

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MOBİL ENERJİ SAĞLAYICILARIN ELEKTRİKLİ
ARAÇ PARKLANMA BÖLGESİNDE VE DIŞINDA
YÖNETİMİNE DAİR YENİ BİR KONSEPTİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Ali Furkan TETİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Makinaları ve Güç Elektronik Programı

Danışman
Prof. Dr. Ozan ERDİNÇ

Ocak, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MOBİL ENERJİ SAĞLAYICILARIN ELEKTRİKLİ ARAÇ
PARKLANMA BÖLGESİNDE VE DIŞINDA YÖNETİMİNE
DAİR YENİ BİR KONSEPTİN GELİŞTİRİLMESİ**

Ali Furkan TETİK tarafından hazırlanan tez çalışması 17.01.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ozan ERDİNÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ozan ERDİNÇ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Yavuz ATEŞ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi M. Alparslan ZEHİR, Üye
Marmara Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Ozan ERDİNÇ sorumluluğunda tarafımda hazırlanan "MOBİL ENERJİ SAĞLAYICILARIN ELEKTRİKLİ ARAÇ PARKLANMA BÖLGESİNDE VE DIŞINDA YÖNETİMİNE DAİR YENİ BİR KONSEPTİN GELİŞTİRİLMESİ" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ali Furkan TETİK

İmza

Değerli Aileme



TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, elektrikli araçların şarj gereksinimlerinin mobil enerji sağlayıcılar aracılığıyla karşılanması incelenmiş ve bu sürecin optimum maliyetle yönetilebilmesi üzerine odaklanılmıştır.

Bu tez çalışmasında bana rehberlik eden değerli danışmanım Prof. Dr. Ozan ERDİNÇ'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez sürecinde bilgi ve destekleriyle motivasyonumu artıran kıymetli hocam Dr. Tayfur GÖKÇEK'e, çalışmama büyük katkıları bulunan Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Kübra TATAR'a şükranlarımı sunarım.

Bu süreçte birlikte çalışmaktan büyük memnuniyet duyduğum ve yardımlarıyla her zaman yanımda olan değerli meslektaşım Arş. Gör. Hayri Yiğit'e de özel bir teşekkür borçluyum. Son olarak, bana her daim destek olan ve teşvik eden sevgili aileme, akademik ve kişisel gelişimime sağladıkları katkılar için sonsuz teşekkür ederim.

Ali Furkan TETİK

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.1.1 Elektrikli Araç Şarj Planlama ve Optimizasyonu	2
1.1.2 Elektrik Dağıtım Sistemleri ile Entegrasyon ve Şebeke Etkileri	4
1.1.3 Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu ve Hibrit Sistemler	5
1.1.4 Mobil Şarj İstasyonları ve Robotik Şarj Sistemleri	7
1.2 Tezin Amacı	9
1.3 Tezin Katkıları	10
2 ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE ŞARJ İSTASYONLARI	11
2.1 Elektrikli Araçların Tarihi	11
2.2 Elektrikli Araçların Sınıflandırılması	12
2.3 Elektrikli Araç Sektörünün Mevcut Durumu	13
2.3.1 Türkiye’deki Mevcut Durum	13
2.3.2 Elektrikli Araç Sektörünün Büyümesini Destekleyen Faktörler	14
2.4 Elektrikli Araç Şarj İstasyonları	15
2.4.1 Şarj Teknolojisi	15
2.4.2 EA Şarj İstasyonu Altyapısı	15
2.4.3 Dünya’da ve Türkiye’de EA Şarj İstasyonu Durumu	16

3 MOBİL ENERJİ SAĞLAYICILAR İLE OTOPARK OPTİMİZASYONU	18
3.1 Modele Genel Bir Bakış	18
3.2 Matematiksel Model	19
3.2.1 Amaç Fonksiyonu	20
3.2.2 Güç Dengesi Ve Şebeke Kısıtları	20
3.2.3 Elektrikli Araç Denklemleri	20
3.2.4 Mobil Enerji Sağlayıcı Denklemleri	21
3.3 Test Ve Sonuçlar	23
3.3.1 Girdi Verileri	23
3.3.2 Simülasyon Çıktıları	25
4 HARİCİ MOBİL ENERJİ SAĞLAYICILARIN TALEP NOKTALARINA HİZMETİ	30
4.1 Enerji Talep Eden Otoparklara Yönelik Model	30
4.1.1 Matematiksel Model	31
4.1.2 Test Ve Sonuçlar	38
4.2 Dışarı BMES Hizmeti Verilen Model	43
4.2.1 Matematiksel Model	43
4.2.2 Test Ve Sonuçlar	46
5 SONUÇ	51
KAYNAKÇA	53
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	59

SİMGE LİSTESİ

v_{arac}	Araç Hızı [km/h]
d	Bara Kümesi
$y_{t,k,m}$	Başlangıç Binary Değeri
$z_{t,k,m}$	Bitiş Binary Değeri
bkh	Büyük Harici Mobil Enerji Sağlayıcı Kümesi
$Voltage_{DSO}$	Dağıtım Şebeke Operatöründeki Gerilim Genliği
P_{DSO}^{line}	Dağıtım Şebeke Operatöründeki Hat Gücü [kW]
$P_{d,t,k}^{MES,dis}$	d Barasına Bağlanan K MES'inin t Zamanındaki Deşarj Gücü [kW]
$P_{d,t,k}^{MES,ch,tot}$	d Barasına Bağlanan K MES'inin t Zamanındaki Şarj Gücü [kW]
$P_{d,t,m}^{EA,tot}$	d Barasına Bağlanan m Elektrikli Aracının t Periyodundaki Şarj Gücü [kW]
$SoE_{d,bkh}^{BMESH,ini}$	d Barasına Bağlı bkh BMESH'inin Başlangıç Zamanındaki Enerji Durumu [kWh]
$DR_{d,bkh}^{BMESH}$	d Barasına Bağlı bkh BMESH'inin Deşarj Oranı [kW]
$SoE_{d,bkh}^{BMESH,max}$	d Barasına Bağlı bkh BMESH'inin Maksimum Enerji Durumu [kWh]
$P_{d,t,bkh}^{BMESH,dis}$	d Barasına Bağlı bkh BMESH'inin t Zamanındaki Deşarj Gücü [kW]
$SoE_{d,t,bkh}^{BMESH}$	d Barasına Bağlı bkh BMESH'inin t Zamanındaki Enerji Durumu [kWh]
$P_{d,t,bkh}^{BMESH,ch,tot}$	d Barasına Bağlı bkh BMESH'inin t Zamanındaki Toplam Şarj Gücü [kW]
$CR_{d,bkh}^{BMESH}$	d Barasına Bağlı bkh BMESH'inin Şarj Oranı [kW]
$CE_{d,bkh}^{BMESH}$	d Barasına Bağlı bkh BMESH'inin Şarj Verimi
$P_{d,t}^{FV}$	d Barasına Bağlı FV'nin t Zamanında Ürettiği Güç [kW]

$SoE_{d,k}^{MES,min}$	d Barasına Bağlı k MES'inin Asgari Enerji Durumu [kWh]
$SoE_{d,k}^{MES,max}$	d Barasına Bağlı k MES'inin Azami Enerji Durumu [kWh]
$SoE_{d,k}^{MES,ini}$	d Barasına Bağlı k MES'inin Başlangıç Zamanındaki Enerji Durumu [kWh]
$y_{d,t,k,m}$	d Barasına Bağlı k MES'inin m EA'sına Bağlanması Başlangıç Binary Değeri
$z_{d,t,k,m}$	d Barasına Bağlı k MES'inin m EA'sına Bağlanması Bitiş Binary Değeri
$a_{d,t,k,n}$	d Barasına Bağlı k MES'inin Şarj Binary Değeri
$SoE_{d,t,k}^{MES}$	d Barasına Bağlı k MES'inin t Zamanındaki Enerji Durumu [kWh]
$SoE_{d,kh}^{MESH,max}$	d Barasına Bağlı kh MESH'inin Azami Enerji Durumu [kWh]
$SoE_{d,kh}^{MESH,ini}$	d Barasına Bağlı kh MESH'inin Başlangıç Zamanındaki Enerji Durumu [kWh]
$DR_{d,kh}^{MESH}$	d Barasına Bağlı kh MESH'inin Deşarj Oranı [kW]
$SoE_{d,t,kh}^{MESH}$	d Barasına Bağlı kh MESH'inin t Zamanındaki Enerji Durumu [kWh]
$g_{d,t,kh,n}$	d Barasına Bağlı kh MESH'inin Şarj İstasyonuna Bağlanma Binary Değeri
$CR_{d,kh}^{MESH}$	d Barasına Bağlı kh MESH'inin Şarj Oranı [kW]
$CE_{d,kh}^{MESH}$	d Barasına Bağlı kh MESH'inin Şarj Verimi
$P_{d,t,kh}^{MESH,dis}$	d Barasına Bağlı kh MESH'inin t Zamanındaki Deşarj Gücü [kW]
$P_{d,t,kh}^{MESH,ch,tot}$	d Barasına Bağlı kh MESH'inin t Zamanındaki Şarj Gücü [kW]
$SoE_{d,m}^{EA,ini}$	d Barasına Bağlı m Elektrikli Aracının Başlangıç Zamanındaki Enerji Durumu [kWh]
$SoE_{d,m}^{EA,des}$	d Barasına Bağlı m Elektrikli Aracının Çıkış Zamanındaki Enerji Durumu [kWh]
$SoE_{d,t,m}^{EA}$	d Barasına Bağlı m Elektrikli Aracının t Zamanındaki Enerji Durumu [kWh]
$T_{d,m}^a$	d Barasına Bağlı m Elektrikli Aracının Otoparka Geliş Zamanı
$T_{d,m}^d$	d Barasına Bağlı m Elektrikli Aracının Otoparktan Çıkış Zamanı
$P_{d,t,n}^{CS}$	d Barasına Bağlı n Şarj İstasyonunun t Zamanındaki Şarj Gücü [kW]

u_t^{sebeke}	d Barasına Bağlı Şebekeden Aynı Anda Alım Satımı Engelleyen Binary
$P_{d,t,k,m}^{EA}$	d Barasına ve k MES'ine Bağlanan m Elektrikli Aracının t Periyodundaki Şarj Gücü [kW]
$P_{d,t,bkh,n}^{BMESH,ch}$	d Barasına ve n Şarj İstasyonuna Bağlı bkh BMESH'inin t Zamanındaki Şarj Gücü [kW]
$P_{d,t,k,n}^{MES,ch}$	d Barasına ve n Şarj İstasyonuna Bağlanan k MES'inin t Periyodundaki Şarj Gücü [kW]
$P_{d,t,kh,n}^{MESH,ch}$	d Barasına ve n Şarj İstasyonuna Bağlı kh MESH'inin t Zamanındaki Şarj Gücü [kW]
$\lambda_{d,t}^{alis}$	d Barasında t Zamanında Alınan Enerjinin Birim Fiyatı [TL]
$\lambda_{d,t}^{satis}$	d Barasında t Zamanında Satılan Enerjinin Birim Fiyatı [TL]
$P_{d,t}^{alis}$	d Barasının t Zamanında Şebekeden Aldığı Güç [kW]
$P_{d,t}^{satis}$	d Barasının t Periyodundaki Şebekeye Satılan Güç [kW]
$u_{t,k,m}$	EA'nın Şarj Binary Değer
m	Elektrikli Araçlar Kümesi
P_t^{FV}	FV'nin t Zamanındaki Gücü [kW]
kh	Harici Mobil Enerji Sağlayıcı Kümesi
$P_{t,k,n}^{MES,ch}$	k Elektrikli Aracının t Zamanındaki Enerjisi [kWh]
$P_{t,k,m}^{EV}$	K MES'ine Bağlı m Elektrikli Aracının t Zamanındaki Enerjisi [kWh]
$DR_{d,k}^{MES}$	k MES'inin Deşarj Oranı [kW]
DR_k^{MES}	k MES'inin Deşarj Oranı [kW]
$CR_{d,k}^{MES}$	k MES'inin Şarj Oranı [kW]
CR_k^{MES}	k MES'inin Şarj Oranı [kWh]
CE_k^{MES}	k MES'inin Verimi
$CE_{d,k}^{MES}$	k MES'inin Şarj Verimi
$P_{t,k}^{MES,dis}$	k MES'inin t Zamanındaki Deşarj Enerjisi [kWh]
$T_{d,kh}^v$	Kh MESH'nin Talep Noktasına Varış Zaman
$T_{d,kh}^{ch}$	Kh MESH'nin Yolda Geçirdiği Zaman

$Prtbusb_{d,t}^{DSO}$	Kök Baradan t Zamanında Satın Alınan Enerji [kWh]
$Prtslbus_{d,t}^{DSO}$	Kök Baradan t Zamanında Satılan Enerji [kWh]
$CR_{d,m}^{EA}$	m Elektrikli Aracının Şarj Oranı [kW]
CR_m^{EA}	m Elektrikli Aracının Şarj Oranı [kW]
$CE_{d,m}^{EA}$	m Elektrikli Aracının Şarj Verimi
CE_m^{EA}	m Elektrikli Aracının Verimi
$a_{t,k,n}$	MES'in Şarj Binary Değeri
k	Mobil Enerji Sağlayıcı Kümesi
CE_n^{cs}	n Şarj İstasyonunun Şarj Verimi
$P_{t,n}^{CS}$	n Şarj İstasyonunun t Zamanındaki Deşarj Enerjisi [kWh]
CE_n^{cs}	n Şarj İstasyonunun Verimi
o	Otopark Kümesi
ky_o	o otoparkına Giden Aracın km'de Yaktığı Yakıt
T_o^{gidis}	o Otoparkına Gidişte Yola Çıkma Zamanı
$Yol_o^{Maliyeti}$	o Otoparkına Gidişteki Yol Maliyeti [TL]
T_o^{Yol}	o Otoparkına Varışta Yolda Geçen Zaman
x_o	o Otoparkının Ana Otoparka Mesafesi [km]
P_o^{Talepo}	o Otoparkını Toplam Talep Ettiği Güç [kW]
n	Şarj İstasyonu Kümesi
u_t^{sebeke}	Şebekeden Aynı Anda Alım Satımı Engelleyen Binary
tn	Talep Noktası Kümesi
P_t^{alis}	t Zamanında Alınan Güç [kW]
P_t^{satis}	t Zamanında Satılan Güç [kW]
λ_t^{alis}	t Zamanındaki Enerji Alış Fiyatı [TL]
λ_t^{satis}	t Zamanındaki Enerji Satış Fiyatı [TL]
N	Yeterine Büyük Bir Sayı
ΔT	Zaman Çözünürlüğü

KISALTMA LİSTESİ

APB	Ana Parklanma Bölgesi
BEV	Bataryalı Elektrikli Araç (Battery Electric Vehicles)
BMESH	Büyük Mobil Enerji Sağlayıcı Harici
CS	Şarj İstasyonu (Charging Station)
EA	Elektrikli Araç
EAPB	Elektrikli Araç Parklanma Bölgesi
EDS	Elektrik Dağıtım Sistemi
FCEV	Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar (Fuel Cell Vehicle)
FV	Fotovoltaik
HEV	Hibrit Elektrikli Araç (Hybrid Electric Vehicle)
MCR	Mobil Şarj Robotu (Mobile Charging Robot)
MCS	Mobil Şarj istasyonu (Mobile Charging Station)
MES	Mobil Enerji Sağlayıcı
MESH	Mobil Enerji Sağlayıcı Harici
MILP	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
PHEV	Hibrit Elektrikli Araç (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
SoE	Enerji Durumu (State of Energy)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Dünya genelinde elektrik araç satışı [49]	13
Şekil 2.2	Türkiye’de elektrik araç satışı [49]	14
Şekil 2.3	Dünya genelinde elektrikli araç şarj istasyonu sayısı [49]	16
Şekil 2.4	Türkiye’deki elektrikli araç şarj istasyonu sayısı [49]	16
Şekil 3.1	Önerilen sistemin genel şeması	19
Şekil 3.2	EA geliş zamanları	24
Şekil 3.3	EA çıkış zamanları	24
Şekil 3.4	FV güç üretimi	25
Şekil 3.5	Varış ve ayrılış saatlerinde EA’lar için ilk ve istenen SoE	26
Şekil 3.6	EA5 için şarj gücü ve SOE durumu	26
Şekil 3.7	MES2 ve MES4 için SoE durumu	27
Şekil 3.8	MES2 ve MES4 için şarj durumu	27
Şekil 3.9	MES2 ve MES4 için deşarj durumu	28
Şekil 3.10	CS’ler ve sebeke bağlantısı için güç eğrileri	28
Şekil 3.11	Şebekeye satılan güç	29
Şekil 4.1	Önerilen sistemin genel şeması	30
Şekil 4.2	Şebekeden alınan güç	39
Şekil 4.3	Baralar arası güç akışı	40
Şekil 4.4	Baralardaki gerilim genlikleri	40
Şekil 4.5	MESH’lerin SoE durumu	41
Şekil 4.6	MESH’lerin şarj durumu	41
Şekil 4.7	MESH’lerin deşarj durumu	42
Şekil 4.8	CS’lerin güç durumu	42
Şekil 4.9	Şebekeden alınan güçler	48
Şekil 4.10	Baralar arası güç akışı	48
Şekil 4.11	Baralardaki gerilim genlikleri	49
Şekil 4.12	2. ve 4. BMESH’in SoE durumu	49
Şekil 4.13	CS’lerin güç durumu	49
Şekil 4.14	2. ve 4. BMESH’in şarj durumu	50
Şekil 4.15	2. ve 4. BMESH’in deşarj durumu	50

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	Matematiksel modelin indis, parametre ve karar değişkenleri . . .	19
Tablo 3.2	EA verileri [61]	23
Tablo 3.3	MES verileri [62]	25
Tablo 4.1	Matematiksel modelin indis, parametre ve karar değişkenleri . . .	32
Tablo 4.2	MESH verileri [62]	38
Tablo 4.3	Araç verileri [64],[65]	38
Tablo 4.4	Otopark verileri	39
Tablo 4.5	Matematiksel modelin indis, parametre ve karar değişkenleri . . .	44
Tablo 4.6	BMESH verileri [66],[67],[68]	47
Tablo 4.7	Talep noktası verileri	47

Mobil Enerji Sağlayıcıların Elektrikli Araç Parklanma Bölgesinde ve Dışında Yönetimine Dair Yeni Bir Konseptin Geliştirilmesi

Ali Furkan TETİK

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ozan ERDİNÇ

Elektrikli araçların (EA) kullanımının ve sayısının hızla artması, özellikle enerji yönetimi ve altyapı ihtiyaçları açısından çeşitli zorlukları da beraberinde getirmiştir. Bu bağlamda, verimli otopark yönetimi, sürdürülebilir enerji kullanımını teşvik etmek ve enerji maliyetlerini optimize etmek giderek daha kritik bir konu haline gelmektedir. Geleneksel sabit şarj istasyonlarının, sınırlı esneklik ve yüksek altyapı maliyetleri gibi dezavantajları, yeni ve yenilikçi çözümlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu çalışmada, mobil enerji sağlayıcı (MES) kavramı, bu sorunları ele almak için etkili bir alternatif olarak değerlendirilmektedir.

