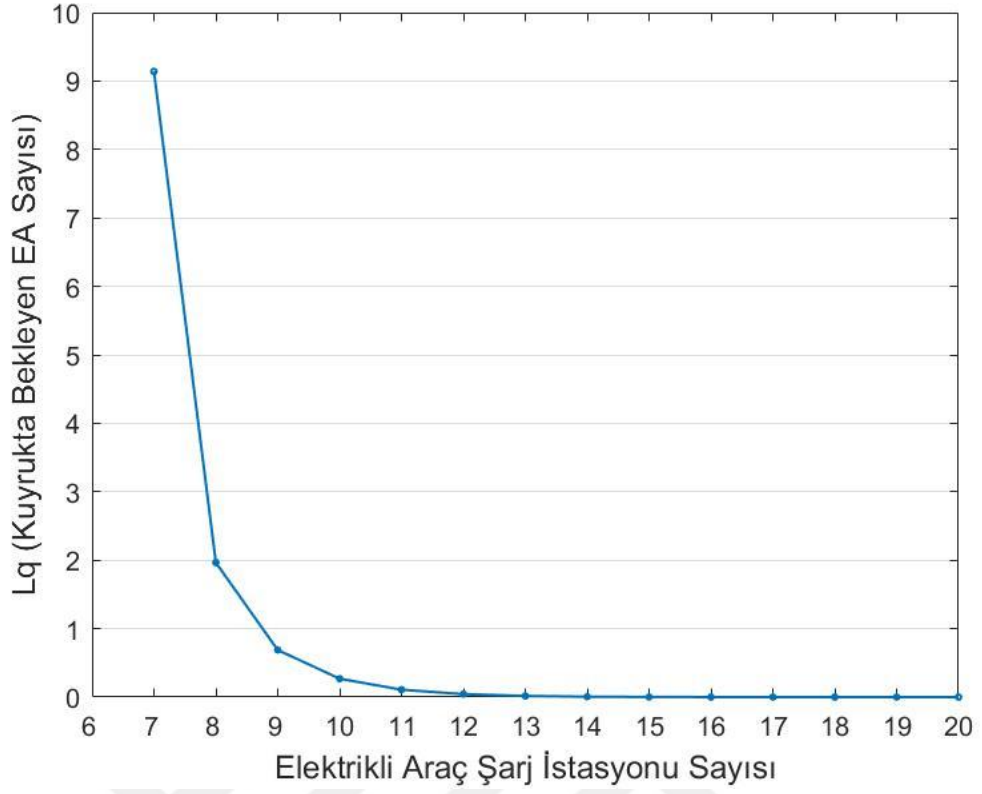
Birim zamanda (bir saat) gelen EA sayısı (λ)	2
Birim zamanda (bir saat) servis alan EA sayısı (μ)	0.31
Sistemin ortalama etkinliği – doluluk oranı (kullanım faktörü)	%71.68
Sisteme gelen bir EA bekleme olasılığı P_w	%27.19
Sistemde bulunan ortalama EA sayısı (L)	7.13
Kuyrukta bekleyen ortalama EA sayısı (Lq)	0.6878
Bir EA sistemde ortalama bekleme süresi (W)	3.56 saat
Kuyrukta bekleme süresi (Wq)	0.3439 saat

Tablo 12'de hizmet veren şarj istasyonu sayısı 1'den 15'e doğru artırılarak saatlik gelen müşteri sayısına göre duyarlılık analizi yapılmıştır.

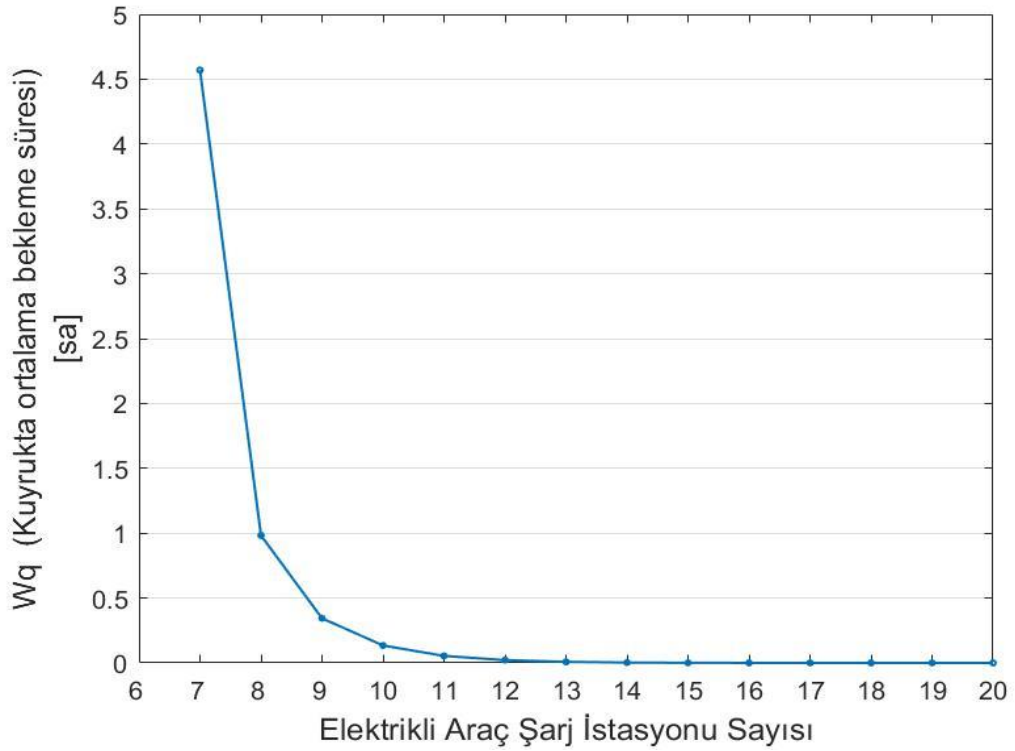
Tablo 12. Senaryo 1 için hizmet veren şarj istasyonu sayısına göre duyarlılık analizi

EA Şarj İstasyonu Sayısı	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Sistem Doluluk Oranı	L	Lq	W	Wq	P0	Pw
1	2	Kararsız						
2	2	Kararsız						
3	2	Kararsız						
4	2	Kararsız						
5	2	Kararsız						
6	2	Kararsız						
7	2	0.9217	15.5908	9.1392	7.7954	4.5696	0.0007	0.7768
8	2	0.8065	8.4169	1.9653	4.2085	0.9827	0.0012	0.4717
9	2	0.7168	7.1394	0.6878	3.5697	0.3439	0.0014	0.2717
10	2	0.6452	6.7207	0.2691	3.3603	0.1345	0.0015	0.148
11	2	0.5865	6.5595	0.1079	3.2798	0.054	0.0016	0.0761
12	2	0.5376	6.4945	0.0429	3.2472	0.0214	0.0016	0.0369
13	2	0.4963	6.4682	0.0166	3.2341	0.0083	0.0016	0.0168
14	2	0.4608	6.4578	0.0062	3.2289	0.0031	0.0016	0.0073
15	2	0.4301	6.4538	0.0022	3.2269	0.0011	0.0016	0.003

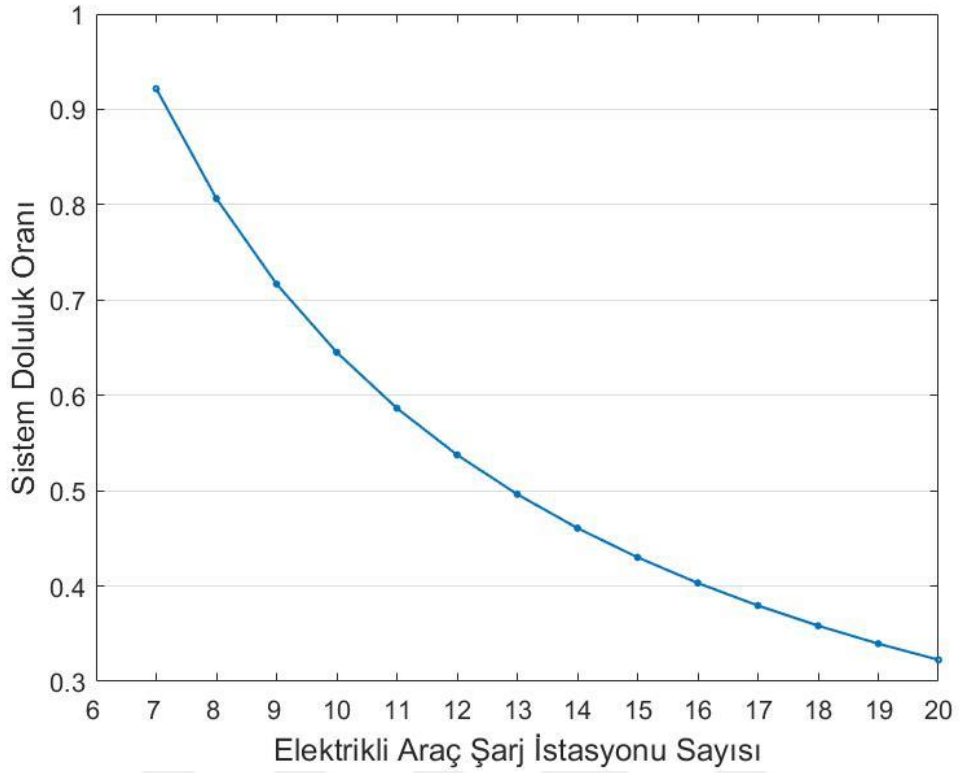
Tablo 12'ye göre şarj istasyonu sayısı 7 iken kuyrukta bekleyen araç sayısı 9.13'tür Hizmet veren şarj istasyonu sayısı arttıkça sistem doluluk oranı azalmakta, 9. şarj istasyonunun hizmet vermeye başlamasıyla birlikte (Lq) kuyruktaki bekleyen EA sayısı 1'in altına düşmektedir. Hizmet veren şarj istasyonu sayısı arttıkça sistem bekleme süresi 4.56 saatten 15. şarj istasyonunun devreye girmesiyle 0.0011 saate düşmektedir. 7 adet şarj istasyonu varken doluluk oranı %92 iken 15 adet şarj istasyonunun hizmet vermesi durumunda doluluk oranı da %43'e düşmektedir. Şekil 36, Şekil 37 ve Şekil 38'de şarj istasyonu sayısına bağlı olarak kuyrukta bekleyen araç sayısı, kuyrukta bekleme süresi ve sistem doluluk oranındaki değişimler gösterilmiştir.



Şekil 36. Senaryo 1 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleyen araç sayısı üzerindeki etkisi



Şekil 37. Senaryo 1 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleme süresi üzerindeki etkisi



Şekil 38. Senaryo 1 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının sistem doluluk oranı üzerindeki etkisi

5.2. Senaryo 2

Bu senaryoda saatte otoparka giriş yapan elektrikli araç sayısı 2, tüm araçlar TOGG T10X modeli ve kurulacak olan şarj istasyonları DC tip seçilmiştir. T10X standart menzilli modelin Bölüm 4.3'te verilen teknik özelliklerine göre DC 180 kW şarj istasyonu ile %20'den %80 şarja 28 dakikada ulaşmaktadır. Şarj ünitesi servis süresi en kısa olan Senaryo 2'dir.

Kuyruk teoremi kullanılarak yapılacak hesaplamaların tümü kuyruk teoreminin M/M/s modeline göre yapılmıştır. Bu çalışmada öncelikli olarak kuyruktaki bekleyen EA sayısının ve bekleme süresinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Senaryo 2 için yapılan hesaplamalar sonucunda kuyrukta bekleyen araç olmaması durumunu sağlayacak şarj istasyonu sayısının 2 adet olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen veriler WinQSB programına girdi olarak verilerek sonuçlar incelenmiştir. Maliyet optimizasyonu Bölüm 5.5'te ele alınmıştır.

Programaya girilen veriler saatlik müşteri gelişi 2, sunucu sayısı 2 ve servis oranı ise 2.14 olacak şekilde yapılmıştır. Tablo 13'te Senaryo 2 için programa girişleri yapılan değerler gösterilmiştir.

Tablo 13. Senaryo 2 için WinQSB programı veri girişi

Veri Tanımı	Giriş
Sunucu Sayısı	2
Servis Oranı (Her Sunucu İçin Saatte)	2.14
Müşteri Gelişleri (Saatlik)	2
Kuyruk Kapasitesi	M
Müşteri Popülasyonu	M

WinQSB programına girişlerin yapılması sonucunda Tablo 14'te gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 14. Senaryo 2'nin WinQSB analiz çıktıları

Performans Ölçütleri	Sonuç
Sistem : M/M/2	
Saatlik Müşteri Gelişleri	2
Saatlik Servis Oranı	2.14
Sistem Kullanımı	% 46.72
Sistemdeki Ortalama Müşteri Sayısı	1.19
Kuyruktaki Ortalama Müşteri Sayısı	0.2611
Meşgul Sistemdeki Kuyruktaki Ortalama Müşteri Sayısı	0.87
Sistemde Harcanan Ortalama Süre	0.5978 Saat
Kuyrukta Harcanan Ortalama Süre	0.1305 Saat
Meşgul Sistemdeki Kuyrukta Harcanan Ortalama Müşteri Süresi	0.4386 Saat
Tüm Şarj istasyonlarının Boşta Kalma Olasılığı	% 36.30
Gelen Müşterinin Bekleme ya da Sistemin Meşgul Olma Olasılığı	% 29.76

Tablo 14 'te görüldüğü gibi şarj istasyonu sayısının 2 olması durumunda sistem kullanım oranı %46 olmuştur. Sistemde bulunan ortalama müşteri sayısı 1.19, kuyruktaki ortalama müşteri sayısı 0.26 adet ve kuyrukta harcanan ortalama süre 0.13 saattir. Tüm şarj istasyonlarının boşta kalma olasılığı %36.30 ve gelen müşterinin bekleme ya da sistemin meşgul olma olasılığı ise %29.76'dır. M/M/2 modeli için Senaryo 2 çıktıların açıklamaları Tablo 15'te gösterilmiştir.

Tablo 15. Senaryo 2 çıktılarının açıklaması

Birim zamanda (bir saat) gelen EA sayısı (λ)	2
Birim zamanda (bir saat) servis alan EA sayısı (μ)	2.14
Sistemin ortalama etkinliği – doluluk oranı (kullanım faktörü)	%46.72
Sisteme gelen bir EA bekleme olasılığı P_w	%29.76
Sistemde bulunan ortalama EA sayısı (L)	1.19
Kuyrukta bekleyen ortalama EA sayısı (Lq)	0.2611
Bir EA sistemde ortalama bekleme süresi (W)	0.5978 saat
Kuyrukta bekleme süresi (Wq)	0.1305 saat

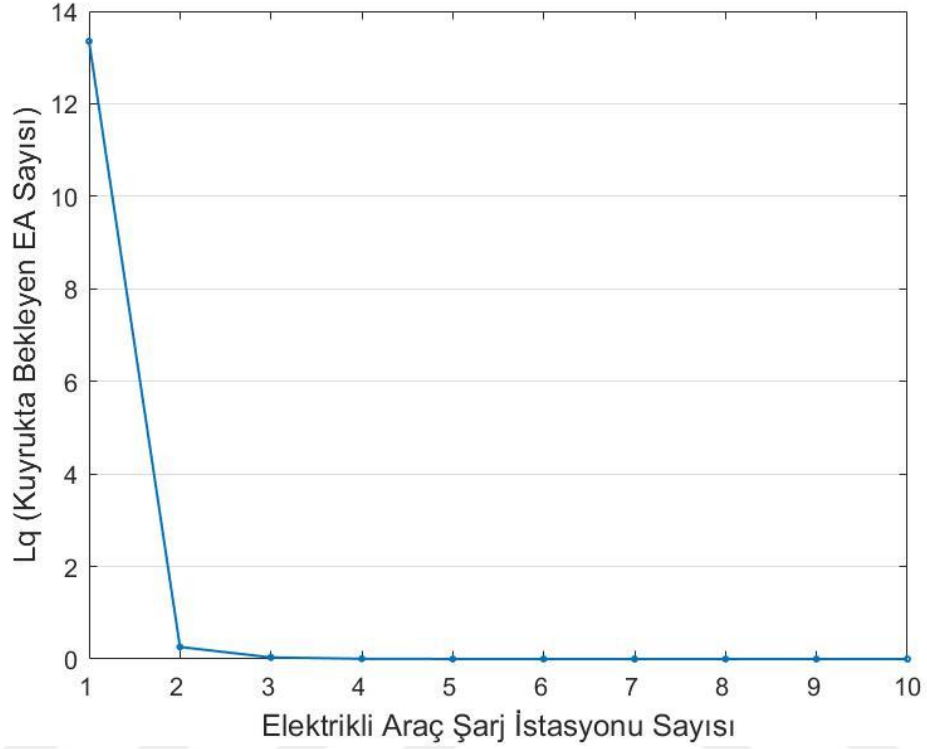
Tablo 16’da hizmet veren şarj istasyonu sayısı 1’den 15’e doğru arttırılarak saatlik gelen müşteri sayısına göre duyarlılık analizi yapılmıştır.

