

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEHİR İÇİ TEK YÖNLÜ ELEKTRİKLİ ARAÇ KİRALAMA VE
ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ELEKTRİK ŞEBEKESİYLE
ENTEGRASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Cem Işık DOĞRU

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kürşad DERİNKUYU

TEMMUZ 2020

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....
Prof.Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....
Prof.Dr. Tahir HANALIOĞLU
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 181311012 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Cem Işık DOĞRU**'nun ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**ŞEHİR İÇİ TEK YÖNLÜ ELEKTRİKLİ ARAÇ KİRALAMA VE ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ELEKTRİK ŞEBEKESİYLE ENTEGRASYONU**" başlıklı tezi **29 Temmuz 2020** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı: **Doç. Dr. Kürşad DERİNKUYU**
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Doç. Dr. Seyithan Ahmet ATEŞ (Başkan)**
Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi

Doç. Dr. Kürşad DERİNKUYU
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Salih TEKİN
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Cem Işık DOĞRU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ŞEHİR İÇİ TEK YÖNLÜ ELEKTRİKLİ ARAÇ KİRALAMA VE ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ELEKTRİK ŞEBEKESİYLE ENTEGRASYONU

Cem Işık DOĞRU

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kürşad DERİNKUYU

Tarih: TEMMUZ 2020

Ulaşım sektörünün temel enerji kaynağı olan petrolün yakın gelecekte tükenmesi beklenmekte ve petrol fiyatında oluşan dalgalanmalar özellikle petrol ithalatçısı ülkeler için finansal riskler oluşturmaktadır. Bununla beraber petrol kullanımından ötürü doğaya salınan sera gazları küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. Bu nedenler, alternatif enerji kaynaklarına bakılmasına yol açmıştır. Alternatiflerden biri olan elektrik, son yıllarda popülaritesi artan elektrikli araçlar nedeniyle kendini kanıtlamaya başlamış ve ciddi bir seçenek haline gelmiştir. Kullanılan ünite sayısı milyon düzeyini geçen elektrikli araçlar kişisel kullanım haricinde, filo sahibi operatörler aracılığı ile kısa zamanlı kiralanabilen bir ulaşım aracı da olmuştur. Operatör kısa zamanlı kiralama seçeneklerinden olan, bir noktadan alınıp başka bir noktaya bırakılabilen tek yönlü araç kiralama yoluyla kar elde edebilmektedir. Daha fazla kar eldesi için araç bataryalarında bulunan fazla elektrik şebekeye satılabilir mi sorusu ortaya çıkmıştır. Bataryalardaki elektriğin satımı için gün öncesi elektrik piyasasına giren operatör, oluşturulan matematiksel model ve yaptığı fiyat tahmini sonucunda gün içerisindeki zaman aralıklarında şebekeye verebileceği elektrik miktarına karar verir ve bu miktarı sağlama yükümlülüğü altına girerek kar elde etmeyi bekler. Gün içerisinde ise sahibi olduğu araçları kiralayarak ve sarj, yönlendirme, kullanım gibi maliyetleri bulunan operasyonel işlemlerini

optimize ederek ve fiyat gerçekleşmesi sonucunda Şebekeye verdiği elektrikten kar elde etmektedir. Bu alışmada Şebekeye verilmesi gereken elektrik miktarına karar veren ve gün içerisindeki operasyonlara karar veren iki tane model oluşturulmuştur. Bu modeller aracılığı ile Şebekeye verilen elektriğin beklenen ve gerçekleşen karlılığı incelenmiş, elektrik fiyatının bilindiği ve bilinmediği durumlar karşılaştırılmış, araç kiralama talebiyle gelen msteri kaybı incelenmiştir. Modeli test etmek aracılığıyla İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin ulaşım verileri kullanılmış ve modellere göre düzenlenmiştir. Yapılan testler sonucunda elektrik satışının yapıldığı durumların daha fazla kar getirildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, yapılan hassasiyet analizleri sonucunda elektrik araç sayısı, elektrikli araç kiralama fiyatı ve ynledirme maliyetinin oluşturuduğu değişiklikler incelenmiş ve elektrik satışının yapılmadığı seçeneklerle karşılaştırılmıştır. Bu edinimlerin sonucunda ise EA bataryalarının gün öncesi piyasasında karlı bir araç olduğu gözlemlenmiş ve bu alışmamamızın daha farklı alanları da göz önünde bulundurarak genişletilebilmesinin nn açmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç, Ağ izgesi, Karma tam sayılı programlama, izelgeleme, Elektrik piyasası

ABSTRACT

Master of Science

ONE-WAY ELECTRIC VEHICLE CARSHARING IN AN URBAN AREA WITH VEHICLE-TO-GRID OPTION

Cem Işık DOĞRU

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Kürşad DERİNKUYU

Date: JULY 2020

The petroleum, which is the primal energy resource of transportation, is expected to deplete in a close future. Also, financial risks for petroleum importers and greenhouse gas emission's negative impact on global climate force to search alternative energy resources. Among alternatives, electricity has become serious option due to increasing popularity of electric vehicle. Number of units used across the globe exceeding million, electric vehicles can be means of transportation by short term renting from electric vehicle fleet operator apart from individual use. The operator can simply makes profit from one-way vehicle renting, which is picking a vehicle from one point and leaving it on another point. It arises a question of whether selling excess electricity in batteries is profitable. To sell excess electricity, the operator decides the amount in day-ahead electricity market and the next day it is obliged to provide the amount promised. In the day, the operator makes revenue from renting electric vehicles and selling electricity to grid and considers the costs of charging, relocation, usage of electric vehicles to maximize profit. This study consist of two models that decides the amount of electricity to be sold and manages daily operations of electric vehicle fleet. By using these models, expected and realized profit from electricity selling, known and unknown scenarios of electricity prices and loss of customers who want to rent electric vehicles are examined. To test models,

transportation dataset of Istanbul Metropolitan Municipality is used and the data required is arranged according to structure of models. According to the results, selling excess electricity can create extra profit for fleet operator. Besides, sensitivity analyses for electric vehicle, renting prices, relocation cost are conducted and they are compared with no electricity selling option. In light of these results, electric vehicles batteries are profitable tool in day-ahead electricity market and this study can be expanded to different areas of electricity market.

Keywords: Electric vehicle, Graph network, Mixed integer programming, Scheduling, Electricity market

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, tez konumun fikir babası olan hocam Doç. Dr. Kürşad Derinkuyu'ya, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım, tezli yüksek lisansa geçmeme önayak olan, tez sürecinin her aşamasına katkıları olmuş Dr. Öğretim Üyesi Salih Tekin hocama, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve destekleriyle her zaman yanımda olan anneme, babama, kardeşime ve arkadaşlarımdan Yılmaz Berk Ezilmez'e ve Musa Tunç Arslan'a ve bana 9 ay boyunca katlanan İlyas Alper Őener'e teőekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
KISALTMALAR	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	6
1.2.1 Anketler	6
1.2.2 Fiyatlama	6
1.2.3 Kar-Kazanç Maksimizasyonu	7
1.2.4 Tek Yönlü Araç Kiralama	7
1.2.5 Fiyat Teklifi Mekanizmaları	8
1.2.6 EA ve Elektrik Şebekeleri	9
2. MATEMATİKSEL MODEL	11
2.1 Gün Öncesi Model	12
2.1.1 Amaç	12
2.1.2 Kümeler ve Parametreler	13
2.1.3 Tamsayı Karar Değişkenleri	13
2.1.4 Sürekli Karar Değişkenleri	14
2.1.5 Matematiksel Model	14
2.2 Gün İçi Model	17
2.2.1 Amaç	17
2.2.2 Kümeler ve Parametreler	18
2.2.3 Sürekli Karar Değişkenleri	18
2.2.4 İkili Karar Değişkenleri	18
2.2.5 Matematiksel Model	19
3. SAYISAL YÖNTEM	23
3.1 Varsayımlar	23
3.2 Kullanılan Verisetleri	25
3.3 Talep Verilerinin Oluşturulması	31

4. SAYISAL ANALİZ ve YORUMLAR	33
4.1 Elektrik Satmama ve Elektrik Satma Opsiyonları	33
4.2 Gün Öncesi Model'in Gün İçi Modelle Karşılaştırılması	34
4.3 Hassasiyet Analizi	35
4.3.1 EA Sayısı	36
4.3.2 Yönlendirme Maliyeti	36
4.3.3 Kiralama Ücretinin Etkileri	37
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	38
KAYNAKLAR	41
EKLER	46
ÖZGEÇMİŞ	46



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Europe Brent Spot Fiyatı	2
Şekil 1.2: Kavramsal Kontrat Yönetimi Şeması	4
Şekil 1.3: Tek Yönlü Araç Kiralama Örneği	5
Şekil 3.1: Seçilen Otoparkların Harita Üzerindeki Konumları	27
Şekil 3.2: Yolculuk Başlangıç Saatlerinin Frekansı	28



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1: Fiyatlama Makaleleri Kapsamı	6
Çizelge 1.2: Kar-Kazanç Maksimizasyonu Makaleleri Kapsamı.	7
Çizelge 1.3: Tek Yönlü Araç Kiralama Makaleleri Kapsamı.	8
Çizelge 1.4: Fiyat Teklifi Mekanizmaları Makaleleri Kapsamı.	9
Çizelge 1.5: EA ve Elektrik Şebekeleri Makaleleri Kapsamı.	10
Çizelge 3.1: Seçilen Otoparkların Bulunduğu İlçeler ve Coğrafi Konumları.	26
Çizelge 3.2: İlçelerin Kendi İçleri ve Birbirleri Arasındaki Hareketliliği.	27
Çizelge 3.3: İlçelerin Gün İçerisindeki Çektiği ve Ürettiği Toplam Trafik.	27
Çizelge 3.4: KWSaat/Krş Elektrik Fiyatı.	28
Çizelge 3.5: Parametre Değerleri	29
Çizelge 3.6: Lokasyonlar Arası Mesafenin Saat Cinsinden Değeri.	30
Çizelge 3.7: Saatlik Ortalama İlçeler İçi ve Arası Yolculuk Dağılımı.	32
Çizelge 4.1: Elektrik Satma veya Satmama Karşılaştırması.	33
Çizelge 4.2: <i>Gün Öncesi Model</i> ve <i>Gün İçi Model</i> Karşılaştırması.	35
Çizelge 4.3: Toplam EA Sayısının Etkileri.	36
Çizelge 4.4: Yönlendirme Maliyetinin Etkileri.	37
Çizelge 4.5: Kiralama Ücretinin Etkileri.	37

KISALTMALAR

LPG	: Likit Petrol Gazı
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
EA	: Elektrikli Araba
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İSPARK	: İstanbul Otopark İşletmeleri Ticaret Anonim Şirketi
G2V	: Grid-to-Vehicle(Şebekeden Araca)
V2G	: Vehicle-to-Grid(Araçtan Gride)
ZES	: Zorlu Energy Solutions



SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler Açıklama

\mathcal{T}	Zaman Periyotları Kümesi. $\mathcal{T} = \{1, \dots, T\}$
\mathcal{N}	Düğümler Kümesi. $\mathcal{N} = \{1, \dots, N\}$
\mathcal{K}	EAlar Kümesi. $\mathcal{K} = \{1, \dots, K\}$
$D_{i,j,t}$	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye gitmek isteyen kullanıcı sayısı
$Dist_{i,j}$	$i \in \mathcal{N}$ ve $j \in \mathcal{N}$ arasındaki mesafenin zaman periyodu cinsinden değeri
Dec	Bir periyotluk EA kullanımdan kaynaklanan şarj durumu düşüşü
P_r^{V2G}	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda şebekeye satılan elektriğin KWH cinsinden fiyatı
P_r^{EV}	EA'nın bir periyotluk kiralama bedeli
R_t	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda şebekeye verilen KWH cinsinden elektrik miktarı
C_t^E	EA'nın $t \in \mathcal{T}$ periyodunda KWH cinsinden şarj maliyeti
C^{EV}	EA'nın günlük kullanım maliyeti
C^R	EA'nın bir periyotluk yönlendirme maliyeti
SOC_{min}	minimum şarj durumu
SOC_{max}	maksimum şarj durumu
P^C	bataryanın bir periyotluk şarj gücü
P^{DC}	bataryanın bir periyotluk deşarj gücü
Cap	EA'nın batarya kapasitesi
Sca_t	$t \in \mathcal{T}$ periyodu için belirli bir aralıkta rastgele oluşturulan fiyat çarpanı
x^{EA}	sistemde bulunan araç sayısı
$x_{i,t}$	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'de bulunan araç sayısı
$x_{i,t}^A$	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'den kiralanabilen veya yönlendirilebilen araç sayısı
$x_{i,t}^R$	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'de şebekeye bağlı araç sayısı
$z_{i,j,t}$	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye gitmek üzere kiralanılan EA sayısı
$y_{i,j,t}$	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye yönlendirilen EA sayısı
$CH_{k,t}$	Kullanılan EA'ların $t \in \mathcal{T}$ periyodunda bataryalarındaki KWH cinsinden elektrik miktarı
R_t	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda şebekeye verilen KWH cinsinden elektrik miktarı
$x_{i,t}^C$	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'de şarj edilen araç sayısı
$x_{i,t}^{DC}$	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'de şebekeye elektrik veren araç sayısı
$SOC_{k,t}$	EA $k \in \mathcal{K}$ 'nin $t \in \mathcal{T}$ periyodundaki şarj durumu
$SOC_{k,t}$	EA $k \in \mathcal{K}$ 'nin $t \in \mathcal{T}$ periyodundaki şarj durumu
x_k	Eğer EA $k \in \mathcal{K}$ kullanıldıysa 1 olur
$x_{k,i,t}$	Eğer EA $k \in \mathcal{K}$ $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'de ise 1 olur

$x_{k,i,t}^A$	Eğer EA $k \in \mathcal{K}$ $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'de kullanılabilirse 1 olur
$x_{k,i,t}^C$	Eğer EA $k \in \mathcal{K}$ $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'de şarj ediliyorsa 1 olur
$x_{k,i,t}^{DC}$	Eğer EA $k \in \mathcal{K}$ $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'de elektrik satıyorsa 1 olur
$x_{k,i,t}^R$	Eğer EA $k \in \mathcal{K}$ $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'de şebekeye bağlıysa 1 olur
$z_{k,i,j,t}$	Eğer EA $k \in \mathcal{K}$ $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye olan yolculuğu başladıysa 1 olur
$y_{k,i,j,t}$	Eğer EA $k \in \mathcal{K}$ $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye yönlendirmesi başladıysa 1 olur
$q_{k,i,j,t}$	Eğer EA $k \in \mathcal{K}$ $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye olan yolculuktaysa 1 olur
$q_{k,i,j,t}^L$	Eğer EA $k \in \mathcal{K}$ $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye olan yolculuğun son periyodundaysa 1 olur
$q_{k,i,j,t}^R$	Eğer EA $k \in \mathcal{K}$ $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye olan yönlendirmedeyse 1 olur
$q_{k,i,j,t}^{RL}$	Eğer EA $k \in \mathcal{K}$ $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye olan yönlendirmenin son periyodundaysa 1 olur

1. GİRİŞ

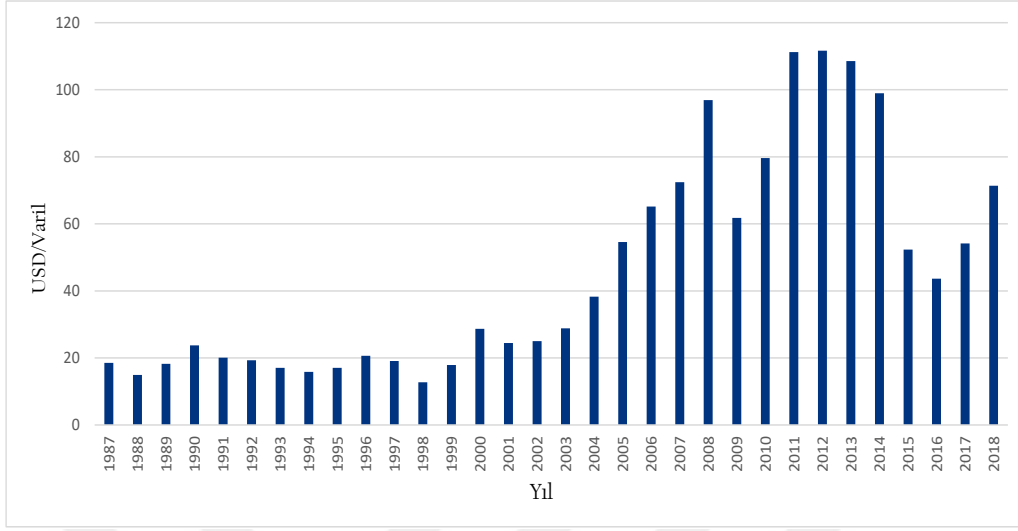
Günümüz dünyasında enerjinin üç temel kullanım alanı vardır. Bu alanlardan birincisi farklı endüstriyel faaliyetlerde enerji kullanımınıdır. İkincisi kömür, doğal gaz veya nükleer enerjiden elektrik üretilmesi gibi ikincil enerji kaynaklarının elde edilmesi ve son temel alan ise insanların ulaşım, ısınma gibi günlük ihtiyaçlarının karşılanmasıdır. Günlük ihtiyaçların alt dallarından biri olan *ulaşım* incelendiğinde, temel enerji kaynağının petrol olduğu gözlenmektedir. Petrolün damıtılması sonucunda benzin, motorin, LPG gibi kullanıma hazır malzemelerin enerjiye dönüşümü de içten yanmalı motorlar aracılığıyla sağlanır. Ancak, petrolün ulaşım alanının başat enerji kaynağı olması, günümüzde etkilerini gözlemleyebildiğimiz ve gelecekte gerçekleşmesi beklenen bazı sorunları beraberinde getirmektedir.