Kamuya açık otoparklar, enerji tüketiminin yoğun olduğu alanlar arasında yer almakta ve bu alanlardaki enerji yönetimi, sürdürülebilirlik hedefleri açısından büyük önem taşımaktadır. Otopark bölgelerinin optimizasyonu uygulamaları, bu bağlamda, enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayarak enerji maliyetlerini düşürmekte ve enerji verimliliğini artırmaktadır. Ayrıca, MES'in taşınabilirlik özelliği, mevcut altyapıya ek bir yük getirmeden farklı lokasyonlarda esnek enerji dağıtımı sağlamasına olanak tanımaktadır. Bu durum, sabit şarj istasyonlarına kıyasla önemli bir avantaj sunmaktadır.

Bu tez kapsamında, fotovoltaik (FV) enerji kaynaklarının MES ile entegrasyonu incelenmiş ve şebeke bağlantısının katkısıyla enerji bağımlılığı ve maliyetleri üzerinde etkiler gözlemlenmiştir. FV kaynaklarının sağladığı yenilenebilir enerji, şebekeden sağlanan enerjiye olan bağımlılığı azaltmakta ve enerji yönetiminde

Çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır.

Enerji maliyetlerini minimize etmek ve otopark yönetimini optimize etmek amacıyla, karma tamsayılı doğrusal programlama (Mixed Integer Linear Programming, MILP) tabanlı bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Model, MES'in enerji dağıtımı ve yönetimindeki performansını değerlendirmek için tasarlanmıştır. Geliştirilen model, hem enerji akışlarını hem de maliyetleri optimize etmekte, aynı zamanda farklı kullanım senaryolarına kolaylıkla uyum sağlamaktadır.

Bu analiz, MES uygulamalarının ekonomik ve operasyonel etkinliğini ortaya koymaktadır. Önerilen ereve, otoparklarda enerji verimliliğini artırmanın yanı sıra, kullanıcı memnuniyetini de st düzeye çıkarma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, pratik uygulamalar yoluyla doğrulan bulgular, bu yenilikçi yaklaşımın geniş ölçekli uygulamalarda da başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Çalışmanın bulguları, hem akademik hem de sektörel alanda önemli bir katkı sunmakta ve gelecekteki çalışmalar için yol gösterici nitelik taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlar, enerji yönetim sistemi, mobil enerji sağlayıcılar, parklanma bölgesi, fotovoltaiik.

ABSTRACT

Development of a New Concept for The Management of Mobile Energy Providers in and Outside Electric Vehicle Parking Lots

Ali Furkan TETİK

Department of Electrical Engineering
Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ozan ERDİNÇ

The rapid increase in the use and number of electric vehicles (EVs) has brought various challenges, particularly in terms of energy management and infrastructure needs. In this context, efficient parking lot management has become an increasingly critical issue to promote sustainable energy usage and optimize energy costs. The limited flexibility and high infrastructure costs associated with traditional fixed charging stations have heightened the need for new and innovative solutions. In this study, the concept of Mobile Energy Suppliers (MES) is evaluated as an effective alternative to address these challenges.

Public parking areas are among the locations with high energy consumption, making energy management in these areas a crucial aspect of sustainability goals. The optimization of parking lot areas enables more efficient use of energy resources, leading to reduced energy costs and improved energy efficiency. Additionally, the portability of MES offers a significant advantage over fixed charging stations by enabling flexible energy distribution at different locations without imposing an additional load on the existing infrastructure.

Within the scope of this thesis, the integration of photovoltaic (PV) energy sources with MES has been examined, and the impact of grid connection on energy dependence and costs has been analyzed. The renewable energy provided by PV sources reduces dependency on grid-supplied energy and contributes to environmental sustainability in energy management. To minimize energy costs

and optimize parking lot management, a Mixed-Integer Linear Programming (MILP)-based optimization model has been developed. The model is designed to evaluate the performance of MES in energy distribution and management. The developed model optimizes both energy flows and costs while ensuring easy adaptability to different usage scenarios.

This analysis highlights the economic and operational efficiency of MES applications. The proposed framework has the potential to enhance energy efficiency in parking lots while also maximizing user satisfaction. Furthermore, the findings validated through practical applications demonstrate that this innovative approach can be successfully implemented in large-scale applications. The results of the study provide significant contributions to both academic research and industrial practices, serving as a guide for future studies in this field.

Keywords: Electric vehicles, energy management system, mobile energy chargers, parking lot, photovoltaic.

1 GİRİŞ

Küresel ısınma ve iklim değışikliğı, tüm dünyada acil çözüm gerektiren sorunlar haline gelmiştir. Bu sorunların temel nedenlerinden biri, fosil yakıtların yoğun olarak kullanılmasıdır. Fosil yakıt kullanımı, atmosfere salınan sera gazı emisyonlarının önemli bir bölümünü oluşturarak karbondioksit (CO_2) seviyelerinin artmasına neden olmaktadır. Bu durum, iklim değışikliğinin hızlanmasına ve çevresel bozulmanın artmasına sebep olmaktadır.

Fosil yakıt kullanımına dayalı çalışan ulaşım sektörü, küresel CO_2 emisyonlarının önemli bir kaynağı olma özelliğı taşımaktadır. Bu sektör, toplam enerji tüketiminin yaklaşık 30%'unu oluşturarak çevresel süreçleri olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak, bu olumsuz etkileri azaltmaya yönelik çalışmalarda önemli ilerlemeler kaydedilmektedir. Özellikle elektrikli araçlara (EA) geçiş süreci, çevresel etkilerin iyileştirilmesi için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Elektrikli araçların yeni araç satışlarındaki payı 2020 yılında 5%'in altında iken, 2022 yılında bu oran 14%'e yükselmiştir. Bu artış, elektrikli araçlara yönelik artan ilginin ve sektördeki teknolojik gelişmelerin çarpıcı bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir [1],[2].

Elektrikli araç kullanımındaki bu hızlı artış, hem çevresel kaygıların hem de teknolojik yeniliklerin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. İklim değışikliğine yönelik politikalar, karbon emisyonlarını azaltmayı hedeflerken, elektrikli araçlara yönelik destek programları da çeşitli ülkelerde yaygınlaşmıştır. Bunun bir sonucu olarak, elektrikli araç pazarının büyümeye devam ettiğı gözlemlenmektedir. Ancak, bu büyümeyle birlikte, elektrikli araçların şarj altyapısına olan talepte de çarpıcı bir artış meydana gelmektedir. 2021 yılında, dünyada yaklaşık 500.000 yeni şarj istasyonu kurulmuş olup, bu rakam 2017 yılında kamuya açık şarj cihazlarının toplam sayısını aşmıştır [3]. Bu artış, şarj altyapısının elektrikli araç kullanıcılarının artan taleplerini karşılamak için nasıl geliştirildiğini göstermektedir.

Bununla birlikte, şarj altyapısının yaygınlaştırılmasına rağmen, sabit şarj istasyonlarının kısıtlı bulunduğu veya hiç bulunmadığı alanlarda menzil kaygısı

elektrikli araç kullanıcıları için önemli bir sorun olmaya devam etmektedir. Bu sorun, sürücülerin belirli bir menzile ulaştıktan sonra enerji yetersizliği yaşama kaygısıyla planlarını değiştirme zorunluluğuyla karşılaşmasını ifade etmektedir. Bu sorunu çözmek amacıyla, sabit şarj istasyonlarına ek olarak mobil şarj istasyonları geliştirilmiştir. Mobil şarj istasyonları, sabit altyapı gereksinimini azaltarak, belirli bir bölgeye enerji desteği sağlayan taşınabilir şarj üniteleridir. Bu istasyonlar, elektrikli araç sürücülerine daha esnek bir şarj deneyimi sunarak menzil kaygısını azaltma potansiyeline sahiptir.

1.1 Literatür Özeti

Son yıllarda, elektrikli araç parklanma bölgelerinin (EAPB) yönetimine ilişkin akademik araştırmaların sayısında belirgin bir artış yaşanmıştır. Bu bölümde, mevcut çalışma ile ilişkili literatür kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiş ve bu çalışmaların konuya olan katkıları detaylı bir biçimde analiz edilmiştir.

1.1.1 Elektrikli Araç Şarj Planlama ve Optimizasyonu

Bu gruptaki makaleler, elektrikli araç şarj işlemlerinin planlanması, zamanlanması ve optimizasyonu ile ilgilidir.

Şengör ve ark. [4], EA park yerlerinde talep tarafı yönetimini (demand response, DR) optimize etmek için doğrusal programlama tabanlı bir enerji yönetim modeli sunmaktadır. Bu model, EA park yerlerinin yük faktörünü maksimize ederken, tepe yük sınırlaması ve operasyonel esneklik sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışma, önerilen algoritmanın etkinliğini doğrulayan vaka analizleri ile desteklenmiştir. Mehadi ve ark. [5], Harry Reid Uluslararası Havaalanı otoparkında EA şarj planlamasını incelemektedir. Karışık tam sayılı doğrusal programlama (Mixed Integer Linear Programming, MILP) ve Pekiştirmeli Öğrenme algoritmalarının etkinliği, güç tahsisi verimliliği, araçlardaki şarj durumu (State of Charge, SOC) ve şarj istasyonunun gelir üretimi gibi üç önemli alanda değerlendirilmiştir. MILP algoritması, doğruluk ve optimizasyon açısından güçlü iken, pekiştirmeli öğrenme algoritması daha uyarlanabilir ve ölçeklenebilir bir çözüm sunmaktadır. Çalışma, bu iki yöntemin şebeke kısıtlamaları altında nasıl bir sinerji yaratabileceğine odaklanmaktadır. Sonuç olarak, MILP'nin yüksek müşteri memnuniyeti ve gelir sağladığı, ancak pekiştirmeli öğrenmenin daha esnek çözümler sunduğu vurgulanmaktadır. Son yıllarda elektrikli araç sayısının artışı, şarj işlemlerinin şebekeye entegrasyonunu ve aşırı yüklenmeyi engellemeyi zorlaştırmaktadır. Bodenschatz ve ark. [6], elektrikli araç filolarının

şarj zamanlamasını optimize etmek amacıyla MILP modeli öneriyor. Elektrikli araç sayısındaki artışla birlikte, şarj işlemleri şebekeye entegre edilerek aşırı yüklemeyi önlemeyi hedefleyen çalışmaların önemi artmıştır. Çeşitli çözüm yaklaşımları, şarj zamanlaması için farklı matematiksel modeller kullanmakta ve bu da her modelin yalnızca belirli kullanım durumlarına uygun olmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, farklı parametrelerle uyumlu, genel bir şarj zamanlama modeli sunulmuş ve elektrikli filolar için teknik sınırlamaları göz önünde bulunduran bir MILP modeli geliştirilmiştir. Zhang ve ark. [7], ticari alanlardaki park yerlerinde EA'ların gündüz şarjını optimize etmek için iki aşamalı yaklaşık dinamik programlama çerçevesi önermektedir. Model, poisson süreciyle araç geliş davranışlarını simüle ederek, araçların belirtilen kalkış zamanından önce tamamen şarj edilmesini sağlamayı hedeflemektedir. Simülasyon sonuçları, önerilen yöntemle enerji maliyetlerinin önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermektedir. Akıl ve ark. [8], EA'ların sokak şarj noktalarında şarj edilmesi sırasında şebeke üzerindeki baskıyı azaltmak için akıllı koordinasyon yaklaşımı önermektedir. Bu yaklaşımda, EA şarj gücü, şarj noktası ile EA'nın maksimum güç oranı arasında sınırlandırılmakta ve doğrusal programlama ile şarj zamanlaması optimizasyonu yapılmaktadır. Sonuçlar, şarj maliyetlerini düşürerek şebeke sınırları içinde şarj gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Brooks ve ark. [9], çoklu otoparklardaki EA şarj planlaması için meta-sezgisel algoritmalara dayalı merkezi bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Bu model, paralel merkezi optimizasyon ve sıralı sürümler arasında karşılaştırma yaparak, daha düşük maliyetli ve daha hızlı çözümler sunduğunu göstermektedir. Yüksek performanslı hesaplama kullanarak, optimizasyonun gerçek zamanlı yapılabilirliğini artırmışlardır. Mohammadi ve ark. [10], elektrikli araç otoparklarının konum ve boyutlandırılması için stokastik bir çerçeve geliştirmiştir. Bu model, güç dağıtım sistemindeki kayıpları azaltmak ve ağ güvenilirliğini artırmak için elektrikli araç otoparklarının şarj profillerini optimize etmektedir. Çekirdek yoğunluk tahmincisi kullanılarak, zamansal belirsizlikler modellenmiş ve modelin etkinliği senaryo analizleri ile kanıtlanmıştır. Zhou ve ark. [11], elektrikli araç şarj istasyonlarındaki şarj yığınlarını optimize etmek için MILP tabanlı bir çizelgeleme optimizasyon yöntemi önermektedir. Bu yöntem, EA kullanıcılarının şarj bekleme sürelerini azaltırken, şarj yığınlarının kullanım oranını artırmayı amaçlamaktadır. Doğrusal olmayan kısıtlar, MILP yöntemiyle doğrusal hale getirilerek, optimizasyon çözümü elde edilmiştir. Sonuçlar, yöntemin etkinliğini ve fizibilitesini doğrulamaktadır.

1.1.2 Elektrik Dağıtım Sistemleri ile Entegrasyon ve Şebeke Etkileri

Bu gruptaki makaleler, EA şarjının elektrik dağıtım şebekesiyle entegrasyonu ve şebekeye etkileri üzerine odaklanır.