Tablo 16. Senaryo 2 için hizmet veren şarj istasyonu sayısına göre duyarlılık analizi

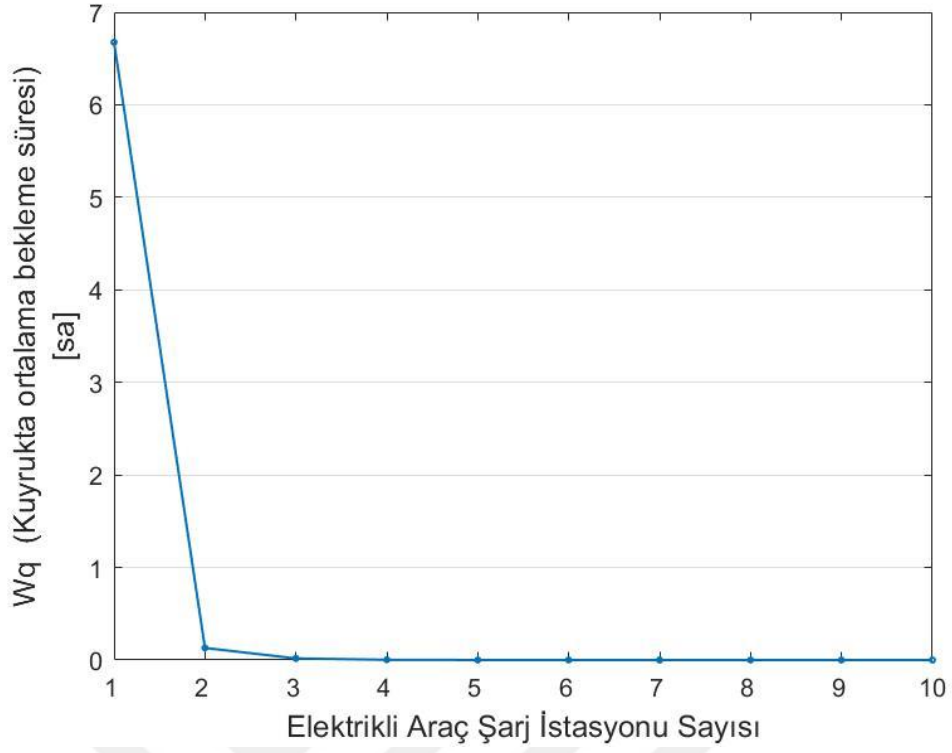
EA Şarj İstasyonu Sayısı	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Sistem Doluluk Oranı	L	Lq	W	Wq	P0	Pw
1	2	0.9346	14.2857	13.3511	7.1428	6.6756	0.0654	0.9346
2	2	0.4673	1.1957	0.2611	0.5978	0.1305	0.3631	0.2976
3	2	0.3115	0.9694	0.0348	0.4847	0.0174	0.3893	0.0769
4	2	0.2336	0.9395	0.0050	0.4698	0.0025	0.3923	0.0163
5	2	0.1869	0.9352	0.0007	0.4676	0.0003	0.3927	0.0029
6	2	0.1558	0.9347	0.0001	0.4673	0	0.3927	0.0004
7	2	0.1335	0.9346	0	0.4673	0	0.3928	0.0001
8	2	0.1168	0.9346	0	0.4673	0	0.3928	0
9	2	0.1038	0.9346	0	0.4673	0	0.3928	0
10	2	0.0935	0.9346	0	0.4673	0	0.3928	0
11	2	0.0850	0.9346	0	0.4673	0	0.3928	0
12	2	0.0779	0.9346	0	0.4673	0	0.3928	0
13	2	0.0719	0.9346	0	0.4673	0	0.3928	0
14	2	0.0668	0.9346	0	0.4673	0	0.3928	0
15	2	0.0623	0.9346	0	0.4673	0	0.3928	0

Tablo 16’ya göre şarj istasyonu sayısı 1 iken kuyrukta bekleyen araç sayısı 13.35’tir. 2.şarj istasyonunun hizmet vermeye başlamasıyla birlikte (Lq) kuyrukta bekleyen EA sayısı 1’in altına düşmektedir. Hizmet veren şarj istasyonu sayısı arttıkça sistem doluluk oranı da azalmaktadır. Hizmet veren şarj istasyonu sayısı arttıkça sistem bekleme süresi 7.14 saatten başlayarak 6. istasyonun devreye girmesiyle 0.4673 saate sabitlenmiş ve 15. şarj istasyonuna kadar 0.4673 saatte sabit kalmıştır. 1 adet şarj istasyonu varken doluluk oranı %93 iken 9. şarj istasyonundan sonra doluluk oranı

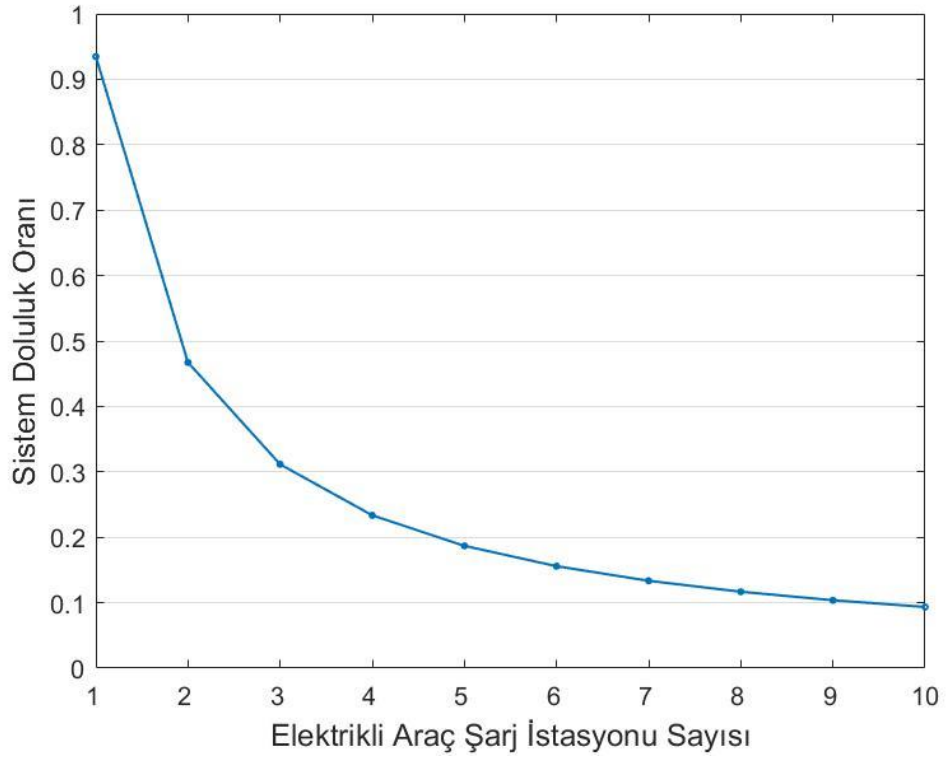
%10'un altına düşmektedir. Şekil 39, Şekil 40 ve Şekil 41'de şarj istasyonu sayısına bağlı olarak kuyrukta bekleyen araç sayısı, kuyrukta bekleme süresi ve sistem doluluk oranındaki değişimler gösterilmiştir.



Şekil 39. Senaryo 2 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleyen araç sayısı üzerindeki etkisi



Şekil 40. Senaryo 2 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleme süresi üzerindeki etkisi



Şekil 41. Senaryo 2 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının sistem doluluk oranı üzerindeki etkisi

5.3. Senaryo 3

Bu senaryoda saatte otoparka giriş yapan elektrikli araç sayısı 2, tüm araçlar BMW iX modeli ve kurulacak olan şarj istasyonları AC tip seçilmiştir. Aracın Bölüm 4.3'te verilen teknik özelliklerine göre AC hızlı şarj istasyonu ile 0'dan %100'e 8 saatte ulaşmaktadır. Şarj istasyonu servis süresi en fazla bu senaryoda olmaktadır.

Kuyruk teoremi kullanılarak yapılacak hesaplamaların tümü kuyruk teoreminin M/M/s modeline göre yapılmıştır. Bu çalışmada öncelikli olarak kuyruktaki bekleyen EA sayısının ve bekleme süresinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Senaryo 3 için yapılan hesaplamalar sonucunda kuyrukta bekleyen araç olmaması durumunu sağlayacak şarj istasyonu sayısının 21 adet olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen veriler WinQSB programına girdi olarak verilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Maliyet optimizasyonu ise Bölüm 5.5'te ele alınmıştır.

Programa girilen veriler saatlik müşteri gelişi 2, sunucu sayısı 21 ve servis oranı ise 0.125 olacak şekilde yapılmıştır. Tablo 17'de WinQSB programına Senaryo 3 için girişi yapılan değerler gösterilmiştir.

Tablo 17. Senaryo 3 için WinQSB programı veri girişi

Veri Tanımı	Giriş
Sunucu Sayısı	21
Servis Oranı (Her Sunucu İçin Saatte)	0.125
Müşteri Gelişleri (Saatlik)	2
Kuyruk Kapasitesi	M
Müşteri Popülasyonu	M

WinQSB programına girişlerin yapılması sonucunda Tablo 18'de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 18. Senaryo 3'ün WinQSB analiz çıktıları

Performans Ölçütleri	Sonuç
Sistem : M/M/21	
Saatlik Müşteri Gelişleri	2
Saatlik Servis Oranı	0.125
Sistem Kullanımı	% 76.19
Sistemdeki Ortalama Müşteri Sayısı	16.54

Tablo 18. (Devamı)

Performans Ölçütleri	Sonuç
Kuyruktaki Ortalama Müşteri Sayısı	0.5469
Meşgul Sistemdeki Kuyruktaki Ortalama Müşteri Sayısı	3.20
Sistemde Harcanan Ortalama Süre	8.2734 Saat
Kuyrukta Harcanan Ortalama Süre	0.2734 Saat
Meşgul Sistemdeki Kuyrukta Harcanan Ortalama Müşteri Süresi	1.6000 Saat
Tüm Şarj istasyonlarının Boşta Kalma Olasılığı	% 0.00
Gelen Müşterinin Bekleme ya da Sistemin Meşgul Olma Olasılığı	% 17.08

Tablo 18’de görüldüğü gibi şarj istasyonu sayısının 21 olması durumunda sistem kullanım oranının %76.19 olmuştur. Sistemde bulunan ortalama müşteri sayısı 16.54, kuyruktaki ortalama müşteri sayısı 0.5469 adet ve kuyrukta harcanan ortalama süre 0.27 saattir. Tüm şarj istasyonlarının boşta kalma olasılığı %0.00 ve gelen müşterinin bekleme ya da sistemin meşgul olma olasılığı ise %17.08’dir. M/M/21 modeli için Senaryo 3 çıktıların açıklamaları Tablo 19’da gösterilmiştir.

Tablo 19. Senaryo 3 çıktıların açıklaması

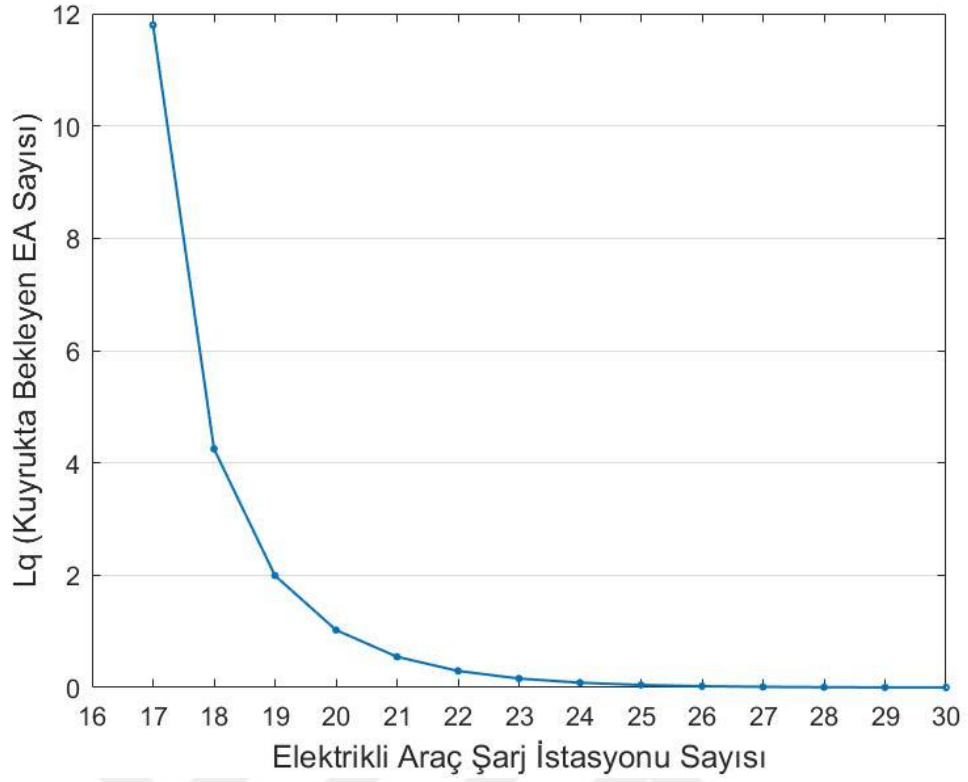
Birim zamanda (bir saat) gelen EA sayısı (λ)	2
Birim zamanda (bir saat) servis alan EA sayısı (μ)	0.125
Sistemin ortalama etkinliği – doluluk oranı (kullanım faktörü)	%76.19
Sisteme gelen bir EA bekleme olasılığı P_w	%17.08
Sistemde bulunan ortalama EA sayısı (L)	16.54
Kuyrukta bekleyen ortalama EA sayısı (L_q)	0.5469
Bir EA sistemde ortalama bekleme süresi (W)	8.2734 saat
Kuyrukta bekleme süresi (W_q)	0.2734 saat

Tablo 20’de hizmet veren şarj istasyonu sayısı 10’dan 30’a doğru artırılarak saatlik gelen müşteri sayısına göre duyarlılık analizi yapılmıştır.