Hali hazırda sınırlı olan petrol rezervlerinin kullanım miktarının, yakın gelecekte bu kaynağın tamamen tükenmesine neden olması beklenmektedir. [1]'e göre 2017 yılında toplam petrol rezervi 239 bin milyon ton olarak belirtilmiş ve yıllık kullanım miktarı ise 4691.9 milyon ton olarak hesaplanmıştır. Bu miktardaki tüketim aynı oranda devam ettiği düşünülürken ve yeni kaynakların olmadığı takdirde petrol rezervinin ömrünün yaklaşık 50 sene olduğu hesaplanmaktadır.

Ekonomik açıdan incelendiğinde ise, petrol fiyatındaki ani değişimler ithalatçı ülkeler ve ihrac eden ülkelerin ekonomisi için beklenmedik maliyet ve gelir değişimlerine neden olmaktadır. Şekil (1.1)'i incelediğimizde 2008 yılında petrolün ortalama varil fiyatı \$100 seviyesindeydi. 2009 yılında ise bu fiyat \$ 60 seviyelerine gerilemiştir. 2011 yılında tekrardan \$ 100 seviyelerine bir fırlama olmuş ve 2013'ten 2017 senesine kadar tekrardan düşüş eğilimi görülmektedir[2].

Ekolojik perspektiften baktığımızda ise, CO_2 emisyonunun artışı [3] ve bu artışın küresel ısınmaya, iklim değişikliğine, çevresel problemlere neden olduğu gözlenmektedir.

Yukarıda bahsi geçen bu nedenler, alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasını ve kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Alternatifleri H_2 , elektrik, biodizel ve etanol olarak sıralayabiliriz. Bu kaynaklar arasından elektrik incelendiğinde, elektrikli arabaların (EA) pazar payı ve kullanımındaki artış nedeniyle potansiyelini göstermiştir.



Şekil 1.1: Europe Brent Spot Fiyatı

Düşünülenin aksine EA'ların geçmişi tahmin edilenden çok daha eskiye gitmektedir. 1834'te icat edilmesi ve 1930'lu yıllarda piyasadan silindiği[4] zamana kadar insanların kullanımına sunulmuştu. Yaklaşık bir asır süren bu zaman aralığı incelendiğinde EA'ların içten patlamalı motorun icadından (1885) yaklaşık 50 sene önce kullanıma başlandığı görülmektedir[5]. 1900'lerin başına gelindiğinde EA'ların bir çok avantajı bulunmaktaydı. Benzinli araçlardan kaynaklı titreşim, koku ve gürültünün EA'larda yoktu ve benzinli araçları sürmenin en zor kısmı olan vites değişimi gerekmemekteydi. Bununla beraber batarya değişimi ve şarj istasyonu gibi hizmetler de mevcuttu. EA'ların oranı ABD'de yüzde 38 iken benzinli araçların oranı yüzde 22 idi[5]. Ancak, Texas eyaletinde petrol bulunmasıyla benzin fiyatının düşmesi ve petrol istasyonlarının yaygınlaşması, Henry Ford'un seri üretim teknikleriyle benzinli araçları EA'lardan daha ucuza satması ve farklı şehirler arasındaki yol ağlarının oluşturulması sonucunda araçlar için daha fazla menzile ihtiyaç duyması gibi nedenler sonucunda EA'ların kullanımı 1930'larda sona erdi[5]. Bundan yaklaşık 40 sene sonra, 1970'lerin başında çıkan enerji krizi sonucunda çıkan enerji problemi ise EA'ları tekrar gündeme getirdi[4].

Yakın geçmişe baktığımızda ise, 2017 senesinde kullanılan EA'ların sayısı 3.1 milyona ulaşmış ve önceki yıla göre % 57 artış göstermiştir. Bununla beraber toplam satış miktarı ise 1.1 milyon araç seviyesine gelmiştir. Ülkeler bazında incelediğimizde, en fazla EA satışı sırasıyla Çin'de 580 bin, ABD'de 200 bin ve Norveç'te 60 bin ile ilk 3 sırada olan ülkelerdir. [6]. Pazar paylarında ise Norveç % 39 ile ilk sıradadır [6]. Bu yüksek pazar payında Norveç özel bir vakayı temsil

etmektedir. EA'lardan katma değer vergisinin alınmaması, plaka vergisinin düşürülmesi ve 2019 yılına kadar park ücreti alınmaması [7] pazar payının bu seviyeye ulaşmasının nedenleri arasında gösterilebilir. Türkiye'de ise EA satışının oransal artışı çok yüksek olsa da EA'ların pazar payı oldukça sınırlı kalmaktadır. 2017 yılında toplamda 76 tane EA satılırken, 2018 senesinde ise bu sayı 155'e yükselmiştir[8]. 2019 yılının sonunda gelindiğinde ise toplamda 222 tane EA satılmıştır. Bunun yanında, EA'lar için vergi oranları fosil yakıtla çalışan araçlara göre düşük tutulmuştur. Örneğin, motor hacmi 1600cc'den küçük olan araçlarda ÖTV % 45 ile % 60 arasında değişirken EA'larda bu oran, motor gücü 85 KW'den düşük araçlar için % 3, 86 KW ve 120KW arasında olanlardan % 7 ve 121 KW'den fazla olanlar için %15 seviyesinde tutulmuştur[9]. Bunların haricinde, ZES ve Enerjisa gibi firmaların girişimleri sonucunda Türkiye çapında şarj istasyonu sayısı artırılmıştır[8].

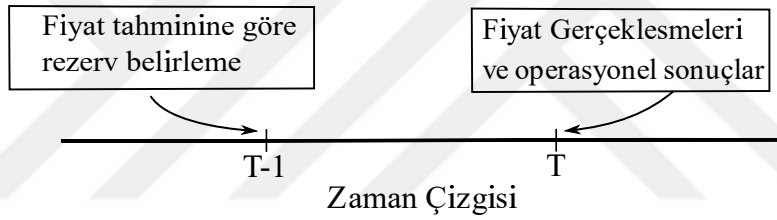
EA'lara verilen teşviklere rağmen araçların fiyatı, batarya kapasitelerinden kaynaklı düşük menzil, ve şarj süresinin uzun sürmesi gibi nedenler fosil yakıtla çalışan araçlarla olan rekabetini geçmişte olduğu gibi bugün de olumsuz etkilemektedir. Yukarıda bahsedilen dezavantajlara rağmen EA'ların satışında dünya çapında artış gözlenmiştir. Bunun yanında, batarya teknolojisinde gerçekleşmesi beklenen gelişmelerle beraber ve önümüzdeki yıllarda EA satışında tahmin edilen artış trendi, bu araçların elektrik şebekesine yaptığı yükü arttırabilir, şarj için bekleme sürelerini uzatabilir, EA kullanıcılarının memnuniyetsizliği yükseltebilir ve filo operatörlerinin kârını azaltabilir. Bunların ışığında, EA'ların kullanım alanlarında kâr, maliyet, kullanıcı konforu, şebeke güvenciliği, lokasyon ve filo büyüklüğü gibi alanlarda çalışmalar önem kazanmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Şehirciliğin belirli alanlarında EA kiralama üzerinden kârını arttırıp; şarj, yönlendirme gibi maliyetlerini azaltmak isteyen bir filo operatörünün gözünden inceleme yapılmıştır. Ayrıca, EA bataryalarının elektrik depolama üniteleri olarak düşünüldüğünde fazla elektrik şebekeye satılarak kârın arttırılabileceği bir sistem sunulmuştur. Elektrik satış miktarı gün öncesinde kullanılan model ile belirlenecek ve gün içerisinde belirli zaman aralıklarında anlaşılan miktarda elektrik şebekeye verilerek satış işlemi gerçekleştirilecektir. Bu işlem *Kontrat Yönetimi* olarak adlandırılmıştır. Ayrıca, gün içerisinde EA'lar için gereken elektrik ise piyasa tarafından belirlenen fiyatlardan alınacaktır. Bu karar sürecinde 2 farklı durum incelenmiştir: Alış ve satış fiyatlarının önceden bilinmesi ve önceden bilinmeyen satış fiyatı ve bilinen alış fiyatı. İlk durumda alış ve satış

fiyatların sabit olması ya da operatörün önceden bilmesi optimal çözümü verecektir ancak diğer durumda, satış fiyatlarının tahmini üzerinden belirlenen elektrik satış miktarı ve fiyat gerçekleşmesinin tahminden farklı olması nedeniyle değişen maliyet, kâr, yönlendirme, kiralama, çizelgeleme durumlarıyla karşılaşılacaktır.

Şekil (1.2)'de kontrat yönetiminin basit bir şeması verilmiştir. $T - 1$ ile belirtilen tarih, elektrik satış fiyatının gerçekleşmesinden bir gün öncesini gösterir ve $T - 1$ için kullanılan modelde yapılan fiyat tahminine göre T gününün kapsadığı zaman periyotlarında sebekeye satılacak elektrik miktarı(rezerv) belirlenir. Bu kısımda kullanılan model operatörün istekleri doğrultusunda EA filosunun kiralama, yönlendirme, şarj çizelgeleme gibi operasyonlarını da içerebilir. T günü için hazırlanan diğer modelde ise elektrik fiyatlarının gerçekleşmeleri ve önceki modelden gelen rezerv miktarları göz önünde bulundurularak satış işlemi yapılması, EA filosunun operasyonlarına karar verilmesi sonucunda elde edilen kâr ve maliyetler operatörün değerlendirmesine sunulur.



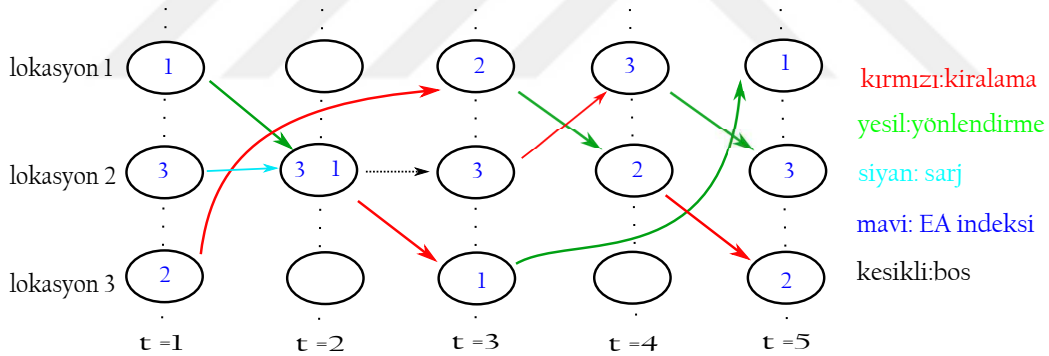
Şekil 1.2: Kavramsal Kontrat Yönetimi Şeması

Bu çalışmada, şehiriçinde belirlenmiş lokasyonların ağ çizgesinde düğümlerle temsil edilmektedir. Bu düğümler EA'yı kiralayan kullanıcının yolculuğunun veya EA yönlendirme işleminin başlayabileceği veya bitebileceği lokasyonlar olarak belirlenmiştir. Düğümleri birbirine bağlayan yaylar ise birbirinden farklı i ve j düğümleri arasındaki pozitif mesafelerin zaman cinsinden karşılığıdır. Sunduğumuz sistemde, gün birbirine eşit olan periyotlara bölünmüştür.

Kullanıcının kiraladığı EA ile yaptığı yolculuk periyodun ilk anında başlar ve gitmek istediği yere ulaştığı anda sona erer ve EA'yı bırakır. Kullanıcının kiraladığı aracı yolculuğa başladığı yere bırakmak zorunda olmadığı bu tipteki kiralama işlemlerine *tek yönlü araç kiralama* olarak adlandırılır. Tek yönlü araç kiralamanın, aracın herhangi bir noktadan alınıp herhangi bir başka noktaya bırakılabileceği ve bu çalışmada göz önünde bulundurulmuş, belirlenmiş noktalardan alınıp belirlenmiş noktalara bırakılabileceği 2 farklı tipi vardır. Tek yönlü araç kiralama, kullanıcı konforu açısından olumlu olsa da taleplerin dengesiz dağıldığı durumlarda belirli düğümlerde çok fazla EA birikimine veya

kiralama talebinin fazla olduğu yerlerde EA bulunmamasına neden olabilir. Bu nedenle filo operatörü gerekli durumlarda herhangi bir düğümdeki fazla araçları ihtiyacı olan yerlere belirli bir maliyet karşılığında yönlendirebilmektedir. Diğer önemli operasyonlardan şarj/deşarj çizelgelemesinde ise seçilen periyotlar, elektrik fiyatlarının ve EA taleplerinin periyodik farklılıklarından etkilenmektedir ve bu nedenle maliyet ve kar miktarı değişmektedir.

Şekil (1.3)'de 3 farklı EA, birbirine bağlı olan 3 lokasyon ve 5 zaman periyodunun olduğu bir örnek gösterilmektedir. $t = 1$ anında EA 1 lokasyon 2'ye yönlendirilmekte, EA 3 yetersiz şarj durumu nedeniyle şarj edilmektedir ve EA 2 lokasyon 3'ten lokasyon 1'e gitmek isteyen bir müşteri tarafından kiralanmıştır. $t = 2$ periyodunda ise EA 1 lokasyon 2'den kiralanmış ve lokasyon 3'e doğru yolculuğu başlamıştır. Lokasyon 2'den başlayan başka bir talep olmadığı için EA 3 boşta beklemektedir ve EA 2'nin lokasyon 1'e olan yolculuğu devam etmektedir. $t = 3$ 'de EA 3'ün lokasyon 1'e doğru olan yolculuğu başlar. EA 2 lokasyon 1'den lokasyon 2'ye yönlendirilirken EA 1 ise lokasyon 3'ten lokasyon 1'e yönlendirilir. $t = 4$ 'te ise EA 3 lokasyon 2'ye yönlendirilirken EA 2 lokasyon 3'e gitmek için kiralanmıştır. Son periyot olan $t = 5$ 'te ise tüm operasyonlar tamamlanmıştır.



Şekil 1.3: Tek Yönlü Araç Kiralama Örneği

Yukarıda ayrıntıları verilen sistemde ele alınması gereken durumları şu şekilde sıralayabiliriz: Sistemdeki EA sayısı üzerinden bakıldığında bunların kullanımı, kiralama ve elektrik satışıyla gibi operasyonlarda nasıl atandığını gözlemlenmesi, şarj/deşarj çizelgeleri ve bunların oluşturduğu politikalar, yapılan fiyat tahminlerinin sapmaları sonucunda oluşan kar ve maliyet sapmaları.

1.2 Literatür Araştırması

Bu bölümde EA filoları ve elektrik piyasasıyla alakalı makeleler incelenmiştir. Anket makalelerinin incelenmesinden sonra; fiyatlama, kar maksimizasyonu ile alakalı makaleler incelenecektir. Bunların ardından tek yönlü araç kiralama ile alakalı çalışmalar incelenecek; son iki kısımda ise teklif mekanizmaları ve EA'ların elektrik piyasasıyla etkileşimiyle alakalı çalışmalarla son bulacaktır.

1.2.1 Anketler

İncelenen anket makaleleri, EA'ları şarj çizelgeleri, akıllı şebeke, elektrik piyasası ve araç kiralama perspektifinden ele almıştır. [10] akıllı şarj metodları (V2G ve G2V) sınıflandırmış ve batarya, sürüş örüntüsü, algoritmalar ve şarj standartları tanıtılmıştır. [11]'de farklı EA şarj optimizasyon tipleri incelenmiş ve by tipler tam sayılı, karesel, konveks, meta-sezgisel ve amaç fonksiyonlarına göre kategorize edilmiştir. [12] çizelgeleme algoritmalarını tek yönlü ve çift yönlü şarj olarak sınıflandırdıktan sonra merkezi ve dağıtık olarak incelemeye almıştır. [13] araç kiralama şirketlerinde kazanç yönetimi makelelerini incelemiş ve [14] ise EA filolarının elektrik pazarındaki rollerini incelemiştir.

1.2.2 Fiyatlama

[15] fiyatlama ve çizelgelemeyi birleştirerek karesel tam sayılı program sunmuştur. Öncelikle, fiyatlar, amaç fonksiyonu kar maksimizasyonu olan karesel tam sayılı programla belirlenir ve çizelgeleme ise amaç fonksiyonu maliyet minimizasyonu olan bir modelle çözülür. Bunun yanında bu yapıdaki problem için sezgisel metodlar da sunulmuştur. [16] ise menü tipi fiyatlama mekanizması kullanarak EA'lar için fiyatlar sunar ve müşteri maksimum ödülü vereni seçer veya fiyatı reddeder.

Çizelge 1.1: Fiyatlama Makaleleri Kapsamı

Makale	Zaman Aralığı	Çözüm Tipi	Model Tipi	Çizelgeleme	Perspektif
[15]	Uzun	Sezgisel	Karesel	+	Operatör
[16]	Kısa	Kesin	Tam Sayılı	-	Operatör-Müşteri

1.2.3 Kar-Kazanç Maksimizasyonu

Bu bölümde EA'lar için farklı kar/kazanç optimizasyon seçenekleri incelenmiştir. Problemlerin karmaşıklığı nedeniyle optimal çözüme ulaşamadığı için sezgisel metodlar kullanılmıştır. Bazı makaleler EA şarj çizelgelerini incelememiştir. Perspektifin müşteri ve operatör olarak seçilse bile [17] her ikisini de dikkate almıştır. Bu makalede EA'ların dağılımı iki seviyeli optimizasyon modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Üst seviyede toplam kazanç maksimize edilirken alt seviyede kullanıcının konforsuzluğu minimize edilmektedir. Kurulan modelin konvex olmaması nedeniyle optimal çözüme ulaşmayı çok zorlaması nedeniyle sezgisel metod geliştirilmiştir. [18] müşterilerin maliyetlerini ve operatör karını aynı anda göz önünde bulundurarak şarj çizelgelemesi oluşturmuştur. Sunulan model, şarj talebinin önceden bilindiği veya bilinmediği durumlar için farklı senaryolarda test edilmiştir. Şarj talebinin bilindiği noktalarda optimal çözüme ulaşıırken, diğer durum için sezgisel yöntemler oluşturulmuştur. [19]'de ortak park alanlarında karı maksimize eden karma tam sayılı programlama ile kullanıcıların için şarj çizelgesi oluşturur. [20] EA şarj çizelgelemesini lineer programlama modeliyle ayarlayarak kar maksimizasyonu amaçlanmıştır ve polinom zamanda çözüm veren algoritma sunulmuştur.