Francon ve ark.[12], elektrikli araç şarj koordinasyonu (EAŞK) probleminin çözümüne dair önemli bir yenilik sunmaktadır. Bu model, dengesiz elektrik dağıtım sistemlerinde (EDS) üç fazlı bir temsil kullanarak, dengesizlikleri doğru bir şekilde hesaba katmaktadır. Çalışmada, doğrusal olmayan karma tamsayılı bir model (Mixed Integer Nonlinear Programming, MINLP), MILP dönüştürülerek, ticari çözücülerle daha verimli çözümler elde edilmiştir. Ayrıca, kullanıcı önceliklendirme şemasıyla, kullanıcıların batarya şarj süreleri ve maliyetleri arasındaki dengeyi yönetmesine olanak tanınmıştır. Sonuçlar, önerilen yöntemin EDS'lerdeki EAŞK probleminin çözümü için etkin ve uygulanabilir bir yöntem olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bu çalışmanın bulguları, elektrikli araç şarjının koordinasyonu alanında yapılan diğer çalışmalara önemli katkılar sunmaktadır. Bir diğer çalışmada[13], akıllı ticari otopark alanlarının (ATOA) planlamasında, EA kullanıcılarının ilgisini artırırken ATOA sahiplerinin kârını artırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, şarj/boşaltma programları ve dağıtım şebekesindeki dengesizlik göstergelerinin etkisi de hesaplanarak, EA kullanıcılarının kârının 23% arttığı bulunmuştur. Sonuç olarak, ağ dengesizliği, ATOA'yı aktif ticari yüklerle bağlamadan 30% oranında iyileştirilebileceği tespit edilmiştir. Ahrabi ve ark.[14], EAPB ve DR programlarının güç şebekelerine entegrasyonunu inceleyerek, yenilenebilir enerji kaynaklarının artan belirsizliklerini yönetmeye yönelik bir hibrit bilgi boşluğu karar teorisi ve stokastik yöntem öneriyor. Model, EA sahiplerinin davranışsal belirsizliğini ve rüzgar enerjisinin belirsizliğini dikkate alarak, enerji tüketimini yönetmek ve işletme maliyetlerini azaltmak için esnek kaynakların rolünü değerlendiriyor. Arif ve ark. [15], dengesiz dağıtım sistemlerinde batarya enerji depolama sistemlerinin optimal tahsisini ele almakta ve konut fotovoltaik sistemleri ile elektrikli araç şarjının yüksek penetrasyonunun olumsuz etkilerini hafifletmek amacıyla bir MILP modeli önermektedir. Model, EA şarjı, yük talebi ve FV üretiminin belirsizliklerini dikkate almak için güçlü bir senaryo tabanlı yöntem kullanarak, dağıtım sistemindeki faz dengesizliğini ve aşırı yüklenmeyi yönetmeyi hedeflemektedir. Şengör ve ark. [16], elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım sistemlerine optimal yerleştirilmesi ve boyutlandırılması için bir MILP modeli önermektedir. Modelde, Türkiye'deki Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş. tarafından yönetilen bir bölgedeki güç akışının kayıpları doğrusal yaklaşım dikkate alınarak test edilmiştir. Ayrıca, şebeke sınırlamaları, trafolar ve iletim kapasitesi gibi güç akışı kısıtlamaları da göz önünde bulundurulmuştur, modelin etkinliği ise

gerçek verilerle yapılan simülasyonlarla gösterilmiştir. Sabillon ve ark. [17], araçtan şebekeye güç aktarımı teknolojisini dikkate alarak dengesiz elektrik dağıtım sistemlerinde elektrikli araçların optimal şarj koordinasyonunu sağlamak için bir MILP formülasyonu önermektedir. Geliştirilen model, EA'ların geliş saatleri, şarj durumları ve V2G teknolojisiyle donatılmış araçların enerji katkılarını dikkate alarak optimal şarj programını tanımlar. Franco ve ark. [18], elektrikli araçların şarj koordinasyonunu optimize etmek için MILP modeli önerilmektedir. Model, şarj sürelerini ve önceliklerini dikkate alarak enerji maliyetlerini minimize eden bir şarj programı tanımlar ve dağıtım sistemi ile EA batarya şarjını kararlı bir şekilde temsil eder. Sonuçlar, önerilen modelin EA şarj problemlerine etkili bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Mejia ve ark. [19], aktif dağıtım ağları ve kamu hizmeti dışı elektrikli araç şarj istasyonlarının planlaması için MILP formülasyonu önermektedir. Model, her iki sahibin ekonomik çıkarlarını dengeleyerek, ağ yatırımları ve elektrikli araç şarj istasyonlarının altyapı kararlarını optimize etmeyi amaçlamakta ve senaryo tabanlı optimizasyonla belirsizlikleri ele almaktadır. Sonuçlar, elektrikli araç şarj istasyonlarının konumunun her iki sahibin çıkarları üzerindeki etkisini vurgularken, önerilen modelin 69 düğümlü bir ağda etkinliğini kanıtlamaktadır.

1.1.3 Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu ve Hibrit Sistemler

Bu gruptaki makaleler, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrikli araç şarj sistemlerine entegrasyonunu ele almaktadır.

Gönül ve ark.[20], elektrikli araç şarj istasyonları için şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin çoklu hedefli optimal boyutlandırılmasını incelemiştir. Çalışmada, Dominant Olmayan Sıralama Genetik Algoritması (NSGA-II) kullanılarak boyutlandırma problemi çözülmüş ve sonuçlar Teknik Tercih Sıralaması ile değerlendirilmiştir. Mathur ve ark. [21], elektrikli araçların şarj zamanlamasını optimize etmek için güneş enerjisi desteğiyle bir "park alanı yönetim sistemi" algoritması önermektedir. Algoritma, ağdan alınan güç çekişini zirve saatlerde azaltarak, park alanı sahibinin kârını artırmayı hedeflemektedir. Simülasyon sonuçları, koordine edilmiş şarj zamanlamasının, koordine edilmemiş zamana göre daha yüksek tasarruf sağladığını ve böylece kâr artışı sağladığını göstermektedir. Karmaker ve ark. [22], hibrit güneş ve biyogaz kaynaklarına dayalı bir elektrikli araç şarj istasyonu için enerji yönetimini optimize eden bir algoritma geliştirmektedir. MATLAB SIMULINK ortamında bulanık mantık çıkarım sistemi kullanılarak, enerji üretimi, şarj talepleri, süreleri ve mevcut tarifeler gerçek zamanlı olarak yönetilmektedir. Çalışma, önerilen algoritmanın enerji maliyetlerini 74,67% oranında azaltabildiğini, hafta içi ve hafta

sonu için daha düşük şarj maliyetleri sunduğunu ve sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde düşürdüğünü ortaya koymaktadır. Ayrıca, şarj istasyonu sahipleri için kısa geri ödeme süreleriyle birlikte ekonomik olarak kârlı bir model sunulmaktadır. Chen ve ark. [23], elektrikli araçların şarj planlamasını optimize etmek için elitizmle geliştirilmiş bir tavlama algoritması önermektedir. Elektrikli araç şarj planlamasının, kombinatorial optimizasyon problemleri kategorisinde yer alması nedeniyle geleneksel zeki kontrol algoritmalarının sıklıkla uygulanabilir olmayan çözümler ürettiği belirtilmiştir. Önerilen yöntem, fotovoltaiik sistemlerin ve depolama pillerinin entegrasyonu ile şarj taleplerini karşılamayı hedeflerken, şarj maliyetlerini zaman dilimine bağlı fiyatlandırma yapısıyla en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, fotovoltaiik sistemlerin dahil edilmesiyle şebeke üzerindeki yükün azaltılmasının ve yenilenebilir enerji kullanımının artırılmasının, ekonomik ve çevresel faydalar sunduğu vurgulanmıştır. Rajkumar ve ark. [24], yenilenebilir enerji kaynaklarıyla desteklenen dağıtım sistemlerinde elektrikli araçlar için çift yönlü bir otopark modeli önermektedir. Model, otoparklar ile elektrik şebekesi arasındaki koordinasyonu sağlayan bir üst seviye ile EA şarj sistemini yöneten bir alt seviyeden oluşmaktadır. Güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu hedefleyen bu yaklaşım, şarj sürecinde çevresel sürdürülebilirliği artırmayı ve fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmayı amaçlamaktadır. Önerilen model, yenilenebilir enerji kullanımını optimize ederken, EA'ların kullanıcılar için uygun bir şekilde şarj edilmesini sağlamaktadır. Çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının EA şarj altyapısına entegrasyonunun önemine dikkat çekmekte ve ulaşım sektörünün karbon ayak izini azaltma potansiyelini ortaya koymaktadır. Zenhom ve ark. [25], fotovoltaiik enerji sistemleriyle desteklenen bir otoparkta elektrikli araçların şarj ve deşarj süreçlerini optimize etmek amacıyla yeni bir stokastik yaklaşım önermiştir. Önerilen model, EA'ların enerji ihtiyaçlarını karşılarken otoparkın işletme maliyetlerini en aza indirmeyi hedeflemektedir. Şarj süreçleri, şebekeden araca ve araçtan şebekeye modları ile geleneksel şarj moduna göre karşılaştırmıştır. Çalışmada, EA'lar ve FV üretimi ile ilgili belirsizlikler Monte Carlo Simülasyonu kullanılarak ele alınmış ve örnek ortalama yaklaşımı yöntemiyle stokastik optimizasyon uygulanmıştır. Simülasyon sonuçları, önerilen yaklaşımın hafta içi günlerde işletme maliyetlerinde 24%'e varan bir azalma sağladığını ve enerji yönetimi için etkili bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Salari ve ark. [26], mikro şebekelerde elektrikli araç şarj planlaması için, esnek kaynaklar (rüzgar türbini, fotovoltaiik) kullanarak bir karışık tam sayılı doğrusal olmayan çok amaçlı optimizasyon modeli önermektedir. Model, elektrikli araç agregatörlerinin kısıtlamalarını ve operasyonel hedefleri dikkate alarak, güç kaybını ve maliyetleri minimize etmeyi amaçlamaktadır. Önerilen çözüm metodolojisi, sayısal sonuçlarla birlikte işletme maliyetlerini

ve güç kayıplarını önemli ölçüde azaltırken, çözüm süresini 95% oranında iyileştirmiştir. Asaad ve ark. [27], kontrol edilebilir şarj ve hibrit yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak EA şarj istasyonlarının ve yenilenebilir enerji kaynaklarının mikro şebekelerdeki optimizasyonunu önermektedir. Önerilen planlama yaklaşımı, güç kalitesini iyileştirirken, gerilim saptmasını, sağlanamayan enerjiyi ve toplam maliyeti sırasıyla 26,03%, 49,57% ve 70,45% oranında azaltmaktadır.

1.1.4 Mobil Şarj İstasyonları ve Robotik Şarj Sistemleri

Bu grup, mobil şarj istasyonları (Mobile Charging Station, MCS) ve otonom robot benzeri şarj sistemleriyle ilgili çalışmaları içerir.

İlgili çalışma [28], halka açık otoparklarda EA'ların şarj gereksinimlerini karşılamak için otonom robot benzeri mobil şarj cihazlarının kullanımını önermektedir. Geleneksel olarak, her park alanına şarj noktası kurmak, artan EA talebini karşılamak için pahalı bir yöntemdir. Alternatif olarak, bu çalışmada, EA'ların şarj edilmesi için farklı park alanlarını ziyaret edebilen mobil şarj cihazlarının kullanılması önerilmektedir. Bir Markov zinciri modeli geliştirilerek, mobil şarj cihazının paylaşılan bir otoparkta nasıl çalıştığı, EA'ların ve EA olmayan araçların rastgele geliş ve gidişlerine bağlı olarak incelenmiştir. Model, mobil şarj cihazının sistem verimliliği, şarj gecikmesi ve engelleme olasılığı gibi performans göstergeleri açısından değerlendirilmiştir. Yapılan simülasyonlarla, mobil şarj cihazının verimliliğinin, şarj gücü ve park alanının büyüklüğüne bağlı olarak değiştiği doğrulanmıştır. Ayrıca, sistem planlama kriteri olarak, EA geliş oranının, maksimum şarj cihazı verimliliğini aşmaması gerektiği bulunmuştur. Salehizadeh ve ark. [29], Batarya Elektrikli Araçların (Battery Electric Vehicles, BEV) uzun şarj süreleri ve fazla kalış etkisi ile ilgili sorunları çözmek için bir elektrikli şarj istasyonu modeli önermektedir. Model, Fotovoltaik paneller, elektrolizör, hidrojen depolama sistemleri ve MCS ile entegre edilmiş Hidrojen Doldurma İstasyonları kullanarak, şarj istasyonlarındaki tıkanıklığı hafifletmeyi amaçlamaktadır. Stratejik MCS yerleşimi ve yenilenebilir enerji kullanımı, yakıt hücreli elektrikli araçlar (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) için sürekli hidrojen tedarikini sağlarken, aşırı kalma etkisini azaltmaktadır. Karşılaştırmalı analiz, önerilen modelin sağladığı somut faydaları göstermektedir. Ding ve ark. [30], EA için şarj hizmeti sağlayıcılarının fiyatlandırma stratejilerini tüketici perspektifinden incelemektedir. Tüketicilerin zaman ve seyahat maliyetlerini analiz eden bir fayda modeli geliştirilmiş ve sabit şarj, mobil şarj araçları ve mobil şarj robotları gibi üç şarj teknolojisinin rekabeti oyun teorisi ile modellenmiştir. Sonuçlar, mobil şarj robotlarının rekabeti artırıp geleneksel şarj hizmetlerinin fiyatlarını düşürdüğünü, ayrıca tüketicilerin zaman maliyetinin mobil şarj araçları üzerinde olumlu etkisi

olduğunu göstermektedir. Erüst ve ark. [31], elektrikli araçların şarj taleplerini karşılamak için MCS için yeni bir derin pekiştirmeli öğrenme tabanlı navigasyon tekniği öneriyor. Model, MCS'nin seyahat ve zaman maliyetlerini minimize etmek için enerji ve zaman farkındalığına sahip bir Markov Karar Süreci formülasyonu kullanıyor ve Proksimal Politika Optimizasyonu algoritması ile eğitiliyor. Sayısal sonuçlar, MCS ajanının ağ üzerindeki optimal rota ve pil kullanımını başarıyla sağladığını göstermektedir. Li ve ark. [32], MCS'nin ekonomik verimliliğini artırmak için yeni bir çerçeve öneriyor. Kullanıcı taleplerini karşılamak için kullanıcı kümelenme, geçici şarj yerleri belirleme, MCS sevk etme ve şarj planlamayı içeren bir MILP modeli geliştirilmiştir. Ancak, modelin çözüm süresi büyük ölçekli durumlarda verimsiz hale geldiğinden, çözüm için genetik algoritma önerilmiştir. Beyazıt ve ark. [33], sabit şarj istasyonlarının yükünü azaltmak amacıyla MCS'ler kullanarak, EA kullanıcıları ve sistem operatörü (SO) açısından optimal işletim için yeni bir enerji yönetim stratejisi öneriyor. Önerilen optimizasyon algoritması, MCS'lerin toplam işletme maliyetini minimize ederken, batarya bozulma maliyetlerini de göz önünde bulunduruyor. Bir diğer çalışmada [34], elektrikli araçların şarj altyapısını iyileştirmek için mobil şarj robotları (Mobile Charging Robot, MCR) temelli üç seviyeli bir optimizasyon ve kontrol çerçevesi önerilmektedir. İlk seviyede, MCR'lerin işletme dağıtım zamanlaması enerji şebekelerinin gerilim güvenliğini gözeterek optimize edilmektedir. İkinci seviyede, yeni bir çözüm algoritması ile MCR operatörleri için şarj kararı alınmakta, hesaplama süresi ve doğruluk dengelenmektedir. Üçüncü seviyede ise, MCR'ler arasında iş birliği sağlanarak EA'lar için şarj hizmeti sunulmakta ve simülasyon sonuçları, önerilen yöntemin etkinliğini doğrulamaktadır. Kong [35], kamusal otoparklarda elektrikli araçların şarj sorunlarını çözmek için otonom mobil şarj cihazlarının kullanımını öneriyor. Bu cihazlar, enerji depolama sistemleriyle donatılmış olup, şarj ihtiyacını park etme ihtiyacından ayırır. Makale, enerji depolama ömrünü uzatmak amacıyla, şarj talebine bağlı olarak şarj oranı ve deşarj derinliğini dinamik olarak ayarlayan talep bağımlı mobil şarj cihazı yapılandırması yöntemini sunuyor. Beyazıt ve ark. [36], EA'ların artan talebine yanıt olarak, MCS'nin hizmet kalitesini optimize etmeyi amaçlayan bir gerçek zamanlı enerji tahsis modeli sunmaktadır. Model, EA kullanıcıları arasında adalet sağlamak için geliştirilmiş ve farklı şarj talepleri ile yol trafiği yoğunluğu durumlarına göre vaka analizleri yapılmıştır. Çalışma, Sioux Falls ulaşım ağı ve gerçek EA park yeri verilerini kullanarak, önerilen stratejinin trafik sıklığı ve yüksek enerji talebi dönemlerinde etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca, algoritmanın büyük ölçekli rezervasyon taleplerine dayalı karar verme yeteneği de değerlendirilmiştir. Afshar ve ark. [37], sabit şarj istasyonları (Still Charging Station, FCS) ve mobil şarj istasyonları entegre bir sistemle EA'ların şarjını optimize etmek için bir

çerçeve geliştirmektedir. FCS'lerin sınırlı sayıda uygun lokasyona sahip olduğu ve şarj sürelerinin uzun olduğu göz önünde bulundurularak, MCS'ler bu eksiklikleri giderebilecek bir çözüm olarak önerilmektedir. Makalede, EA sürücülerinin seyahat rotası ve zaman değeri dikkate alınarak, optimal şarj teknolojisi ve konumunun belirlenmesi için bir model geliştirilmiştir ve bu model Chattanooga, TN, ABD'de test edilmiştir. Sonuçlar, MCS'lerin birçok EA kullanıcısı için en verimli şarj yöntemi olduğunu ve aynı zamanda enerji şebekesinin pik saatlerdeki yükünü azalttığını göstermektedir. Afshar ve ark. [38], mobil şarj istasyonları ve FCS entegrasyonu ile elektrikli araç şarj yönetimini optimize etmek için bir çerçeve sunmuştur. Model, EA kullanıcılarının seyahat rotasını ve toplam şarj süresi ile maliyeti minimize etmek için en iyi şarj istasyonu türünü ve konumunu seçmektedir. Chattanooga'da uygulanan modelin, MCS'nin zirve saatlerde elektrik şebekesi üzerindeki stresi hafiflettiği ve şarj yönetimini iyileştirdiği bulunmuştur. Aktar ve ark. [39], mobil şarj istasyonlarının etkin dağıtımı için karma tamsayılı doğrusal programlama tabanlı bir optimizasyon algoritması önermektedir. MCS kullanımı, şarj istasyonlarında hizmet alamayan EA sayısını azaltırken, dinamik fiyatlandırma mekanizmaları ile ekonomik faydalar sağlamaktadır. Sonuçlar, MCS kullanımının operasyonel verimliliği 64.3% oranında artırdığını göstermektedir. Beyazıt ve ark [40], mobil şarj istasyonları için adalet odaklı bir enerji tahsis modeli önermektedir. Bu model, orantılı ve kısıtlı ödül kuralları ile karşılaştırıldığında, EA kullanıcıları arasında daha yüksek hizmet kalitesi ve adalet indeksi sağlamaktadır. Sonuçlar, önerilen algoritmanın klasik yöntemlere göre 6.83% ile 35.74% arasında daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Zhang ve ark. [41], MCR ve aktif dağıtım ağları ile koordineli şarj planlaması öneren bir model geliştirmiştir. Bu modelde, MCR operatörlerinin gelirlerini maksimize etmek için oyun teorisi ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak gerilim iyileştirme algoritmaları uygulanmaktadır. Simülasyonlar, modelin etkinliğini doğrulayan olumlu sonuçlar sunmuştur. Nazari ve ark. [42], Los Angeles'taki elektrikli araçlar için sosyal eşitlik erişimini ve mobil şarj istasyonları kullanımını araştıran bir çalışma sunmaktadır. Bu çalışmada, EA'ların şarj taleplerinin yönetimi için bir talep önceliklendirme fonksiyon modeli önerilmektedir. Model, sosyal eşitlik erişimi ile MCS'lerin konumlarını optimize ederek, EA kullanıcıları arasında eşit erişim sağlamayı amaçlamaktadır. Sonuçlar, EA'ların şarj taleplerinin karşılanmasını ve sosyal eşitlik sağlanmasını başarmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, elektrikli araçların enerji ihtiyacını karşılamak için yeni bir sistem önerilmektedir. Bu sistemde, otoparkta bulunan şebeke ve FV ile desteklenen sabit

şarj istasyonlarından enerji alan robot tabanlı Mobil Enerji Sağlayıcılar (MES) kullanılır. Bu çalışma, MES'lerin hareketinin nasıl yönetileceğini ve şebeke ile şarj istasyonları arasındaki enerji akışının nasıl düzenleneceğini birlikte ele alan bir çalışmadır.