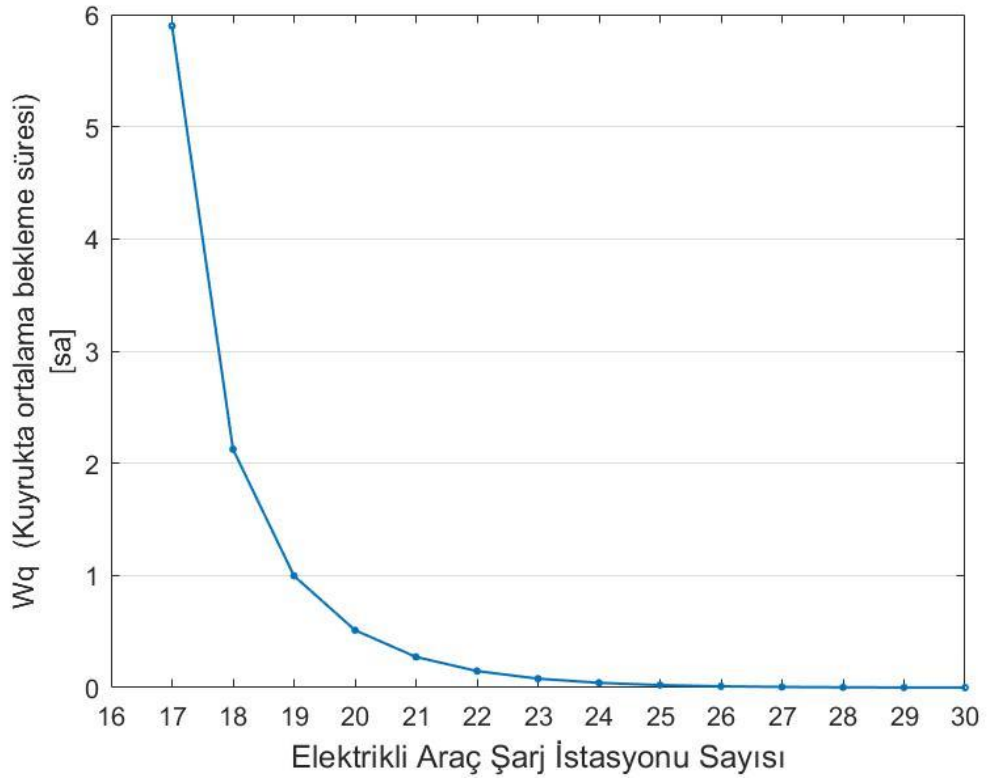
Tablo 20. Senaryo 3 için hizmet veren şarj istasyonu sayısına göre duyarlılık analizi

EA Şarj İstasyonu Sayısı	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Sistem Doluluk Oranı	L	Lq	W	Wq	P0	Pw
10	2	Kararsız						
11	2	Kararsız						
12	2	Kararsız						
13	2	Kararsız						
14	2	Kararsız						
15	2	Kararsız						
16	2	Kararsız						
17	2	0.9412	27.7949	11.7949	13.8975	5.8975	0	0.7372
18	2	0.8889	20.2494	4.2494	10.1247	2.1247	0	0.5312
19	2	0.8421	17.9924	1.9924	8.9962	0.9962	0	0.3736
20	2	0.8	17.0243	1.0243	8.5122	0.5122	0	0.2561
21	2	0.7619	16.5469	0.5469	8.2734	0.2734	0	0.1709
22	2	0.7273	16.2958	0.2958	8.1479	0.1479	0	0.1109
23	2	0.6957	16.1599	0.1599	8.0799	0.0799	0	0.0699
24	2	0.6667	16.0857	0.0857	8.0428	0.0428	0	0.0428
25	2	0.64	16.0453	0.0453	8.0226	0.0226	0	0.0255
26	2	0.6154	16.0235	0.0235	8.0118	0.0118	0	0.0147
27	2	0.5926	16.012	0.012	8.006	0.006	0	0.0082
28	2	0.5714	16.006	0.006	8.003	0.003	0	0.0045
29	2	0.5517	16.0029	0.0029	8.0015	0.0015	0	0.0024
30	2	0.5333	16.0014	0.0014	8.0007	0.0007	0	0.0012

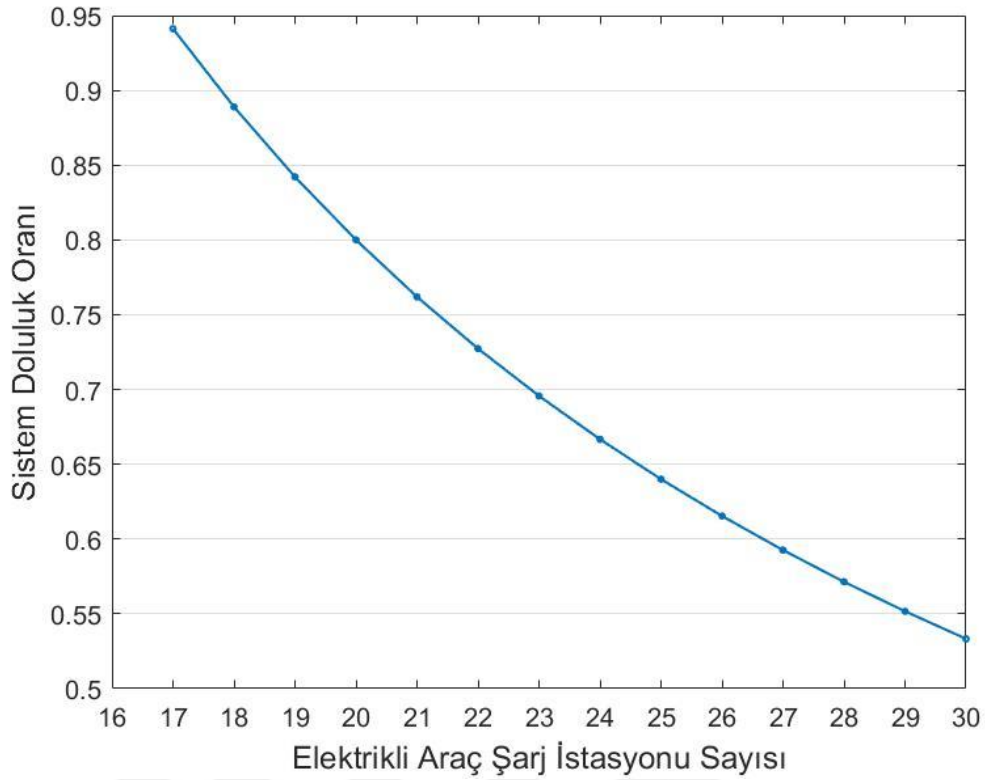
Tablo 20'ye göre şarj istasyonu sayısı 17 iken kuyrukta bekleyen araç sayısı 11.79 adettir. 21. şarj istasyonunun hizmet vermeye başlamasıyla birlikte (Lq) kuyrukta bekleyen EA sayısı 1'in altına düşmektedir. Hizmet veren şarj istasyonu sayısı arttıkça sistem doluluk oranı da azalmaktadır. Hizmet veren şarj istasyonu sayısı arttıkça sistem bekleme süresi 13.89 saatten başlayarak 30. istasyonun devreye girmesiyle 8.008 saate inmiştir. 17 adet şarj istasyonu varken doluluk oranı %94.17 iken 30. şarj istasyonundan sonra doluluk oranı %53.3 olmuştur. Şekil 42 , Şekil 43 ve Şekil 44'te şarj istasyonu sayısına bağlı olarak kuyrukta bekleyen araç sayısı, kuyrukta bekleme süresi ve sistem doluluk oranındaki değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 42. Senaryo 3 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleyen araç sayısı üzerindeki etkisi



Şekil 43. Senaryo 3 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleme süresi üzerindeki etkisi



Şekil 44. Senaryo 3 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının sistem doluluk oranı üzerindeki etkisi

5.4. Senaryo 4

Bu senaryoda saatte otoparka giriş yapan elektrikli araç sayısı 2, tüm araçlar BMW iX modeli ve kurulacak olan şarj istasyonları DC tip seçilmiştir. Bölüm 4.3'te verilen aracın teknik özelliklerine göre DC 150 kW şarj istasyonu ile 0'dan %80 şarj kapasitesine 31 dakikada ulaşmaktadır.

Kuyruk teoremi kullanılarak yapılacak hesaplamaların tümü kuyruk teoreminin M/M/s modeline göre yapılmıştır. Bu çalışmada öncelikli olarak kuyruktaki bekleyen EA sayısının ve bekleme süresinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Senaryo 4 için yapılan hesaplamalar sonucunda kuyrukta bekleyen araç olmaması durumunu sağlayacak şarj istasyonu sayısının 2 adet olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen veriler WinQSB programına girdi olarak verilerek sonuçlar gözden geçirilmiştir. Maliyet optimizasyonu ise Bölüm 5.5'te ele alınmıştır.

Programaya girilen veriler saatlik müşteri gelişi 2, sunucu sayısı 2 ve servis oranı ise 1.93 olacak şekilde yapılmıştır. Tablo 21'de WinQSB programına senaryo 4 için girişi yapılan değerler gösterilmiştir.

Tablo 21. Senaryo 4 için WinQSB programı veri girişi

Veri Tanımı	Giriş
Sunucu Sayısı	2
Servis Oranı (Her Sunucu İçin Saatte)	1.93
Müşteri Gelişleri (Saatlik)	2
Kuyruk Kapasitesi	M
Müşteri Popülasyonu	M

WinQSB programına girişlerin yapılması sonucunda Tablo 22’de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 22. Senaryo 4’ün WinQSB analiz çıktıları

Performans Ölçütleri	Sonuç
Sistem : M/M/2	
Saatlik Müşteri Gelişleri	2
Saatlik Servis Oranı	1.93
Sistem Kullanımı	% 51.81
Sistemdeki Ortalama Müşteri Sayısı	1.4166
Kuyruktaki Ortalama Müşteri Sayısı	0.3803
Meşgul Sistemdeki Kuyruktaki Ortalama Müşteri Sayısı	1.0753
Sistemde Harcanan Ortalama Süre	0.7083 Saat
Kuyrukta Harcanan Ortalama Süre	0.1901 Saat
Meşgul Sistemdeki Kuyrukta Harcanan Ortalama Müşteri Süresi	0.5376 Saat
Tüm Şarj istasyonlarının Boşta Kalma Olasılığı	% 31.74
Gelen Müşterinin Bekleme ya da Sistemin Meşgul Olma Olasılığı	% 35.36

Tablo 22’de görüldüğü gibi şarj istasyonu sayısının 2 olması durumunda sistem kullanım oranının %51.81 olmuştur. Sistemde bulunan ortalama müşteri sayısı 1.4166, kuyruktaki ortalama müşteri sayısı 0.3803 adet ve kuyrukta harcanan ortalama süre 0.1901 saattir. Tüm şarj istasyonlarının boşta kalma olasılığı %31.74 ve gelen müşterinin bekleme ya da sistemin meşgul olma olasılığı ise %35.36’dır. M/M/2 modeli için Senaryo 4 çıktılarının açıklamaları Tablo 23’te gösterilmiştir.

Tablo 23. Senaryo 4 çıktıların açıklaması

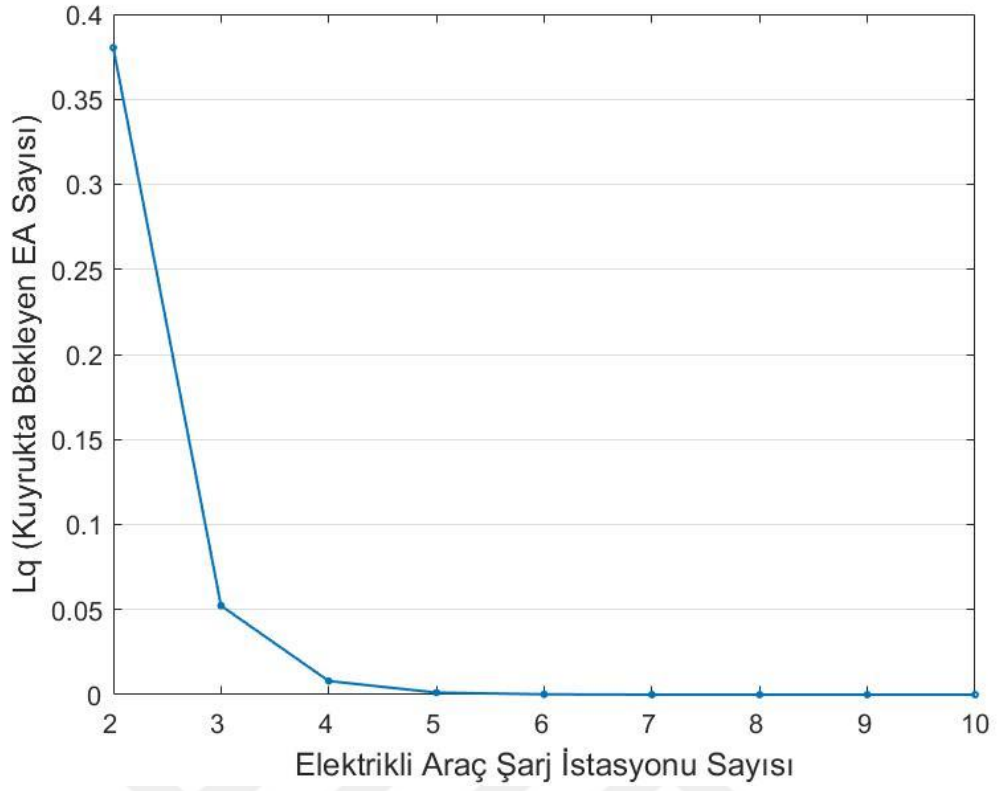
Birim zamanda (bir saat) gelen EA sayısı (λ)	2
Birim zamanda (bir saat) servis alan EA sayısı (μ)	1.93
Sistemin ortalama etkinliği – doluluk oranı (kullanım faktörü)	%51.81
Sisteme gelen bir EA bekleme olasılığı P_w	%35.36
Sistemde bulunan ortalama EA sayısı (L)	1.41
Kuyrukta bekleyen ortalama EA sayısı (L_q)	0.3803
Bir EA sistemde ortalama bekleme süresi (W)	0.7083 saat
Kuyrukta bekleme süresi (W_q)	0.1901 saat

Tablo 24’te hizmet veren şarj istasyonu sayısı 1’den 5’e doğru arttırılarak saatlik gelen müşteri sayısına göre duyarlılık analizi yapılmıştır.

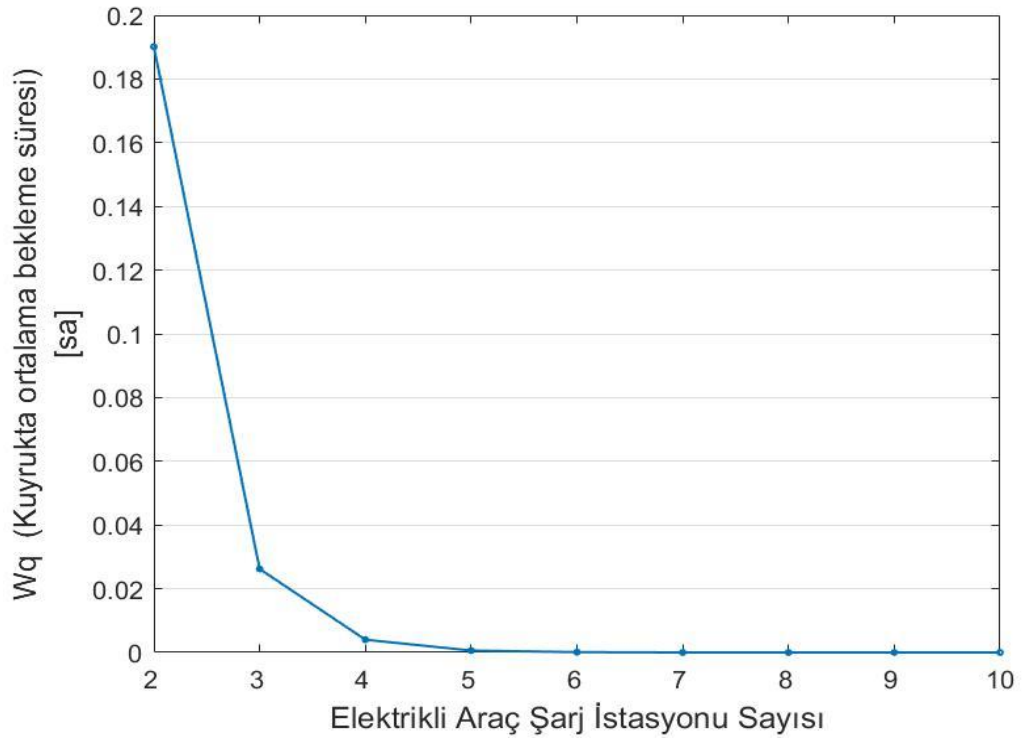
Tablo 24. Senaryo 4 için hizmet veren şarj istasyonu sayısına göre duyarlılık analizi