Çizelge 1.2: Kar-Kazanç Maksimizasyonu Makaleleri Kapsamı.

Makale	Zaman Aralığı	Çözüm Tipi	Model Tipi	Çizelgeleme	Perspektif
[17]	Kısa	Sezgisel	Konveks olmayan	-	Operatör-Müşteri
[18]	Kısa	Sezgisel	Tam Sayılı	+	Müşteri
[19]	Kısa	Sezgisel	Tam Sayılı	+	Müşteri
[20]	Kısa	Sezgisel	Tam Sayılı	+	Operatör

1.2.4 Tek Yönlü Araç Kiralama

Bu bölümde tek yönlü araç kiralama ile alakalı çalışmalar incelenerek kesin ve sezgisel çözüm veren çizelgeleme yöntemleri kapsayan makaleler ele alınmıştır. Bununla beraber, [21] ve [22] makalelerinde araç kiralamadaki rassallıklar göz önünde bulundurulmuştur. [23] tek yönlü kiralamadaki dengesizlikleri için tek tip araçlarda tahmin metodu geliştirmiştir. [24] karşılanan müşteri talebini karşılayan karma tam sayılı lineer model oluşturmuştur. Kurulan modelde kısıtları ise işçi sayısı, yolculuk süresi ve şarj durumu olarak belirlenmiştir. [25] EA'lar için periyodik yönlendirme yapan bir model oluşturmuş ve amaç fonksiyonu olarak yönlendirme mesafesinin minimizasyonu seçilmiştir. [26]

araçların dağılımı için bir matematiksel model oluşturmuş ve fırsatçı ve tabu arama algoritmalarıyla çözüm elde edilmesi sağlanmıştır. Birden fazla amaç içeren bu sistemde işçi sayısı, yönlendirmede kat edilen yol, karşılanamayan talep ve araç sayısının minimize edilmesi amaçlanmıştır.[27] EA'lar için petri-net model oluşturarak performans değerlendirmesi yapmıştır. [21] EA filo boyutunun optimize edilmesi için rassal envanter modeli sunmuştur.[22] beklenen karı maksimize eden 2 aşamalı rassal optimizasyon modeli oluşturmuştur. [28] ise çok amaçlı optimizasyon modeli geliştirmiştir. Modelin amaç fonksiyonları operatörün kar maksimizasyonu ve kullanıcıların net faydasının maksimizasyonudur. [29] otonom araç kiralama sistemi için toplam operasyonel maliyetleri minimize eden lineer model oluşturmuştur. Oluşturulan model tekli ve çoklu servis periyotlarında kullanılmıştır. [30] EA'ların kiralanabileceği noktaları seçen ve sistemin toplam maliyetini minimize eden bir model oluşturmuştur. Ancak, modelin karmaşıklığından ötürü kısa zamanda çözüm elde edebilmek için sürekli yaklaşım metodunu sunmuştur.

Çizelge 1.3: Tek Yönlü Araç Kiralama Makaleleri Kapsamı.

Makale	Zaman Aralığı	Çözüm Tipi	Model Tipi	Çizelgeleme	Perspektif
[23]	Kısa	Sezgisel	Tahmin Modeli	+	Operatör
[24]	Kısa	Kesin	Karma Tam Sayılı	+	Operatör
[25]	Kısa	Kesin	Tam Sayılı	+	Müşter
[26]	Kısa	Sezgisel	Tam Sayılı	+	Operatör
[27]	Kısa	Kesin	Petri-Net	+	Operatör
[21]	Kısa	Kesin	Stok. Envanter	+	Operatör
[22]	Kısa	Kesin	2 Aşama Stok.	+	Operatör
[28]	Kısa	Kesin	Karma Tam Sayılı	+	Operatör
[29]	Kısa	Kesin	Lineer	+	Operatör
[30]	Kısa	Sezgisel	Karma Tam Sayılı	-	Operatör

1.2.5 Fiyat Teklifi Mekanizmaları

Bu bölümde hem EA kullanıcıları hem de elektrik piyasasını göz önünde bulunduran fiyat teklifi makaleleri incelenmiştir. [31] beklenen pişmanlığı minimize eden riskten kaçınan teklif stratejisi kurmuştur. Sunulan yaklaşımda fiyatlardaki, yenilenebilir enerji kaynağındaki raslantısallık dikkate alınarak gürbüz bir yapı oluşturulmuştur. [32] EA operatörleri için gün öncesi yardımcı elektrik piyasalarında fiyat teklifi mekanizması olarak kullanılabilecek rassal optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Modelin geliştirilmesinden sonra, progresif koruma algoritması oluşturulmuştur. [33] güneş enerjisi panelinden

enerji çıktısını tahmin ederek ve EA sahibi olanlar için belirsizliği minimize eder. Sunulan algoritmada V2G'nin optimal kullanımını sağlar.

Çizelge 1.4: Fiyat Teklifi Mekanizmaları Makaleleri Kapsamı.

Makale	Zaman Aralığı	Çözüm Tipi	Model Tipi	Çizelgeleme	Perspektif
[31]	Kısa	Kesin	Stokastik	-	Operatör
[32]	Kısa	Sezgisel	Karma Tam Sayılı	-	Operatör
[33]	Kısa	Sezgisel	Regresyon	+	Müşteri

1.2.6 EA ve Elektrik Şebekeleri

Bu bölümde EA'lar ve elektrik şebekeleri arasındaki etkileşimleri inceleyen makaleler ele alınmıştır. [34]'de EA kullanımının elektrik fiyatına olan etkisi incelenmiştir ve Danimarka yolculuk verilerini kullanarak maliyet azaltan şarj planlama modeli oluşturulmuştur. Elektrik fiyatlarının belirlenmesinde ise Nash Dengesi'nden yararlanılmıştır. [35]'de 2 farklı EA filusunun şebekeye elektrik sağlaması durumunda elde edebileceğin karın analizi yapılmıştır. [20], gün öncesi ve gün içi elektrik piyasasında yapılan elektrik ticareti incelenmiştir ve bu piyasalarda şarj çizelgeleri oluşturulmuştur. Karma tam sayılı programlama ve yuvarlama metodlarıyla çözümler elde edilmiştir. [36] farklı EA şarj yöntemlerini karşılaştırmıştır. Maliyet minimize etme amaçlı karma tam sayılı model lineer olmayan model oluşturulmuştur ve çizelgeleme için parçacık sürü optimizasyonu kullanılmıştır. [37] elektrik şebekesiyle, EA sahiplerini buluşturarak kar maksimizasyonu amaçlayan aracının perspektifinden bir çalışma yapmıştır. [38] maliyeti azaltmayı amaçlayan EA operatörünün gün öncesi elektrik piyasasında uygulayabileceği 2 farklı metodun karşılaştırması yapılmıştır. Bu metodlardan ilki EA'larla alakalı bilgileri toplu olarak tutarken, diğeri her EA'nın bilgisini ayrı ayrı tutarak maliyet minimizasyonu yapmaktadır. [39] bir önceki makalede incelenen metodların sayısal analizini yapmıştır. [40] şarj maliyetini minimize etmek için gün öncesi piyasasında model oluşturulmuştur. İki basamaklı oluşturan modelin, üst basamağında şarj maliyetinin azaltılması amaçlanırken, alt basamağında teklif mekanizmaları oluşturulmuştur. [41] önceki makalede oluşturulan iki basamaklı modeli referans almıştır ve bataryada depolanan enerjinin rassallığı göz önünde bulundurularak sayısal analizler yapılmıştır. [42] pekiştirmeli öğrenme metodu ile gün öncesinde EA filosu için şarj çizelgesi oluşturmuş ve çok basamaklı stokastik programlama ile karşılaştırmıştır.

Çizelge 1.5: EA ve Elektrik Şebekeleri Makaleleri Kapsamı.

Makale	Zaman Aralığı	Çözüm Tipi	Model Tipi	Çizelgeleme	Perspektif
[34]	Kısa	Kesin	Nash	+	Operatör
[35]	Kısa	Kesin		+	Operatör
[20]	Kısa	Kesin	Karma Tam Sayılı	+	Operatör
[36]	Kısa	Sezgisel	Karma Tam Sayılı	+	Operatör
[37]	Kısa	Sezgisel	Karma Tam Sayılı	+	Aracı
[38]	Kısa	Kesin	Tahmin	+	Operatör
[39]	Kısa	Kesin	Tahmin	+	Operatör
[40]	Kısa	Kesin	Karma Tam Sayılı	+	Operatör
[41]	Kısa	Kesin	Karma Tam Sayılı	+	Operatör
[42]	Kısa	Sezgisel	Öğrenme	+	Operatör

Yukarıda incelenen maktelelerde EA'lar ve EA'ların elektrik piyasalarıyla olan ilişkileri çeşitli başlıklar altında anlatılmıştır. Ancak, şu ana kadar yapılan çalışmalarda tek yönlü EA kiralama ve elektrik piyasalarının birleştirildiği bir makaleye rastlanmamıştır. Bu tez ile literatüre eklemek istediklerimizi şu şekilde sıralayabiliriz:

- Tek yönlü araç kiralama ve kontrat yönetimini birleştirilmesi: Şebekeye elektrik satış opsiyonunun kullanılması durumunda maliyet, kazanç ve şarj çizelgesindeki değişimleri gözlemlemek ve satış yapılmayan durumla karşılaştırmak.
- Kontrat yönetiminin, araç kiralama talebiyle karşılaştırılması: Şebekeye yapılan elektrik satışının gerçekleşen müşteri kaybına rağmen yapılıp yapılamayacağı test edilmesi.
- Farklı kontrat yönetimi senaryolarının incelenmesi: Giriş bölümünde bahsedilen kontrat türleri kar ve maliyet açısından karşılaştırmak ve fiyat gerçekleştirmelerinden kaynaklanan kar ve maliyet değişikliklerinin incelenmesi

2. MATEMATİKSEL MODEL

Bir önceki bölümde belirtilen problem tanımının çözümü için 2 tane matematiksel model sunulmuştur. Bu iki model birbirlerinin alternatifleri olmaktan ziyade, peş peşe kullanılarak sonuçları elde etmemizde bize yardımcı olcaktadırlar. Kullanılan ilk model, EA'lar ile alakalı her ayrıntının göz önünde bulundurulmaması ve değişken sayısının daha az olması nedeniyle daha küçük boyutlu bir model iken, iken ikinci model ise sistemde bulunan her EA'nın indekslendiği, şarj durumu gibi araç hareketliliğini düzenleyen faktörleri göz önünde bulunduran ve tüm operasyonel faaliyetleri içeren bir yapıdadır. Her iki model de karesel yapıda amaç fonksiyonu ya da kısıtları barındırmayan karma tam sayılı problem formatlarındadır.

Gün Öncesi Model olarak adlandırılan ilk modelde EA kiralama, yönlendirme, şarj çizelgeleme kararlarını verse dahi bu modelden elde edilmesi beklenen asıl hedef gün öncesi piyasası için kullanılan ve ertesi gün periyotlarında verilecek elektrik miktarlarına, elektrik fiyat tahmini üzerinden karar vermesidir.

İkinci model olan *Gün İçi Model* ise önceki modelde belirlenen elektrik miktarlarını şebekeye satmakta zorunludur ve bununla beraber tüm operasyonel faaliyetleri göz önünde bulundurarak EA kiralama servisi sunar. Her iki modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları benzer olmakla beraber, yukarıda bahsedilen nedenlerden ötürü bazı kısıtlarda, değişken tiplerinde ve problem boyutlarında farklılıklar oluşmaktadır.

Her iki modelde de amaç fonksiyonu, araç kiralama ve elektrik satışından elde edilen gelir; yönlendirme, araç kullanımını ve şarj çizelgelemesinden kaynaklanan giderleri göz önünde bulundurarak kar maksimizasyonu hedeflemektedir. Her düğümün birbirine bağlı olduğu varsayımıyla oluşturulan ağ çizgesinde, EA'ların düğümlerin üzerinde kiralanabildiği, yönlendirilebildiği, şarj edilebildiği, şebekeye elektrik verebildiği kapalı bir sistem üzerinde periyodik zaman aralıklarında işlemler yapılmaktadır. Düğümler arası negatif olmayan yay uzunlukları ise düğümler arasındaki mesafelerin zaman cinsinden karşılığıdır.

2.1 Gün Öncesi Model

Bu modelde ertesi günün her periyodu için şebekeye satılacak elektrik miktarına karar verilmektedir ve iki aşamalı çözüm yönteminin ilk basamağıdır. EA'ların endekslenmediği ve EA bazındaki gerekliliklerin tamamı göz önünde bulundurulmadığı için modelin çözüme ulaşması nispeten daha kolay olmaktadır. İsminden de anlaşılacağı gibi bu model gün öncesinde çalışacaktır ve elektrik fiyatlarının bilinmemesinden ötürü satılacak elektrik miktarları, fiyat tahmini üzerinden belirlenmektedir. Fiyat tahminleri ise gün içinde realize olan fiyat belirli bir aralıktan seçilen rastgele bir sayıyla çarpımından elde edilmektedir.

2.1.1 Amaç

Bu modelde R_t ile gösterilen ve t periyodunda şebekeye satılacak elektrik miktarına karar verilir. Fiyat tahmininin sapmasından da etkilenen R_t değerleri, sonraki modelde parametre olarak, t periyodunda şebekeye verilmesi gereken minimum elektrik miktarı olarak yazılacaktır. R_t değerleri, elektrik satışından elde edilen tahmini gelir fonksiyonunun içinde değerlendirilir. Bununla beraber, şarj çizelgelemesi, yönlendirme gibi operasyonel işlemlerin göz önünde bulundurulduğu bu sistemde EA'lar endekslenmemiştir ancak kiralama, yönlendirme, şebekeye bağlanma gibi durumlar toplam EA'lar üzerinden değerlendirilir. Bununla beraber, her EA için ayrı ayrı şarj durum fonksiyonu yerine araçların toplam şarj kapasitesi göz önünde bulundurularak şebekeye verilecek elektrik miktarına ve şarj çizelgemelerine karar verilmektedir.

2.1.2 Kümeler ve Parametreler

\mathcal{T}	Zaman Periyotları Kümesi. $\mathcal{T} = \{1, \dots, T\}$
\mathcal{N}	Düğümler Kümesi. $\mathcal{N} = \{1, \dots, N\}$
\mathcal{K}	EAlar Kümesi. $\mathcal{K} = \{1, \dots, K\}$
$D_{i,j,t}$	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye gitmek isteyen kullanıcı sayısı
$Dist_{i,j}$	$i \in \mathcal{N}$ ve $j \in \mathcal{N}$ arasındaki mesafenin zaman periyodu cinsinden değeri
Dec	Bir periyotluk EA kullanımdan kaynaklanan şarj durumu düşüşü
Pr_t^{V2G}	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda şebekeye satılan elektriğin KWH cinsinden fiyatı
Pr^{EV}	EA'nın bir periyotluk kiralama bedeli
C_t^E	EA'nın $t \in \mathcal{T}$ periyodunda KWH cinsinden şarj maliyeti
C^{EV}	EA'nın günlük kullanım maliyeti
C^R	EA'nın bir periyotluk yönlendirme maliyeti
SOC_{min}	minimum şarj durumu
SOC_{max}	maksimum şarj durumu
P^C	bataryanın bir periyotluk şarj gücü
p^{DC}	bataryanın bir periyotluk deşarj gücü
Cap	EA'nın batarya kapasitesi
Sca_t	$t \in \mathcal{T}$ periyodu için belirli bir aralıkta rastgele oluşturulan fiyat çarpanı

2.1.3 Tamsayı Karar Değişkenleri

x^{EA}	sistemde bulunan araç sayısı
$x_{i,t}$	$t \in \mathcal{T}$ anında $i \in \mathcal{N}$ 'de bulunan araç sayısı
$x_{i,t}^A$	$t \in \mathcal{T}$ anında $i \in \mathcal{N}$ 'den kiranabilen veya yönlendirilebilen araç sayısı
$x_{i,t}^R$	$t \in \mathcal{T}$ anında $i \in \mathcal{N}$ 'de şebekeye bağlı araç sayısı
$x_{i,t}^C$	$t \in \mathcal{T}$ anında, $i \in \mathcal{N}$ 'de şarj edilen araç sayısı
$x_{i,t}^{DC}$	$t \in \mathcal{T}$ anında $i \in \mathcal{N}$ 'de şebekeye elektrik veren araç sayısı
$z_{i,j,t}$	$t \in \mathcal{T}$ anında $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye gitmek üzere kiralanan EA sayısı
$y_{i,j,t}$	$t \in \mathcal{T}$ anında $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye yönlendirilen EA sayısı
$q_{i,j,t}$	$t \in \mathcal{T}$ anında $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye yolculuk eden EA sayısı
$q_{i,j,t}^L$	$t \in \mathcal{T}$ anında $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye yolculuğunun son periyodunda olan EA sayısı
$q_{i,j,t}^R$	$t \in \mathcal{T}$ anında $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye yönlendirmesi devam eden EA sayısı
$q_{i,j,t}^{RL}$	$t \in \mathcal{T}$ anında $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye yönlendirmemnin son periyodunda olan EA sayısı

2.1.4 Sürekli Karar Değişkenleri

CH_t kullanılan EA'ların $t \in \mathcal{T}$ anında bataryalarındaki toplam elektrik miktarı
 R_t $t \in \mathcal{T}$ anında şebekeye verilen elektrik miktarı