1.3 Tezin Katkıları

Bu tez, literatürdeki mevcut çalışmalardan farklı olarak, MES hareketliliğinin yönetimi ile şebeke-otopark ve sabit şarj istasyonları-MES'ler arasındaki enerji akışının eş zamanlı olarak ele alındığı ilk araştırma niteliğini taşımaktadır. Bu kapsamda, MES'lerin dinamik hareket stratejileri ve enerji alışveriş süreçleri bütünlük bir şekilde incelenmiş, bu alandaki literatüre yenilikçi bir katkı sunulmuştur. Elde edilen bulgular, elektrikli araç şarj altyapısının verimliliğini artırmanın yanı sıra, enerji yönetimi ve mobilite koordinasyonu alanlarında yeni yaklaşımlar geliştirilmesine de olanak sağlamaktadır.

2 ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE ŞARJ İSTASYONLARI

Ulaşım sektörü, çevreyi koruma ve yeni teknolojilerin kullanımı açısından önemli bir değişim sürecine girmiştir. EA'lar, fosil yakıt bağımlılığını azaltma ve çevresel etkileri minimize etme konusunda önemli bir çözüm sunmaktadır. Karbonsuz ulaşım sağlamaları, sera gazı emisyonlarını düşürme potansiyelleri ile dikkat çekerken, içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha düşük enerji tüketimi ve daha az hava kirliliği üretme kapasitesine sahiptir. Elektrikli araçlar, çevresel etkileri azaltmanın yanı sıra, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu gibi teknolojik alanlarda da fırsatlar sunmaktadır. Bu araçların yaygınlaşması, karbon salınımını düşürürken, aynı zamanda enerji şebekelerinde daha verimli güç dağılımı ve yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmektedir. Bu gelişmeler, sürdürülebilir ulaşım çözümleri için önemli adımlar atılmasını sağlayarak, ulaşım sektörünün geleceğinde çevre dostu ve yenilikçi çözümler olarak öne çıkmaktadır.

2.1 Elektrikli Araçların Tarihi

Elektrikli tahrik teknolojisinin temelleri, içten yanmalı motorlardan önce atılmıştır. Bu teknoloji, ilk olarak 19. yüzyılın başlarında İskoçyalı mucit Robert Anderson ve Amerikalı mucit Thomas Davenport tarafından geliştirilmiş, buharlı ve at çekişli taşımacılık yöntemlerine alternatif olarak elektrikli araçlarla çeşitli deneyler yapılmıştır. Özellikle Davenport'un çalışmaları, elektrikli araçların gelişimi açısından önemli bir dönüm noktası teşkil etmiş ve bu alandaki ilerlemelere önemli katkılar sağlamıştır. İlk elektrikli araçlar, basit elektromanyetik motorlar ve kurşun-asit pillerle çalışmakta olup, modern motorlarla karşılaştırıldığında verimlilik açısından düşüktü; ancak bu araçlar, gelecekteki teknolojik gelişmeler için önemli bir zemin oluşturmuştur. Erken dönemde kullanılan bataryalar, sınırlı enerji yoğunluğu ve büyük boyutlarıyla çeşitli zorluklar yaratmış, ancak yine

de elektrikli araçlar için gerekli güç kaynağını sağlamıştır. Araç tasarımları, başlangıçta basit ve hafif yapılarla şekillenmişken, şarj altyapısı oldukça sınırlıydı ve bu durum, elektrikli araçların benimsenmesini zorlaştırmıştır. 1835 yılında Davenport, elektrikli motor ve batarya ile çalışan ilk küçük lokomotifini inşa ederek elektrikli tahrikin araç gücü sağlama potansiyelini ortaya koymuştur. 19. yüzyıl boyunca elektrikli araçlar, özellikle gürültü ve hava kirliliği sorunlarıyla mücadele eden şehirlerde, sessiz ve sıfır emisyonlu çalışmaları sayesinde ilgi görmüştür. Ancak, sınırlı menzil, uzun şarj süreleri, yüksek maliyetler ve altyapı eksiklikleri gibi engellerle karşılaşmışlardır. Tüm bu zorluklara rağmen, erken dönemde gerçekleştirilen bu gelişmeler, modern elektrikli araç endüstrisinin temellerini atmış ve sürdürülebilir ulaşımın geleceği açısından önemli bir adım olmuştur [43].

1900'lerin başlarından itibaren elektrikli araçlar, şehir içi taşımacılıkta sessizlik ve düşük bakım gereksinimleri nedeniyle tercih edilmiştir. Ancak, 1910'lar ve 1920'lerde içten yanmalı motorların popüleritesinin artmasıyla elektrikli araçlar geri planda kalmıştır. 1970'lerdeki petrol krizi ve artan çevre bilinci, elektrikli araçlara olan ilgiyi yeniden canlandırmış, bu dönemde elektrikli araçlar daha çevre dostu alternatifler olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. 1990'larda Temiz Hava Yasası ve Enerji Politikası Kanunu'nun yürürlüğe girmesi, elektrikli araçların gelişimini teşvik eden önemli düzenlemeler arasında yer almıştır [44].

2000'li yıllardan itibaren gelişmiş batarya teknolojileri, artan menzil ve düşen üretim maliyetleri sayesinde elektrikli araçlar hızla yaygınlaşmıştır. Modern elektrikli araçlar, otonom sürüş ve akıllı şehir teknolojileri ile entegre edilerek, geleceğin taşımacılık sistemlerinde merkezi bir rol oynamayı hedeflemektedir. 2024 yılı itibarıyla elektrikli araçlar, karbon emisyonlarını azaltma ve hava kirliliği ile mücadelede kritik bir rol üstlenmiştir. Bu araçlar, fosil yakıtlara kıyasla çok daha çevre dostu ve sürdürülebilir alternatifler sunmaktadır [45].

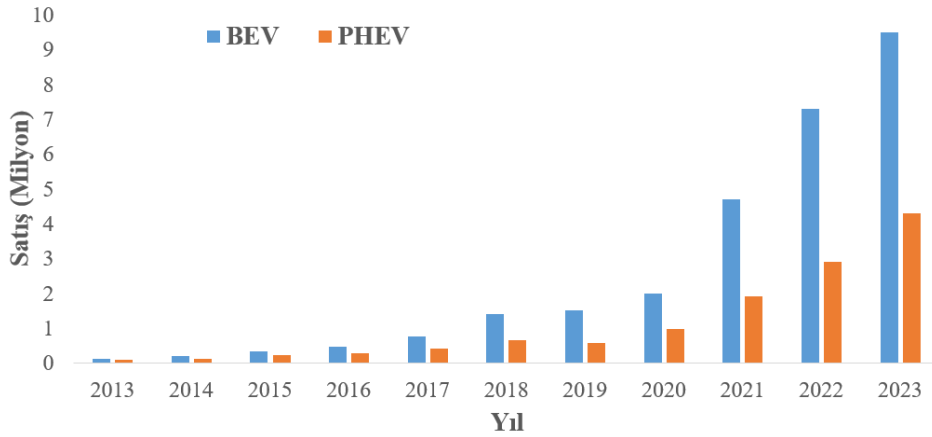
2.2 Elektrikli Araçların Sınıflandırılması

Elektrikli araçlar, itici güç sağlamak amacıyla tamamen veya kısmen elektrik enerjisini kullanan tüm araç türlerini kapsar. Bu araçlar, enerji kaynakları ve enerji yönetim sistemlerine göre farklı sınıflara ayrılmaktadır. Başlıca elektrikli araç türleri arasında tamamen elektrikle çalışan araçlar ve hibrit elektrikli araçlar yer almaktadır. Tamamen elektrikle çalışan araçlar, BEV ve FCEV gibi farklı alt gruplara sahiptir. BEV'ler, yalnızca bataryalardan enerji alarak çalışan araçlardır ve bu bataryalar genellikle elektrik şebekesinden şarj edilebilir. Öte yandan, hibrit elektrikli araçlar (Hybrid Electric Vehicle, HEV), hem elektrik motorunu hem de

içten yanmalı motoru kullanarak tahrik gücü üretir. HEV’lerin bir alt türü olan şarj edilebilir hibrit elektrikli araçlar (plug-in hybrid electric vehicles, PHEV), her iki motoru da kullanmakla birlikte, ek olarak bataryalarını elektrik şebekesinden şarj etme kapasitesine sahiptir. PHEV’ler, elektrikli sürüş menzilini artırarak, içten yanmalı motoru yalnızca batarya gücünün tükenmesi durumunda devreye sokar. Bu bağlamda, bu çalışmada, elektrikli araç tanımını daha belirgin hale getirmek amacıyla, inceleme konusu BEV ve PHEV ile sınırlı tutulmuştur [46],[47].

2.3 Elektrikli Araç Sektörünün Mevcut Durumu

Elektrikli araç sektörü, son yıllarda hızlı bir büyüme göstermektedir. 2023 yılında küresel elektrikli araç satışları, 10 milyonun üzerine çıkarak önemli bir başarı elde etmiştir. Özellikle Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa, elektrikli araç satışlarında lider konumda bulunmaktadır [48]. Şekil 2.1’de Dünya genelindeki elektrik araç satışı gösterilmektedir. Bu grafikte, BEV, bataryalı elektrikli araçları; PHEV ise şarj edilebilir hibrit araçları ifade etmektedir.

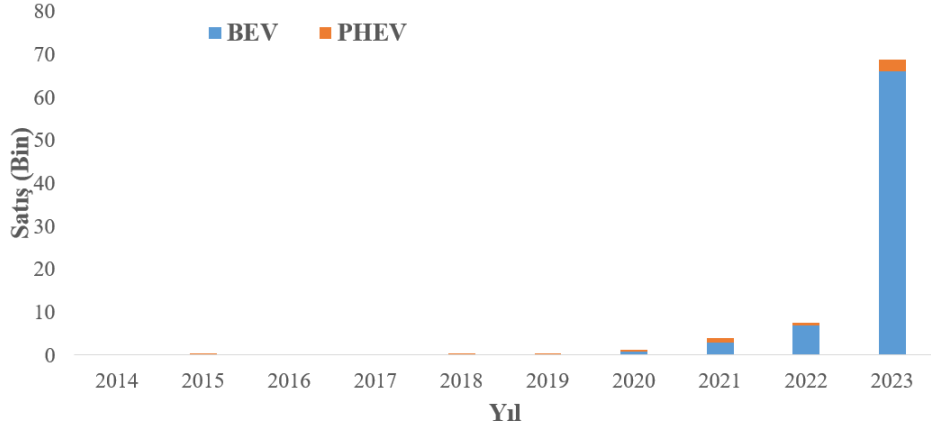


Şekil 2.1 Dünya genelinde elektrik araç satışı [49]

2.3.1 Türkiye’deki Mevcut Durum

Türkiye’deki EA pazarı hala gelişim aşamasındadır. Son yıllarda bazı gelişmeler ve girişimlerin ortaya çıkmasıyla Türkiye’de elektrikli araç sektörü oldukça dinamik bir şekilde büyümektedir. Son yıllarda elektrikli araç satışlarında önemli bir artış gözlenmiş ve bu durum, ülkenin enerji verimliliği ve çevre dostu politikalarına katkı sağlamaktadır [50].

Şekil 2.2’de Türkiye genelindeki elektrik araç satışı gösterilmektedir. Bu grafikte, Türkiye’deki EA sektöründeki artış açıkça görülmektedir.



Şekil 2.2 Türkiye’de elektrik araç satışı [49]

2.3.2 Elektrikli Araç Sektörünün Büyümesini Destekleyen Faktörler

EA pazarının küresel ölçekte büyümesini sağlayan temel faktörler; hükümet teşvikleri ve düzenlemeleri, şarj altyapısının geliştirilmesi, tüketici farkındalığındaki artış, çevresel kaygılar ve teknolojik ilerlemeler olarak sıralanabilir. Hükümetler, EA’ların benimsenmesini teşvik etmek amacıyla vergi indirimleri, hibeler ve sübvansiyonlar gibi finansal destek mekanizmaları sunarken, aynı zamanda otomotiv üreticilerini düşük emisyonlu araçlar üretmeye yönlendiren yasal düzenlemeler getirmiştir. Bu bağlamda, Avrupa Birliği’nin sıkı CO_2 emisyon hedefleri, otomotiv üreticilerinin EV üretimine yönelik yatırımlarını artırmasında önemli bir rol oynamıştır. Şarj altyapısının güçlendirilmesi de EA’ların yaygınlaşmasında kilit bir unsur olmuş, kamu ve özel sektör ortaklığında şarj istasyonlarının kurulumu hız kazanmıştır. Bu süreçte, Çin, kapsamlı bir şarj ağı inşa ederek bu alanda küresel lider konumuna gelmiştir. Şarj altyapısının iyileştirilmesi, menzil kaygısını azaltarak EA’ların daha cazip hale gelmesini sağlamıştır. Tüketicilerin çevreye yönelik farkındalığının artması ve düşük karbonlu ulaşım alternatiflerine olan ilgi, EA’lara yönelik talebi güçlendirmiştir. Özellikle, CO_2 emisyonlarının azaltılmasına dair küresel bilinç, çevre dostu ulaşım araçlarına olan talebin artmasında belirleyici olmuştur. Teknolojik ilerlemeler ise EA pazarının büyümesine doğrudan etki etmiştir. Özellikle lityum-iyon batarya teknolojisindeki yenilikler, batarya maliyetlerinin düşmesine, enerji yoğunluğunun artmasına ve şarj sürelerinin kısalmasına olanak sağlamıştır. Bu gelişmeler, elektrikli araçların menzilini uzatarak tüketicilerin araç tercihlerini etkilemiş ve EA’ların daha geniş bir kitleye ulaşmasını kolaylaştırmıştır. Tüm bu etkenlerin bir araya gelmesiyle, EA pazarının küresel ölçekte büyümesi hızlanmış ve ulaşım sektörünün daha sürdürülebilir bir yapıya dönüşmesine katkı sağlanmıştır. [51].

2.4 Elektrikli Araç Şarj İstasyonları

Elektrikli araç şarj istasyonları, EA'ların benimsenmesinde ve sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin oluşturulmasında temel bir unsur olarak kabul edilmektedir. Şarj istasyonları, kullanılan şarj cihazlarının güç kapasitesi ve teknolojik özelliklerine bağlı olarak farklılık göstermekte olup, hem bireysel kullanıcıların evlerinde hem de kamuya açık alanlarda çeşitli hizmet seçenekleri sunmaktadır. Bu istasyonlar, EA kullanıcılarının şarj ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik altyapının geliştirilmesinde kilit bir rol oynamakta ve elektrikli araçların daha geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından tercih edilmesini teşvik etmektedir.

2.4.1 Şarj Teknolojisi

EA şarj modları, kullanılan şarj türü, gerilim, akım ve bağlantı özelliklerine göre dört temel kategoriye ayrılmaktadır. Mod 1 şarj türü, 120 V gerilim ve 16 A akımla standart bir priz aracılığıyla bağlantı sağlar. Bu modda, EA ile şarj noktası arasında iletişim bulunmaması nedeniyle güvenlik sorunları yaşanabilir. Mod 2 şarj türü, 240 V gerilim ve 32 A akımla özel bir kablo vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bu özel kablo, Dahili Kablo Kontrol ve Koruma Cihazı (IC-CPD) ile donatılmış olup, genellikle ev ve ofis ortamlarında kullanılır. Mod 3 şarj türü, 250 V gerilim ve 32 ila 250 A akımla, özel bir kablo aracılığıyla elektrikli araç şarj istasyonu üzerinden bağlantı sağlar. Bu mod, kamuya açık şarj istasyonlarında yaygın olarak kullanılır ve kontrol, iletişim ve koruma işlevlerini destekler. Mod 4 şarj türü ise 600 V gerilim ve 400 A akımla DC hızlı şarjı ifade eder. Bu mod, elektrikli araç şarj istasyonu üzerinden özel bir soketle bağlantı kurar ve AC/DC dönüştürücü şarj istasyonunun içinde yer alır. Tüm kontrol, iletişim ve koruma işlemleri Elektrikli araç şarj istasyonu tarafından yürütülür. Bu şarj modları, EA'ların farklı şarj ihtiyaçlarına uygun çözümler sunarak kullanıcıların enerji gereksinimlerini karşılamada esneklik sağlar [52], [53], [54].