EA Şarj İstasyonu Sayısı	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Sistem Doluluk Oranı	L	L_q	W	W_q	P0	P_w
1	2	Kararsız						
2	2	0.5181	1.4166	0.3803	0.7083	0.1901	0.3174	0.3537
3	2	0.3454	1.0886	0.0523	0.5443	0.0262	0.3501	0.0992
4	2	0.2591	1.0443	0.008	0.5221	0.004	0.3542	0.023
5	2	0.2073	1.0374	0.0012	0.5187	0.0006	0.3547	0.0045

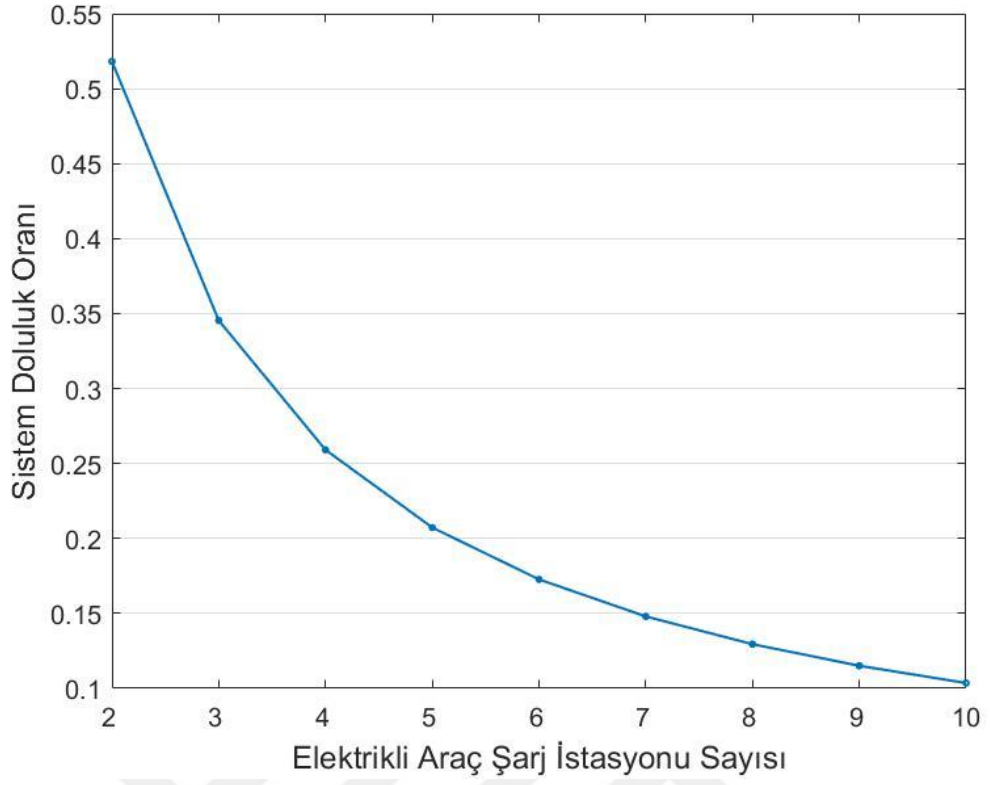
Tablo 24’e göre şarj istasyonu sayısı 2 iken kuyrukta bekleyen araç sayısı 0.3803 adettir. 5. şarj istasyonunun hizmet vermeye başlamasıyla birlikte (L_q) kuyrukta bekleyen EA sayısı 0.0012 olmaktadır. Hizmet veren şarj istasyonu sayısı arttıkça sistem doluluk oranı da azalmaktadır. Hizmet veren şarj istasyonu sayısı arttıkça sistem bekleme süresi 0.7083 saatten başlayarak 5. istasyonun devreye girmesiyle 0.5187 saate inmiştir. 2 adet şarj istasyonu varken doluluk oranı %51.8 iken 5. şarj istasyonundan sonra doluluk oranı %20.7 olmuştur. Şekil 45, Şekil 46 ve Şekil 47’de şarj istasyonu sayısına bağlı olarak kuyrukta bekleyen araç sayısı, kuyrukta bekleme süresi ve sistem doluluk oranındaki değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 45. Senaryo 4 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleyen araç sayısı üzerindeki etkisi



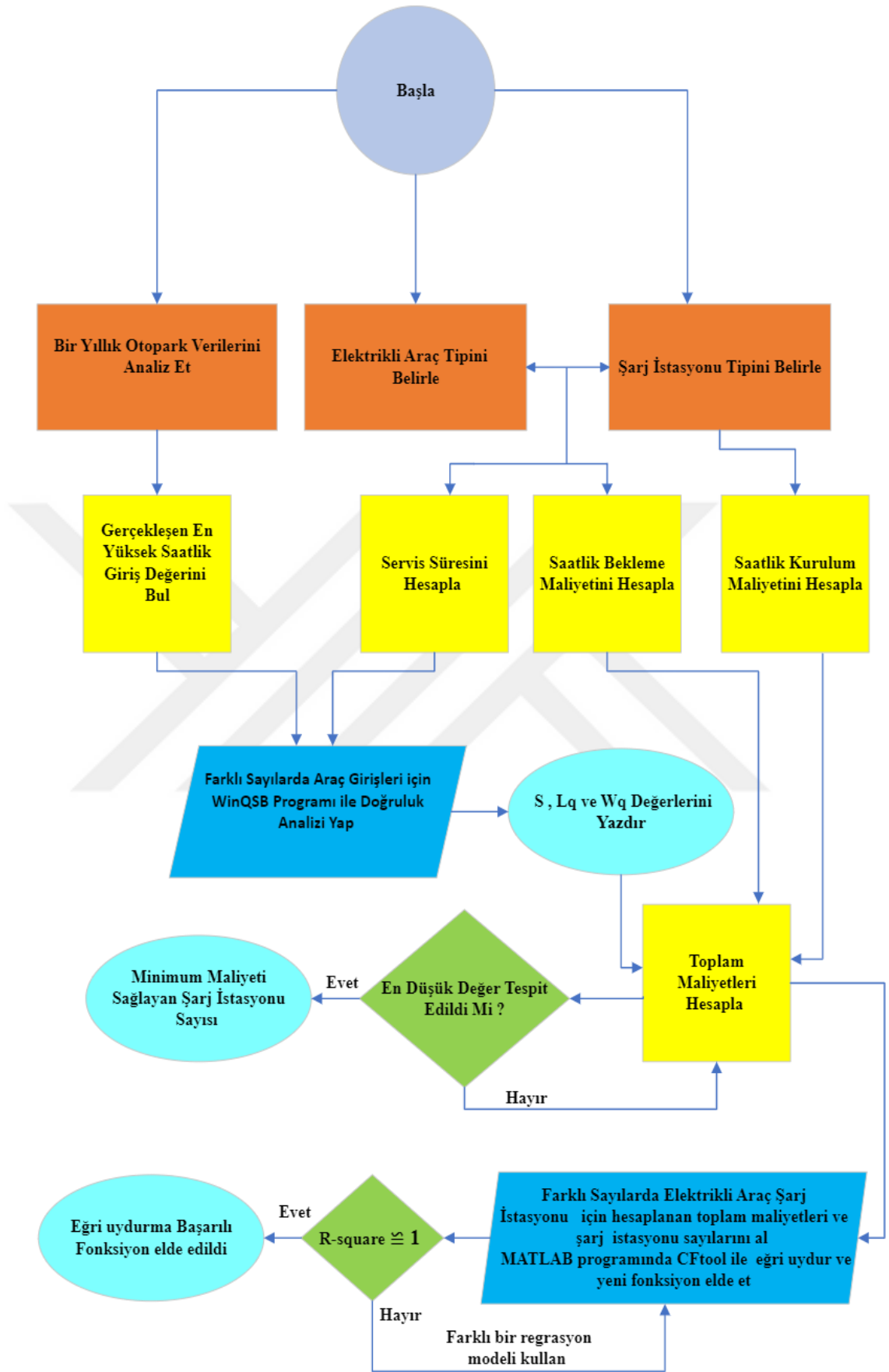
Şekil 46. Senaryo 4 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının kuyrukta bekleme süresi üzerindeki etkisi



Şekil 47. Senaryo 4 için hizmet veren şarj istasyonu sayısının sistem doluluk oranı üzerindeki etkisi

5.5. Maliyet Optimizasyonu

Senaryolarda uygulanacak yöntemle ait akış diyagramı Şekil 48’de gösterilmiştir.



Şekil 48. Senaryolarda maliyet hesaplamalarında kullanacak yönteme ait akış şeması

5.5.1. Senaryo 1 Maliyet Optimizasyonu

Bu optimizasyonda Senaryo 1 için toplam maliyet hesabı kullanılarak otoparka kaç adet şarj istasyonu kurulması gerektiği tespit edilmiştir. Bu çözümleme için WINQSB programı ve Microsoft Office Excel-2013 programından faydalanılmıştır.

T10X standart menzilli modelin Bölüm 4.3'te verilen teknik özelliklerine göre AC 11 kW şarj istasyonu ile %20'den %80 şarja 195 dakikada ulaşmaktadır. Yani batarya kapasitesinin %60'ı olan 31.44 kWh'lik kısmını doldurmaktadır. Bölüm 4.5.2'te hesaplanan AC şarj maliyeti 6.28 ₺/kWh ile çarpıldığında toplam kazanç 197.443₺ olarak bulunmaktadır. Hesaplama saatlik bekleme maliyeti kullanıldığından toplam maliyet olan 197.443₺ toplam şarj süresine bölünüp 60 dk ile çarpılarak saatlik bekleme maliyeti 60.751₺ bulunmuştur.

Kurulum maliyeti Bölüm 4.5.1'de hesaplanan AC 22 kW şarj istasyonu için 3.958 ₺/h kullanılmıştır.

Tablo 25. Senaryo 1 için farklı durumlara göre maliyet hesabı

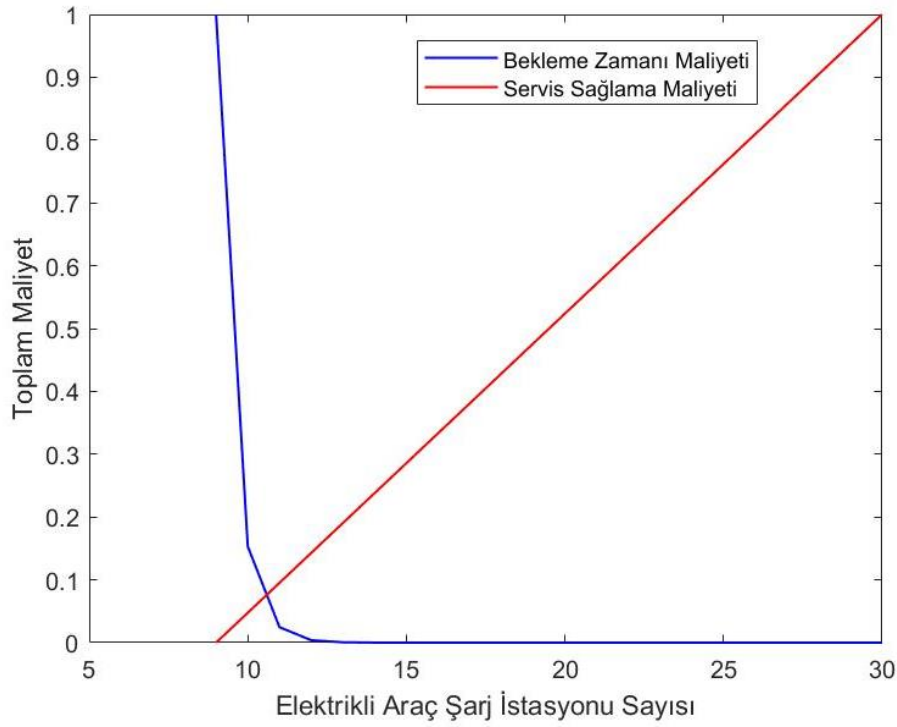
Kurulum Maliyeti	Saatlik Bekleme Maliyeti															
£3.9580	£60.7510															
EA Şarj İstasyonu Sayısı	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet
8	2	1.9653	0.9827	148.992	3		Kararsız									
9	2	0.6878	0.3439	49.992	3		Kararsız	-	4		Kararsız	-	5		Kararsız	-
10	2	0.2691	0.1345	41.779	3	26.5648	8.8549	14329.956	4		Kararsız	-	5		Kararsız	-
11	2	0.1079	0.0540	43.892	3	4.3437	1.4479	425.616	4		Kararsız	-	5		Kararsız	-
12	2	0.0429	0.0214	47.552	3	1.5986	0.5329	99.249	4		Kararsız	-	5		Kararsız	-
13	2	0.0166	0.0083	51.462	3	0.6947	0.2316	61.228	4	129.1879	32.2970	253527.809	5		Kararsız	-
14	2	0.0062	0.0031	55.413	3	0.3186	0.1062	57.468	4	8.1056	2.0264	1053.259	5		Kararsız	-
15	2	0.0022	0.0011	59.370	3	0.148	0.0493	59.813	4	2.9319	0.7330	189.929	5		Kararsız	-
16	2	0.0008	0.0004	63.328	3	0.0682	0.0227	63.422	4	1.3326	0.3331	90.295	5		Kararsız	-
17	2	0.0003	0.0001	67.286	3	0.0309	0.0103	67.305	4	0.6553	0.1638	73.807	5	14.2317	2.8463	2528.169
18	2	0.0001	0.0000	71.244	3	0.0136	0.0045	71.248	4	0.3316	0.0829	72.914	5	4.7946	0.9589	350.549
19	2	0	0.0000	75.202	3	0.0058	0.0019	75.203	4	0.1687	0.0422	75.634	5	2.2078	0.4416	134.432
20	2	0	0.0000	79.160	3	0.0024	0.0008	79.160	4	0.0852	0.0213	79.270	5	1.1282	0.2256	94.622
21	2	0	0.0000	83.118	3	0.001	0.0003	83.118	4	0.0424	0.0106	83.145	5	0.6016	0.1203	87.515
22	2	0	0.0000	87.076	3	0.0004	0.0001	87.076	4	0.0207	0.0052	87.083	5	0.3258	0.0652	88.366
23	2	0	0.0000	91.034	3	0.0001	0.0000	91.034	4	0.0099	0.0025	91.036	5	0.1766	0.0353	91.413
24	2	0	0.0000	94.992	3	0.0001	0.0000	94.992	4	0.0046	0.0011	94.992	5	0.095	0.0190	95.102
25	2	0	0.0000	98.950	3	0	0.0000	98.950	4	0.0021	0.0005	98.950	5	0.0504	0.0101	98.981
26	2	0	0.0000	102.908	3	0	0.0000	102.908	4	0.0009	0.0002	102.908	5	0.0263	0.0053	102.916
27	2	0	0.0000	106.866	3	0	0.0000	106.866	4	0.0004	0.0001	106.866	5	0.0135	0.0027	106.868
28	2	0	0.0000	110.824	3	0	0.0000	110.824	4	0.0002	0.0000	110.824	5	0.0068	0.0014	110.825
29	2	0	0.0000	114.782	3	0	0.0000	114.782	4	0.0001	0.0000	114.782	5	0.0033	0.0007	114.782
30	2	0	0.0000	118.740	3	0	0.0000	118.740	4	0	0.0000	118.74	5	0.0016	0.0003	118.740

Tablo 25’te optimum maliyet noktalarını tespit edilmeye çalışılmıştır. Senaryo 1 için tabloya baktığımızda otoparka saatte 2 araç girmesi durumunda kuyrukta bekleyen araç olmaması için 9 adet şarj istasyonunun yeterli olacağı görülmektedir. Fakat maliyete bakıldığında, 10 adet şarj istasyonunun kurulmasının daha uygun maliyetli bir alternatif olduğu anlaşılmaktadır. Aynı şekilde otoparka saatte 3 araç girmesi durumunda bekleyen araç olmaması için gereken 13 adet istasyonun saatlik kurulum maliyeti 99.249 ₺ iken 14 adet istasyonun saatlik kurulum maliyetinin 61.228 ₺ ile daha uygun olduğu görülmektedir.