2.1.5 Matematiksel Model

$$\begin{aligned} \max \sum_t \sum_i \sum_j Pr^{EV} (q_{i,j,t} + q_{i,j,t}^L) - \sum_t \sum_i \sum_j C^R (q_{i,j,t}^R + q_{i,j,t}^{RL}) \\ - \sum_t \sum_i P^C C_t^E x_{i,t}^C - C^{EV} x^{EA} + \sum_t \sum_i Sca_t Pr_t^{V2G} R_t \end{aligned} \quad (1.1)$$

$$x_{i,t}^A + x_{i,t}^R = x_{i,t} \quad \forall i \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \quad (1.2)$$

$$x_{i,t}^C + x_{i,t}^{DC} = x_{i,t}^R \quad \forall i \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \quad (1.3)$$

$$x_{i,t}^A \geq \sum_j (x_{i,j,t} + y_{i,j,t}) \quad \forall i \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \quad (1.4)$$

$$K \geq x^{EA} \quad (1.5)$$

$$D_{i,j,t} \geq x_{i,j,t} \quad \forall i \in \mathcal{N}, j \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \quad (1.6)$$

$$\begin{aligned} CH_t = CH_{t-1} - CapDec \sum_i \sum_j (q_{i,j,t} + q_{i,j,t}^L + q_{i,j,t}^R + q_{i,j,t}^{RL}) \\ + \sum_i x_{i,t}^C P^C - \sum_i x_{i,t}^{DC} P^{DC} \quad \forall t \in \mathcal{T} - \{1\} \end{aligned} \quad (1.7)$$

$$\begin{aligned} CH_1 = CH_T - CapDec \sum_i \sum_j (q_{i,j,1} + q_{i,j,1}^L + q_{i,j,1}^R + q_{i,j,1}^{RL}) \\ + \sum_i x_{i,1}^C P^C - \sum_i x_{i,1}^{DC} P^{DC} \end{aligned} \quad (1.8)$$

$$CapSOC_{min} x^{EA} \leq CH_t \leq CapSOC_{max} x^{EA} \quad \forall t \in \mathcal{T} \quad (1.9)$$

$$\sum_i x_{i,t}^{DC} P^{DC} \geq R_t \quad \forall t \in \mathcal{T} \quad (1.10)$$

$$q_{i,j,(t+Dist_{i,j}-1)}^L = z_{i,j,t} \quad \forall t + Dist_{i,j} \leq T + 1, Dist_{i,j} \geq 1, \quad (1.11)$$

$$q_{i,j,(t+Dist_{i,j}-1)}^{RL} = y_{i,j,t} \quad \forall t + Dist_{i,j} \leq T + 1, Dist_{i,j} \geq 1, \quad (1.12)$$

$$q_{i,j,(t+Dist_{i,j}-1)}^L = 0 \quad \forall t + Dist_{i,j} > T + 1 \cup Dist_{i,j} < 1 \quad (1.13)$$

$$q_{i,j,(t+Dist_{i,j}-1)}^{RL} = 0 \quad \forall t + Dist_{i,j} > T + 1 \cup Dist_{i,j} < 1 \quad (1.14)$$

$$q_{i,j,1}^L = 0 \quad \forall Dist_{i,j} > 1 \quad (1.15)$$

$$q_{i,j,1}^{RL} = 0 \quad \forall Dist_{i,j} > 1 \quad (1.16)$$

$$q_{i,j,1} = z_{i,j,1} \quad \forall Dist_{i,j} > 1 \quad (1.17)$$

$$q_{i,j,1}^R = y_{i,j,1} \quad \forall Dist_{i,j} > 1 \quad (1.18)$$

$$q_{i,j,t} = q_{i,j,t-1} + z_{i,j,t} - q_{i,j,t}^L \quad \forall Dist_{i,j} > 1, t > 1 \quad (1.19)$$

$$q_{i,j,t}^R = q_{i,j,t-1}^R + y_{i,j,t} - q_{i,j,t}^{RL} \quad \forall Dist_{i,j} > 1, t > 1 \quad (1.20)$$

$$q_{i,j,t}^L = 0 \quad \forall i = j \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \quad (1.21)$$

$$q_{i,j,t}^{RL} = 0 \quad \forall i = j \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \quad (1.22)$$

$$q_{i,j,t} = 0 \quad \forall i = j \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \quad (1.23)$$

$$q_{i,j,t}^R = 0 \quad \forall i = j \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \quad (1.24)$$

$$q_{i,j,T} = 0 \quad \forall i, j \in \mathcal{N}, Dist_{i,j} > 1 \quad (1.25)$$

$$q_{i,j,T}^R = 0 \quad \forall i, j \in \mathcal{N}, Dist_{i,j} > 1 \quad (1.26)$$

$$x_{i,t} = x_{i,t-1} + \sum_j (q_{j,i,t-1}^{RL} + q_{j,i,t-1}^L) - \sum_j (z_{i,j,t-1} + y_{i,j,t-1}) \quad (1.27)$$

$$\forall i \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} - \{1\}$$

$$x_{i,1} = x_{i,T} + \sum_j (q_{j,i,T}^{RL} + q_{j,i,T}^L) - \sum_j (z_{i,j,T} + y_{i,j,T}) \quad \forall i \in \mathcal{N} \quad (1.28)$$

$$\sum_i x_{i,t} + \sum_i \sum_j (q_{k,i,t} + q_{i,j,t}^L + q_{k,i,t}^R + q_{i,j,t}^{RL}) \leq x^{EA} \quad \forall t \in \mathcal{T} \quad (1.29)$$

Amaç fonksiyonu olan (1.1)'in ilk denklemleri yolculuk halinde ya da yolculuğunun son periyodunda olan araçlar üzerinden hesaplanan EA kiralama geliridir. 2. denklem, 1. denkleme benzer şekilde yönlendirme halinde veya yönlendirmenin son periyodunda olan EA'ların oluşturduğu yönlendirme maliyetidir. 3., ve 4. denklemler ise sırasıyla EA bataryalarının şarj ve EA kullanım maliyetlerini hesaplar. Son denklem ise elektrik satışından elde edilen tahmini gelire ulaşmak için kullanılır. (1.2)'de $t \in \mathcal{T}$ periyodunda, $i \in \mathcal{N}$ lokasyonunda bulunan EA'lar ya kullanıma hazırdır ya da şebekeye bağlı durumdadır. (1.3) $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ lokasyonunda şebekeye bağlı olan EA'lar ya şarjdadır ya da şebekeye elektrik vermektedir. (1.4)'de $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ lokasyonundan kiralanan ya da yönlendirilen araç sayısının kullanıma hazır araç sayısını aşmasını engeller. (1.5) sistemde bulunan toplam araç sayısının K 'den fazla olmamasını sağlar. (1.6) $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye olan EA talebinden fazla araç kiralınmasını engeller. (1.7) araçların

toplam batarya kapasitesinin $t \in \mathcal{T} - \{1\}$ için periyodik envanter modelleri gibi hesaplar. $t \in \mathcal{T} - \{1\}$ periyodu için toplam batarya kapasitesi önceki periyodun batarya kapasitesine, $t \in \mathcal{T} - \{1\}$ periyodunda şarj edilen araçların eklenmesi ve yönlendirme ve kiralama durumunda olan araçların batarya kullanımının çıkartılmasıyla elde edilir. (1.8)'de ise $1 \in \mathcal{T}$ periyodu için şarj kapasitesi hesaplaması yapılmıştır. Bir önceki kısıt gibi oluşturulan bu kısıt günün son periyodu olan $T \in \mathcal{T}$ 'deki şarj kapasitesini dikkate alır. (1.9) toplam şarj kapasitesini, minimum ve maksimum şarj kapasitelerinin arasında olmasını sağlar. (1.10)'de $t \in \mathcal{T}$ periyodunda satılabilecek elektrik miktarını o periyotta şebekeye bağlı toplam EA'nın verebileceği maksimum miktar ile sınırlamaktadır. (1.11) ve (1.12)'de kiralama ve yönlendirme süresi 1 periyoda eşit veya fazlaysa yolculuklarının son periyodunda olan araç sayısı $t \in \mathcal{T}$ periyodunda kiralanan veya yönlendirilen araç sayısına eşittir. (1.13) ve (1.14) kısıtları yolculuk süresinin 1 periyottan az olduğu ve yolculuğun son periyodunun T 'den büyük olduğu durumlarda kiralama ve yönlendirme sürecini engeller. (1.15)'ten (1.18)'e kadar olan kısıtlarda yolculuk süresinin 1'den büyük olduğu durumlarda günün ilk periyodu için yolculuk durumunda olan EA sayısı ayarlanır. (1.19) ve (1.20) kısıtlarında ise yolculuk süresinin ve zaman periyodunun 1'den büyük olduğu durumlarda kiralama ve yönlendirme durumunda olan araç sayılarını belirleyen denklemler oluşturulmuştur. Bu denklemlerde bir önceki periyotta yolculuk durumunda olan araç sayısından yolcuğun son periyodunda olan araç sayısı çıkartılır ve yolculuğa başlayan araç sayısı eklenir. (1.21) - (1.24) arasında $i \in \mathcal{N}$ 'nin $j \in \mathcal{N}$ 'ye eşit olduğu durumlarda yolculuk durumdan olan EA sayısı 0 olur. (1.25) ve (1.26) ise günün son periyodunda yolculuk süresi 1 periyottan fazla olan durumlarda kiralama ve yönlendirmeyi engeller. (1.27)'de günün ilk periyodunda haricinde herhangi bir $i \in \mathcal{N}$ 'de bulunan araç sayısının hesaplaması yapılmaktadır. Bir önceki periyotta $i \in \mathcal{N}$ 'de bulunan EA sayısına o düğüme gelen araç sayısı eklenir ve o düğümden kiralanan ve yönlendirme işleme yapılan EA sayısı çıkartılır. (1.28) bir önceki kısıtın günün ilk periyodu için yapılmış halidir. (1.29) ise sistemde herhangi bir $t \in \mathcal{T}$ anında sistemde bulunan araç sayısını belirlemektedir. EA talebine göre periyotlar arasında herhangi bir düğümden bulunan ve yolculuk durumunda olan EA sayısı farklılık gösterebilmektedir ve EA'nın kullanım maliyeti günlük bazda düşünüldüğü için bir $t \in \mathcal{T}$ periyodunda kullanılan EA sayısının maksimum olduğu sayı sistemde kullanılan EA sayısının minimum sınırı olduğu varsayılmıştır.

2.2 Gün İçi Model

2 aşamalı çözüm yönteminin ikinci kısmı olan bu model, önceki modelden elde edilen R_t değerlerini parametre olarak kullanmaktadır ve bu parametre seti karşılığı olan zaman periyodunda elektrik şebekesine verilmesi gereken minimum elektrik miktarı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu modelde tüm EA'lar endekslenmiş ve EA'ların tüm operasyonel işlemleri araç bazında kontrol edilmektedir. Bunun yanında EA'nın şarj durumuna göre kiralama veya yönlendirme işleminin yapılıp yapılamayacağı, şarj edilip edilemeyeceği gibi kararlar araç bazında kontrol edilmektedir. Bu kararların modele dahil edilmesinden ötürü *Gün İçi Model*'e kıyasla problem boyutu daha büyük olduğu için çözüme ulaşılmasının daha uzun sürmesi beklenmektedir. Bununla beraber bir önceki modelde kullanılan Sca_t rastgele değişkenleri gün içerisindeki elektrik fiyatları realize olduğu için kullanımına gerek kalmamıştır.

2.2.1 Amaç

Bu modelde amaç fonksiyonu ve kısıtlar *Gün İçi Model*'le modelle benzeşmekte ve araçların endekslenmesi haricinde genel olarak bir fark bulunmamaktadır. R_t değerlerinin parametre haline getirilmesi sonucunda, gün içerisindeki her periyotta belirlenen miktarda elektriğin şebekeye sunulması zorunludur ve bundan bir miktarda kar elde edilmektedir. Bunun haricinde EA kiralama işleminden ötürü gelir elde edilmekte ve yönlendirme, şarj gibi işlemleri de göz önünden bulundurarak filo operatörü kar maksimizasyonu yapmayı amaçlamaktadır.

2.2.2 Kümeler ve Parametreler

\mathcal{T}	Zaman Periyotları Kümesi. $\mathcal{T} = \{1, \dots, T\}$
\mathcal{N}	Düğümler Kümesi. $\mathcal{N} = \{1, \dots, N\}$
\mathcal{K}	EAlar Kümesi. $\mathcal{K} = \{1, \dots, K\}$
$D_{i,j,t}$	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye gitmek isteyen kullanıcı sayısı
$Dist_{i,j}$	$i \in \mathcal{N}$ ve $j \in \mathcal{N}$ arasındaki mesafenin zaman periyodu cinsinden değeri
Dec	Bir periyotluk EA kullanımdan kaynaklanan şarj durumu düşüşü
Pr_t^{V2G}	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda şebekeye satılan elektriğin KWH cinsinden fiyatı
Pr^{EV}	EA'nın bir periyotluk kiralama bedeli
R_t	$t \in \mathcal{T}$ periyodunda şebekeye verilen KWH cinsinden elektrik miktarı
C_t^E	EA'nın $t \in \mathcal{T}$ periyodunda KWH cinsinden şarj maliyeti
C^{EV}	EA'nın günlük kullanım maliyeti
C^R	EA'nın bir periyotluk yönlendirme maliyeti
SOC_{min}	minimum şarj durumu
SOC_{max}	maksimum şarj durumu
p^C	bataryanın bir periyotluk şarj gücü
p^{DC}	bataryanın bir periyotluk deşarj gücü
Cap	EA'nın batarya kapasitesi

2.2.3 Sürekli Karar Değişkenleri

$SOC_{k,t}$ EA k'nın t periyodundaki sarj durumu

2.2.4 İkili Karar Değişkenleri

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{EA } k \text{ kullanılıyorsa} \\ 0, & \text{d.d. (diğer durumda)} \end{cases}$$
$$x_{k,i,t} = \begin{cases} 1, & \text{EA } k, t \in \mathcal{T} \text{ anında } i \in \mathcal{N}' \text{ deyse} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$$
$$x_{k,i,t}^A = \begin{cases} 1, & \text{EA } k, t \in \mathcal{T} \text{ anında } i \in \mathcal{N}' \text{ de kullanıma müsaitse} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$$
$$x_{k,i,t}^C = \begin{cases} 1, & \text{EA } k, t \in \mathcal{T} \text{ anında } i \in \mathcal{N}' \text{ de şarj ediliyorsa} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
x_{k,i,t}^{DC} &= \begin{cases} 1, & \text{EA } k, t \in \mathcal{T} \text{ anında } i \in \mathcal{N}' \text{ de } \text{şebekeye elektrik veriyorsa} \\ 0, & d.d \end{cases} \\
x_{k,i,t}^R &= \begin{cases} 1, & \text{EA } k, t \in \mathcal{T} \text{ anında } i \in \mathcal{N}' \text{ de } \text{şebekeye bağlıysa} \\ 0, & d.d \end{cases} \\
z_{k,i,j,t} &= \begin{cases} 1, & \text{EA } k' \text{ nin, } t \in \mathcal{T}' \text{ de } i \in \mathcal{N}' \text{ den } j \in \mathcal{N}' \text{ ye seyahati bağlarsa} \\ 0, & d.d \end{cases} \\
y_{k,i,j,t} &= \begin{cases} 1, & \text{EA } k' \text{ nin, } t \in \mathcal{T}' \text{ de } i \in \mathcal{N}' \text{ den } j \in \mathcal{N}' \text{ ye yönlendirmesi bağlarsa} \\ 0, & d.d \end{cases} \\
q_{k,i,j,t} &= \begin{cases} 1, & \text{EA } k, t \in \mathcal{T}' \text{ de } i \in \mathcal{N}' \text{ den } j \in \mathcal{N}' \text{ ye seyahat halindeyse} \\ 0, & d.d \end{cases} \\
q_{k,i,j,t}^L &= \begin{cases} 1, & \text{EA } k, t \in \mathcal{T}' \text{ de } i \in \mathcal{N}' \text{ den } j \in \mathcal{N}' \text{ ye seyahatin son periyodunday} \\ 0, & d.d \end{cases} \\
q_{k,i,j,t}^R &= \begin{cases} 1, & \text{EA } k, t \in \mathcal{T}' \text{ de } i \in \mathcal{N}' \text{ den } j \in \mathcal{N}' \text{ ye yönlendirme halindeyse} \\ 0, & d.d \end{cases} \\
q_{k,i,j,t}^{RL} &= \begin{cases} 1, & \text{EA } k, t \in \mathcal{T}' \text{ de } i \in \mathcal{N}' \text{ den } j \in \mathcal{N}' \text{ ye yönl. son periyodundaysa} \\ 0, & d.d \end{cases}
\end{aligned}$$