2.4.2 EA Şarj İstasyonu Altyapısı

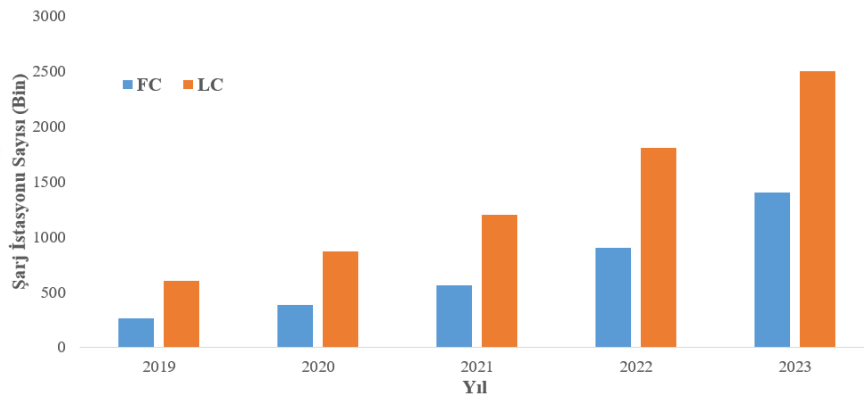
Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte, etkili bir şarj altyapısı oluşturulması büyük önem kazanmıştır. Bu altyapı, farklı tipte şarj istasyonları ile elektrikli araç sahiplerine güvenli, hızlı ve verimli şarj imkânları sunmayı hedefler.

Dağıtılmış şarj istasyonları, evler, alışveriş merkezleri ve iş merkezleri gibi çeşitli lokasyonlarda yer alır ve genellikle Seviye-1 ve Seviye-2 şarj cihazları kullanırken, ağ tabanlı hızlı şarj istasyonları yoğun trafikli bölgelerde hızlı şarj hizmeti sunar; Tesla'nın Supercharger ağı buna bir örnektir. Pil değişim istasyonları, araç

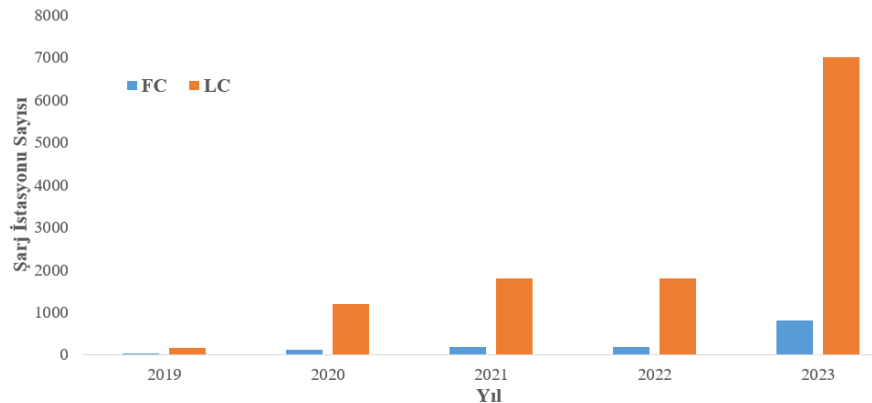
bataryalarını hızla değiştirerek kullanıcıların araçlarını kısa sürede kullanıma hazır hale getirir. Şarj istasyonları esneklik temelinde sabit ve mobil olmak üzere ikiye ayrılır; sabit istasyonlar belirli bir lokasyonda sürekli hizmet sunarken, mobil istasyonlar acil durumlarda ve yoğunluk azaltmada kullanılabilir. Güç akışı yönüne göre ise tek yönlü şarj istasyonları sadece şebekeden araca enerji aktarımı yaparken, iki yönlü şarj istasyonları araçtan şebekeye enerji geri aktarımını da mümkün kılarak şebeke dengelenmesine katkıda bulunur [55],[56].

2.4.3 Dünya’da ve Türkiye’de EA Şarj İstasyonu Durumu

EA şarj istasyonlarının sayısı dünya genelinde ve Türkiye’de hızla artmaktadır. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’te bu artış görülmektedir. Bu grafiklerde FC, kamuya açık hızlı şarj istasyonlarını, LC ise kamuya açık yavaş şarj istasyonlarını göstermektedir. Bu artış, elektrikli araçların popülerliğinin artmasıyla birlikte, şarj altyapısının geliştirilmesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Özellikle hükümetlerin desteklediği projeler ve yatırımlar sayesinde, şarj istasyonlarının sayısı ve kapasitesi giderek artmaktadır [57], [58], [59], [60].



Şekil 2.3 Dünya genelinde elektrikli araç şarj istasyonu sayısı [49]



Şekil 2.4 Türkiye’deki elektrikli araç şarj istasyonu sayısı [49]

Şarj istasyonlarının sayısındaki artış, yalnızca kullanıcı sayısındaki büyümeyi değil, aynı zamanda şarj altyapısına yönelik yatırımların stratejik olarak genişlediğini de ortaya koymaktadır. Özellikle hızlı şarj istasyonlarının artışı, kullanıcıların şarj sürelerini minimize etme beklentilerini karşılamada kritik bir rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra, yavaş şarj istasyonlarının yaygınlığı, şarj altyapısının farklı kullanıcı ihtiyaçlarına uyum sağlayabilmesi açısından önemlidir. Bu durum, elektrikli araç teknolojisinin benimsenme sürecini hızlandırırken, enerji yönetimi ve şebeke entegrasyonu açısından da yeni fırsatlar ve zorluklar sunmaktadır.



3

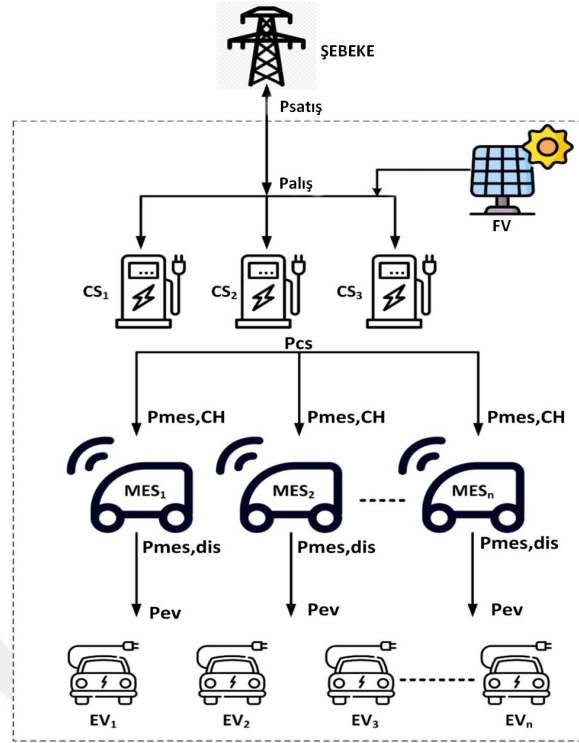
MOBİL ENERJİ SAĞLAYICILAR İLE OTOPARK OPTİMİZASYONU

3.1 Modele Genel Bir Bakış

Bu tezde, EA'ların şarj ihtiyaçlarını karşılamak için verimli bir otopark yönetimi modeli sunulmuştur. Bu bölümde, önerilen sistemin matematiksel modeli detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Sistem, EA'ların belirli bir enerji eşiğini koruyarak ayrılma zamanına ulaşmalarını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Geleneksel sabit şarj istasyonlarının sınırlamaları göz önünde bulundurularak, bu modelde MES kullanılmaktadır. MES, şarj edilebilir bataryalarla donatılmış robotlar olarak tanımlanır ve her bir EA'nın tahmin edilen varış ve ayrılma zamanlarına göre optimize edilmiş bir şarj programı doğrultusunda, yönetici tarafından belirlenen güç seviyelerine göre hizmet verir.

MES'ler, hem EA'ların enerji ihtiyacını karşılamak hem de operasyonel gereksinimlerini yerine getirebilmek için, şebekeden veya FV kaynaklarından enerji çekebilirler. Bu enerji çekişi, CS'ler aracılığıyla yapılmaktadır. Ayrıca, FV kaynaklarından elde edilen fazla güç, MES'lerin toplam talebini aşarsa, bu fazla enerji şebekeye geri verilmektedir. Bu yaklaşım, sadece enerji maliyetlerini minimize etmekle kalmaz, aynı zamanda şebeke üzerindeki yükü dengelemeye de yardımcı olur.

Önerilen model, enerji tüketimini optimize eder ve otoparkların yönetiminde daha esnek bir yapı oluşturur. Ayrıca, sistemin dinamik yapısı, geleneksel sabit şarj istasyonlarının, sınırlı esneklik ve yüksek altyapı maliyetleri gibi dezavantajlarına bir alternatif sağlayabilir. Bu özellikler, modelin operasyonel etkinliğini artırırken, ekonomik açıdan da fayda sağlamaktadır. Sistemin uygulanabilirliği, pratik örneklerle doğrulanmış ve modelin genel yapısının etkinliği, Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Önerilen sistemin genel şeması

3.2 Matematiksel Model

Bu tez kapsamında, verimli otopark yönetimini sağlamak ve enerji maliyetlerini minimize etmek amacıyla bir enerji yönetim algoritması oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu algoritma, MES aracılığıyla EA'ların şarj ihtiyaçlarını karşılamayı ve aynı zamanda enerji tüketimini optimize etmeyi hedeflemektedir. Bu bölümde matematiksel model detaylı bir şekilde açıklanmış olup, Tablo 3.1'de ilgili indis, parametre ve karar değişkenlerine yer verilmiştir.

Tablo 3.1 Matematiksel modelin indis, parametre ve karar değişkenleri

Kümeler	k, m, n, t
Parametreler	$\Delta T, \lambda_t^{alis}, \lambda_t^{satis}, CE_n^{cs}, CE_m^{EA}, CE_k^{MES}, CR_m^{EA}, CR_k^{MES}, DR_k^{MES}, N, P_t^{FV}, SoE_m^{EA,des}, SoE_m^{EA,ini}, SoE_k^{MES,ini}, SoE_k^{MES,max}, SoE_k^{MES,min}, T_m^a, T_m^d$
Karar Değişkenleri	$P_t^{alis}, P_t^{satis}, P_{t,k,m}^{EV}, P_{t,m}^{EA,tot}, P_{t,k,n}^{MES,ch}, P_{t,k}^{MES,ch,tot}, P_{t,k}^{MES,dis}, SoE_{t,m}^{EA}, SoE_{t,k}^{MES}, P_{t,n}^{CS}, a_{t,k,n}, u_t^{sebeke}, u_{t,k,m}, y_{t,k,m}, z_{t,k,m}$

3.2.1 Amaç Fonksiyonu

Matematiksel modelin amaç fonksiyonu toplam enerji tedarik maliyetini en aza indirmek olarak belirlenmiştir. Eşitlik (3.1)'de gösterildiği gibi net maliyet şebekeden alınan gücün gideri ile şebekeye satılan gücün kârı arasındaki farktan oluşmaktadır. P_t^{alis} şebekeden satın alınan gücü, P_t^{satis} şebekeye satılan gücü, λ_t^{alis} şebekeden satın alınan enerjinin fiyatını belirtir. Bu modelde satın alınan enerji 3 tarifeli fiyatlandırmaya göre ücretlendirilmiştir. λ_t^{satis} şebekeye satılan enerjinin birim fiyatını ifade etmektedir. ΔT zaman çözünürlüğünü ifade etmekte olup 5 dakikalık zaman dilimleri kullanılmıştır.

$$Maliyet = \sum_t (P_t^{alis} * \lambda_t^{alis} * \Delta T - P_t^{satis} * \lambda_t^{satis} * \Delta T) \quad (3.1)$$

3.2.2 Güç Dengesi Ve Şebeke Kısıtları

Eşitlik (3.2)'de, otopark alanına giren ve çıkan enerji akışlarının dengesi ifade edilmektedir. Denklemden P_t^{FV} , FV panellerden üretilen gücü, $P_{t,n}^{CS}$ şarj istasyonundan çekilen gücü, CE_n^{CS} şarj istasyonunun şarj verimini göstermektedir. Bu güç dengesine göre şebekeden çekilen güç ve FV panellerden üretilen gücün toplamı, şebekeye satılan güç ve şarj istasyonlarından talep edilen gücün toplamına eşittir. Eşitlik (3.3) ve (3.4), şebekeden aynı anda güç alımını ve güç satımını engelleyen ve bu güç değerlerini sınırlayan kısıt denklemleridir.

$$P_t^{alis} + P_t^{FV} = P_t^{satis} + \sum_n \left(\frac{P_{t,n}^{CS}}{CE_n^{CS}} \right), \quad \forall t \quad (3.2)$$

$$P_t^{alis} \leq u_t^{sebeke} * N, \quad \forall t \quad (3.3)$$

$$P_t^{satis} \leq (1 - u_t^{sebeke}) * N, \quad \forall t \quad (3.4)$$

3.2.3 Elektrikli Araç Denklemleri

Eşitlik (3.5)-(3.11), elektrikli araçların şarj gücü, enerji durumu ve kısıtlarla ilgilidir. Denklem (3.5), EA şarj gücünün MES'in deşarj gücüyle sınırlandırıldığını göstermektedir. Burada MES'in EA'yı ne kadar güçle şarj ettiği tanımlanır. $u_{t,k,m}$ ikili (binary) bir değişkendir. Eğer k numaralı MES, t zamanında m numaralı EA'yı şarj ediyorsa 1, aksi halde 0 olur. Denklem (3.6), m numaralı EA'nın t zamanında tüm MES'lerden çektiği toplam şarj gücünü hesaplar. Denklem (3.7) m numaralı EA'nın t zamanındaki enerji seviyesini belirler. Bu denklem, enerji

durumunun, bir önceki zamandaki enerji seviyesine, alınan şarj gücüne ve şarj süresine göre nasıl güncellendiğini gösterir. Eşitlik (3.8) m numaralı EA'nın park yerine geldiği andaki enerji seviyesini belirler. Denklem (3.9) m numaralı EA'nın otoparktan ayrılmadan önceki enerji seviyesinin, belirli bir hedef seviyeden daha yüksek olmasını sağlar. Eşitlik (3.10), k numaralı MES'in aynı anda yalnızca bir EA'yı şarj etmesine izin verir. Bu denklem, bir MES'in aynı anda birden fazla EA'ya hizmet vermesini engeller. $\sum_m u_{t,k,m}$ t zamanında k numaralı MES'e bağlı tüm EA'ların toplam sayısıdır. Eşitlik(3.11), m numaralı EA'nın aynı anda yalnızca bir MES'ten şarj edilmesini sağlar. Bu denklem, her EA'nın aynı anda birden fazla MES'ten şarj almasını engeller. $\sum_k u_{t,k,m}$ t zamanında m numaralı EA'ya bağlanan tüm MES'lerin toplam sayısıdır.

$$P_{t,k,m}^{EA} = DR_k^{MES} * u_{t,k,m}, \quad \forall k, m, t \in [T_a^m, T_d^m] \quad (3.5)$$

$$P_{t,m}^{EA,tot} = \sum_k P_{t,k,m}^{EA}, \quad \forall m, t \in [T_a^m, T_d^m] \quad (3.6)$$

$$SoE_{t,m}^{EA} = SoE_{t-1,m}^{EA} + P_{t,m}^{EA,tot} * CE_m^{EA} * \Delta T, \quad \forall m, t \in [T_a^m, T_d^m] \quad (3.7)$$

$$SoE_{t,m}^{EA} = SoE_m^{EA,ini}, \quad \forall m, t = T_a^m \quad (3.8)$$

$$SoE_{t,m}^{EA} \geq SoE_m^{EA,des}, \quad \forall m, t = T_d^m \quad (3.9)$$

$$\sum_m u_{t,k,m} \leq 1, \quad \forall t, k \quad (3.10)$$

$$\sum_k u_{t,k,m} \leq 1, \quad \forall t, m \quad (3.11)$$

3.2.4 Mobil Enerji Sağlayıcı Denklemleri

Eşitlik (3.12)-(3.24) arasında, MES'in çalışma kısıtları tanımlanmıştır. Bu kısıtlar, MES'in şarj ve deşarj işlemlerini, enerji durumunu ve MES'in şebeke bağlantılarını düzenleyen denklemleri kapsamaktadır. Eşitlik (3.12), MES'in deşarj gücü ile MES'e bağlı tüm EA'ların şarj gücü arasındaki denklik ilişkisidir. MES'in deşarj ettiği toplam enerji, ona bağlı olan tüm EA'ların çektiği enerjiye eşittir. Eşitlik (3.13), MES'in şarj gücünün maksimum şarj oranı ile sınırlı olduğunu belirtir. $a_{t,k,n}$ buradaki ikili değişkenidir. Bu değişken, MES'in o anda şarj edilip edilmediğini kontrol eder. MES'in şarj durumu aktif olduğunda şarj gücü en fazla CR_k^{MES} değerine ulaşabilir.(3.14), MES'in toplam şarj gücünün, tüm şarj istasyonlarından gelen şarj gücü bileşenlerinin toplamına eşit olduğunu belirtir. Başka bir deyişle, bir MES'in şarj gücü, ona bağlı olan tüm şarj istasyonlarından sağlanan şarj güçlerinin toplamı kadardır. Denklem (3.15), MES'in enerji durumunun başlangıç

değerini tanımlar. $T = 1$ anında, MES'in SoE değeri başlangıçtaki değerine eşittir. Eşitlik (3.16), MES'in enerji durumunun zaman içindeki değişimini açıklar. MES'in mevcut enerji seviyesi, bir önceki zamandaki enerji seviyesine şarjdan gelen enerji eklenerek ve deşarj edilen enerji çıkarılarak güncellenir. Eşitlik (3.17), MES'in enerji durumunu asgari ve azami seviyelerle sınırlar. MES'in enerji seviyesi bu aralıkta tutulur. Denklem (3.18), aynı anda yalnızca bir şarj istasyonunun bir MES'e bağlanabileceğini belirtir. Yani, bir MES birden fazla şarj istasyonundan aynı anda şarj edilemez. Eşitlik (3.19), aynı anda bir şarj istasyonunun yalnızca bir MES'e bağlanabileceğini belirtir. Yani, bir şarj istasyonu birden fazla MES'i aynı anda şarj edemez. Eşitlik (3.20), MES'in aynı anda hem şarj hem de deşarj yapmasını engeller. Eğer $u_{t,k,m} = 1$ ise, MES bir EA'yı şarj ediyor demektir. Eğer $a_{t,k,n} = 1$ ise, MES bir şarj istasyonundan enerji alıyor demektir. Eşitlik (3.21), CS ile MES arasındaki güç akışını tanımlar. Denklem, bir CS'den akan toplam gücün, bu CS'ye bağlı olan tüm MES'lerin bireysel şarj güçlerinin toplamına eşit olduğunu ifade eder. Denklem (3.22), bir EA'nın şarj sürecinin başlangıcını ve bitişini belirler. Eşitlik (3.23), bir elektrikli aracın aynı anda hem şarj sürecine başlamasını hem de şarj sürecini bitirmesini engellemektir. Eşitlik (3.24), bir EA'nın, istenen SoE elde edilene kadar MES bağlantısını koparmamasını sağlar.