Yine tabloya göre otoparka saatte 4 araç girmesi durumunda bekleyen araç olmaması için gereken 17 adet istasyonun saatlik kurulum maliyeti 73.807 ₺ iken 18 adet istasyonun saatlik kurulum maliyetinin 72.914₺ ile daha uygun olduğu görülmektedir. Aynı şekilde otoparka saatte 5 araç girmesi durumunda bekleyen araç olmaması için gereken 20 adet istasyonun saatlik kurulum maliyeti 94.622₺ iken 21 adet istasyonun saatlik kurulum maliyetinin 87.515₺ ile daha uygun olduğu görülmektedir.

Tablonun tümüne bakıldığında kurulacak olan şarj istasyonu sayısının artması genel itibariyle toplam tüketimlerin de artmasına sebep olduğu görülmektedir. Fakat bu durum kuyrukta bekleyen araç sayısı ve bekleme sürelerinin de hesaba katıldığı bazı durumlarda şarj istasyonu sayısının artması toplam maliyeti düşürdüğü de görülmektedir.

Saatlik otoparka giriş yapan elektrikli araç sayısının 2 olduğu durumda oluşan servis sağlama maliyeti ve bekleme zamanı maliyetleri Matlab programında normalizasyon işlemi yapılarak grafiği çizdirilmiştir. Grafikte her iki maliyetin kesiştikleri nokta optimum maliyetin oluşması için kurulması gereken elektrikli araç şarj istasyonu sayısını göstermektedir. Şekil 49’da Senaryo 1 için oluşan maliyet grafiği gösterilmektedir.



Şekil 49. Senaryo 1 için maliyet oluşum grafiği

Tablo 25’te saatlik elektrikli araç girişinin 2 olması durumu için şarj istasyonu sayısı ve buna bağlı hesaplanan toplam maliyet değerleri Matlab programında curve fitting kütüphanesi kullanılarak pratikte kullanımı zor olan fonksiyonların ve hesaplamaların yerine geçerek hesaplamalarda kolaylık sağlayabilecek yeni bir fonksiyon elde edilmeye çalışılmıştır. Farklı regresyon modelleri kullanılarak farklı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlardan regresyon katsayısının 1 olduğu durumlardan biri olan 2. dereceden Gauss fonksiyonu Eşitlik 13’te ve eğri uydurma sonucuna ait görsel de Şekil 50’de gösterilmektedir.

$$f(x) = a1 \times \exp\left(-((x - b1) / c1)^2\right) + a2 \times \exp\left(-((x - b2) / c2)^2\right) \text{ (Eşitlik 13)}$$

Bu eşitlikte:

F(x): Saatlik toplam maliyet,

x: Elektrikli araç şarj istasyonu sayısı

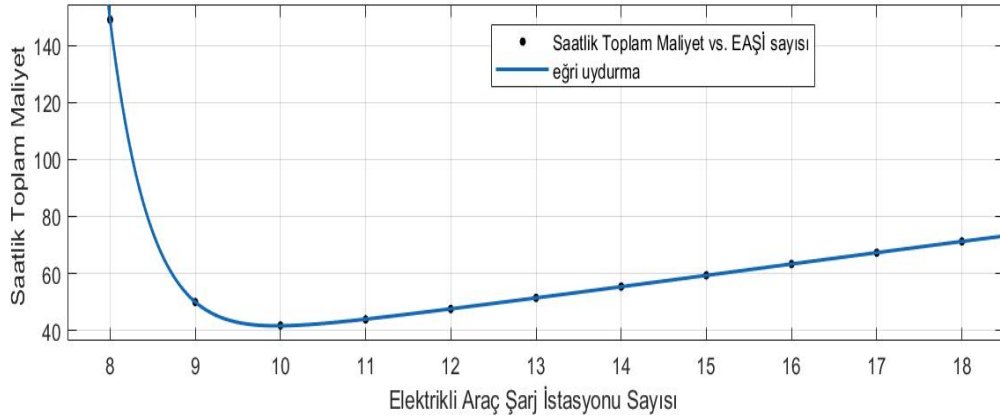
a1 = 2.674e+16 (-3.316e+18, 3.37e+18),

b1 = -23.04 (-138.8, 92.73),

c1 = 5.398 (-4.534, 15.33),

a2 = 101.5 (92.64, 110.4),

$b_2 = 30.98$ (28.34, 33.63),
 $c_2 = 21.81$ (20, 23.62) dir.



Şekil 50. Senaryo 1 için Matlab’da CFtool ile eğri uydurma sonucu

5.5.2. Senaryo 2 Maliyet Optimizasyonu

Bu optimizasyonda Senaryo 2 için toplam maliyet hesabı kullanılarak otoparka kaç adet şarj istasyonu kurulması gerektiği tespit edilmiştir. Bu çözümleme için WINQSB programı ve Microsoft Office Excel-2013 programından faydalanılmıştır.

T10X standart menzilli modelin Bölüm 4.3’te verilen teknik özelliklerine göre DC 180 kW şarj istasyonu ile %20’den %80 şarja 28 dakikada ulaşmaktadır. Yani batarya kapasitesinin %60’ı olan 31.44 kWh’lik kısmını doldurmaktadır. Bölüm 4.5.2.’de hesaplanan DC şarj maliyeti 8.08 ₺/kWh ile çarpıldığında toplam kazanç 254.035₺ olarak bulunmaktadır. Hesaplama saatlik bekleme maliyeti kullanıldığından toplam maliyet olan 254.035₺ toplam şarj süresine bölünüp 60 dk ile çarpılarak saatlik bekleme maliyeti 544.360 ₺ bulunmuştur.

Kurulum maliyeti Bölüm 4.5.1. de hesaplanan DC > 100 kW şarj istasyonu için 7.005 ₺/h kullanılmıştır.

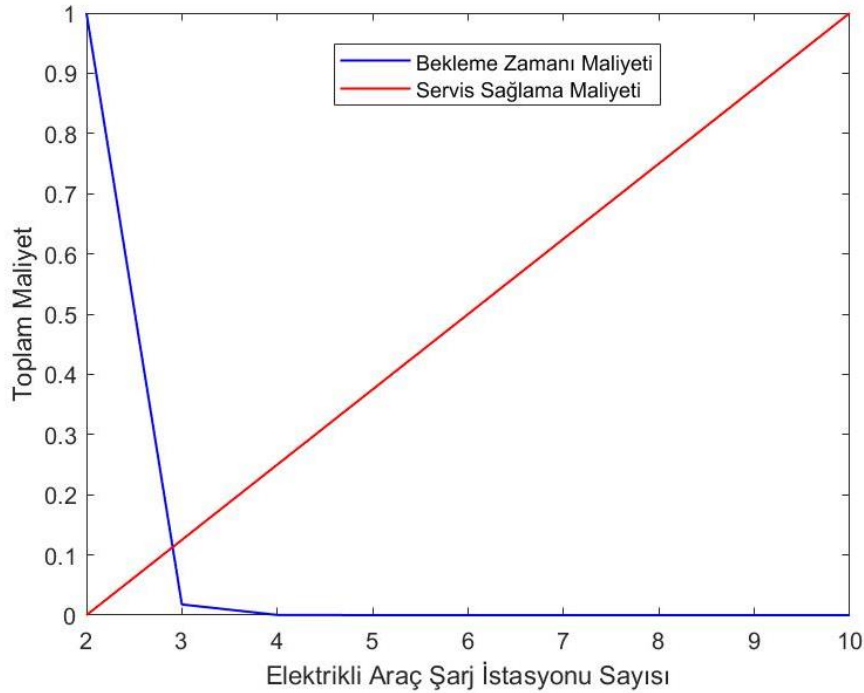
Tablo 26. Senaryo 2 için farklı durumlara göre maliyet hesabı

Kurulum Maliyeti		Saatlik Bekleme Maliyeti														
₺7.0050		₺544.3600														
EA Şarj İstasyonu Sayısı	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet
1	2	13.3511	6.6756	48523.963	3		Kararsız		4		Kararsız		5		Kararsız	
2	2	0.2611	0.1305	32.558	3	1.354	0.4513	346.647	4	12.8996	3.2249	22659.342	5		Kararsız	-
3	2	0.0348	0.0174	21.345	3	0.1781	0.0594	26.774	4	0.6361	0.159	76.072	5	2.1587	0.4317	528.310
4	2	0.005	0.0025	28.027	3	0.0327	0.0109	28.214	4	0.1258	0.0314	30.170	5	0.3752	0.075	43.338
5	2	0.0007	0.0003	35.025	3	0.006	0.002	35.032	4	0.0278	0.007	35.131	5	0.0908	0.0182	35.925
6	2	0.0001	0.0000	42.030	3	0.001	0.0003	42.030	4	0.006	0.0015	42.035	5	0.0227	0.0045	42.086
7	2	0	0.0000	49.035	3	0.0002	0.0001	49.035	4	0.0012	0.0003	49.035	5	0.0055	0.0011	49.038
8	2	0	0.0000	56.040	3	0	0	56.040	4	0.0002	0.0001	56.040	5	0.0012	0.0002	56.040
9	2	0	0.0000	63.045	3	0	0	63.045	4	0	0	63.045	5	0.0003	0.0001	63.045
10	2	0	0.0000	70.050	3	0	0	70.050	4	0	0	70.050	5	0.0001	0	70.050

Tablo 26’da optimum maliyet noktalarını tespit edilmeye çalışılmıştır. Senaryo 2 için tabloya baktığımızda otoparka saatte 2 araç girmesi durumunda kuyrukta bekleyen araç olmaması için 2 adet şarj istasyonunun yeterli olacağı görülmektedir. Fakat maliyete bakıldığında, 3 adet şarj istasyonunun kurulmasının daha uygun maliyetli bir alternatif olduğu anlaşılmaktadır. Aynı şekilde otoparka saatte 5 araç girmesi durumunda bekleyen araç olmaması için gereken 4 adet istasyonun saatlik kurulum maliyeti 43.338 ₺ iken 5 adet istasyonun saatlik kurulum maliyetinin 35.925 ₺ ile daha uygun olduğu görülmektedir.

Tablonun tümüne bakıldığında kurulacak olan şarj istasyonu sayısının artması saatlik gelişlerin 3 ve 4 olduğu durumlarda toplam tüketimlerin sürekli artmasına sebep olduğu görülmektedir. Fakat kuyrukta bekleyen araç sayısı ve bekleme sürelerinin de hesaba katıldığı ve gelişlerin 2 ve 5 olduğu durumlarda ise şarj istasyonu sayısının artması toplam maliyeti de düşürdüğü görülmektedir.

Saatlik otoparka giriş yapan elektrikli araç sayısının 2 olduğu durumda oluşan servis sağlama maliyeti ve bekleme zamanı maliyetleri Matlab programında normalizasyon işlemi yapılarak grafiği çizdirilmiştir. Grafikte her iki maliyetin kesiştikleri nokta optimum maliyetin oluşması için kurulması gereken elektrikli araç şarj istasyonu sayısını göstermektedir. Şekil 51’de Senaryo 2 için oluşan maliyet grafiği gösterilmektedir.



Şekil 51. Senaryo 2 için maliyet oluşum grafiği

Tablo 26’da saatlik elektrikli araç girişinin 2 olması durumu için şarj istasyonu sayısı ve buna bağlı hesaplanan toplam maliyet değerleri Matlab programında curve fitting kütüphanesi kullanılarak pratikte kullanımı zor olan fonksiyonların ve hesaplamaların yerine geçerek hesaplamalarda kolaylık sağlayabilecek yeni bir fonksiyon elde edilmeye çalışılmıştır. Farklı regresyon modelleri kullanılarak farklı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlardan regresyon katsayısının 1 olduğu durumlardan biri olan 1. dereceden Gauss fonksiyonu Eşitlik 14’te ve eğri uydurma sonucuna ait görsel de Şekil 52’de gösterilmektedir.

$$f(x) = a1 \times \exp\left(-((x - b1) / c1)^2\right) \quad (\text{Eşitlik 14})$$

Bu eşitlikte:

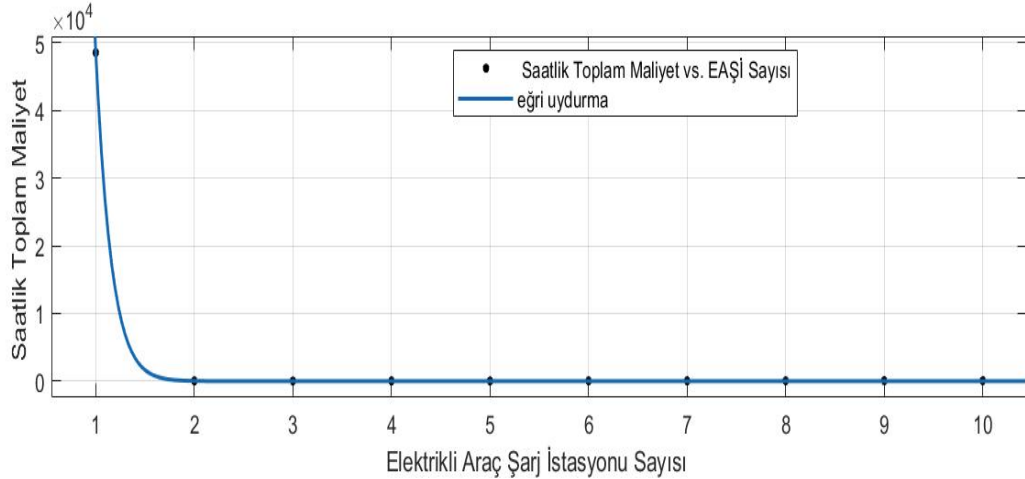
F(x): Saatlik toplam maliyet,

x: Elektrikli araç şarj istasyonu sayısı,

a1 = 4.184e+08 (-1.132e+14, 1.132e+14),

b1 = -1.907 (-7.57e+04, 7.57e+04),

c1 = 0.9658 (-1.073e+04, 1.073e+04) dir.



Şekil 52. Senaryo 2 için Matlab’da CFtool ile eğri uydurma sonucu

5.5.3. Senaryo 3 Maliyet Optimizasyonu

Bu optimizasyonda Senaryo 3 için toplam maliyet hesabı kullanarak otoparka kaç adet şarj istasyonu kurulması gerektiği tespit edilecektir. Bu çözümleme için WINQSB programı ve Microsoft Office Excel-2013 programından faydalanılmıştır.

BMW İX modelin Bölüm 4.3'te verilen teknik özelliklerine göre AC 11 kW şarj istasyonu ile toplam batarya kapasitesinin %100'üne şarj olma süresi 8 saat olarak verilmiştir. Yani batarya kapasitesinin %100'ü olan 71 kWh'lık kısmının tamamını doldurmaktadır. Bölüm 4.5.2.'de hesaplanan AC şarj maliyeti 6.28 ₺/kWh ile çarpıldığında toplam kazanç 445.88₺ olarak bulunmaktadır. Hesaplama da saatlik bekleme maliyeti kullanılacağından toplam maliyet olan 445.88 ₺ toplam şarj süresine bölünüp 60 dk ile çarpılarak saatlik bekleme maliyeti 55.735 ₺ bulunmuştur.

Kurulum maliyeti Bölüm 4.5.1. de hesaplanan AC 22 kW şarj istasyonu için 3.958 ₺/h kullanılmıştır.