2.2.5 Matematiksel Model

$$\begin{aligned}
\max \quad & \sum_k \sum_t \sum_i \sum_j Pr^{EV} (q_{k,i,j,t} + q_{k,i,j,t}^L) - \sum_k \sum_t \sum_i \sum_j C^R (q_{k,i,j,t}^R + q_{k,i,j,t}^{RL}) \\
& - \sum_k C^{EV} x_k - \sum_k \sum_t \sum_i P^C C_t^e x_{k,i,t}^C + \sum_t Pr_t^{V2G} R_t \quad (2.1)
\end{aligned}$$

$$x_{k,i,t}^A + x_{k,i,t}^R = x_{k,i,t} \quad \forall i \in \mathcal{N}, k \in \mathcal{K}, t \in \mathcal{T} \quad (2.2)$$

$$x_{k,i,t}^C + x_{k,i,t}^{DC} = x_{k,i,t}^R \quad \forall i \in \mathcal{N}, k \in \mathcal{K}, t \in \mathcal{T} \quad (2.3)$$

$$\sum_j z_{k,i,j,t} + \sum_j y_{k,i,j,t} \leq x_{k,i,t}^A \quad \forall i \in \mathcal{N}, k \in \mathcal{K}, t \in \mathcal{T} \quad (2.4)$$

$$\sum_i x_{k,i,t} \leq x_k \quad \forall k \in \mathcal{K}, t \in \mathcal{T} \quad (2.5)$$

$$\sum_k z_{k,i,j,t} \leq D_{i,j,t} \quad \forall i, j \in \mathcal{N}, k \in \mathcal{K}, t \in \mathcal{T} \quad (2.6)$$

$$Dist_{i,j} Dec \leq SOC_{k,t} + M(1 - z_{k,i,j,t}) \quad \forall i, j \in \mathcal{N}, k \in \mathcal{K}, t \in \mathcal{T} \quad (2.7)$$

$$Dist_{i,j}Dec \leq SOC_{k,t} + M(1 - y_{k,i,j,t}) \quad \forall i, j \in \mathcal{N}, k \in \mathcal{K}, t \in \mathcal{T} \quad (2.8)$$

$$SOC_{min} \sum_i x_{k,i,t} \leq SOC_{k,t} + M \sum_i x_{k,i,t}^C \quad \forall k \in \mathcal{K}, t \in \mathcal{T} \quad (2.9)$$

$$SOC_{k,t} = SOC_{k,t-1} + \frac{(0.95) \sum_i x_{k,i,t}^C P^C}{Cap} - \frac{\sum_i x_{k,i,t}^{DC} P^{DC}}{(0.95)Cap} \quad (2.10)$$

$$-Dec \sum_j \sum_i (q_{k,i,j,t} + q_{k,i,j,t}^L + q_{k,i,j,t}^{RL} + q_{k,i,j,t}^R) \quad \forall k \in \mathcal{K}, t \in \mathcal{T} - \{1\}$$

$$SOC_{k,1} = SOC_{k,T} + \frac{(0.95) \sum_i x_{k,i,1}^C P^C}{Cap} - \frac{\sum_i x_{k,i,1}^{DC} P^{DC}}{(0.95)Cap} \quad (2.11)$$

$$-Dec \sum_j \sum_i (q_{k,i,j,1} + q_{k,i,j,1}^L + q_{k,i,j,1}^{RL} + q_{k,i,j,1}^R) \quad \forall k \in \mathcal{K}$$

$$0 \leq SOC_{k,t} \leq SOC_{max} \quad \forall k \in \mathcal{K}, t \in \mathcal{T} \quad (2.12)$$

$$\sum_k \sum_i x_{k,i,t}^{DC} P^{DC} \geq R_t \quad \forall t \in \mathcal{T} \quad (2.13)$$

$$q_{k,i,j,(t+Dist_{i,j}-1)}^L = z_{k,i,j,t} \quad \forall t + Dist_{i,j} > 1, t + Dist_{i,j} \leq T + 1, i \neq j \quad (2.14)$$

$$q_{k,i,j,(t+Dist_{i,j}-1)}^{RL} = y_{k,i,j,t} \quad \forall t + Dist_{i,j} > 1, t + Dist_{i,j} \leq T + 1, i \neq j \quad (2.15)$$

$$q_{k,i,j,(t+Dist_{i,j}-1)}^L = 0 \quad \forall t + Dist_{i,j} \leq 1 \cup t + Dist_{i,j} \geq T + 1 \cup i = j \quad (2.16)$$

$$q_{k,i,j,(t+Dist_{i,j}-1)}^{RL} = 0 \quad \forall t + Dist_{i,j} \leq 1 \cup t + Dist_{i,j} \geq T + 1 \cup i = j \quad (2.17)$$

$$q_{k,i,j,t} = 0 \quad \forall Dist_{i,j} \leq 1 \cup i = j \quad (2.18)$$

$$q_{k,i,j,t}^R = 0 \quad \forall Dist_{i,j} \leq 1 \cup i = j \quad (2.19)$$

$$q_{k,i,j,1} = z_{k,i,j,1} \quad \forall Dist_{i,j} > 1 \quad (2.20)$$

$$q_{k,i,j,1}^R = y_{k,i,j,1} \quad \forall Dist_{i,j} > 1 \quad (2.21)$$

$$q_{k,i,j,1}^L = 0 \quad \forall Dist_{i,j} > 1 \quad (2.22)$$

$$q_{k,i,j,1}^{RL} = 0 \quad \forall Dist_{i,j} > 1 \quad (2.23)$$

$$q_{k,i,j,t} = q_{k,i,j,t-1} + z_{k,i,j,t} - q_{k,i,j,t}^R \quad \forall Dist_{i,j} > 1, t > 1 \quad (2.24)$$

$$q_{k,i,j,t}^R = q_{k,i,j,t-1}^R + y_{k,i,j,t} - q_{k,i,j,t}^{RL} \quad \forall Dist_{i,j} > 1, t > 1 \quad (2.25)$$

$$q_{k,i,j,T}^R = 0 \quad \forall Dist_{i,j} > 1 \quad (2.26)$$

$$q_{k,i,j,T} = 0 \quad \forall Dist_{i,j} > 1 \quad (2.27)$$

$$x_{k,i,t} = x_{k,i,t-1} + \sum_j (q_{k,j,i,t-1}^{RL} + q_{k,j,i,t-1}^L) - \sum_j (z_{k,i,j,t-1} + y_{k,i,j,t-1}) \quad (2.28)$$

$$\forall i \in \mathcal{N}, k \in \mathcal{K}, t \in \mathcal{T} - \{1\}$$

$$x_{k,i,1} = x_{k,i,T} + \sum_j (q_{k,j,i,T}^{RL} + q_{k,j,i,T}^L) - \sum_j (z_{k,i,j,T} + y_{k,i,j,T}) \quad (2.29)$$

$$\forall i \in \mathcal{N}, k \in \mathcal{K}$$

Amaç fonksiyonu olan (2.1)'in ilk denklemi yolculuk halinde ya da yolculuğunun son periyodunda olan her EA'nın üzerinden hesaplanan EA kiralama geliridir. 2. denklem, 1. denkleme benzer şekilde yönlendirme halinde veya yönlendirmenin son periyodunda olan EA'ların oluşturduğu yönlendirme maliyetidir. 3., ve 4. denklemler ise sırasıyla EA bataryalarının şarj ve EA kullanım maliyetlerini hesaplar. Son denklem ise elektrik satışından elde edilen gelire ulaşmak için kullanılır. (2.2)'de eğer EA $k \in \mathcal{K}$, $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'deyse, ya kullanıma hazırdır ya da şebekeye bağlıdır. (2.3) EA $k \in \mathcal{K}$ 'nin şebekeye bağlı olması durumunda, EA $k \in \mathcal{K}$ 'nin ya şarj durumunda ya da şebekeye elektrik verme halinde olmasını sağlamaktadır. (2.4) EA $k \in \mathcal{K}$ 'nin $t \in \mathcal{T}$ periyodunda $i \in \mathcal{N}$ 'de kullanıma hazır olması durumunda, bu aracın bir lokasyona yönlendirilebilir veya kiralanabilir olmasını sağlar. Ayrıca, bu kısıt EA'nın yönlendirilmemesi veya kiralanmaması durumunda onu sonraki periyotta da kullanıma hazır halde sunar. (2.5)'de EA $k \in \mathcal{K}$ 'nin $t \in \mathcal{T}$ periyodunda birden fazla lokasyonda ve yönlendirme, kiralama gibi yolculuk durumunda olmasını engeller. (2.6) Her periyot için, her i 'den j 'ye olan yolculuk için atanan araç sayısının talepten fazla olmasını engeller. (2.7) ve (2.8) sırasıyla kiralama ve yönlendirme işlemleri için $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye yapılacak yolculuklar için gereken batarya miktarı kontrol eder. Sol taraf, EA $k \in \mathcal{K}$ 'nin $i \in \mathcal{N}$ 'den $j \in \mathcal{N}$ 'ye yapacağı yolculuk için gereken şarj durumu miktarını belirtirken, sağ taraf EA $k \in \mathcal{K}$ 'nin şarj durumu yolculuk için gereken miktardan azsa araç atamasını engeller. (2.9) EA k 'nin şarj durumu minimumun altına düşerse araç şarj edilmesini sağlar. (2.10) Şarj durumunun periyodik envanter modellemesi olarak ele alındığı bu kısıtta, $SOC_{k,t}$ önceki periyodun şarj durumunu ve şarj işleminden elde edilen miktar ile yolculuk durumunda harcanan miktarın farkına eşittir. 0.95 ise bataryanın verimlilik katsayısıdır. (2.11) ise şarj durumunun ilk periyot için oluşturulan versiyonudur ve günün son periyodundan gelen bilgiler kullanılarak döngüsel durum oluşturulmuştur. (2.12)'de Şarj durumunun 0 ile SOC_{max} arasında kalmasını sağlar. (2.13) şebekeye verilen elektrik miktarı R_t 'ye eşittir. (2.14) ve (2.15)'de kiralama ve yönlendirme durumunun son periyoduyla alakalı eşitlikler oluşturulmuştur. Eğer EA $k \in \mathcal{K}$ 'nin yolculuğunun son periyodu gereken şartları sağlarsa $t \in \mathcal{T}$ periyodunda kiralanana veya yönlendirme durumuna göre yolculuğun son periyodunun değeri belirlenir. (2.16) ve (2.17) kısıtları ise önceki iki kısıtın şartlarının tersi olduğu durumlar için kiralama ve yönlendirmelerin son periyodunu 0'a eşitler. (2.18) ve (2.19) yolculuk süresi 1 periyottan az ise ve $i \in \mathcal{N}$, $j \in \mathcal{N}$ 'e eşitse EA $k \in \mathcal{K}$ 'nin kiralanmasına veya yönlendirilmesine izin vermez. (2.20)-(2.23) arasında ilk periyotta başlayan ve

yolculuk süresinin 1'den fazla olduğu durumlarda oluşan eşitliklerdir. (2.24) ve (2.25) kısıtlarında kiralama ve yönlendirme nedeniyle yolculuk durumunu belirlemek için EA $k \in \mathcal{K}$ üzerinden periyodik hesaplamalar yapılır. (2.26) ve (2.27) ise günün son periyodunda yolculuk süresi 1 periyottan fazla olan durumlarda kiralama ve yönlendirmeyi engeller. (2.28) günün ilk periyodunda haricinde EA $k \in \mathcal{K}$ 'nin $i \in \mathcal{N}$ 'de bulunup bulunmadığını periyodik olarak hesaplayan denklemdir. Bir önceki periyotta $k \in \mathcal{K}$ 'nin $i \in \mathcal{N}$ 'de olup olmaması, o düğüme gelip gelmemesine eklenir ve o düğümden kiralanıp ve yönlendirme durumunu belirten değişkenden çıkartarak hesaplanır. (2.29) bir önceki kısıtın günün ilk periyodu için yapılmış halidir.



3. SAYISAL YÖNTEM

Sayısal yöntem olarak, ilk başta yukarıdaki matematiksel modellerden optimal çözümün elde edilmesi belirlenmiştir. *Gün Öncesi Model*'de değişkenlerin büyük çoğunluğu tam sayılı olmasına rağmen optimal veya optimale yakın sonuçlar elde edilebilmektedir. Ancak, oluşturulan modellerden olan *Gün İçi Model*'in neredeyse bütün değişken setlerinin ikili değerleri alması nedeniyle, karmaşıklığının üstel artışının çok hızlı olmasına neden olmuştur. Büyük boyutlu problemlerde optimal sonuçlara ulaşmak bir yana bazı durumlarda olurlu çözüm bile elde edilememektedir. Problem boyutunun daha küçük olduğu durumlarda dahi olurlu çözüm elde etme amacıyla ilk başta modellerdeki bazı değişkenlerin gevşetilmesi gerekmiştir ve çözüm için zaman kısıtlaması konularak üst sınır elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu gevşetme ve zaman kısıtlamaları sonucunda belirli miktarda optimaliteden fedakarlık edilerek olurlu çözümler elde edilmiştir.

Matematiksel modeller CPLEX 12.8 kütüphaneleri aracılığıyla Java programlama dili üzerinde kodlanmıştır. Hazırlanan kodlar ise Intel(R) Core(TM) i7-8550U işlemcili ve 8 GB RAM kapasiteli bilgisayar üzerinde çalıştırılmıştır.

3.1 Varsayımlar

Yapılan bu çalışmada, gerçek hayatın oluşturduğu bazı karmaşıkların modelleme zorluğu ve oluşturulan sistemi belirli bir yere kadar basitleştirme adına aşağıda belirtilen varsayımlar göz önünde bulundurulmuştur:

- Kiralanan EA'nın bulunduğu yerden başka bir yere bırakılması: Teknik olarak herhangi bir konumdan kiralanmış EA'nın gene alındığı noktaya bırakılması tek yönlü araç kiralama konseptine ters düşmemektedir. Ancak, gene aynı noktaya bırakılacak EA'nın ne kadar süre ile kiralanacağını tam olarak bilinmemesi ve bu kiralama süresinin hesaplanması ile alakalı işlemler süreci tezin kapsamı dışına çıkmaktadır ve oluşturulan modelin karmaşıklığını arttırmaktadır.
- Yukarıda anlatılan nedenden ötürü kiralanmış ve bırakılan noktası aynı olan EA'lar için gün içerisinde herhangi bir zaman aralığında bir talep oluşturulmamıştır.
- Lokasyonlar arası zaman cinsindeki mesafeler gün içerisindeki tüm periyotlarda sabittir.

- Modellerin kapsadığı zaman aralığı gün olarak belirlendiği için EA bataryalarıyla alakalı göz önünde bulundurulması gereken faktörlerden olan bataryanın sürekli kullanımından meydana gelen eskimenin oluşturduğu maliyet göz ardı edilmiştir.
- Günün ilk periyodundaki EA kiralama, yönlendirme, şarj ve şebekeye elektrik verme gibi operasyonları EA'ların günün son periyodundaki durumları göz önünde bulundurarak yapar. Bu şekilde modeller döngüsel hale getirilmiştir.
- Modellemede yaşanan zorluklar nedeniyle EA'ların yaptığı yolculuk ve yönlendirmelerin tamamının günün son periyodunun sonunda tamamlanması kısıtı eklenmiştir.
- Hem değişken gevşeterek çözüm elde edilme sürecini rahatlatma hem de bir periyodun istenilen yüzdesini şarj ve elektrik satma işlemlerine ayarlamak amacıyla şarj ve elektrik satma ile alakalı değişkenler tam sayılıdan sürekli değişkenlere döndürülmüştür.
- Elektrik piyasasındaki fiyat değişikliklerinin tahmini için, tahmin modellerinden ziyade, realize olan fiyat ile belirli bir aralıktan rastgele seçilen bir katsayı ile çarpılarak fiyat tahmini yapılmıştır.
- Müşterilerin kullanıma müsait EA bulamasından kaynaklı memnuniyetsizlik sisteme yansıtılmamıştır.

3.2 Kullanılan Verisetleri

Halihazırda Türkiye’de EA kullanımının çok kısıtlı olması nedeniyle, modelde kullanılabilen Türkiye bazlı gerçek veri elde edilememektedir. Ancak, EA kullanıcılarının, günlük şehir içi trafik hareketliliğiyle benzerlik göstereceği varsayımından yola çıkarak, şehir içi araç trafiği bilgilerinden faydalanılarak EA kullanım talepleri oluşturulabilir. İBB’nin 2012 yılında yaptığı çalışma ve oluşturdukları rapor [43], üst kısımlarda bahsettiğimiz lokasyonlar arası EA talebi için referans noktamız olmuştur. Bu rapor incelendiğinde, İstanbul’un ilçelerinin ürettiği ve çektiği yolculuk miktarı, ilçeler arası ulaşım istatistikleri, oransal olarak yolculukların başlangıç ve bitiş saatleri gibi veriler bulunmaktadır. Yolculuk talepleri oluşturulurken yukarıda bahsedilen veriler kullanılırken, EA’ların kiralanacağı noktalar içinse İSPARK’ın işlettiği bazı otoparklar kullanılmıştır.

İstanbul’un bütün ilçelerini ele almak modelin boyutunu çok büyütmesi nedeniyle sadece Beşiktaş, Beyoğlu ve Şişli ilçeleri seçilmiştir. Sadece bu ilçe sınırları dahilinde bulunan, "AÇIK OTOPARK" ve "KAPALI OTOPARK" tiplerinde olan toplamda 33 İSPARK otoparkı [44] araçların kiralanıp bırakılabileceği noktalar olarak seçilmiştir. Bu noktaların 12 tanesi Beşiktaş’ta, 13 tanesi Beyoğlu’nda, 8 tanesi ise Şişli’de bulunmaktadır (3.1). Bununla beraber, bu lokasyonlar arasındaki mesafenin elde edilmesi için Google Maps API üzerinden Distance Matrix özelliği kullanılmıştır. Enlem ve boylam değerlerini bildiğimiz düğümlerin arasındaki mesafenin zaman cinsinden değerleri, arabayla yolculuk opsiyonu üzerinden elde edilmiştir ve modelin kullanımı için düzenlenmiştir.

Beyoğlu, Beşiktaş ve Şişli’nin kendi içlerinde ve birbirleri arasında yapılan yolculuk miktarları kullanılırken ve diğer ilçelerden gelen veya ilçelere giden yolculuklar dikkate alınmamıştır. [43]’den sunduğu verilerde yolculuk tipleri dört farklı kategoriye ayrılmıştır. Bu kategoriler *Ev-İş*, *Ev-Okul*, *Ev-Diğer* ve *Diğer* olarak oluşturulmuştur. Verilerin oluşturulması kısmında ise bahsi geçen dört farklı yolculuk tipi birleştirilmiştir. Çizelge (3.2)’in elde edilmesinde, yolculukların başlangıç ve bitiş zonları ilçe bazında kategorize edilen ve her yolculuk tipi için büyütülmeden sunulan[43] trafiğin toplamı alınmıştır. Çizelge (3.3) ise seçilen ilçelerin çektiği ve ürettiği trafik miktarlarıdır.

Çizelge 3.1: Seçilen Otoparkların Bulunduğu İlçeler ve Coğrafi Konumları.