$$P_{t,k}^{MES,dis} = \sum_m P_{t,k,m}^{EA}, \quad \forall t, k \quad (3.12)$$

$$P_{t,k,n}^{MES,ch} \leq CR_k^{MES} * a_{t,k,n}, \quad \forall t, k, n \quad (3.13)$$

$$P_{t,k,n}^{MES,ch,tot} = \sum_n P_{t,k,n}^{MES,ch}, \quad \forall t, k \quad (3.14)$$

$$SoE_{t,k}^{MES} = SoE_k^{MES,ini}, \quad \forall k, t = 1 \quad (3.15)$$

$$SoE_{t,k}^{MES} = SoE_{t-1,k}^{MES} + P_{t,k}^{MES,chtot} * CE_k^{MES} * \Delta T - P_{t,k}^{MES,dis} * \Delta T, \quad \forall k, t > 1 \quad (3.16)$$

$$SoE_k^{MES,min} \leq SoE_{t,k}^{MES} \leq SoE_k^{MES,max}, \quad \forall t, k \quad (3.17)$$

$$\sum_n a_{t,k,n} \leq 1, \quad \forall t, k \quad (3.18)$$

$$\sum_k a_{t,k,n} \leq 1, \quad \forall t, n \quad (3.19)$$

$$\sum_m u_{t,k,m} + \sum_n a_{t,k,n} \leq 1, \quad \forall t, k \quad (3.20)$$

$$P_{t,n}^{CS} = \sum_k P_{t,k,n}^{MES,ch}, \quad \forall t, n \quad (3.21)$$

$$y_{t,k,m} - z_{t,k,m} = u_{t,k,m} - y_{t-1,k,m}, \quad \forall t, k, m \quad (3.22)$$

$$y_{t,k,m} + z_{t,k,m} \leq 1, \quad \forall t, k, m \quad (3.23)$$

$$\sum_t \sum_k z_{t,k,m} \leq 1, \quad \forall t, m \quad (3.24)$$

3.3 Test Ve Sonuçlar

Bu model, EA otoparkı alanında kullanılan MES, bu MES'lerin şarj edildiği şarj istasyonları ve otoparkı kullanan EA'ları kapsayan bir optimizasyon çerçevesinde geliştirilmiştir. Bu kapsamda, maliyetlerin minimize edilmesi amacıyla Karışık MILP yöntemi tercih edilmiştir. Modelin çözülmesi için, General Algebraic Modeling System (GAMS) v.24.1.3 ortamı kullanılmış ve bu ortamda IBM'in CPLEX v.12 çözücüsünden faydalanılmıştır.

3.3.1 Girdi Verileri

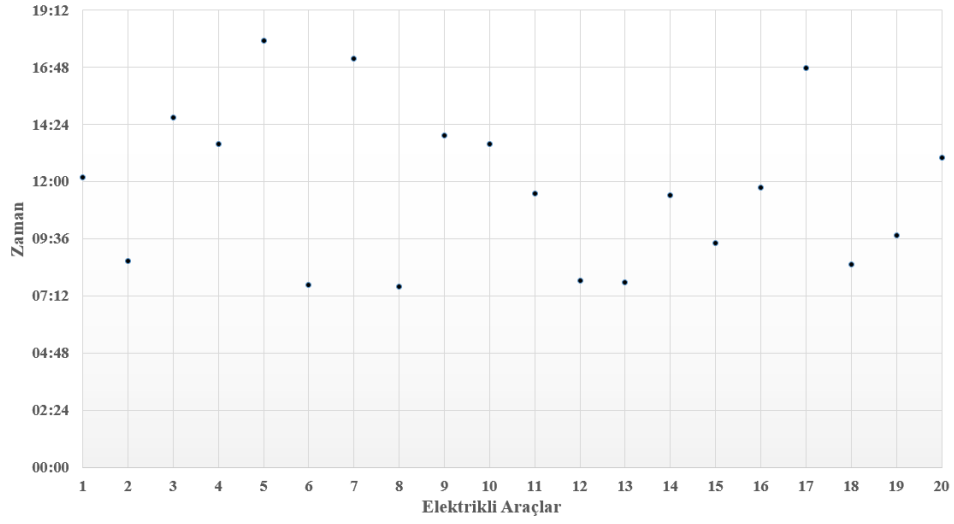
Simülasyon çalışmasında, Türkiye'nin İstanbul ilinin Anadolu yakasında yer alan bir otopark referans alınmıştır. Bu otoparkın kapasitesi 50 araçtır. Simülasyon boyunca, farklı özelliklere sahip beş farklı EA modeli kullanılmıştır. Bu beş EA modelinin özellikleri tablo 3.2'de verilmiştir. Gün içinde otoparka gelen toplam 20 EA, bu beş farklı modelden araçlardır.

Tablo 3.2 EA verileri [61]

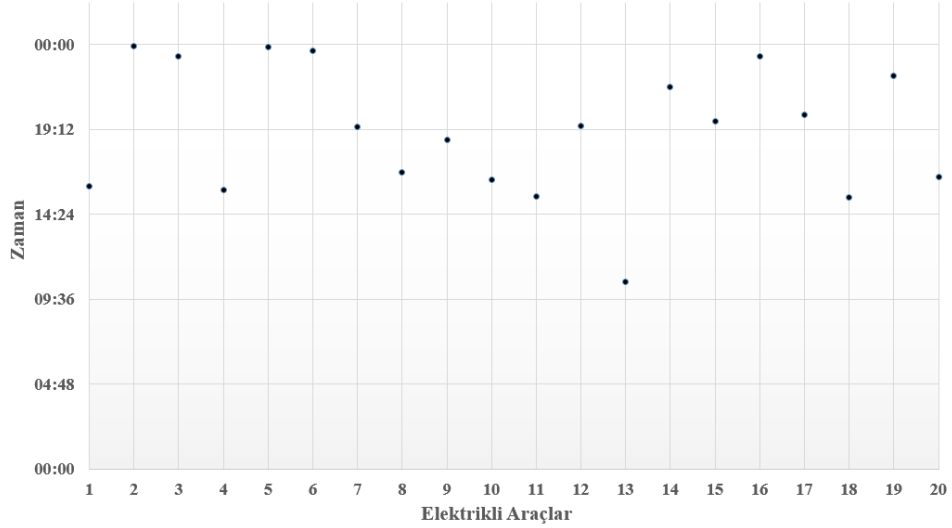
<i>Model</i>	CR_{EA}	CE_{EA}	SoE_{max}
Tesla Model Y	100 kW	0,95	57,5 kWh
TOGG T10X	180 kW	0,95	88,5 kWh
MG4	116 kW	0,95	61,7 kWh
Renault Zoe	41kW	0,95	52 kWh
Opel Corsa E	78 kW	0,95	46,3 kWh

Bu 20 farklı elektrikli aracın otoparka geliş saatleri şekil 3.2'de, çıkış zamanları ise 3.3'de grafik olarak verilmiştir.

Otopark içerisindeki MES sisteminde ise iki farklı tip MES kullanılmıştır. Bu MES'lerin teknik özellikleri Tablo 3.3'de sunulmuştur. Birinci MES türü 30 kW şarj kapasitesine ve 150 kWh batarya kapasitesine sahiptir. İkinci MES türü ise 20 kW şarj kapasitesine ve 50 kWh'lik batarya kapasitesine sahiptir. Her iki MES'in de deşarj kapasitesi 40 kW olarak belirlenmiştir. MES'lerin batarya asgari enerji seviyesi batarya kapasitesinin 20%'si olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda, MES'lerin ilk şarj seviyesi de başlangıçta 20% olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3.2 EA geliş zamanları

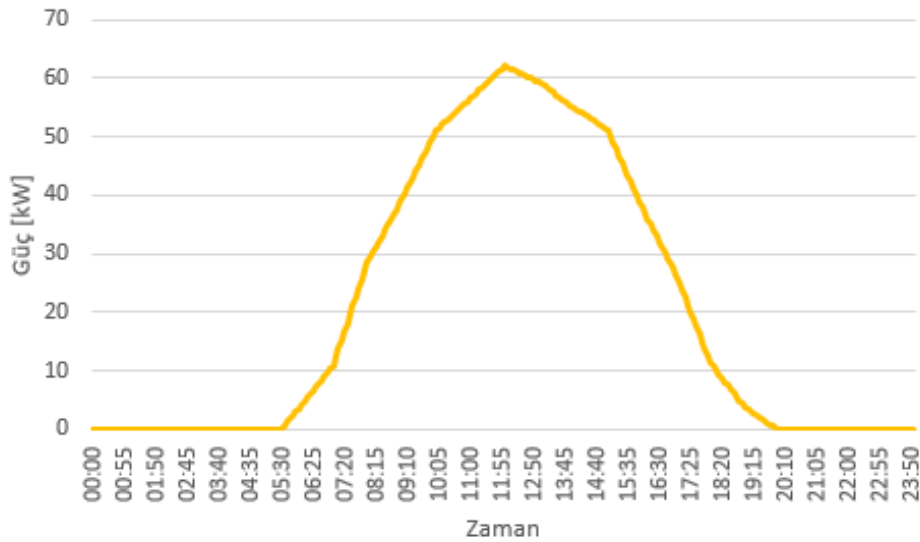


Şekil 3.3 EA çıkış zamanları

Tablo 3.3 MES verileri [62]

<i>Model</i>	<i>DR</i>	<i>CR</i>	<i>CE</i>	<i>SoE_{ini}</i>	<i>SoE_{max}</i>	<i>SoE_{min}</i>
1	40 kW	30 kW	0,95	30 kWh	150 kWh	30 kWh
2	40 kW	20 kW	0,95	6 kWh	30 kWh	6 kWh

Simülasyon için otoparkın çatısına FV paneller entegre edilmiştir. Bu paneller, LG 315N1K-A5 modelindeki FV paneller olup, 350 W maksimum güce, 10.15 A kısa devre akımına ve 40.7 V açık devre gerilimine sahiptir [63]. Toplamda 100 kW kurulu güce sahip olacak şekilde dört inverter kullanılmıştır. Hava durumu verileri, Meteonorm 8.1 yazılımından elde edilmiştir ve PVsyst 7.4 yazılımı ile Haziran ayına ait güneş verileri üretilmiştir. Otopark alanı 1.890 metrekare olarak tasarlanırken, FV sisteminin bir günlük enerji üretimi şekil 3.4’de gösterilmiştir. Çıktılar, anlık güç üretiminin azami 60 kW olduğu ve FV’lerden toplam bir gün için 495 kWh’lik enerji üretildiğini ortaya koymuştur.

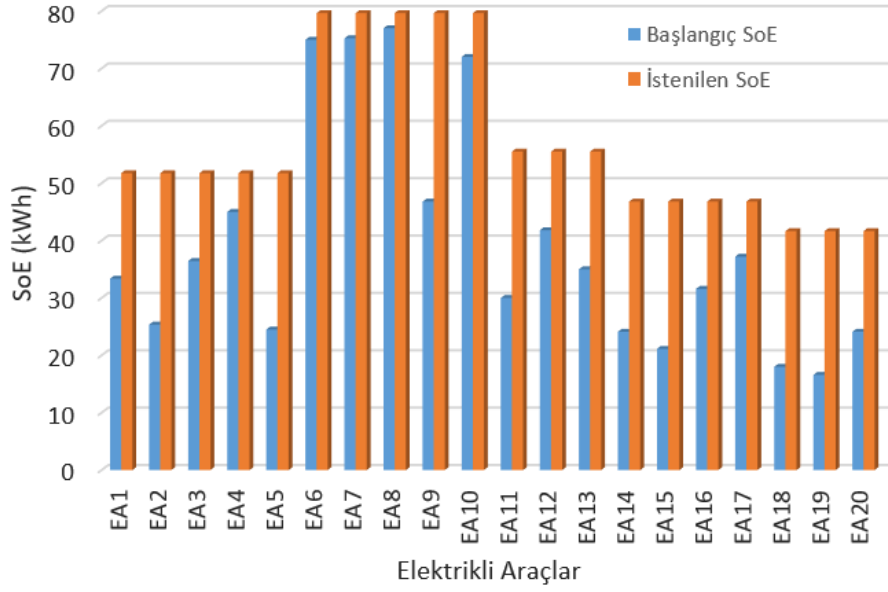
**Şekil 3.4** FV güç üretimi

3.3.2 Simülasyon Çıktıları

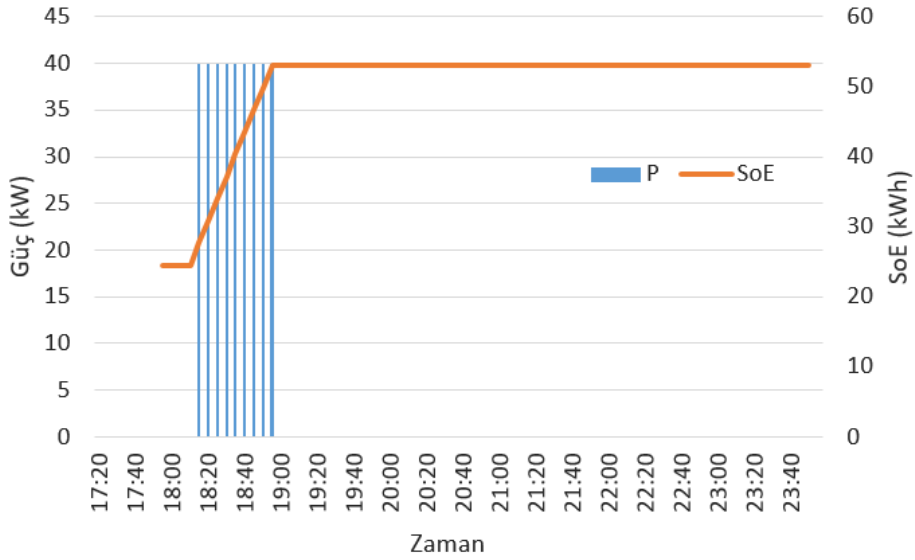
Şekil 3.5’te, park alanı senaryosundaki her bir EA modeli için varış anındaki başlangıç enerji durumu ile ayrılış anındaki hedef enerji durumu sunulmaktadır. Bu hedefe ulaşmak için tüm EA’ların toplam enerji ihtiyacı 345,4 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu enerji miktarı, park alanında bulunan tüm EA’ların bataryalarının istenilen hedef SoE seviyesine yükseltilmesi için gerekli olan toplam enerji miktarını ifade etmektedir.

Şekil 3.6’te, park alanındaki 5. EA’nın şarj gücü dinamiklerini ve SoE profilini

göstermektedir. Bu EA, park alanına saat 17:55'te giriş yapmış ve 23:50'de çıkış yapmıştır. Ancak şarj işlemi, giriş anından bir süre sonra, saat 18:15'te başlamış ve 18:55'te sona ermiştir. Bu süre zarfında, EV'nin hedeflenen SoE seviyesine ulaşması için gerekli enerji, 40 dakikalık bir süre içinde eksiksiz bir şekilde sağlanmıştır.