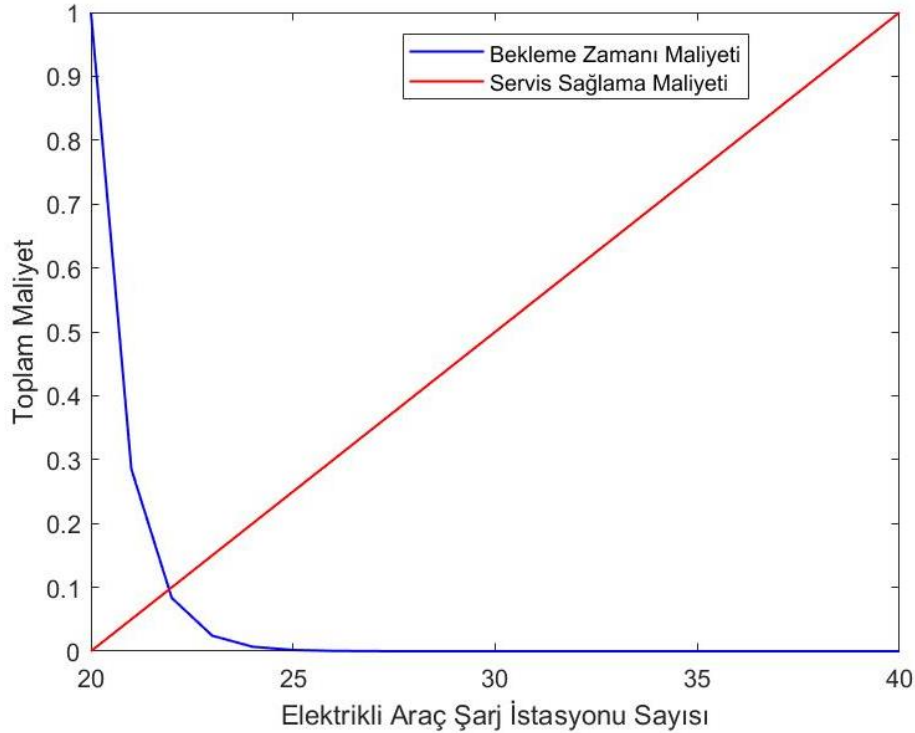
Tablo 27. Senaryo 3 için farklı durumlara göre maliyet hesabı

Kurulum Maliyeti	Saatlik Bekleme Maliyeti															
₺3.9580	₺55.7350															
EA Şarj İstasyonu Sayısı	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet
20	2	1.0243	0.5122	108.401	3		Kararsız				Kararsız					
21	2	0.5469	0.2734	91.452	3		Kararsız	-	4		Kararsız	-	5			83.118
22	2	0.2958	0.1479	89.514	3		Kararsız	-	4		Kararsız	-	5			87.076
23	2	0.1599	0.0799	91.746	3		Kararsız	-	4		Kararsız	-	5			91.034
24	2	0.0857	0.0428	95.196	3		Kararsız	-	4		Kararsız	-	5			94.992
25	2	0.0453	0.0226	99.007	3	18.685	6.2283	6585.154	4		Kararsız	-	5			98.950
26	2	0.0235	0.0118	102.923	3	7.1602	2.3867	1055.377	4		Kararsız	-	5			102.908
27	2	0.012	0.006	106.870	3	3.5981	1.1994	347.394	4		Kararsız	-	5			106.866
28	2	0.006	0.003	110.825	3	1.9988	0.6663	185.052	4		Kararsız	-	5			110.824
29	2	0.0029	0.0015	114.782	3	1.1629	0.3876	139.904	4		Kararsız	-	5			114.782
30	2	0.0014	0.0007	118.740	3	0.6914	0.2305	127.622	4		Kararsız	-	5			118.740
31	2	0.0006	0.0003	122.698	3	0.4146	0.1382	125.891	4		Kararsız	-	5			122.698
32	2	0.0003	0.0001	126.656	3	0.2487	0.0829	127.805	4		Kararsız	-	5			126.656
33	2	0.0001	0.0001	130.614	3	0.1484	0.0495	131.023	4	25.7455	6.4364	9366.368	5			130.614
34	2	0.0001	0	134.572	3	0.0878	0.0293	134.715	4	10.233	2.5583	1593.663	5			134.572
35	2	0	0	138.530	3	0.0513	0.0171	138.579	4	5.355	1.3387	538.080	5			138.530
36	2	0	0	142.488	3	0.0296	0.0099	142.504	4	3.111	0.7777	277.335	5			142.488
37	2	0	0	146.446	3	0.0168	0.0056	146.451	4	1.9012	0.4753	196.810	5			146.446
38	2	0	0	150.404	3	0.0094	0.0031	150.406	4	1.193	0.2982	170.232	5			150.404
39	2	0	0	154.362	3	0.0052	0.0017	154.362	4	0.7585	0.1896	162.377	5			154.362
40	2	0	0	158.320	3	0.0028	0.0009	158.320	4	0.4847	0.1212	161.594	5			158.320

Tablo 27’de optimum maliyet noktalarını tespit edilmeye çalışılmıştır. Senaryo 3 için tabloya baktığımızda otoparka saatte 2 araç girmesi durumunda kuyrukta bekleyen araç olmaması için 21 adet şarj istasyonunun yeterli olacağı görülmektedir. Fakat maliyete bakıldığında, 22 adet şarj istasyonunun kurulmasının daha uygun maliyetli bir alternatif olduğu anlaşılmaktadır. Aynı şekilde otoparka saatte 3 araç girmesi durumunda bekleyen araç olmaması için gereken 30 adet istasyonun saatlik kurulum maliyeti 127.622₺ iken 31 adet istasyonun saatlik kurulum maliyetinin 125.891₺ ile daha uygun olduğu görülmektedir.

Yine tabloya göre otoparka saatte 4 araç girmesi durumunda bekleyen araç olamaması için gereken 39 adet istasyonun saatlik kurulum maliyeti 162.377 ₺ iken 18 adet istasyonun saatlik kurulum maliyetinin 161.594₺ ile daha uygun olduğu görülmektedir.

Saatlik otoparka giriş yapan elektrikli araç sayısının 2 olduğu durumda oluşan servis sağlama maliyeti ve bekleme zamanı maliyetleri Matlab programında normalizasyon işlemi yapılarak grafiği çizdirilmiştir. Grafikte her iki maliyetin kesiştikleri nokta optimum maliyetin oluşması için kurulması gereken elektrikli araç şarj istasyonu sayısını göstermektedir. Şekil 53’te Senaryo 3 için oluşan maliyet grafiği gösterilmektedir.



Şekil 53. Senaryo 3 için maliyet oluşum grafiği

Tablo 27’de saatlik elektrikli araç girişinin 2 olması durumu için şarj istasyonu sayısı ve buna bağlı hesaplanan toplam maliyet değerleri Matlab programında curve fitting kütüphanesi kullanılarak pratikte kullanımı zor olan fonksiyonların ve hesaplamaların yerine geçerek hesaplamalarda kolaylık sağlayabilecek yeni bir fonksiyon elde edilmeye çalışılmıştır. Farklı regresyon modelleri kullanılarak farklı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlardan regresyon katsayısının 1 olduğu durumlardan biri olan 4. dereceden Fourier fonksiyonu Eşitlik 15’te ve eğri uydurma sonucuna ait görsel de Şekil 54’te gösterilmektedir.

$$f(x) = a_0 + a_1 \times \cos(x \times \omega) + b_1 \times \sin(x \times \omega) + a_2 \times \cos(2 \times x \times \omega) + b_2 \times \sin(2 \times x \times \omega) + a_3 \times \cos(3 \times x \times \omega) + b_3 \times \sin(3 \times x \times \omega) + a_4 \times \cos(4 \times x \times \omega) + b_4 \times \sin(4 \times x \times \omega) \quad (\text{Eşitlik 15})$$

Bu eşitlikte:

F(x): Saatlik toplam maliyet,

x: Elektrikli araç şarj istasyonu sayısı,

$a_0 = 6.292e+09$ $(-2.24e+12, 2.252e+12)$,

$a_1 = -8.252e+09$ $(-3.111e+12, 3.095e+12)$,

$b_1 = -5.777e+09$ $(-1.842e+12, 1.831e+12)$,

$a_2 = 1.726e+09$ $(-8.73e+11, 8.764e+11)$,

$b_2 = 4.741e+09$ $(-1.592e+12, 1.602e+12)$,

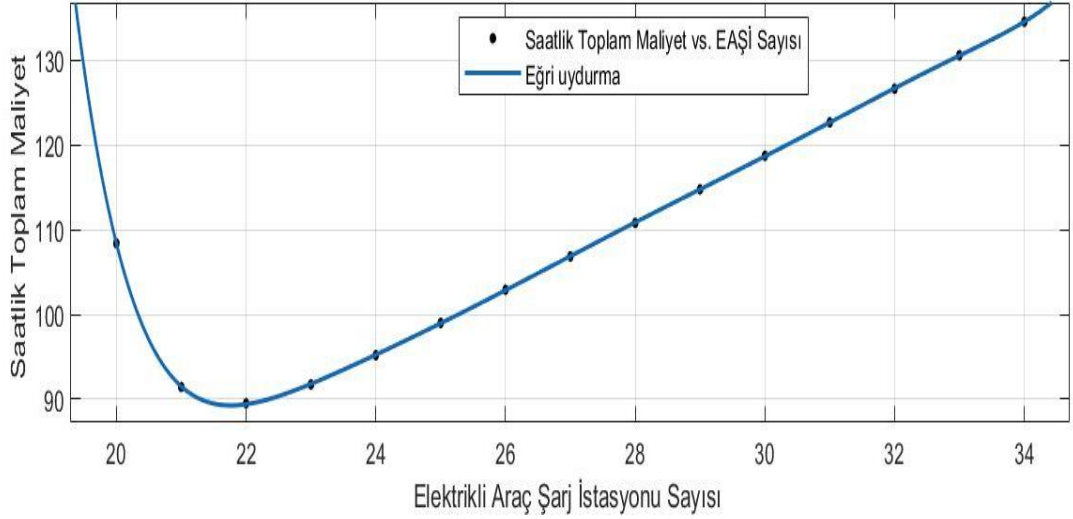
$a_3 = 3.738e+08$ $(-1.85e+10, 1.925e+10)$,

$b_3 = -1.396e+09$ $(-5.298e+11, 5.27e+11)$,

$a_4 = -1.389e+08$ $(-3.687e+10, 3.66e+10)$,

$b_4 = 1.166e+08$ $(-5.66e+10, 5.683e+10)$,

$w = 0.02183$ $(-0.9541, 0.9978)$ dir.



Şekil 54. Senaryo 3 için Matlab’da CFtool ile eğri uydurma sonucu

5.5.4. Senaryo 4 Maliyet Optimizasyonu

Bu optimizasyonda Senaryo 4 için toplam maliyet hesabı kullanarak otoparka kaç adet şarj istasyonu kurulması gerektiği tespit edilecektir. Bu çözümleme için WINQSB programı ve Microsoft Office Excel-2013 programından faydalanılmıştır.

BMW IX modelin Bölüm 4.3’te verilen teknik özelliklerine göre DC 150 kW şarj istasyonu ile %0’dan %80 şarja 31 dakikada ulaşmaktadır. Yani batarya kapasitesinin %80’i olan 56.8 kWh’lik kısmını doldurmaktadır. Bölüm 4.5.2.’de hesaplanan DC şarj maliyeti 8.08 ₺/kWh ile çarpıldığında toplam kazanç 458.944 ₺ olarak bulunmaktadır. Hesaplama saatlik bekleme maliyeti kullanılacağından toplam maliyet olan 458.944 ₺ toplam şarj süresine bölünüp 60 dk ile çarpılarak saatlik bekleme maliyeti 888.278 ₺ bulunmuştur.

Kurulum maliyeti Bölüm 4.5.1. de hesaplanan DC > 100 kW şarj istasyonu için 7.005 ₺/h kullanılmıştır.

Tablo 28. Senaryo 4 için farklı durumlara göre maliyet hesabı

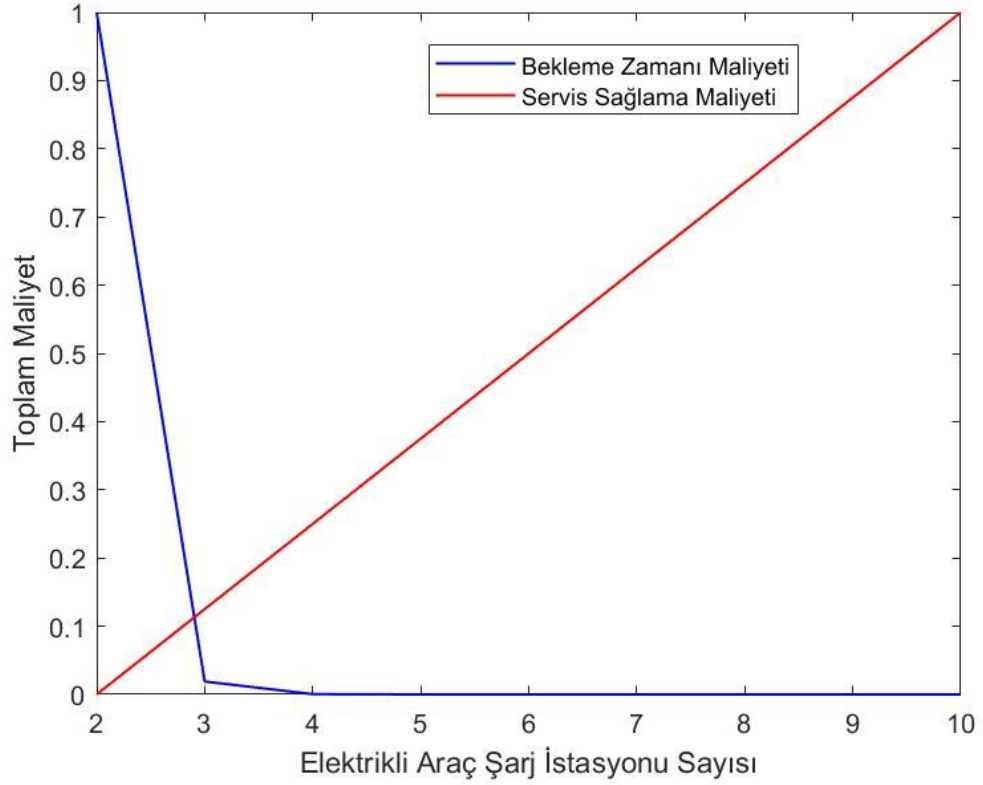
Kurulum Maliyeti	Saatlik Bekleme Maliyeti															
₺7.0050	₺888.2780															
EA Şarj İstasyonu Sayısı	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet	Müşteri Gelişleri (Saatlik)	Lq	Wq	Toplam Maliyet
1	2			7.005	3				4				5			
2	2	0.3803	0.1901	78.228	3	2.3713	0.7904	1678.888	4			14.010	5			14.010
3	2	0.0523	0.0262	22.232	3	0.276	0.092	43.570	4	1.0704	0.2676	275.452	5	4.7693	0.9539	4062.178
4	2	0.0080	0.0040	28.048	3	0.0528	0.0176	28.845	4	0.2067	0.0517	37.512	5	0.6454	0.1291	102.032
5	2	0.0012	0.0006	35.026	3	0.0104	0.0035	35.057	4	0.0481	0.012	35.538	5	0.1579	0.0316	39.457
6	2	0.0002	0.0001	42.030	3	0.002	0.0007	42.031	4	0.0111	0.0028	42.058	5	0.0418	0.0084	42.342
7	2	0.0000	0.0000	49.035	3	0.0003	0.0001	49.035	4	0.0025	0.0006	49.036	5	0.0108	0.0022	49.056
8	2	0.0000	0.0000	56.040	3	0.0001	0	56.040	4	0.0005	0.0001	56.040	5	0.0027	0.0005	56.041
9	2	0.0000	0.0000	63.045	3	0	0	63.045	4	0.0001	0	63.045	5	0.0006	0.0001	63.045
10	2	0.0000	0.0000	70.050	3	0	0	70.050	4	0	0	70.050	5	0.0001	0	70.050

Tablo 28’de Senaryo 4 için optimum maliyet noktalarını tespit edilmeye çalışılmıştır. Senaryo 4 için tabloya baktığımızda otoparka saatte 2 araç girmesi durumunda kuyrukta bekleyen araç olmaması için 2 adet şarj istasyonunun yeterli olacağı görülmektedir. Fakat maliyete bakıldığında, 3 adet şarj istasyonunun kurulmasının daha uygun maliyetli bir alternatif olduğu anlaşılmaktadır. Aynı şekilde otoparka saatte 3 araç girmesi durumunda bekleyen araç olmaması için gereken 3 adet istasyonun saatlik kurulum maliyeti 43.570 ₺ iken 4 adet istasyonun saatlik kurulum maliyetinin 28.845 ₺ ile daha uygun olduğu görülmektedir.

Tablo 28’e göre otoparka saatte 4 araç girmesi durumunda bekleyen araç olmaması için gereken 4 adet istasyonun saatlik kurulum maliyeti 37.512₺ iken 5 adet istasyonun saatlik kurulum maliyetinin 35.538₺ ile daha uygun olduğu görülmektedir. Aynı şekilde otoparka saatte 5 araç girmesi durumunda bekleyen araç olmaması için gereken 4 adet istasyonun saatlik kurulum maliyeti 102.032₺ iken 4 adet istasyonun saatlik kurulum maliyetinin 39.457 ₺ ile daha uygun olduğu görülmektedir.