İndeks	İlçe	Enlem	Boylam
0	BEŞİKTAŞ	41.062	29.011
1	BEŞİKTAŞ	41.077	29.043
2	BEŞİKTAŞ	41.064	29.011
3	BEŞİKTAŞ	41.050	29.000
4	BEŞİKTAŞ	41.048	29.015
5	BEŞİKTAŞ	41.086	29.008
6	BEŞİKTAŞ	41.085	29.009
7	BEŞİKTAŞ	41.081	29.011
8	BEŞİKTAŞ	41.050	29.033
9	BEŞİKTAŞ	41.073	29.018
10	BEŞİKTAŞ	41.056	29.034
11	BEŞİKTAŞ	41.057	29.001
12	BEYOĞLU	41.032	28.986
13	BEYOĞLU	41.026	28.969
14	BEYOĞLU	41.030	28.967
15	BEYOĞLU	41.032	28.975
16	BEYOĞLU	41.023	28.977
17	BEYOĞLU	41.022	28.974
18	BEYOĞLU	41.023	28.972
19	BEYOĞLU	41.041	28.987
20	BEYOĞLU	41.032	28.975
21	BEYOĞLU	41.057	28.950
22	BEYOĞLU	41.028	28.982
23	BEYOĞLU	41.032	28.974
24	BEYOĞLU	41.025	28.969
25	ŞİŞLİ	41.057	28.995
26	ŞİŞLİ	41.048	28.990
27	ŞİŞLİ	41.073	28.998
28	ŞİŞLİ	41.045	28.985
29	ŞİŞLİ	41.059	28.994
30	ŞİŞLİ	41.046	28.991
31	ŞİŞLİ	41.066	29.000
32	ŞİŞLİ	41.065	28.997

Çizelge 3.2: İlçelerin Kendi İçleri ve Birbirleri Arasındaki Hareketliliği.

	Beşiktaş	Beyoğlu	Şişli
Beşiktaş	415	48	93
Beyoğlu	46	955	160
Şişli	115	161	825

Çizelge 3.3: İlçelerin Gün İçerisindeki Çektiği ve Ürettiği Toplam Trafik.

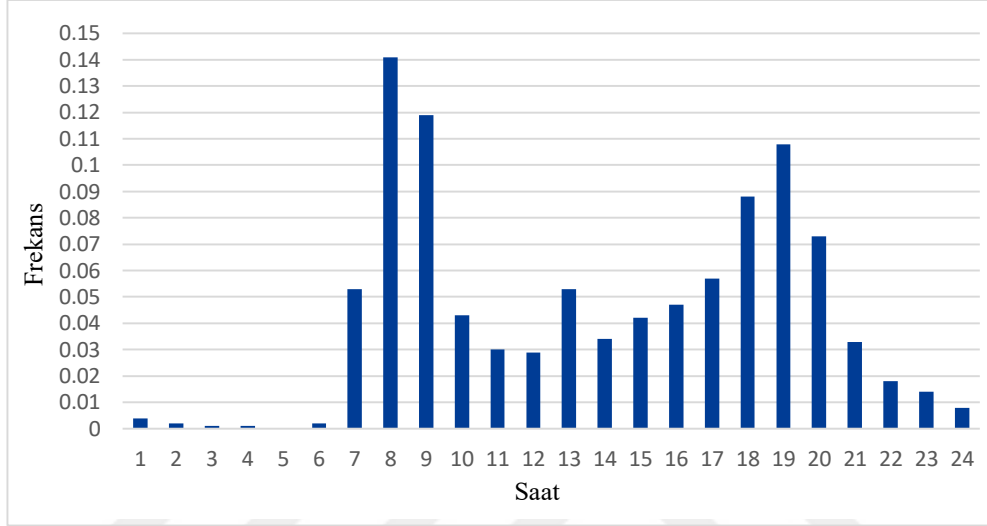
	Üretim	Çekim
Beşiktaş	506325	641760
Beyoğlu	570063	649915
Şişli	873150	1355055



Şekil 3.1: Seçilen Otoparkların Harita Üzerindeki Konumları

Şekil (3.2) incelendiğinde, yolculuk talebinin oluşturulmasında bize yardımcı olacak olan yolculuk başlangıç saatlerinin frekansları sunulmuştur. 00:00-06:00 saatleri arasında yolculukların başlama oranı % 2'den az olduğu görülmektedir. Gün içerisinde ilk tepe noktası olan 07:00-09:00 saatleri arası, yolcuların okul,

isyeri gibi yerlere gitmesi nedeniyle oluşan yoğunluktur. Bu tepe noktasının ardından, saat 12:00'a kadar düşüş gözlenmekte ve 12:00-14:00 saatleri arası ise öğle tatili gibi nedenlerden ötürü tekrardan bir tepe oluşturmaktadır. Saat 15:00'dan 20:00'a kadar artan yoğunluk ise okulların kapanması ve mesainin bitmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.2: Yolculuk Başlangıç Saatlerinin Frekansı

Elektrik tarifelerinde ise TEDAŞ'ın verileri kullanılmıştır[45]. Farklı türlerdeki elektrik kullanıcı tiplerinin olduğu fiyatlandırma tablolarından, filo sahibi olduğumuz varsıyımı nedeniyle ticarethane opsiyonu alınmıştır. Bununla beraber, elektrik fiyatı gün içerisindeki zamana göstermekte ve gündüz, puant ve gece olmak üzere 3 farklı tarife vardır. Gece tarifesini, 20:00-06:00 saatleri arasında faaldir. Bu tarife elektrik kullanımının az olması nedeniyle fiyatların en ucuz olduğu zaman aralığıdır. Gündüz tarifesini ise 06:00-17:00 arasında faaldir. Puant ise 17:00-22:00 saatleri arasında kullanılmaktadır ve elektrik tüketiminin en yüksek olduğu zaman aralığı olması nedeniyle, elektrik fiyatlarını en yüksek olduğu kısım burasıdır.

Çizelge 3.4: KWSaat/Krş Elektrik Fiyatı.

Gece	Gündüz	Puant
48.6293	76.46	111.46

Talep, mesafe ve elektrik fiyatları parametreleri haricinde olanlar da aşağıdaki gibidir:

Çizelge 3.5: Parametre Değerleri

Parametre	Değer
T	24
N	33
K	1000
Dec	0.1
P_r^{EV}	20
C^{EV}	18
C^R	20
SOC_{min}	0.2
SOC_{max}	0.9
P^C	12
P^{DC}	12
Cap	24
Sca_t	[0.5, 1.5]

Tablo (3.6) seçilen lokasyonların birbirleri arasındaki mesafenin saat cinsinden değeridir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, mesafelerin hepsinin 1'den küçük olduğu görülmüştür. Modellerimizin periyot aralığı saat olarak düşünüldüğü için ve küsürlü değerlerin zaman endeksiyle uyumsuz olması nedeniyle bu değerler 10 ile çarpılarak en yakın tam sayıya yuvarlanmış ve lokasyonlar arası mesafe olduğu varsayılmıştır. Bu durumda mesafeler 0 ile 5 arasındaki tam sayıları almaktadır.

Çizelge 3.6: Lokasyonlar Arası Mesafenin Saat Cinsinden Değeri.

0	0.00	0.25	0.08	0.16	0.18	0.18	0.17	0.19	0.11	0.27	0.07	0.27	0.33	0.30	0.32	0.35	0.37	0.32	0.24	0.32	0.26	0.28	0.32	0.31	0.12	0.23	0.17	0.29	0.13	0.21	0.09	0.10		
1	0.26	0.00	0.21	0.35	0.25	0.19	0.22	0.21	0.20	0.19	0.13	0.28	0.42	0.48	0.37	0.39	0.45	0.44	0.39	0.38	0.39	0.31	0.42	0.39	0.38	0.33	0.39	0.26	0.38	0.30	0.36	0.23	0.23	
2	0.07	0.24	0.00	0.20	0.20	0.14	0.17	0.15	0.21	0.09	0.27	0.11	0.29	0.35	0.29	0.31	0.37	0.36	0.31	0.26	0.31	0.26	0.30	0.31	0.30	0.15	0.26	0.16	0.30	0.17	0.23	0.08	0.11	
3	0.14	0.30	0.13	0.00	0.18	0.20	0.23	0.22	0.19	0.16	0.28	0.07	0.20	0.26	0.27	0.27	0.28	0.32	0.27	0.15	0.27	0.28	0.21	0.27	0.26	0.09	0.12	0.22	0.20	0.11	0.14	0.14	0.13	
4	0.16	0.22	0.13	0.21	0.00	0.20	0.23	0.22	0.10	0.16	0.18	0.18	0.23	0.29	0.31	0.30	0.35	0.31	0.19	0.30	0.30	0.23	0.31	0.30	0.22	0.20	0.22	0.20	0.24	0.17	0.20	0.20	0.20	
5	0.19	0.24	0.14	0.28	0.26	0.00	0.03	0.07	0.27	0.17	0.29	0.20	0.36	0.42	0.32	0.34	0.40	0.39	0.35	0.32	0.34	0.19	0.36	0.34	0.33	0.25	0.33	0.17	0.33	0.27	0.30	0.20	0.19	
6	0.16	0.21	0.11	0.25	0.23	0.09	0.00	0.04	0.24	0.14	0.28	0.18	0.33	0.39	0.29	0.31	0.37	0.36	0.32	0.29	0.31	0.23	0.33	0.31	0.30	0.22	0.30	0.14	0.30	0.24	0.27	0.17	0.17	
7	0.13	0.24	0.08	0.22	0.21	0.06	0.09	0.00	0.22	0.11	0.27	0.15	0.30	0.36	0.27	0.28	0.34	0.33	0.29	0.26	0.29	0.23	0.31	0.29	0.28	0.20	0.27	0.11	0.27	0.21	0.24	0.14	0.14	
8	0.28	0.13	0.25	0.36	0.21	0.24	0.26	0.25	0.00	0.21	0.09	0.30	0.38	0.44	0.40	0.41	0.45	0.46	0.42	0.34	0.42	0.36	0.38	0.42	0.41	0.34	0.28	0.39	0.33	0.32	0.25	0.25	0.25	
9	0.13	0.15	0.09	0.22	0.21	0.10	0.13	0.12	0.22	0.00	0.19	0.15	0.31	0.37	0.27	0.29	0.35	0.34	0.29	0.27	0.29	0.24	0.31	0.29	0.28	0.20	0.27	0.17	0.28	0.22	0.25	0.14	0.14	
10	0.19	0.20	0.16	0.27	0.12	0.24	0.27	0.26	0.07	0.20	0.00	0.21	0.29	0.35	0.37	0.37	0.36	0.42	0.37	0.25	0.37	0.35	0.30	0.37	0.36	0.25	0.26	0.27	0.30	0.27	0.23	0.24	0.24	
11	0.07	0.26	0.11	0.09	0.19	0.16	0.19	0.18	0.20	0.12	0.28	0.00	0.25	0.31	0.30	0.31	0.33	0.36	0.31	0.19	0.31	0.26	0.26	0.31	0.30	0.05	0.16	0.15	0.24	0.06	0.15	0.07	0.06	
12	0.28	0.40	0.25	0.31	0.24	0.33	0.35	0.34	0.27	0.28	0.36	0.30	0.00	0.16	0.20	0.20	0.17	0.25	0.21	0.15	0.21	0.29	0.09	0.21	0.20	0.28	0.19	0.35	0.20	0.34	0.17	0.33	0.36	
13	0.25	0.37	0.21	0.30	0.27	0.28	0.30	0.29	0.31	0.23	0.39	0.26	0.19	0.00	0.05	0.09	0.10	0.09	0.04	0.14	0.09	0.20	0.14	0.09	0.07	0.23	0.18	0.30	0.16	0.26	0.16	0.22	0.21	
14	0.30	0.45	0.26	0.31	0.28	0.33	0.35	0.34	0.32	0.28	0.41	0.28	0.19	0.11	0.00	0.10	0.10	0.09	0.05	0.15	0.10	0.24	0.15	0.10	0.04	0.24	0.19	0.35	0.20	0.30	0.18	0.27	0.26	
15	0.27	0.40	0.23	0.30	0.27	0.30	0.33	0.32	0.30	0.25	0.39	0.27	0.17	0.14	0.08	0.00	0.13	0.12	0.08	0.13	0.00	0.22	0.11	0.00	0.07	0.22	0.17	0.32	0.18	0.28	0.16	0.24	0.23	
16	0.30	0.42	0.27	0.33	0.26	0.35	0.38	0.37	0.29	0.31	0.38	0.32	0.15	0.10	0.13	0.18	0.00	0.21	0.16	0.20	0.18	0.29	0.11	0.18	0.15	0.31	0.21	0.38	0.25	0.35	0.18	0.31	0.30	
17	0.32	0.44	0.29	0.34	0.28	0.36	0.39	0.38	0.31	0.32	0.40	0.34	0.17	0.07	0.11	0.15	0.08	0.00	0.03	0.22	0.16	0.26	0.13	0.16	0.12	0.29	0.22	0.36	0.23	0.32	0.19	0.28	0.27	
18	0.29	0.41	0.26	0.32	0.25	0.34	0.37	0.36	0.28	0.29	0.37	0.31	0.14	0.09	0.13	0.17	0.05	0.15	0.00	0.19	0.17	0.28	0.10	0.17	0.10	0.30	0.19	0.36	0.24	0.34	0.17	0.30	0.29	
19	0.24	0.41	0.26	0.20	0.26	0.31	0.34	0.33	0.29	0.27	0.38	0.17	0.21	0.27	0.23	0.22	0.28	0.27	0.23	0.00	0.22	0.28	0.21	0.22	0.21	0.13	0.09	0.30	0.10	0.19	0.09	0.22	0.21	
20	0.28	0.40	0.23	0.30	0.27	0.30	0.33	0.32	0.30	0.26	0.39	0.27	0.17	0.14	0.08	0.00	0.14	0.13	0.08	0.14	0.00	0.23	0.11	0.00	0.07	0.23	0.18	0.32	0.19	0.28	0.16	0.24	0.23	
21	0.25	0.37	0.21	0.35	0.34	0.27	0.30	0.29	0.35	0.23	0.39	0.26	0.27	0.29	0.20	0.26	0.28	0.28	0.23	0.22	0.26	0.00	0.27	0.26	0.22	0.29	0.23	0.30	0.25	0.26	0.20	0.22	0.21	
22	0.32	0.44	0.29	0.32	0.27	0.36	0.39	0.38	0.31	0.32	0.40	0.33	0.07	0.13	0.17	0.19	0.14	0.24	0.20	0.16	0.20	0.31	0.00	0.20	0.19	0.29	0.20	0.39	0.21	0.35	0.18	0.33	0.31	
23	0.28	0.40	0.23	0.30	0.27	0.30	0.33	0.32	0.30	0.26	0.39	0.27	0.17	0.14	0.08	0.00	0.14	0.13	0.08	0.14	0.00	0.23	0.11	0.00	0.07	0.23	0.18	0.32	0.19	0.28	0.16	0.24	0.23	
24	0.31	0.43	0.28	0.34	0.27	0.36	0.39	0.38	0.30	0.32	0.39	0.33	0.16	0.12	0.15	0.19	0.07	0.07	0.02	0.21	0.20	0.30	0.12	0.20	0.00	0.32	0.22	0.39	0.26	0.36	0.19	0.32	0.31	
25	0.13	0.32	0.15	0.10	0.20	0.22	0.25	0.24	0.21	0.18	0.30	0.07	0.26	0.32	0.29	0.32	0.34	0.37	0.32	0.20	0.32	0.24	0.27	0.32	0.31	0.00	0.17	0.21	0.21	0.06	0.16	0.13	0.11	
26	0.24	0.36	0.21	0.16	0.19	0.28	0.31	0.30	0.23	0.24	0.31	0.19	0.15	0.21	0.19	0.18	0.22	0.23	0.19	0.07	0.18	0.24	0.15	0.18	0.18	0.15	0.00	0.31	0.12	0.21	0.03	0.26	0.23	
27	0.13	0.27	0.12	0.23	0.25	0.15	0.18	0.17	0.27	0.13	0.29	0.13	0.35	0.37	0.28	0.30	0.36	0.35	0.30	0.31	0.30	0.25	0.35	0.30	0.29	0.20	0.30	0.00	0.30	0.18	0.29	0.08	0.10	
28	0.25	0.42	0.23	0.22	0.25	0.30	0.33	0.32	0.29	0.26	0.38	0.19	0.19	0.27	0.16	0.22	0.21	0.17	0.08	0.17	0.08	0.17	0.23	0.21	0.17	0.16	0.14	0.11	0.31	0.00	0.20	0.10	0.24	0.22
29	0.15	0.30	0.15	0.15	0.25	0.20	0.23	0.22	0.26	0.16	0.33	0.09	0.30	0.36	0.28	0.30	0.36	0.35	0.31	0.26	0.30	0.25	0.31	0.30	0.30	0.07	0.19	0.19	0.22	0.00	0.18	0.11	0.10	
30	0.21	0.33	0.18	0.15	0.16	0.25	0.28	0.27	0.20	0.21	0.29	0.18	0.12	0.18	0.17	0.16	0.19	0.21	0.17	0.05	0.16	0.21	0.12	0.16	0.15	0.14	0.03	0.28	0.10	0.20	0.00	0.25	0.22	
31	0.08	0.22	0.06	0.16	0.20	0.12	0.15	0.14	0.21	0.08	0.24	0.07	0.30	0.36	0.26	0.28	0.34	0.33	0.28	0.26	0.28	0.23	0.30	0.28	0.27	0.11	0.22	0.11	0.26	0.13	0.24	0.00	0.06	
32	0.08	0.23	0.07	0.15	0.21	0.13	0.16	0.15	0.22	0.09	0.25	0.06	0.30	0.36	0.26	0.28	0.34	0.33	0.28	0.28	0.28	0.23	0.31	0.28	0.27	0.10	0.21	0.11	0.24	0.10	0.21	0.03	0.00	

3.3 Talep Verilerinin Oluşturulması

Kullandığımız verisetlerinde her ilçenin ayrı ayrı yolculuk başlangıç frekansları ve trafik miktarlarının ortalama saatlik dağılımı bulunmamaktadır. Bu nedenle Çizelge (3.2)'nin değerleri 3 ilçe için de kullanılmıştır. Beşiktaş, Beyoğlu ve Şişli'nin birbirleri arasındaki hareketliliği veren Çizelge (3.2) ve araçların yolculuk başlangıç zamanlarının frekansını veren (3.2)'in saatlik değerleri çarpıldığında saatlik bazda ilçelerin oluşturduğu yolculuklar için saatlik ortalamalar elde edilmiştir (3.7).