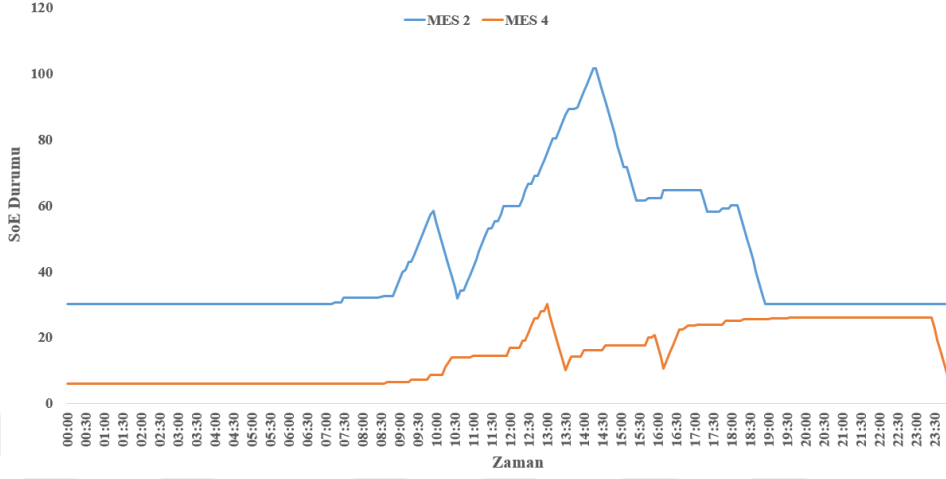
Şekil 3.5 Varış ve ayrılış saatlerinde EA'lar için ilk ve istenen SoE



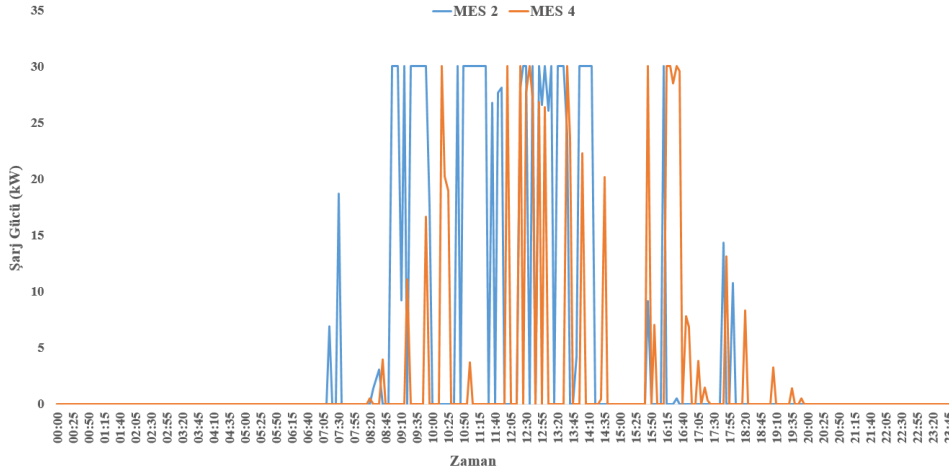
Şekil 3.6 EA5 için şarj gücü ve SOE durumu

Simulasyonda MES'ler şarj istasyonunda şarj olup, EA'ların enerji ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Şekil 3.7'de 2 ve 4. MES'in gün içindeki SoE durumları verilmektedir. MES'ler başlangıç SoE değerinde güne başlayıp, azami ve asgari enerji kapasitelerini aşmadan günü tamamlamışlardır.

MES'ler gün içinde şarj istasyonlarından şarj olup, EA'ları şarj etmektedir. Şekil 3.8'da MES2 ve MES4'ün şarj grafiği verilmiştir. Şekil 3.9'da da deşarj grafiği bulunmuştur.



Şekil 3.7 MES2 ve MES4 için SoE durumu

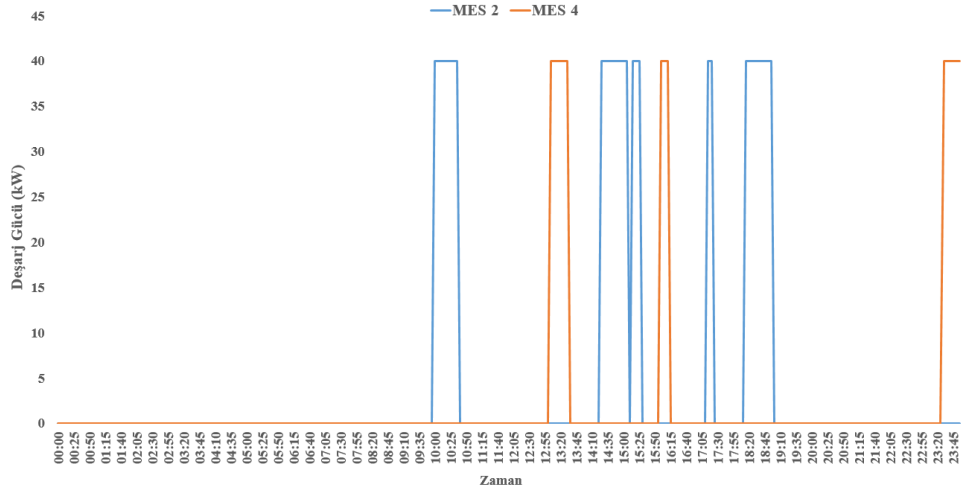


Şekil 3.8 MES2 ve MES4 için şarj durumu

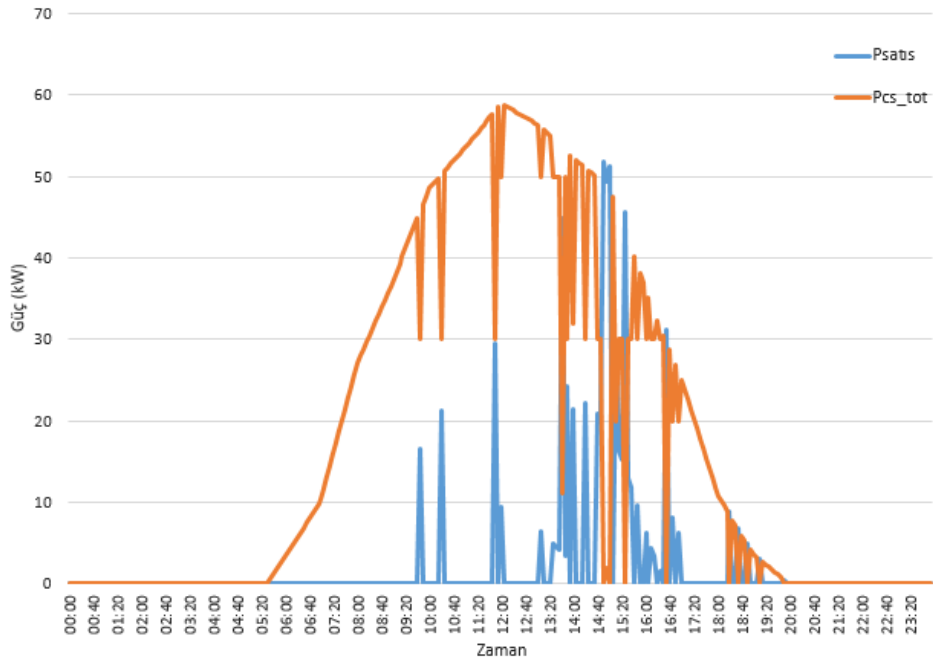
Şekil 3.10, CS'lerden MES'lere yapılan güç transferlerini ve üretilen fazla gücün şebekeye satışını gösteren güç eğrilerini sunmaktadır. Grafik incelendiğinde, FV üretiminin büyük bir kısmının şarj istasyonları aracılığıyla MES'lere yönlendirildiği, kalan fazla enerjinin ise şebekeye satıldığı görülmüştür. Bu durum, FV üretiminin büyük ölçüde MES'lerin enerji gereksinimlerini karşılayacak şekilde optimize edildiğini göstermektedir.

Şekil 3.11'de şebekeye satılan enerji gösterilmektedir.

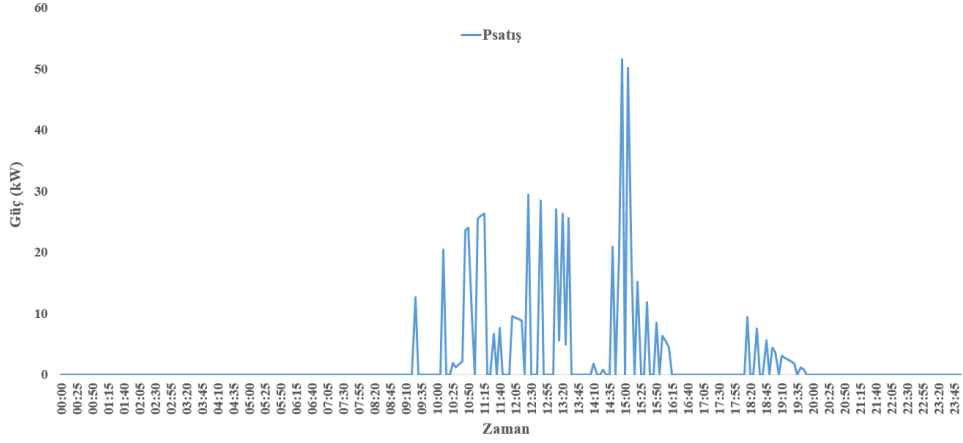
Simülasyon sonuçlarına göre, FV üretimi park alanındaki operasyonel enerji gereksinimlerini tamamen karşılayabilecek düzeydedir. Bu nedenle, şebekeden



Şekil 3.9 MES2 ve MES4 için deşarj durumu



Şekil 3.10 CS'ler ve sebeke bağlantısı için güç eğrileri



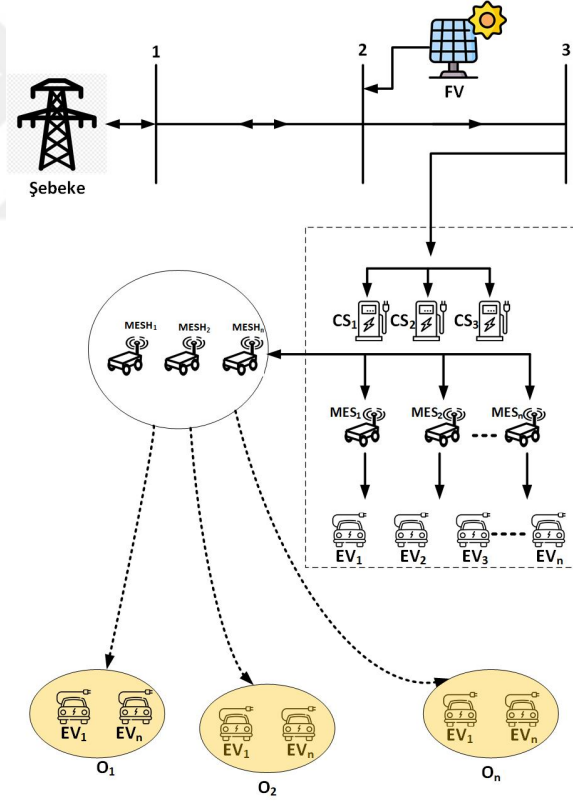
Şekil 3.11 Şebekeye satılan güç

herhangi bir enerji satın alınmasına gerek kalmamış, tüm enerji ihtiyaçları FV üretimi ile karşılanmıştır. Bu strateji sonucunda, toplam 52.642 kWh enerji MES'lere aktarılmış ve şebekeden enerji alımı yapılmamıştır. Bu durum, park alanı enerji operasyonunun tamamen öz yeterliliğe ulaşmasını sağlamıştır. Ayrıca, bu operasyon sürecinde, şebekeye enerji satışı yapılması sayesinde 52,642 TL'lik bir kâr elde edilmiştir. Bu kâr, fazla FV enerjisinin şebekeye satılmasıyla sağlanmıştır.

4

HARİCİ MOBİL ENERJİ SAĞLAYICILARIN TALEP NOKTALARINA HİZMETİ

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında geliştirilen bir diğer model olarak, mobil enerji sağlayıcıların hem içerideki park bölgesine hem de park bölgesi dışındaki talep noktalarına hizmet verdiği senaryo dikkate alınmıştır. Modelin genel yapısının etkinliği, Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Önerilen sistemin genel şeması

4.1 Enerji Talep Eden Otoparklara Yönelik Model

Bu bölümde, dışarıdan enerji talep eden otoparkların enerji ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik bir senaryo incelenmiştir. Söz konusu senaryoda, APB’nin

enerji ihtiyacı, birinci modelde olduğu gibi MES'ler tarafından karşılanmıştır. Ancak, enerji talep eden otoparkların enerji ihtiyaçları, MESH'ler aracılığıyla karşılanmıştır. MESH'ler, APB'de kullanılan robot sisteminin aynısı olup, bu robotlar farklı bir taşıma aracıyla enerji talebinde bulunan otoparklara sevk edilmektedir.

Bu yaklaşım, dışarıdan enerji desteği alan otopark işletmecileri için pek çok avantaj sağlamaktadır. Enerji talep eden otoparklar, bu hizmet sayesinde ek bir enerji yatırıma veya altyapı geliştirme çalışmalarına ihtiyaç duymamaktadır. Bu bağlamda, MESH hizmeti alan otopark bölgesi işletmecileri, enerji müsaadesi izni almak, robot veya şarj istasyonu altyapısı oluşturmak gibi maliyetli işlemleri gerçekleştirmeden, otoparklarına gelen EA'ların enerji taleplerini karşılayabilmektedir. Böylece, otoparkların enerji yönetimi süreçleri pratik bir şekilde yürütülebilmektedir.

Modelde, üç baralı bir güç sistemi kullanılmaktadır ve AC güç akış modeli reaktif güç ihmal edilerek tasarlanmıştır. Model, MES ve MESH'lerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla hem elektrik şebekesinden hem de FV'den enerji temin edecek şekilde kurgulanmıştır. MES ve MESH'ler, bu enerji kaynaklarından aldıkları enerjiyi etkin bir şekilde depolamakta ve ihtiyaç duyulan noktalara ulaştırmaktadır.

Bu çalışma, enerji yönetimi ve dağıtım süreçlerini daha etkin hale getiren, maliyetleri azaltan ve operasyonel verimliliği artıran bir yaklaşım sunmaktadır. Özellikle, enerji altyapısı sınırlı olan bölgelerde uygulanabilirliği yüksek bir çözüm olarak dikkat çekmektedir. Bu model, enerji dağıtım ağlarının esnekliğini artırarak, sürdürülebilir enerji kullanımına katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

4.1.1 Matematiksel Model

Bu bölümde, verimli otopark yönetimini sağlamak ve enerji maliyetlerini minimize etmek amacıyla bir enerji yönetim algoritması oluşturmanın yanı sıra enerji yatırımı ve şarj altyapısı kurmak istemeyen parklanma bölgelerine de mobil enerji sağlayıcı hizmeti verilmektedir. Bu algoritma, MES ve MESH'ler aracılığıyla EA'ların şarj ihtiyaçlarını karşılamayı ve aynı zamanda enerji tüketimini optimize etmeyi hedeflemektedir. Bu bölümde matematiksel model detaylı bir şekilde açıklanmış olup, Tablo 4.1'de ilgili indis, parametre ve karar değişkenlerine yer verilmiştir. Matematiksel modelin amaç fonksiyonu, toplam maliyeti en aza indirmek olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.1 Matematiksel modelin indis, parametre ve karar değişkenleri

Kümeler	t, d, f, k, kh, m, n, o
Parametreler	$\Delta T, \lambda_{d,t}^{alis}, \lambda_{d,t}^{satis}, CE_n^{cs}, CE_{d,m}^{EA}, CE_{d,k}^{MES}, CR_{d,m}^{EA}, CR_{d,k}^{MES}, DR_{d,k}^{MES}, N, P_{d,t}^{FV},$ $SoE_{d,m}^{EA,des}, SoE_{d,m}^{EA,ini}, SoE_{d,k}^{MES,ini}, SoE_{d,k}^{MES,max}, SoE_{d,k}^{MES,min}, T_{d,m}^a, T_{d,m}^d, DR_{d,kh}^{MESH}, CR_{d,kh}^{MESH},$ $CE_{d,kh}^{MESH}, SoE_{d,kh}^{MESH,ini}, SoE_{d,kh}^{MESH,max}, SoE_{d,k}^{MES,ini}, T_{d,kh}^{gh}, T_{d,kh}^{ch}, T_{d,kh}^v, P_o^{TalepO}, k_{yo}, x_o, v_{arac}$
Karar Değişkenleri	$P_{d,t}^{alis}, P_{d,t}^{satis}, P_{d,t,k,m}^{EA}, P_{d,t,m}^{EA,tot}, P_{d,t,k,n}^{MES,ch}, P_{d,t,k}^{MES,ch,tot}, P_{d,t,k}^{MES,dis}, SoE_{d,t,m}^{EA}, SoE_{d,t,k}^{MES}, P_{d,t,n}^{CS}, a_{d,t,k,n}, u_t^{sebeke},$ $u_{d,t,k,m}, y_{d,t,k,m}, g_{d,t,kh,n}, z_{d,t,k,m}, T_o^{Yol}, Y_{ol}^{Maliyeti}, T_o^{gidis},$ $P_{d,t,kh}^{MESH,dis}, Voltage_{DSO}, P_{DSO}^{line}, P_{rootbusbuy_{d,t}^{DSO}}, P_{rootsellbus_{d,t}^{DSO}}, SoE_{d,t,kh}^{MESH}, P_{d,t,kh,n}^{MESH,ch}, P_{d,t,kh}^{MESH,ch,tot}$

4.1.1.1 Amaç Fonksiyonu

Matematiksel modelin amaç fonksiyonu toplam enerji tedarik maliyetini en aza indirmek olarak belirlenmiştir. Eşitlik ((4.1))’de gösterildiği gibi net maliyet şebekeden alınan gücün gideri ile şebekeye satılan gücün kârı arasındaki fark ve MESH’lerin yoldaki nakliye maliyetidir. $P_{d,t}^{alis}$ t zamanında d barasında şebekeden satın alınan gücü, $P_{d,t}^{satis}$ t zamanında d barasında şebekeye satılan gücü, $\lambda_{d,t}^{alis}$ t zamanında d barasında şebekeden satın alınan enerjinin fiyatını belirtir. Bu modelde satın alınan enerji 3 tarifeli fiyatlandırmaya göre ücretlendirilmiştir. $\lambda_{d,t}^{satis}$ şebekeye satılan enerjinin birim fiyatını ifade etmektedir. ΔT zaman çözünürlüğünü ifade etmekte olup 5 dakikalık zaman dilimleri kullanılmıştır.

$$Maliyet = \sum_{d,t} (P_{d,t}^{alis} * \lambda_{d,t}^{alis} * \Delta T - P_{d,t}^{satis} * \lambda_{d,t}^{satis} * \Delta T) + \sum_o (Y_o^{maliyet}) \quad (4.1)$$

4.1.1.2 Güç Dengesi Ve Şebeke Kısıtları

Eşitlik (4.2)’de, otopark alanına giren ve çıkan enerji akışlarının dengesi ifade edilmektedir. Denklemden $P_{d,t}^{FV}$, belirli bir d barası için t zamanında FV panellerden üretilen gücü, $P_{d,t,n}^{CS}$ şarj istasyonundan çekilen gücü, CE_n^{CS} şarj istasyonunun şarj verimini göstermektedir. $\sum_{f \in ds} f_{k,d,f,t}^{ds}$ d barasından f barasına doğru enerji

akışını, $\sum_{f \in ds} f_{k,f,d,t}^{ds}$ ise f barasından d barasına doğru enerji akışını göstermektedir.