Tablo bütün olarak değerlendirildiğinde kurulacak olan şarj istasyonu sayısının artması genel itibariyle toplam tüketimlerin artmasına sebep olduğu görülmektedir. Fakat bu durum kuyrukta bekleyen araç sayısı ve bekleme sürelerinin hesaba katıldığı bazı durumlarda şarj istasyonu sayısının artmasının toplam maliyeti de düşürdüğü de görülmektedir.

Saatlik otoparka giriş yapan elektrikli araç sayısının 2 olduğu durumda oluşan servis sağlama maliyeti ve bekleme zamanı maliyetleri Matlab programında normalizasyon işlemi yapılarak grafiği çizdirilmiştir. Grafikte her iki maliyetin kesiştikleri nokta optimum maliyetin oluşması için kurulması gereken elektrikli araç şarj istasyonu sayısını göstermektedir. Şekil 55’te Senaryo 4 için oluşan maliyet grafiği gösterilmektedir.



Şekil 55. Senaryo 4 için maliyet oluşum grafiği

Tablo 28’de saatlik elektrikli araç girişinin 2 olması durumu için şarj istasyonu sayısı ve buna bağlı hesaplanan toplam maliyet değerleri Matlab programında curve fitting kütüphanesi kullanılarak pratikte kullanımı zor olan fonksiyonların ve hesaplamaların yerine geçerek hesaplamalarda kolaylık sağlayabilecek yeni bir fonksiyon elde edilmeye çalışılmıştır. Farklı regresyon modelleri kullanılarak farklı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlardan regresyon katsayısının 0.9986 olduğu durumu olan 3. dereceden Fourier fonksiyonu Eşitlik 16’da ve eğri uydurma sonucuna ait görsel de Şekil 56’da gösterilmektedir.

$$f(x) = a_0 + a_1 \times \cos(x \times \omega) + b_1 \times \sin(x \times \omega) + a_2 \times \cos(2 \times x \times \omega) + b_2 \times \sin(2 \times x \times \omega) + a_3 \times \cos(3 \times x \times \omega) + b_3 \times \sin(3 \times x \times \omega) \quad (\text{Eşitlik 16})$$

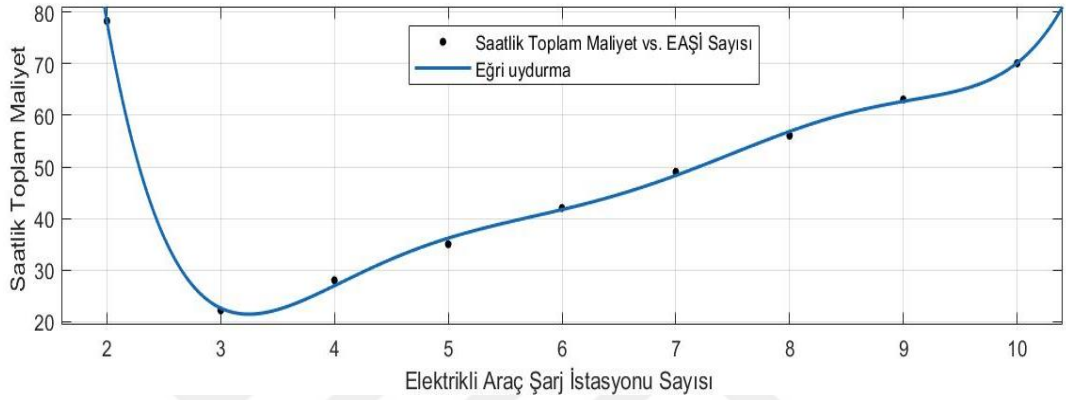
Bu eşitlikte:

F(x): Saatlik toplam maliyet,

x: Elektrikli araç şarj istasyonu sayısı,

a₀ = 3.185e+10 (-1.111e+15, 1.112e+15),

$$\begin{aligned}
a_1 &= -4.754e+10 \quad (-1.662e+15, 1.662e+15), \\
b_1 &= -4.87e+09 \quad (-1.417e+14, 1.417e+14), \\
a_2 &= 1.873e+10 \quad (-6.579e+14, 6.579e+14), \\
b_2 &= 3.877e+09 \quad (-1.13e+14, 1.13e+14), \\
a_3 &= -3.041e+09 \quad (-1.078e+14, 1.078e+14), \\
b_3 &= -9.615e+08 \quad (-2.812e+13, 2.812e+13), \\
w &= 0.01548 \quad (-90.04, 90.07) \text{ dir.}
\end{aligned}$$



Şekil 56. Senaryo 4 için Matlab’da CFtool ile eğri uydurma sonucu

5.6. Senaryo Sonuçları

Yapılan çalışma neticesinde senaryolar aşağıdaki gibi sonuçlanmıştır.

Senaryo 1’de her bir saatte otoparka giriş yapan araç sayısının 2, araçların tamamının TOGG T10X model ve kurulacak şarj istasyonu tipinin de AC 22 kW olması durumu incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda kuyrukta şarj olmak için bekleyen araç olmaması için 9 adet AC şarj istasyonu kurulmasının yeterli olacağı belirlenmiştir. Maliyet optimizasyonu kısmında saatlik araç girişlerine ve optimum maliyete göre kurulması gereken şarj istasyonu sayıları hesaplanmıştır. Saatlik araç girişinin 2 olması durumunda 10 adet şarj istasyonunun kurulum maliyetinin 9 adet şarj istasyonu kurulum maliyetinden, saatlik araç girişinin 3 olması durumunda 14 adet şarj istasyonunun kurulum maliyetinin 13 adet şarj istasyonu kurulum maliyetinden, saatlik araç girişinin 4 olması durumunda 18 adet şarj istasyonunun kurulum maliyetinin 17 adet şarj istasyonu kurulum maliyetinden ve saatlik araç girişinin 5 olması durumunda da 21 adet şarj istasyonunun kurulum maliyetinin 20 adet şarj istasyonu kurulum maliyetinden daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Senaryo 2’de ise her bir saatte otoparka giriş yapan araç sayısının 2, araçların tamamının TOGG T10X model ve kurulacak şarj istasyonu tipinin DC hızlı şarj olması durumu incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda kuyrukta şarj olmak için bekleyen araç olmaması için 2 adet DC hızlı şarj istasyonu kurulmasının yeterli olacağı belirlenmiştir. Maliyet optimizasyonu kısmında saatlik araç girişlerine ve optimum maliyete göre kurulması gereken şarj istasyonu sayıları hesaplanmıştır. Saatlik araç girişinin 2 olması durumunda 3 adet şarj istasyonunun kurulum maliyetinin 2 adet şarj istasyonu kurulum maliyetinden ve saatlik araç girişinin 5 olması durumunda 5 adet şarj istasyonunun kurulum maliyetinin 4 adet şarj istasyonu kurulum maliyetinden daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Senaryo 3’te her bir saatte otoparka giriş yapan araç sayısının 2 , araçlarının tamamının BMW İX model ve kurulacak şarj istasyonu tipinin AC 22 kW olması durumu incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda kuyrukta şarj olmak için bekleyen araç olmaması için 21 adet AC şarj istasyonu kurulmasının yeterli olacağı belirlenmiştir. Maliyet optimizasyonu kısmında saatlik araç girişlerine ve optimum maliyete göre kurulması gereken şarj istasyonu sayıları hesaplanmıştır. Saatlik araç girişinin 2 olması durumunda 22 adet şarj istasyonunun kurulum maliyetinin 21 adet şarj istasyonu kurulum maliyetinden, saatlik araç girişinin 3 olması durumunda 31 adet şarj istasyonunun kurulum maliyetinin 30 adet şarj istasyonu kurulum maliyetinden ve saatlik araç girişinin 4 olması durumunda da 40 adet şarj istasyonunun kurulum maliyetinin 39 adet şarj istasyonu kurulum maliyetinden daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Senaryo 4’te her bir saatte otoparka giriş yapan araç sayısının 2 , araçlarının tamamının BMW İX model ve kurulacak şarj istasyonu tipinin DC hızlı şarj olması durumu incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda kuyrukta şarj olmak için bekleyen araç olmaması için 2 adet DC şarj istasyonu kurulmasının yeterli olacağı belirlenmiştir. Maliyet optimizasyonu kısmında saatlik araç girişlerine ve optimum maliyete göre kurulması gereken şarj istasyonu sayıları hesaplanmıştır. Saatlik araç girişinin 2 olması durumunda 3 adet şarj istasyonunun kurulum maliyetinin 2 adet şarj istasyonu kurulum maliyetinden, saatlik araç girişinin 3 olması durumunda 4 adet şarj istasyonunun kurulum maliyetinin 3 adet şarj istasyonu kurulum maliyetinden, saatlik araç girişinin 4 olması durumunda 5 adet şarj istasyonunun kurulum maliyetinin 4 adet şarj istasyonu kurulum maliyetinden ve saatlik araç girişinin 5 olması durumunda da 5 adet şarj istasyonunun kurulum maliyetinin 4 adet şarj istasyonu kurulum maliyetinden

daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tüm seneryoların sonuçları Tablo 29’da gösterilmiştir.

Tablo 29. Senaryo sonuçları

Kurulması Gereken Şarj İstasyonu Sayısı ve Tipi						
Tipi		Lq < 1 Yapan ilk değer için	Optimum Maliyet İçin			
		Saatlik Araç Girişi (2)	Saatlik Araç Girişi (2)	Saatlik Araç Girişi (3)	Saatlik Araç Girişi (4)	Saatlik Araç Girişi (5)
Senaryo 1	AC	9	10	14	18	21
Saatlik Toplam Maliyet		₺49.992	₺41.779	₺57.468	₺72.914	₺87.515
Senaryo 2	DC	2	3	3	4	5
Saatlik Toplam Maliyet		₺32.558	₺21.345	₺26.774	₺30.170	₺35.925
Senaryo 3	AC	21	22	31	40	> 40
Saatlik Toplam Maliyet		₺91.452	₺89.514	₺125.891	₺161.594	-
Senaryo 4	DC	2	3	4	5	5
Saatlik Toplam Maliyet		₺78.228	₺22.232	₺28.845	₺35.538	₺39.457

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüz dünyasının bugününü ve yarını ilgilendiren en önemli çevre sorunlarından birisi sera gazı salımının artmasıdır. Bu bağlamda da fosil yakıtların kullanımı sera gazı salımını en çok etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Dünyada birçok ülke bu olumsuz durumun önüne geçebilmek adına fosil yakıtların kullanımı azaltıp sıfır emisyon hedefine göre araştırmalar ve çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar ışığında da elektrikli araçların üretimini ve kullanımını teşvik edecek yatırımlara öncelik vermektedir. Elbetteki bu teşvik ve yatırımlar sonucunda elektrikli araçların kullanımının artması beklenmektedir. Elektrikli araçların sayısının artması da doğrudan toplu şarj istasyonlarının kurulumunu gerektirecek ve istasyon sayılarının artmasına katkı sağlayacaktır.

Şarj istasyonlarının kurulum planlamasının yapılmasında park bölgesi ile aynı alanların öncelikli seçilmesi bu bağlamda büyük bir avantaj sağlayacaktır. Ülkemizin mevcut mimari durumu an itibariyle dikey mimari yoğunluğuna sahip olduğu için bireysel şarj istasyonu kurulumu yerine toplu alanlara şarj istasyonu kurmanın daha doğru bir karar olacağı aşikardır. Literatürde şarj istasyonlarının kurulum yerlerinin tespiti için çok kriterli karar verme metodlarıyla yapılan çalışmalarda da otoparkların kurulumu en uygun yerlerden biri olduğu tespiti edilmiştir.

Yapılan anket çalışmalarına göre elektrikli araç satın alacak kişilerin en büyük kaygılarının EA'ların uzun şarj süresi, menzilin uzun olmaması, yetersiz altyapı ve yüksek batarya fiyatları gibi birçok probleminin hala çözüm bekliyor olmasıdır. Bu tez çalışması uzun şarj süresinden kaynaklı yetersiz altyapı sorununu dikkate alarak, ihtiyaca göre şarj altyapısı planlamasının yanında maliyet problemini de ele almaktadır. Tez çalışması özellikle uzun şarj süreleri için bekleme problemini en aza indirmeye çalışmakta ve EA'lar için kurulacak şarj istasyonlarının maliyet optimizasyonu ile kullanılabilirliğini göstermesi bakımından önemli sonuçlar ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada şarj altyapısı kurulması planlanan bölgede belirlenen hedeflere göre kaç adet şarj ünitesinin beklentileri karşılayacağını hesaplanması için kuyruk teoremi kullanılmıştır. Kuyruk sistemleri, bir işletmenin müşterilerine etkin ve hızlı bir servis yöntemi oluştururken bunun yanı sıra karşılaştığı problemlerin çözümünde de oldukça fayda sağlamaktadır. Herhangi bir hizmeti almak isteyen müşteriler bu taleplerinin kısa sürede karşılanmasını beklerken işletmeciler ise hizmet maliyetlerinin düşük olmasını

istemenin yanında; servisin niteliğini yükseltmeyi ve de müşterilerin bekleme zamanını da en düşük seviyelere düşürmeyi amaçlamaktadır. Bu dengeyi sağlayacak sistemin tasarlanması da kuyruk sistemleriyle oldukça mümkün olmaktadır. Kuyruk teoremi kullanılarak yapılan bu çalışmada elde edilmek istenen temel dinamik EA'sını şarj etmek için otoparka gelen araç sahiplerinin kabul edilebilir sürelerde kuyrukta bekleyerek hizmet almalarını sağlamaktır. Çalışmanın devamında yapılan ve WINQSB programıyla desteklenen maliyet analizi ile de şarj istasyonu sayısının azaltılması veya artırılmasının maliyet üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Bu tezde Gümüşhane ili 15 Temmuz Zafer Meydanı Kapalı Otoparkına ait bir yıllık araç-giriş çıkış verileri ele alınmıştır. Bir yıllık verilerin kullanılmasındaki temel amaç, otoparkın yoğun kullanım periyotlarının ve kullanım karakteristiklerinin belirlenmesidir. Bu bağlamda toplamda 27717 adet araç giriş verisi çalışmanın tüm aşamasında kullanılmıştır. Bu gerçek veriler analiz edilerek otoparka giriş yapan elektrikli araç sayısına bağlı olarak kurulması gereken şarj istasyonu tipi ve sayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca elde edilen verilerle çeşitli senaryolar kurularak farklı araç ve farklı şarj istasyonu tipleri için sonuçlar da elde edilmiştir. Elde edilen veriler ve eğri uydurma yöntemleri kullanılarak şarj istasyonu sayısına göre toplam saatlik maliyeti hesaplayan fonksiyonlar elde edilmiştir. Elektrikli araçların kuyrukta beklemeden şarj olmaları ya da farklı bekleme sürelerine göre hizmet almaları için optimum şarj istasyonu sayısını bulmak bu çalışmanın temel amacının ana parametresini oluşturmuştur. Tüm senaryolar otoparka yıl boyunca bir saatte en fazla giriş yapan araç sayısının %5'inin EA olduğu varsayılarak tasarlanmıştır.

Analizler sonucunda, kurulması gereken şarj istasyonu sayısının belirlenmesinde en etkili rolün şarj için gelen elektrikli aracın desteklediği şarj gücü olduğu görülmüştür. DC şarj üniteleri ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı oluşan ön yargıların aksine, kısa şarj süreleriyle şarj işlemlerinin planlamasında esnek bir şekilde çalışılmasına imkân verdiği anlaşılmıştır. AC şarj ünitelerinin düşük kurulum maliyetlerine rağmen uzun şarj sürelerinden dolayı uzun kuyrukların oluşmaması adına gerekli şarj istasyonu sayılarının arttırılmasına ve buna bağlı olarak da kurulum maliyetlerin ciddi seviyelere çıkmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Otoparkın ve senaryolarda kullanılan araçların verilerine göre yapılan analizler neticesinde 15 Temmuz Zafer Meydanı Kapalı Otoparkına 3 adet DC hızlı şarj istasyonu kurulması, şarj için kuyrukta bekleyen araç olmaması ve maliyet yönünden de en uygun tercih olacağı sonucuna varılmıştır.