Saatlik ortalamalar belirlendikten sonra, modellerde kullanılan lokasyon bazında periyodik EA talepleri oluşturulur. Bu talepleri oluşturulmasında rassallık kullanılmış, negatiflik ve tam sayı elde edilememesi gibi durumlar engellenmiştir.

Her lokasyonun her saat dilimi için bulununan değerin ortalama alındığı ve aynı değerin standart sapma alındığı normal dağılım üzerinden rastgele sayılar üretilmiştir. Eğer, üretilen rastgele değer negatif çıkarsa 0'a eşitlenir ve talebin tam sayı olması nedeniyle en yakın tam sayıya yuvarlanır.

Çizelge 3.7: Saatlik Ortalama İlçeler İçi ve Arası Yolculuk Dağılımı.

Saat	bey-bey	bey-beş	bey-şiş	beş-beş	beş-bey	beş-şiş	şiş-şiş	şiş-bey	şiş-beş
0	4	0	1	2	0	0	3	1	0
1	2	0	0	1	0	0	2	0	0
2	1	0	0	0	0	0	1	0	0
3	1	0	0	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	0	0	1	0	0	2	0	0
6	51	2	8	22	3	5	44	9	6
7	135	6	23	59	7	13	116	23	16
8	114	5	19	49	6	11	98	19	14
9	41	2	7	18	2	4	35	7	5
10	29	1	5	12	1	3	25	5	3
11	28	1	5	12	1	3	24	5	3
12	51	2	8	22	3	5	44	9	6
13	32	2	5	14	2	3	28	5	4
14	40	2	7	17	2	4	35	7	5
15	45	2	8	20	2	4	39	8	5
16	54	3	9	24	3	5	47	9	7
17	84	4	14	37	4	8	73	14	10
18	103	5	17	45	5	10	89	17	12
19	70	3	12	30	4	7	60	12	8
20	32	2	5	14	2	3	27	5	4
21	17	1	3	7	1	2	15	3	2
22	13	1	2	6	1	1	12	2	2
23	8	0	1	3	0	1	7	1	1

4. SAYISAL ANALİZ ve YORUMLAR

Bu kısımda önceki bölümlerde tanımlanan modelleri ve oluşturulan verisetleri kullanılarak incelemeler yapılmıştır. İlk olarak, elektrik satış fiyatının belirsizliğin oluşturduğu kar farklılıkları, elektrik satışı olmayan seçenek ile karşılaştırılmıştır. Bundan sonra *Gün Öncesi Model* ve *Gün İçi Model* peş peşe kullanılarak bunlardan çıkan sonuçlar, optimalite boşluğu gibi faktörler üzerinden karşılaştırması yapılmıştır. Hassasiyet analizi kısmında ise çözüm elde etme süreci daha kolay olan *Gün Öncesi Model* kullanılmış ve EA sayısı, yönlendirme maliyeti ve kiralama fiyatı üzerinden hassasiyet analizi yapılmıştır.

4.1 Elektrik Satmama ve Elektrik Satma Opsiyonları

Bu kısımda *Gün Öncesi Model* için şebekeye elektrik satılan durumlar ve elektrik satılmayan durum test edilmiştir. Toplamda model 5 kere yürütülmüş ve elde edilen sonuçlar (4.1) tablosunda verilmiştir. Tablonun ilk satırında sonuçları olan satış yapılmayan denemede diğerlerine kıyasla kiralama gelirin en yüksek olduğu görülmektedir. Ancak, karşılanan talep sayısı diğerlerine oranla en küçüktür. Bu durumda yolculuk süresinin daha yüksek olduğu taleplerin seçildiği sonucu çıkmaktadır. Ayrıca, şarj maliyetinin de en düşük olduğu bu denemenin amaç fonksiyonu da en düşüktür. Diğer denemeler incelendiğinde ise elektrik satışında elde edilmesi beklenen gelir artan şarj maliyeti ve azalan kiralama gelirinine rağmen satış yapılmayan opsiyondan daha yüksek amaç fonksiyonu değeri elde edildiği gözlenmiştir. Yapılan denemelerin hiçbirinde yönlendirme seçeneği kullanılmamıştır ancak bu durumun araç sayısı, yönlendirme maliyeti ve EA talebi ile bağlantılı olduğu unutulmamalıdır.

Çizelge 4.1: Elektrik Satma veya Satmama Karşılaştırması.

Deneme	Kiralama	Yönlendirme	Şarj	EA Kullanım	Elektrik	A. Fonk	Boşluk %	Karş. Talep
Satış Yok	289100	0	-22767.83	-18000.0	0	248332.16	~0	3051
1	288760	0	-34108.77	-17982	13154.37	249823.6	0.1	3177
2	288660	0	-33751.27	-17982	12280	249206.82	0.1	3119
3	288280	0	-34070	-18000	14465.26	250674.82	0.31	3139
4	288920	0	-25478.81	-18000	3338.97	248780.15	~0	3126

4.2 Gün Öncesi Model'in Gün İçi Modelle Karşılaştırılması

İlk başta, *Gün Öncesi Model*'den elde edilen sonuçlar *Gün İçi Model*'de kullanılmak istendiğinde 33 farklı lokasyon, 24 zaman periyodu ve 1000 tane EA'dan oluşan bir veri seti üzerinde denenmiştir. Ancak, *Gün İçi Model*'de değişkenlerin ikili yapısından ötürü problem boyutu çok büyümüştür. Bilgisayarın RAM kapasitesinin sınırlı olması ve işlemci gücünün eksiklikleri nedeniyle olurlu sonuç dahi elde edilememiştir.

Çözüm elde edebilmek adına problem boyutu küçültülmüş, sadece Beşiktaş'taki 12 konumun 12 periyot boyunca birbiri arasındaki etkileşim incelenmiştir. 1000 olarak belirlenen EA sayısı 300'e düşürülmüştür. Bu durumda *Gün İçi Model* için olurlu sonuçlar alınabilmiştir. Ancak, optimalite boşluğunun % 100'den daha fazla olması sonuçların kalitesini tartışmalı kılmaktadır. Bu nedenden ötürü problem boyutunu daha da küçültülmüştür.

Zaman periyodu sayısı 10 alınmış ve Beşiktaş'taki ilk 4 konum kullanılmıştır ve yürütme süresi 600 saniye ile kısıtlanmıştır ve kullanılabilen EA sayısı 50 olarak kararlaştırılmıştır. Bu konfigürasyonda *Gün Öncesi Model*'de saniyeler içerisinde optimal sonuçlar elde edilmektedir. *Gün İçi Model*'de ise çözümün kalitesinin bazı durumlarda problematik olduğu gözükmemektedir ve optimalite boşluğunun % 17 düzeylerinde kaldığı durumlar oluşmuştur.

Bundan sonraki denemelerde *Gün Öncesi Model*'de satışın yapılmadığı, yapıldığı ve *Gün İçi Model*'in satış yapan *Gün Öncesi Model*'den elde ettiği veriler kullanılarak çıkan sonuçlar 6 farklı deneme üzerinden incelenmiştir.

Gün Öncesi 1'de fiyat sapmasını sağlayan Sca_t çarpanı kullanılmamış ve her şeyin ilk başta bilindiği seçenek denenmiş diğer durumlarda ise tahmin üzerinden elektrik satış işlemi yapılmaktadır. Hissi olarak bakıldığında, kısıtların daha sıkı görünen *Gün İçi Model* daha düşük amaç fonksiyonu beklenirken tam tersi durumun oluştuğu da görülmüştür. Gün İçi 5 ve Gün İçi 6 haricindeki tüm denemelerde, gün içi modellerinin amaç fonksiyonları yüksek optimalite boşluğuna rağmen gün öncesi versiyonlarından daha iyi sonuç vermiştir.

Gün öncesi denemelerinin hiç birinde yönlendirme yapılmamışken, Gün İçi 2 haricindeki gün içi denemelerinde yönlendirme gözlemlenmiştir. Gün öncesi denemelerinde kullanılan EA sayısı gün içine göre daha fazla olmasına rağmen karşılanan talep sayıları gün içi denemelerine göre daha düşüktür. Bunun yanında, gün içi denemelerinin şarj maliyeti daha az EA kullanması karşın gün öncesi denemelerine kıyasla daha fazladır.

Son olarak fiyat tahminindeki sapmaların etkisi de gözlemlenmiştir. Örneğin Gün İçi 2,4,5,6 denemesinde elektrikten elde edilen kar beklenenden az iken, Gün İçi 3 denemesinde ise beklenenden daha fazla kar elde edilmiştir. Beklenen ve realize olan elektrik gelirindeki sapmalar yüzdesel olarak incelendiğinde ise % 6.33 ile %26.29 arasında değişmektedir.

Çizelge 4.2: *Gün Öncesi Model ve Gün İçi Model Karşılaştırması.*

Deneme	Kiralama	Yönlendirme	Şarj	EA Kullanım	Elektrik	Toplam	Boşluk %	Karş. Talep	Yön. Sayısı
Gün Öncesi 1	1300	0	-261.63	-414	259.45	883.82	0	38	0
Gün İçi 1	1320	-20	-312.72	-342	259.45	904.73	17.48	41	1
Gün Öncesi 2	1300	0	-249.37	-414	258.44	895.07	0	38	0
Gün İçi 2	1300	0	-270.98	-288	190.49	931.50	5.35	40	0
Gün Öncesi 3	1300	0	-280.02	-414	240.42	846.39	0	38	0
Gün İçi 3	1280	-20	-316.13	-306	255.62	893.48	17.58	40	1
Gün Öncesi 4	1300	0	-267.76	-414	290.62	908.85	0	38	0
Gün İçi 4	1320	-20	-291.28	-324	230.93	915.64	11.32	41	1
Gün Öncesi 5	1300	0	-292.28	-414	336.66	930.38	0	38	0
Gün İçi 5	1320	-20	-323.25	-324	273.5	926.24	11.5	41	1
Gün Öncesi 6	1300	0	-280.02	-414	321.08	927.05	0	38	0
Gün İçi 6	1320	-20	-314.56	-324	255.62	917.04	11.7	41	1

4.3 Hassasiyet Analizi

Bundan sonraki kısımlarda oluşturduğumuz parametrelerin problemin çözümüne olan etkileri incelenmiştir. *Gün Öncesi Model*'in kullanıldığı hassasiyet analizi kısmında yönlendirme maliyetinin daha iyi gözlemlendiği, sadece Beşiktaş'ın birbirleri arasında yaptığı yolculuklar dikkate alınmıştır. Bununla beraber zaman periyodu 24 alınmıştır ve EA sayısı 400 olarak tutulmuştur. *Gün Öncesi Model*'in görece daha küçük problem boyutundan ötürü saniyeler içerisinde optimal çözüme ulaşılabilmekte veyahut optimalite boşluğunun 0'a çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Denemelerden çıkan sonuçları daha sağlıklı değerlendirmek için *Gün Öncesi Model*'de elektrik satış fiyatına rassallık ekleyen değişken kaldırılarak fiyatın önceden bilindiği varsayılmıştır ve şebekeye elektrik satışının yapılmadığı durumlar da göz önünde bulundurularak incelemeler yapılmıştır. EA sayısı, yönlendirme maliyeti ve kiralama ücreti hassasiyet analizinde incelemeye değerlendirilmiştir.

4.3.1 EA Sayısı

Bu bölümde filo operatörünün elinde bulundurduğu toplam EA sayısındaki değişikliklerin etkileri gözlemlenmiştir. Öncelikle tüm denemelerimizde elektrik satışı'nın olduğu durumlarda amaç fonksiyonu değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

EA sayısının düştüğü durumlarda yönlendirmenin azaldığı veya yapılmadığı gözlemlenmiştir. Amaç fonksiyonunun tüm denemelerine direkt veya indirekt etkisi olduğu için, EA sayısının azalması hem elde edilen kiralama ve elektrik satış gelirini azaltmış hem de şarj, kullanım ve yönlendirme maliyetini azaltmıştır.

EA sayısının yönlendirmeye müsait olduğu durumlarda ve elektrik satışının yapıldığı denemelerde artan şarj maliyetine rağmen kiralama gelirinin yükseldiği görülmüştür. Ancak yönlendirme olmasına rağmen karşılanan EA talebinde herhangi bir değişiklik gözlenmemiş veya az da olsa azalma olmuştur. Yönlendirme işleminin yapılmadığı durumlarda ise elektrik satışından elde edilen gelirin amaç fonksiyonunu iyileştirdiği görülmüştür. Bununla beraber tüm denemelerde EA'ların tamamının kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.3: Toplam EA Sayısının Etkileri.

Deneme	Toplam EA	Kiralama	Yönlendirme	Şarj	EA Kullanım	Elektrik	Toplam	Boşluk %	Karş. Talep
Satış Yok 1	400	72100	-60	-4600.75	-7200	0	60239.24	0.06	1879
Satış Var 1	400	72140	-60	-7721.69	-7200	4071.21	61229.51	~0	1878
Satış Yok 2	350	68720	-20	-4522.60	-6300	0	57877.39	0.17	1762
Satış Var 2	350	68780	-20	-7092.18	-6300	3353.29	58721.10	~0	1762
Satış Yok 3	300	63760	0	-4287.38	-5400	0	54072.61	0.01	1589
Satış Var 3	300	63760	0	-6190.74	-5400	2488.96	54658.21	0.02	1589
Satış Yok 4	250	57540	0	-3931.51	-4500	0	49108.48	~0	1420
Satış Var 4	250	57480	0	-5140.03	-4500	1580.89	49420.86	0.12	1417

4.3.2 Yönlendirme Maliyeti

Bu kısımda yönlendirme fiyatında yapılan değişikliklerin etkisi incelenmiştir. Tahmin edilebileceği gibi yönlendirme ücretinin düşüşü sonucunda daha fazla yönlendirme operasyonu yapılarak EA talebi karşılanmaya çalışılmıştır. Bu durum aşağıdaki sonuçlarda da gözlemlenebilmektedir. Gene tüm durumlarda elektrik satışının bulunduğu durumlarda amaç fonksiyonu değeri daha iyi değer almıştır.

Dikkate değer bir durum yönlendirme maliyetinin 20 olduğu durumda yapılan

yönlendirme 3; yönlendirme maliyetinin olmadığı durumlarda yapılan yönlendirme sayısı 70'ten fazladır. Ancak, yönlendirme sayıları arasındaki farkı karşılanan talep sayısında görememekteyiz. Karşılanan talepler arasındaki farklar 30'dan az olmaktadır. Bu durum karşılanan taleplerin yolculuk mesafesi ve konumlarına göre farklılık gösterdiği sonucunu çıkarmamızı sağlar.

Yönlendirme maliyetinin azaltılması araç kiralamadan elde edilen gelirin cazibesini arttırmış ve elektrik satışından elde edilen gelirin düştüğü gözlemlenmiştir. Tüm durumlarda EA'ların tamamı kullanılmıştır.

Çizelge 4.4: Yönlendirme Maliyetinin Etkileri.

Deneme	Yön. F.	Kiralama	Yönlendirme	Şarj	EA Kullanım	Elektrik	Toplam	Boşluk %	Karş. Talep	Yön. Sayısı
Satış Yok 1	20	72100	-60	-4600.75	-7200	0	60239.24	~0	1879	3
Satış Var 1	20	72140	-60	-7721.69	-7200	4071.21	61229.51	~0	1878	3
Satış Yok 2	15	72600	-390	-4683.37	-7200	0	60326.62	~0	1894	25
Satış Var 2	15	72500	-315	-7762.86	-7200	4048.51	61270.65	~0	1891	20
Satış Yok 3	10	72820	-410	-4730.44	-7200	0	60479.55	0.01	1895	35
Satış Var 3	10	72800	-410	-7807.91	-7200	4025.34	61407.42	0.03	1896	34
Satış Yok 4	5	73060	-330	-4797.80	-7200	0	60732.19	~0	1910	57
Satış Var 4	5	73060	-330	-7874.15	-7200	4016.23	61672.08	~0	1909	56
Satış Yok 5	0	73160	0	-4844.11	-7200	0	61115.88	~0	1908	76
Satış Var 5	0	73160	0	-7903.04	-7200	3992.44	62049.39	~0	1905	74

4.3.3 Kiralama Ücretinin Etkileri

Son olarak periyodik kiralama ücretindeki değişmelerin sistemin karlılığına olan etkisi incelenmiştir. Önceki kısımlarda olduğu gibi satışın olduğu ve olmadığı vakalar ayrı ayrı incelenmiştir. Kiralama bedelindeki düşüş etkisini ilk olarak kiralamadan elde edilen gelirle göstermekte ve azalış görülmektedir. Bununla beraber kiralamadan elde edilen gelir azalışı yönlendirme opsiyonun cazibesinin kaybolmasına sebep olmakta ve yönlendirme sayısında düşüş gözlenmektedir. Fiyatlardaki düşüşe rağmen maliyetler çıkarıldığında kar elde edilebildiği için bütün EA'lar kullanılmış ve kiralamadan mümkün olduğu kadar fazla gelir elde edilmesi amaçlanmıştır. Ücretlerdeki azalma modeli elektrik satışını daha fazla kullanmaya itmiş ve elektrik satışından elde edilen gelir yükselmiştir.

Çizelge 4.5: Kiralama Ücretinin Etkileri.

Deneme	PrEV	Kiralama	Yönlendirme	Şarj	EA Kullanım	Elektrik	Toplam	Boşluk %	Karş. Talep	Yön. Say
Satış Yok 1	30	108900	-520	-4686.35	-7200	0	96493.64	~0	1891	25
Satış Var 1	30	108900	-520	-7762.16	-7200	4022.48	97440.32	~0	1895	26
Satış Yok 2	25	90750	-520	-4686.35	-7200	0	78343.64	~0	1894	25
Satış Var 2	25	90575	-420	-7764.83	-7200	4044.84	79235.01	~0	1890	21
Satış Yok 3	20	72100	-60.0	-4600.75	-7200.	0	60239.24	~0	1879	3
Satış Var 3	20	72140	-60.0	-7721.69	-7200	4071.21	61229.51	~0	1878	3
Satış Yok 4	10	36030	0	-4591.45	-7200	0	24238.54	~0	1875	0
Satış Var 4	10	36030	0	-7713.54	-7200	4079.36	25195.81	~0	1877	0

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ulaşım sektörünün temel enerji kaynağı olan petrolün sınırlı ömrü, fiyatı ve yarattığı olumsuz çevresel etkiler alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasında itici güç olmuşlardır. Son yollarda EA satışındaki artış elektriğin önemli bir alternatif olabileceğini göstermiştir. Kişisel kullanım haricinde, filo sahibi operatörler tarafından da şehir içi ulaşımına da dahil edilebilen EA'lar, kısa zamanlı kiralananak müşterilerin belirli noktalardan EA'ları kiralayıp gene belirli noktalara bırakarak tek yönlü araç kiralama seçeneği olarak kullanılabilir. Kar elde etmeyi amaçlayan filo sahibi, araç kiralama haricinde EA'ların depolarındaki fazla elektriği şebekeye satarak kar elde etmeyi düşünebilir.

Bu durumun fizibilitesini test etme amacıyla, gün öncesi elektrik piyasasında şebekeye satacağı elektrik miktarına, yaptığı fiyat tahmini üzerinden karar veren, boyutu daha küçük olan *Gün Öncesi Model* oluşturulmuştur. Şebekeye verilecek elektriğin sunulduğu, gün içerisindeki tüm operasyonları, tüm EA'lar bazında tek tek yöneten, problem boyutu daha büyük ve ikili karar değişkenlerinden oluşan *Gün İçi Model* oluşturulmuştur. Her iki modelde de yönlendirme, EA kullanımı ve şarj maliyetlerini göz önünde bulundurup, EA kiralama ve elektrik satışı üzerinden kar maksimizasyonu yapılmaktadır.

Türkiye'de satışı çok kısıtlı olan EA satışı nedeniyle bu araçların gün içerisindeki hareketliliğinin ve şarj etme davranışının gözlemlendiği bir veri seti bulunmamaktadır. Bu nedenle gün içerisinde şehiriçi yolculuklarının oluşturduğu verilerin benzetilmesi gerekmiştir. Bunun için İBB'nin ulaşım raporu [43]'deki ilçeler arasındaki trafik akışı ve yolculuk başlangıç zamanlarının frekansı EA kiralama talebinin oluşturulmasında referans olmuş ve İSPARK'ın sahip olduğu otoparklar[44] ise EA'ların kiralanabileceği ve şarj edilebileceği noktalar olarak düşünülmüştür. Bu veri setleri kullanılarak, İstanbul'un Beşiktaş, Beyoğlu ve Şişli ilçeleri seçilmiştir. Bu ilçeler arası ve içi trafik akışları ve buralarda bulunan toplamda 33 otopark kullanılmıştır. Periyot büyüklüğünün saat olduğu ve tüm günün kapsanmasının amaçlandığı her iki modelde de İstanbul verileri modellere uygun olarak düzenlenmiştir.

Gün Öncesi Model'de elektrik satışının yapılmadığı ve yapıldığı durumlar karşılaştırıldığında, elektrik satış opsiyonun kar getirdiği gözlemlenmiştir. *Gün Öncesi Model*'in daha küçük problem boyutu olması 33 lokasyon ve 1000 EA'lı sistemleri çok rahat bir şekilde çözebilmesini sağlarken, *Gün İçi Model*'in problem boyutunun büyüklüğü, bilgisayarın RAM kapasitesi ve işlemci gücü gibi nedenler olurlu sonuç alınmasına engel olmuştur. Bu nedenle parametrelerin boyutu azaltılmış ve sadece Beşiktaş'taki 8 konumun 10 saat içerisindeki

hareketliliği kullanılmış ve EA sayısı 50'e düşürülmüştür. *Gün Öncesi Model* ve *Gün İçi Model* karşılaştırıldığında ise beklenenin aksine *Gün İçi Model*'in amaç fonksiyonun daha yüksek olduğu durumlar gözlenmiş ve realize olan elektrik satış fiyatlarının etkisi gözlemlenmiştir.

Hassasiyet analizleri için çözüm elde etme süresi çok daha kısa süren *Gün Öncesi Model* tercih edilmiş ve yönlendirme operasyonlarını daha iyi gözlemlendiği fark edilen Beşiktaş'ta seçilen tüm lokasyonların 12 periyot içerisindeki hareketliliği kullanılmıştır. Hassasiyet analizinde değiştirilen parametreler Toplam EA sayısı, periyodik yönlendirme maliyeti ve periyodik EA kiralama olarak belirlenmiştir. Sonuçları daha düzgün yorumlamak adına fiyat sapması için kullanılan Sca_t katsayıları kaldırılmıştır. Bunun yanında şebekeye elektrik satışının yapılmadığı opsiyon da kullanılmıştır.

Bu analizler sonucunda, elektrik satışının olduğu durumlar her zaman daha iyi sonuçlar vermiştir. EA sayısının değiştirildiği durumlarda yönlendirme operasyonunun ve karşılanan EA talebi sayısının direkt etkilendiği gözlemlenmiştir. Bunun yanında, EA sayısının azalması elektrik satışında elde edilen geliri de azaltmıştır. Yönlendirme maliyetinin düşürüldüğü durumlarda, yapılan yönlendirme sayısındaki artış göze çarpmaktadır. Ancak, bu artışın karşılanan EA talebine yansımaları daha az olmuştur. EA kiralama fiyatındaki artış ise yönlendirme sayısını arttırmış ve EA kiralama gelirini arttırmıştır. Kiralama gelirinin düştüğü durumlarda dahi, model araç kiralama operasyonundan vazgeçmemiş ve tüm EA'ları kullanmıştır.

Bu analiz ve yorumlar sonucunda tek yönlü EA kiralama ve gün öncesi elektrik piyasasına girerek kar artırma amacının uygulanabileceği gözlemlenmiştir. Bu seçenek gün içerisinde elektrik arz ve talebinin dengelenmesi rol oynayabilir ve EA'lar elektrik şebekesine entegre edilebilir. Bu kısma kadar elde edilen bilgiler ve yorumlar ışığında aşağıdaki seçenekler gelecekteki çalışmalar için kullanılabilir:

- EA filolarının gün içi elektrik piyasasında, yan hizmetlerde ve denge hizmetlerinde de incelenmesi
- Farklı elektrik piyasalarında oyuncu olmanın fiyat ve maliyetlere etkisi
- Bu çalışmanın stokastik optimizasyon kapsamında incelenmesi
- Simülasyon modelleri üzerinden yapılan deneylerin de kullanılması
- Elektrik satış fiyatının belirsiz, alış fiyatının belirli olduğu bu tezde

kullanılan kontrat sistemi haricinde, elektrik alış-satış fiyatının belirli olmadığı kontrat sistemlerinin de incelenmesi

- Gün içerisinde sürekli şarj/deşarj işlemleri yapan bataryaların günlük eskime maliyetlerinin de dahil edilmesi
- *Gün Öncesi Model*'in şu anki halini daha da basitleştirilerek şebekeye satılan elektrik miktarında karar veren bir model oluşturulması
- Üstteki maddeyle bağlantılı olarak, *Gün Öncesi Model*'in çözüm elde amacıyla oluşturulan sezgisellere bir alternatif olarak sunulması



KAYNAKLAR

- [1] **British Petroleum.** *BP statistical review of world energy.* British Petroleum, 2018.
- [2] **U.S. Energy Information Administration.** Spot prices. https://www.eia.gov/dnav/pet/PET_PRI_SPT_S1_A.htm, 2019. [Online; accessed 09.05.2019].
- [3] **Boden, TA and Andres, RJ and Marland, Gregg.** Global, regional, and national fossil-fuel co2 emissions (1751-2014)(v. 2017). Technical report, Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Oak Ridge, TN (United States), 2017.
- [4] **Chan, CC.** The past, present and future of electric vehicle development. In *Proceedings of the IEEE 1999 International Conference on Power Electronics and Drive Systems. PEDS'99 (Cat. No. 99TH8475)*, volume 1, pages 11–13. IEEE, 1999.
- [5] **Chan, Ching Chuen.** The rise & fall of electric vehicles in 1828–1930: Lessons learned [scanning our past]. *Proceedings of the IEEE*, 101(1):206–212, 2012.
- [6] **Bunsen, Till and Cazzola, Pierpaolo and Gorner, Marine and Paoli, Leonardo and Scheffer, Sacha and Schuitmaker, Renske and Tattini, Jacopo and Teter, Jacob.** *Global EV Outlook 2018: Towards cross-modal electrification.* International Energy Agency, 2018.
- [7] **Cazzola, Pierpaolo and Gorner, Marine and Scheffer, Sacha and Scuitmaker, R and Tattini, Jacopo.** *Nordic EV Outlook 2018.* International Energy Agency, 2018.
- [8] **Meyer, Gereon and Dokic, Jadranka and Jürgens, Heike.** Hybrid and electric vehicles-the electric drive hauls, 05 2019.
- [9] **Otomotiv Distributorleri Derneği.** Basin ozeti 3 ocak 2020, 2020.

- [10] **Hu, Junjie and Morais, Hugo and Sousa, Tiago and Lind, Morten.** Electric vehicle fleet management in smart grids: A review of services, optimization and control aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56:1207–1226, 2016.
- [11] **Amjad, Muhammad and Ahmad, Ayaz and Rehmani, Mubashir Husain and Umer, Tariq.** A review of evs charging: From the perspective of energy optimization, optimization approaches, and charging techniques. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62:386–417, 2018.
- [12] **Mukherjee, Joy Chandra and Gupta, Arobinda.** A review of charge scheduling of electric vehicles in smart grid. *IEEE Systems Journal*, 9(4):1541–1553, 2015.
- [13] **Oliveira, Beatriz Brito and Carravilla, Maria Ant3nia and Oliveira, Jos3 Fernando.** Fleet and revenue management in car rental companies: a literature review and an integrated conceptual framework. *Omega*, 71:11–26, 2017.
- [14] **Bessa, Ricardo J and Matos, Manuel A.** Economic and technical management of an aggregation agent for electric vehicles: a literature survey. *European transactions on electrical power*, 22(3):334–350, 2012.
- [15] **Deshpande, Ajay and Murali, Pavankumar.** Pricing long-term permits and scheduling of electric vehicle charging in parking lots with shared resources. In *Control Conference (ECC), 2013 European*, pages 3584–3589. IEEE, 2013.
- [16] **Ghosh, Arnob and Aggarwal, Vaneet.** Control of charging of electric vehicles through menu-based pricing. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2017.
- [17] **Liu, Chen and Deng, Ke and Li, Chaojie and Li, Jianxin and Li, Yanhua and Luo, Jun.** The optimal distribution of electric-vehicle chargers across a city. In *Data Mining (ICDM), 2016 IEEE 16th International Conference on*, pages 261–270. IEEE, 2016.
- [18] **Jin, Chenrui and Tang, Jian and Ghosh, Prasanta.** Optimizing electric vehicle charging: A customer’s perspective. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 62(7):2919–2927, 2013.

- [19] **Mehrabi, Abbas and Kim, Kiseon.** Low-complexity charging/discharging scheduling for electric vehicles at home and common lots for smart households prosumers. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2018.
- [20] **Jin, Chenrui and Tang, Jian and Ghosh, Prasanta.** Optimizing electric vehicle charging with energy storage in the electricity market. *IEEE Trans. Smart Grid*, 4(1):311–320, 2013.
- [21] **Fedorčáková, M and Šebo, J and Petrikova, A.** Innovative application of inventory theory for determining optimal fleet size for a car-sharing system. In *Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMi)*, 2012 IEEE 10th International Symposium on, pages 157–160. IEEE, 2012.
- [22] **Brandstätter, Georg and Kahr, Michael and Leitner, Markus.** Determining optimal locations for charging stations of electric car-sharing systems under stochastic demand. *Transportation Research Part B: Methodological*, 104:17–35, 2017.
- [23] **Bruglieri, Maurizio and Colorni, Alberto and Luè, Alessandro.** The vehicle relocation problem for the one-way electric vehicle sharing: an application to the milan case. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 111:18–27, 2014.
- [24] **Bruglieri, Maurizio and Colorni, Alberto and Luè, Alessandro.** The relocation problem for the one-way electric vehicle sharing. *Networks*, 64(4):292–305, 2014.
- [25] **Lee, Junghoon and Kim, Hye-Jin and Park, Gyung-Leen.** Relocation action planning in electric vehicle sharing systems. In *International Workshop on Multi-disciplinary Trends in Artificial Intelligence*, pages 47–56. Springer, 2012.
- [26] **Ait-Ouahmed, Amine and Josselin, Didier and Zhou, Fen.** Relocation optimization of electric cars in one-way car-sharing systems: modeling, exact solving and heuristics algorithms. *International Journal of Geographical Information Science*, 32(2):367–398, 2018.
- [27] **Benarbia, T and Omari, A and Aour, B and Labadi, K and Hamaci, S.** Electric cars-sharing systems modeling and analysis. In *Control, Automation and Diagnosis (ICCAD)*, 2017 International Conference on, pages 030–035. IEEE, 2017.

- [28] **Boyaci, Burak and Zografos, Konstantinos G and Geroliminis, Nikolas.** An optimization framework for the development of efficient one-way car-sharing systems. *European Journal of Operational Research*, 240(3):718–733, 2015.
- [29] **Ma, Jiaqi and Li, Xiaopeng and Zhou, Fang and Hao, Wei.** Designing optimal autonomous vehicle sharing and reservation systems: A linear programming approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 84:124–141, 2017.
- [30] **Li, Xiaopeng and Ma, Jiaqi and Cui, Jianxun and Ghiasi, Amir and Zhou, Fang.** Design framework of large-scale one-way electric vehicle sharing systems: A continuum approximation model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 88:21–45, 2016.
- [31] **Xu, Zhiwei and Hu, Zechun and Song, Yonghua and Wang, Jianhui.** Risk-averse optimal bidding strategy for demand-side resource aggregators in day-ahead electricity markets under uncertainty. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(1):96–105, 2017.
- [32] **Wu, Hongyu and Shahidehpour, Mohammad and Alabdulwahab, Ahmed and Abusorrah, Abdullah.** A game theoretic approach to risk-based optimal bidding strategies for electric vehicle aggregators in electricity markets with variable wind energy resources. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 7(1):374–385, 2016.
- [33] **Ghofrani, M and Arabali, A and Ghayekhloo, M.** Optimal charging/discharging of grid-enabled electric vehicles for predictability enhancement of pv generation. *Electric Power Systems Research*, 117:134–142, 2014.
- [34] **Liu, Zhaoxi and Wu, Qiuwei and Huang, Shaojun and Wang, Lingfeng and Shahidehpour, Mohammad and Xue, Yusheng.** Optimal day-ahead charging scheduling of electric vehicles through an aggregative game model. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(5):5173–5184, 2017.
- [35] **Tomić, Jasna and Kempton, Willett.** Using fleets of electric-drive vehicles for grid support. *Journal of power sources*, 168(2):459–468, 2007.
- [36] **Soares, João and Morais, Hugo and Sousa, Tiago and Vale, Zita and Faria, Pedro.** Day-ahead resource scheduling including demand response for electric vehicles. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4(1):596–605, 2013.

- [37] **Sarker, Mushfiqur R and Dvorkin, Yury and Ortega-Vazquez, Miguel A.** Optimal participation of an electric vehicle aggregator in day-ahead energy and reserve markets. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(5):3506–3515, 2015.
- [38] **Bessa, Ricardo Jorge and Matos, MA.** Global against divided optimization for the participation of an ev aggregator in the day-ahead electricity market. part i: Theory. *Electric Power Systems Research*, 95:309–318, 2013.
- [39] **Bessa, Ricardo Jorge and Matos, MA.** Global against divided optimization for the participation of an ev aggregator in the day-ahead electricity market. part ii: Numerical analysis. *Electric power systems research*, 95:319–329, 2013.
- [40] **Vayá, Marina González and Andersson, Göran.** Optimal bidding strategy of a plug-in electric vehicle aggregator in day-ahead electricity markets. In *2013 10th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, pages 1–6. IEEE, 2013.
- [41] **Vayá, Marina González and Andersson, Göran.** Optimal bidding strategy of a plug-in electric vehicle aggregator in day-ahead electricity markets under uncertainty. *IEEE Transactions on Power Systems*, 30(5):2375–2385, 2014.
- [42] **Vandael, Stijn and Claessens, Bert and Ernst, Damien and Holvoet, Tom and Deconinck, Geert.** Reinforcement learning of heuristic ev fleet charging in a day-ahead electricity market. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6(4):1795–1805, 2015.
- [43] **İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** İstanbul ulaşım ana planı hanehalkı araştırması. *İstanbul: İBB*, 2012.
- [44] **İSPARK A.Ş.** İspark otoparklarına ait bilgiler. <https://data.ibb.gov.tr/dataset/ispark-otoparklarına-ait-bilgiler>, 2020. [Online; accessed 10.02.2020].
- [45] **TEDAŞ.** Elektrik tarifeleri. https://www.tedas.gov.tr/tedas/#!tedas_tarifeler, 2020. [Online; accessed 16.03.2020].

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Cem Işık Doğru
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Tarihi ve Yeri : 18/09/1992, Tokat
E-posta : cmdogru@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, İ.D. Bilkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2020, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2013	Dimes	Stajyer
2015	ETİ	Mezuniyet Projesi
2015	Ford OTOSAN	Stajyer

Yıl	Yer	Ödül
2015	Bilkent Endüstri Mühendisliği	3. En Başarılı Proje
	13. Proje Fuarı ve Yarışması	
2019	ICSEIE 2019	En İyi Sunum

YABANCI DİL: İngilizce

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Dogru, C. I., Tekin, S., and Derinkuyu, K., 2019. One-Way Electric Vehicle Carsharing in an Urban Area with Vehicle-To-Grid Option, Proceedings on ICSEIE 2019 : International Conference on Systems Engineering and Industrial Engineering, December 19-20, İstanbul, Turkey.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