Otopark verilerine göre otopark kullanıcılarının yaklaşık % 71'i kısa süreli (1 yada 2 saat) park tercih etmişlerdir. DC şarj istasyonunun kurulması da bu bağlamda otopark kullanıcılarının % 71'inin park etme süresi içerisinde araçlarını en az %80 şarj etmelerine imkan sağlayacaktır. Bu yönüyle de DC hızlı şarj istasyonu daha fazla müşteriye hitap edeceğinden fazlasıyla avantajlı olacağı anlaşılmaktadır. Maliyet optimizasyonunda görüldüğü gibi bekleme maliyeti, servis maliyetinin çok üzerinde olduğu için λ değerinin artmasının bazı durumlarda kurulması gereken şarj istasyonu sayısını azalttığı görülmüştür. Kurulum maliyeti, maliyet formülünde doğrudan etkendir ve birim maliyet ile şarj istasyonu sayısının çarpımı olarak hesaplamalarda kullanılmaktadır. Bu sebeple şarj istasyonu sayısı arttıkça beklenen maliyetin de artması beklenmektedir. Bekleme maliyeti, toplam maliyete W_q ve şarj için kuyrukta bekleyen araç sayısı ile birlikte hesaplanarak doğrudan etki eder. Bu sebeple bekleme maliyeti arttıkça toplam maliyetin artması da beklenen durum olmaktadır. Bekleme maliyetindeki değişim aynı zamanda kurulması gereken şarj istasyonu sayısındaki optimum noktayı da değiştirmektedir.

Sonuç olarak; elektrikli araç şarj istasyonu kurulum uygulaması kuyruk teoremi üzerine temellendirilerek maliyet hesaplamaları ile çözümlendirilmiştir. Bu çalışmada elektrikli araç sektöründe önemli bir sorun olan şarj istasyonu optimizasyonu için bir çözüm sunulmuştur. Otoparklara konumlandırılması gereken şarj istasyonlarının kurulumunda ve şarj istasyonu içeren yeni otoparkların yapımında çözüm önerileri ve yaklaşımlar verilmiştir. Bu yaklaşım birçok farklı işletmede kolayca uygulanabilir ve bu sayede optimum verilere her işletme kendi özelinde ulaşabilir olacaktır. Burada ele alınan veriler ışığında EA'ların altyapısı sağlıklı bir şekilde tasarlanmalı, değerlendirilmeli ve uygun optimizasyon yöntemleri ile kullanılabilirlik verimleri arttırılmalıdır. Yapılan tez çalışması boyunca literatürde çok az sayıda ve sınırlı çeşitte şarj verisi bulunması, bu tezin kısıtlarını oluşturmaktadır. Daha detaylı çalışmaların yapılabilmesi için elektrikli araç şarj verilerinin paylaşımının yaygınlaştırılması için şarj verilerinin toplanması ve paylaşılması teşvik edilmelidir. Gelecekteki çalışmalar ve araştırmacılar, şarj verilerinin geliştirilmesi ve erişilebilirliği için iş birliği içinde olmalıdır. Böylece, elektrikli araç şarj istasyonu ağlarının verimliliği ve kullanılabilirliği artırılarak sürdürülebilir ve çevre dostu bir ulaşım altyapısı sağlanabilecektir.

KAYNAKÇA

- Asnaz, M. S. K. ve Özdemir, B. (2021). Elektrikli araç şarj istasyonlarının çok kriterli karar verme yöntemleri ile optimal konumlandırması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 4(2), 175-187.
- Avci, E. (2022). *Elektrikli araç şarj istasyonlarının akıllı şebekelerle entegrasyonunun sağlanması ve bu istasyonların şebekeye getireceği yükün incelenmesi Bursa örneği. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.*
- Aydın, M. M., Çakmak, R. ve Yıldırım, M. S. (2018). Şehiriçi Otoparklarda Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Kurulumu için Gerekli Tasarım Aşamalarının Belirlenmesi. Presented at the International Congress on Engineering and Architecture, Alanya.
- B. Gaton. (2018, 14 Kasım). Why battery cars will beat hybrids and fuel cells. [Online]. 23 Nisan 2023 tarihinde <https://thedriven.io/2018/11/14/the-ice-age-is-over-why-battery-cars-will-beat-hybrids-and-fuel-cells/> adresinden erişildi.
- Bayram, I. S., Devetsikiotis, M. ve Jovanovic, R. (2022). Optimal design of electric vehicle charging stations for commercial premises. *International Journal of Energy Resarche*, 46(3), 1-12.
- Cooper, R. B. (1981, January). Queueing theory. In Proceedings of the ACM'81 conference, (pp. 119-122).
- Çakmak, R., Aydın, M. M. ve Yıldırım, M. S. (2018). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Elektrik Şebekesi Elektrikli Araç Teknolojileri Trafik ve Ulaşım Parametreleri Altında Değerlendirilmesi. Presented at the International Congress on Engineering and Architecture (ENAR), Antalya.
- Çakmak, R. ve Turan, A. (2022). Türkiye’de İller Bazında Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Altyapısı: Ölçevler Aracılığıyla Analizi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12(1), 246-268.
- Çelikkıran, S. (2019). *Dokuma kumaş üretiminde makine girişim modeli uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.*
- Çiftçi, H. (2019). *Elektrikli araçların dağıtım şebekesine etkisinin maliyet analizi ve genetik algoritma ile en iyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

- Demirhan, İ. (2021). *Pist başı beklemlerinin gerçek zamanlı trafik verisi kullanılarak kuyruk teorisi yöntemi ile analizi İstanbul Havalimanı örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Dericioglu, C., Yirik, E., Unal, E., Cuma, M. U., Onur, B. ve Tumay, M. (2018). A review of charging technologies for commercial electric vehicles. *International Journal of Advances on Automotive and Technology*, 2(1), 61-70.
- Doğan, N. (2021). *Elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekelerinin gerilim kalitesine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.*
- EAFO (2020). European Alternative Fuels Observatory. 11 Mart 2023 tarihinde <https://www.eafo.eu/countries/european-union-efta-turkey/23682/summary> adresinden erişildi.
- ECA (European Court of Auditors) (2021). Report 05/2021: infrastructure for charging electric vehicles: more charging stations but uneven deployment makes travel across the EU complicated, 2021. Retrieved from https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR21_05/SR_Electrical_charging_infrastructure_EN.pdf. *Energy Research*, 46(8), 10040-10051.
- Erdem, Y. ve Taci, MS (2018). Elektrikli araçlarda rejeneratif frenleme ve güç analizinin etkisi. *Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Üzerine Güncel Araştırmalar Dergisi*, 4 (2), 75-88.
- Erdoğan, G. (2010). *Kuyruk teorisi ve bir çağrı merkezi uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.*
- Erşahin, O. (1995). *Kuyruk modelleri ve işletmelere uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.*
- Falvo, MC, Sbordon, D., Bayram, IS ve Devetskiotis, M. (2014, Haziran). EV şarj istasyonları ve modları: Uluslararası standartlar. 2014 yılında Uluslararası Güç Elektroniği, Elektrikli Sürücüler, Otomasyon ve Hareket Sempozyumu. IEEE, (s.1134-1139).
- Gamgam, H. ve Yiğit, E. (2008). Gruplandırılmış Verilerin Üstel Dağılıma Uyumunda Ağırlıklandırılmış Kolmogrov-Smirnov Testleri ile Olabilirlik Oranı ve Ki-Kare Testlerinin Karşılaştırılması. *İstatistik Araştırma Dergisi*, 6(1), 65-74.
- Ge, S. Y., Liang, F. E. N. G., Hong, L. I. U. ve Long, W. A. N. G. (2012, September). The planning of electric vehicle charging stations in the urban area. In 2nd International Conference on Electronic ve Mechanical Engineering and Information Technology, Atlantis Press, (pp. 1598-1604).

- Güner, S. (2018). *Elektrikli araç otoparklarının dağıtım sistemi güvenilirliğine etkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Güneş, F. (2021). *Akıllı şehirler ve veri analitiği- sinyalizasyon kavşaklarının performans değerlendirilmesinde analitik yöntemler ve trafik akımının kuyruk teorisi ile modellenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Güray, B. Ş., Merdan, E. (2021). Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü 2021, Sabancı Üniversitesi, İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi (IICEC), 10 Ocak 2022 tarihinde <https://iicec.sabanciuniv.edu/sites/iicec.sabanciuniv.edu/files/inline-files/Tu%CC%88rkiye%20Elektrikli%20Arac%CC%A7lar%20Go%CC%88ru%CC%88nu%CC%88mu%CC%88%202021.pdf> adresinden erişildi.
- İçer, Y. (2019). *Elektrikli araçlar için enerji yönetim tabanlı akıllı otopark sistemi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.*
- Jang, Y. J., Jeong, S. ve Lee, M. S. (2016). Initial energy logistics cost analysis for stationary, quasi-dynamic, and dynamic wireless charging public transportation systems. *Energies*, 9(7), 483.
- Karaca, İ. (2021). *İstanbul Boğaziçi deniz trafiği için kuyruk teorisi uygulaması ve süreç optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Karanfil Kostak, G. (2016). *Çağrı merkezi bekleme süresinin kuyruk modelleri ile incelenmesi ve iyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.*
- Kaya, Ö. (2019). *Elektrikli araç şarj istasyon konumlarının karar verme teknikleri ile analizi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.*
- Kerem, A. ve Gürbak, H. (2020). *Elektrikli Araçlar İçin Hızlı Şarj İstasyonu Teknolojileri. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 8(3), 644-661.
- Kılıç, E. (2022). *Elektrikli araç şarj istasyonlarının enerji yönetimi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.*
- Koç Gülbaz, G. (2020). *Kuyruk teorisinin çağrı merkezi için uygulaması Beyaz eşya sektöründe bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.*

- Köfteci, S. ve Gerçek, H. (2010). Yük taşımacılığında taşıma türü seçimi için lojistik maliyetlere dayalı ikili lojit model. *Teknik Dergi*, 21(103), 5087-5112.
- Köksal, E., Ardiyok, S. ve Ikiler, B. (2021). Elektrikli Araçlar için Şarj Altyapısı– Türkiye için Fırsatlar ve Öneriler. (Charging Infrastructure for Electric Vehicles– Opportunities and Suggestions for Turkey). *Baseak CORE Papers*, (11).
- Lee, L. Y., Choi, W. S. ve Choi, S. G. (2022, February). Investment Cost Minimization of Autonomous-Electric Vehicles based on Queueing Model. In 2022 24th International Conference on Advanced Communication Technology, (ICACT) IEEE, (pp. 172-178).
- Özcan, M. E. (2019). “Elektrikli araçların dağıtım şebekesine entegrasyonu,” M.S. thesis, Marmara University.
- Özdentürk, A. (2021). *Elektrikli araç şarj cihazlarında kullanılan tek fazlı aktif doğrultucuların şebekeye etkilerinin karşılaştırılması. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya teknik Üniversitesi, Konya.*
- Özkan, F. (2010). *Bekleme hattı kuyruk teorisi ve bir çağrı merkezi uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Render, B., Stair, R. M. ve Hanna, M. E. (2011). Quantitative Analysis for Management. US: Prentice Hall PTR.
- Resmi Gazete (2022). Otopark Yönetmeliği 31868 (16 Haziran 2022). 1 Ocak 2023 tarihinde <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=24408&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> adresinden erişildi
- Ritchie, H. and Roser, M. (2020). Energy. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from <https://ourworldindata.org/energy>
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2021). İstanbul İli Elektrikli Araçlar İçin Şarj İstasyonu Kurulumu Ön Fizibilite Raporu.
- Saygın, D., Bülent, O., Teimourzadeh, S., Hildermeier, J., Koç, M. ve Kolokathis, C. (2019). Türkiye ulaştırma sektörünün dönüşümü: Elektrikli araçların Türkiye dağıtım şebekesine etkileri. SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi. 12 Nisan 2023 tarihinde www.shura.org.tr. Adresinden erişildi.
- Sulzberger, C., 2004. An Early Road Warrior: Electric Vehicles in the Early Years of the Automobile. *IEEE Power Energy Magazine*, 2(3), 66-71.
- Şahin, M. (1995). *Üretim Yönetimi*, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.

- Şengör, İ. (2019). *Elektrik dağıtım sisteminde elektrikli araç park bölgelerinin talep tarafı esnekliği dikkate alınarak optimum işletimi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.*
- TEHAD (Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçlar Derneği) (2021). 23 Ocak 2023 tarihinde <https://www.tehad.org/2023/01/10/2022-yili-elektrikli-ve-hibrit-otomobil-satis-rakamlari-belli-oldu/> adresinden erişildi.
- Ullmann, J. E. (1976). *Schaum's outline of theory and problems of quantitative methods in management.* McGraw-Hill.
- URL-1,1 Mart 2023 tarihinde <https://charge.net.nz/knowledge-article/ev-charging-the-difference-between-ac-and-dc/> adresinden erişildi.
- URL-2, 10 Şubat 2023 tarihinde <https://www.engadget.com/2012-10-03-better-place-ceo-shai-agassi-steps-down.html?guccounter=1> adresinden erişildi.
- URL-3, 11 Şubat 2023 tarihinde <https://cleanvehiclerebate.org/en/ev/technology/fueling/electric> adresinden erişildi.
- URL-4, 11 Şubat 2023 tarihinde https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772 adresinden erişildi.
- URL-5, 22 Nisan 2023 tarihinde <https://en.wikipedia.org/wiki/CHAdEMO> adresinden erişildi.
- URL-6, 24 Mart 2023 tarihinde <https://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/elektrikli-araba-nasil-sarj-edilir-91833/> adresinden erişildi.
- URL-7, 25 Nisan 2023 tarihinde <https://trumore-cdn.TOGG.cloud/TOGGT10XKatalog.pdf> adresinden erişildi.
- URL-8 , 18 Nisan 2023 tarihinde https://tr.wikipedia.org/wiki/BMW_iX adresinden erişildi.
- URL-9, 10 Mart 2023 tarihinde <https://www.bmw.com.tr> adresinden erişildi.
- Uyrun, A. (2012). *Bekleme hattı Kuyruk modeliyle servis sisteminin analizi Hızlı yiyecek içecek işletmesinde bir uygulama (M.S. thesis).* Düzce University.
- Wen, H., Ma, J., Zhang, M. ve Ma, G. (2012, June). The comparison research of nonlinear curve fitting in Matlab and LabVIEW. In *2012 IEEE Symposium on Electrical & Electronics Engineering (EEESYM)*, IEEE, (pp. 74-77).
- Xylia, M., Leduc, S., Patrizio, P., Kraxner, F. ve Silveira, S. (2017). Locating charging infrastructure for electric buses in Stockholm. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78, 183-200.

- Yağcıtekin, B. (2014). *Elektrikli araç şarj altyapısı tasarımı ve akıllı şarj sisteminin geliştirilmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Yılmaz, A. , Ünvar, S. , Ekmen, M. ve Aydın, S. (2017). Yakıt Pili Teknolojisi. *Technological Applied Sciences*, 12 (4) , 185-192 . 10 Mart 2023 tarihinde <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nwsatecapsci/issue/31523/339487> adresinden erişildi.
- Zhenpo W., Peng L. ve Tao X., (2010). “Optimizing the Quantity of Off-Broad Charger for Whole Vehicle Charging Station”. IEEE 2010 International Conference on Optoelectronics and Image Processing (ICOIP), China, 93–96.



ÖZGEÇMİŞ

Murat Han ÇİÇEK, lise eğitimine 2002 yılında Gümüşhane Lisesinde başlayıp, 2005 yılında tamamlamıştır. Lisans eğitimini 2007- 2012 yılları arasında Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde tamamladı. 2012 yılından beri özel sektörde çalışmaktadır. Koza Altın İşletmelerinde Elektrik Mühendisi olarak 2017 yılında çalışmaya başlamış ve halen bu görevine devam etmektedir. 2019 yılında Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. Evli ve bir çocuk babasıdır.