Bu şekilde enerji akışı modellenmiştir. Bu güç dengesine göre şebekeden çekilen güç ve FV panellerden üretilen gücün toplamı, şebekeye satılan güç ve şarj istasyonlarından talep edilen gücün toplamına eşittir. Eşitlik (4.3) ve (4.4), şebekeden aynı anda güç alımını ve güç satımını engelleyen ve bu güç değerlerini

sınırlayan kısıt denklemleridir.

$$P_{d,t}^{alis} + P_{d,t}^{FV} = P_{d,t}^{satis} + \sum_n \left(\frac{P_{d,t,n}^{PCS}}{CE_n^{CS}} \right) + \sum_{f \in ds} f_{k,d,f,t}^{ds} - \sum_{f \in ds} f_{k,f,d,t}^{ds}, \quad \forall t \quad (4.2)$$

$$P_{d,t}^{alis} \leq u_{d,t}^{sebeke} * N, \quad \forall t \quad (4.3)$$

$$P_{d,t}^{satis} \leq (1 - u_{d,t}^{sebeke}) * N, \quad \forall t \quad (4.4)$$

4.1.1.3 Elektrikli Araç Denklemleri

Eşitlik (4.5)-(4.11), elektrikli araçların şarj gücü, enerji durumu ve kısıtlarla ilgilidir. Bu denklemler bölüm 3.2.3 deki eşitlik (3.5)-(3.11) ile benzerlik gösterip, o denklemlere d kümesi eklenmiş halidir.

$$P_{d,t,k,m}^{EA} = DR_{d,k}^{MES} * u_{d,t,k,m}, \quad \forall d, k, m, t \in [T_a^m, T_d^m] \quad (4.5)$$

$$P_{d,t,m}^{EA,tot} = \sum_k P_{d,t,k,m}^{EA}, \quad \forall m, t \in [T_a^m, T_d^m] \quad (4.6)$$

$$SoE_{d,t,m}^{EA} = SoE_{d,t-1,m}^{EA} + P_{d,t,m}^{EA,tot} * CE_m^{EA} * \Delta T, \quad \forall m, t \in [T_a^m, T_d^m] \quad (4.7)$$

$$SoE_{d,t,m}^{EA} = SoE_m^{EA,ini}, \quad \forall m, t = T_a^m \quad (4.8)$$

$$SoE_{d,t,m}^{EA} \geq SoE_m^{EA,des}, \quad \forall m, t = T_d^m \quad (4.9)$$

$$\sum_m u_{d,t,k,m} \leq 1, \quad \forall t, k \quad (4.10)$$

$$\sum_k u_{d,t,k,m} \leq 1, \quad \forall t, m \quad (4.11)$$

4.1.1.4 Mobil Enerji Sağlayıcı Denklemleri

Eşitlik (4.12)-(4.24) arasında, MES'in çalışma kısıtları tanımlanmıştır. Bu kısıtlar, MES'in şarj ve deşarj işlemlerini, enerji durumunu ve MES'in şebeke bağlantılarını düzenleyen denklemleri kapsamaktadır. Bu denklemler bölüm 3.2.4 deki eşitlik (3.12)-(3.24) ile benzerlik gösterip, o denklemlere baraları ifade eden d kümesi eklenmiş halidir.

$$P_{d,t,k}^{MES,dis} = \sum_m P_{d,t,k,m}^{EA}, \quad \forall d, t, k \quad (4.12)$$

$$P_{d,t,k,n}^{MES,ch} \leq CR_k^{MES} * a_{d,t,k,n}, \quad \forall d, t, k, n \quad (4.13)$$

$$P_{d,t,k,n}^{MES,ch,tot} = \sum_n P_{d,t,k,n}^{MES,ch}, \quad \forall d, t, k \quad (4.14)$$

$$SoE_{d,t,k}^{MES} = SoE_k^{MES,ini}, \quad \forall d, k, t = 1 \quad (4.15)$$

$$SoE_{d,t,k}^{MES} = SoE_{t-1,k}^{MES} + P_{t,k}^{MES,chtot} * CE_k^{MES} * \Delta T - P_{t,k}^{MES,dis} * \Delta T, \quad \forall d, k, t > 1 \quad (4.16)$$

$$SoE_{d,k}^{MES,min} \leq SoE_{d,t,k}^{MES} \leq SoE_{d,k}^{MES,max}, \quad \forall d, t, k \quad (4.17)$$

$$\sum_n a_{d,t,k,n} \leq 1, \quad \forall d, t, k \quad (4.18)$$

$$\sum_k a_{d,t,k,n} \leq 1, \quad \forall d, t, n \quad (4.19)$$

$$\sum_m u_{d,t,k,m} + \sum_n a_{d,t,k,n} \leq 1, \quad \forall d, t, k \quad (4.20)$$

$$P_{d,t,n}^{CS} = \sum_k P_{d,t,k,n}^{MES,ch}, \quad \forall d, t, n \quad (4.21)$$

$$y_{d,t,k,m} - z_{d,t,k,m} = u_{d,t,k,m} - y_{d,t-1,k,m}, \quad \forall d, t, k, m \quad (4.22)$$

$$y_{d,t,k,m} + z_{d,t,k,m} \leq 1, \quad \forall d, t, k, m \quad (4.23)$$

$$\sum_t \sum_k z_{d,t,k,m} \leq 1, \quad \forall d, t, m \quad (4.24)$$

4.1.1.5 Dışarıya Hizmet Sağlayan Mobil Enerji Sağlayıcı Denklemleri

Eşitlik (4.50)-(4.61) arasında, MESH'in operasyonel kısıtları detaylı bir şekilde tanımlanmaktadır. Bu kısıtlar, MESH'in şarj ve deşarj süreçlerini, enerji seviyesinin yönetimini ve şebeke ile olan etkileşimlerini düzenleyen matematiksel ifadeleri içermektedir.

Eşitlik (4.50), MESH'in şarj gücünün, azami olarak MESH'in şarj oranı ile sınırlı olduğunu gösterir. Bir t anında maksimum şarj gücü $CR_{d,kh}^{MESH}$ değeridir. Eşitlik (4.51), MESH'e ait toplam şarj gücünün, her bir MESH'in şarj güçlerinin toplamına

eşit olduğunu tanımlar. Eşitlik (4.52), MESH'e ait başlangıç SOE durumunun, MESH'in başlangıç SOE değerine eşit olduğunu gösterir. Denklem (4.53), bir MESH'in enerji seviyesindeki değişimi gösteren denklemdir. MESH'in t anındaki SOE değeri, bir önceki SOE değerine şarj gücünün eklenmesi ve deşarj gücünün çıkarılmasıyla hesaplanır. Eşitlik (4.54), MESH'in asgari ve azami SOE değerini kısıtlar. Eşitlik (4.55), aynı anda yalnızca bir şarj istasyonu ile MESH'in bağlantı kurabileceğini gösterir. Eşitlik (4.56), bir MESH'in aynı anda yalnızca bir şarj istasyonuna bağlanacağını gösteren denklemdir. Eşitlik (4.57), MESH'in deşarj gücünün, maksimum MESH'in deşarj oranı ile sınırlı olduğunu gösterir. Bir t anında maksimum deşarj gücü $DR_{d,kh}^{MESH}$ değeridir. Eşitlik (4.58), harici parkların toplam talebinin, MESH'lerin toplam deşarjına eşit olduğunu gösteren denklemdir. Eşitlik (4.59), MESH'in enerji talep eden otoparka hareketinde yolda geçen süreyi saat olarak vermektedir. Eşitlik (4.60), bu süre ΔT ye bölünerek süre 5 dk'lık, t süresine çevrilmiştir. Eşitlik (4.36), MESH'in hareketindeki maliyeti veren denklemdir. Denklem (4.61), MESH'in enerji talep eden otoparka vardığı t anını gösteren denklemdir.

$$P_{d,t,kh,n}^{MESH,ch} \leq CR_{d,kh}^{MESH} * g_{d,t,kh,n}, \quad \forall t, k, n \in [T_{gh}^{d,kh}, T_{ch}^{d,kh}] \quad (4.25)$$

$$P_{d,t,kh}^{MESH,ch,tot} = \sum_n P_{d,t,kh,n}^{MESH,ch}, \quad \forall t, k \quad (4.26)$$

$$SoE_{d,t,kh}^{MESH} = SoE_{d,kh}^{MESH,ini}, \quad \forall k, t = 1 \quad (4.27)$$

$$SoE_{d,t,kh}^{MESH} = SoE_{d,t-1,k}^{MESH} + P_{d,t,kh}^{MESH,chtot} * CE_{d,kh}^{MESH} * \Delta T - P_{d,t,kh}^{MESH,dis} * \Delta T, \quad \forall k, t > 1 \quad (4.28)$$

$$SoE_{d,kh}^{MESH,min} \leq SoE_{d,t,kh}^{MESH} \leq SoE_{d,kh}^{MESH,max}, \quad \forall t, k \quad (4.29)$$

$$\sum_n g_{d,t,kh,n} \leq 1, \quad \forall t, k \quad (4.30)$$

$$\sum_{kh} g_{d,t,kh,n} \leq 1, \quad \forall t, n \quad (4.31)$$

$$P_{d,t,kh}^{MESH,dis} \leq DR_{d,kh}^{MESH}, \quad \forall k, n > T_v^{d,kh} \quad (4.32)$$

$$\sum_d \sum_t \sum_{kh} P_{d,t,kh}^{MESH,dis} = \sum_o P_o^{Talep} \quad (4.33)$$

$$T_o^{Yol} = x_o / v_{arac}, \quad \forall o \quad (4.34)$$

$$T_o^{gidis} = T_o^{Yol} / \Delta T, \quad \forall o \quad (4.35)$$

$$Yol_o^{Maliyeti} = X_o * b f_o * k y_o, \quad \forall o \quad (4.36)$$

$$T_v^{d,kh} = T_{ch}^{d,kh} + T_o^{Yol} \quad (4.37)$$

4.1.1.6 Güç Akışı Denklemleri

Eşitlik (4.38)-(4.48) arasında, dağıtım sistemi operatörüne bağlı şebekede güç akışı denklemlerini tanımlamaktadır.

Eşitlik (4.38) ve eşitlik (4.39)'da kök baradan alınan ve satılan güçlerin, sistemdeki alım ve satım güçleriyle ($P_{d,t}^{alis}$ ve $P_{d,t}^{satis}$) eşit olduğu belirtilmiştir. Eşitlik (4.40) ve eşitlik (4.41)'da hatlarda taşınan güçlerin maksimum iletim kapasitesini aşmaması gerektiğini ifade eder. Eşitlik (4.42), kök baradaki gerilimin baz gerilime eşit olduğunu belirtirken, denklem (4.43) ve (4.44), tüm düğümlerdeki gerilim seviyelerinin nominal gerilimin $\pm 10\%$ aralığında olmasını zorunlu kılar. Eşitlikler (4.45) ve (4.46), hatlarda taşınan güçlerin, sistemdeki maksimum kapasite ile ilişkisini ifade eder. Eşitlikler (4.47) ve (4.48), her iki uçtaki düğümlerin gerilim farklarının, hat özellikleri ve güç akışı ile ilişkili olarak belirlenmesi gerektiğini tanımlar. Bu denklemler, dağıtım sisteminde güç akışının matematiksel bir çerçevede düzenlenmesini sağlayarak sistem güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini desteklemektedir.

$$Prootbusbuy_{d,t}^{DSO} = P_{d,t}^{alis}, \quad \forall t, d = 1 \quad (4.38)$$

$$Prootbussell_{d,t}^{DSO} = P_{d,t}^{satis}, \quad \forall t, d = 1 \quad (4.39)$$

$$P_{DSO d, f, t}^{line} \geq -Smax_{d, f}, \quad \forall t \quad (4.40)$$

$$P_{DSO d, f, t}^{line} \leq Smax_{d, f}, \quad \forall t \quad (4.41)$$

$$Voltage_{d,t}^{DSO} = V_{base}, \quad \forall t, d = 1 \quad (4.42)$$

$$Voltage_{d,t}^{DSO} \geq 0.9, \quad \forall t, d \quad (4.43)$$

$$Voltage_{d,t}^{DSO} \leq 1.1, \quad \forall t, d \quad (4.44)$$

$$P_{DSO d, f, t}^{line} \geq -\sqrt{2} * Smax_{d, f}^{DSO}, \quad \forall t, d \quad (4.45)$$

$$P_{DSO d, f, t}^{line} \leq \sqrt{2} * Smax_{d, f}^{DSO}, \quad \forall t, d \quad (4.46)$$

$$\begin{aligned} & Voltage_{d,t}^{DSO} * Linecondf_{d,f}^{DSO} - Voltage_{f,t}^{DSO} * Linecondf_{d,f}^{DSO} \leq \\ & MA * (1 - Linecondf_{d,f}^{DSO}) + (R_{d,f}^{DSO} * P_{DSO d, f, t}^{line}) / (S_{base} * V_{base}) \end{aligned} \quad (4.47)$$

$$\begin{aligned} & Voltage_{d,t}^{DSO} * Linecondf_{d,f}^{DSO} - Voltage_{f,t}^{DSO} * Linecondf_{d,f}^{DSO} \geq \\ & -MA * (1 - Linecondf_{d,f}^{DSO}) + (R_{d,f}^{DSO} * P_{DSO d, f, t}^{line}) \\ & (S_{base} * V_{base}) \end{aligned} \quad (4.48)$$

4.1.2 Test Ve Sonuçlar

Bu model, EA otoparkı alanında kullanılan MES, dışarıdan hizmet talep eden otoparkların şarjı için MESH, ve bu MES ve MESH'lerin şarj edildiği şarj istasyonları ve otoparkları kullanan EA'ları kapsayan bir optimizasyon çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, maliyetlerin minimize edilmesi amacıyla Karışık Tam Sayılı Programlama (MILP) yöntemi tercih edilmiştir. Modelin çözülmesi için, General Algebraic Modeling System (GAMS) v.24.1.3 ortamı kullanılmış ve bu ortamda IBM'in CPLEX v.12 çözücüsünden faydalanılmıştır.

4.1.2.1 Giriş Verileri

Bu simülasyon çalışmasında, ilk modelden farklı olarak güç akışı ve dışarıya hizmet veren MESH'ler eklenmiştir. FV,EA, MES ve MES'lerin hizmet verdiği otopark verileri bölüm 3 de verilen modeldeki verilerle aynıdır. Bu modelde farklılık olarak güç akışı ve dışarıdaki otopark bölgelerine MESH servisi eklenmiştir. Simulasyon boyunca iki farklı özelliğe sahip 6 adet MESH kullanılmıştır. Bu 6 MESH,iki farklı talep noktası olan otoparka hizmet vermektedir. Dışarıya hizmet veren MESH'lerin verileri tablo 4.2'de verilmiştir. MESH'ler kendi otopark noktalarında şarj olup, T_{ch} zamanında hizmet verecekleri noktaya harekete geçmektedirler. Her iki MESH içinde minumum SoE değeri, maximum SoE değerinin 20%'si olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.2 MESH verileri [62]

<i>Model</i>	<i>DR</i>	<i>CR</i>	<i>CE</i>	<i>SoE_{ini}</i>	<i>SoE_{max}</i>	<i>SoE_{min}</i>	<i>T_{ch}</i>
1	25 kW	50 kW	0,95	30 kWh	150 kWh	30 kWh	11:00
2	25 kW	50 kW	0,95	30 kWh	150 kWh	30 kWh	07:00

MESH'ler T_{ch} zamanında kendi otopark noktalarından araç tarafından alınarak hizmet verecekleri otoparka götürülmektedir. Bu MESH'ler 2 farklı noktaya, 2 farklı araç tarafından götürülmektedir. Bu araçların verileri tablo 4.3'da verilmiştir. $b f_o$ aracın km'de yaktığı yakıt miktarı olup, ortalama bir değer alınmıştır, $k y_o$ ise yakıtın litre fiyatıdır.

Tablo 4.3 Araç verileri [64],[65]

<i>Arac</i>	<i>v_{arac}</i>	<i>b f_o</i>	<i>k y_o</i>
1	80 km/h	0,15	43,91 TL
2	80 km/h	0,15	43,91 TL

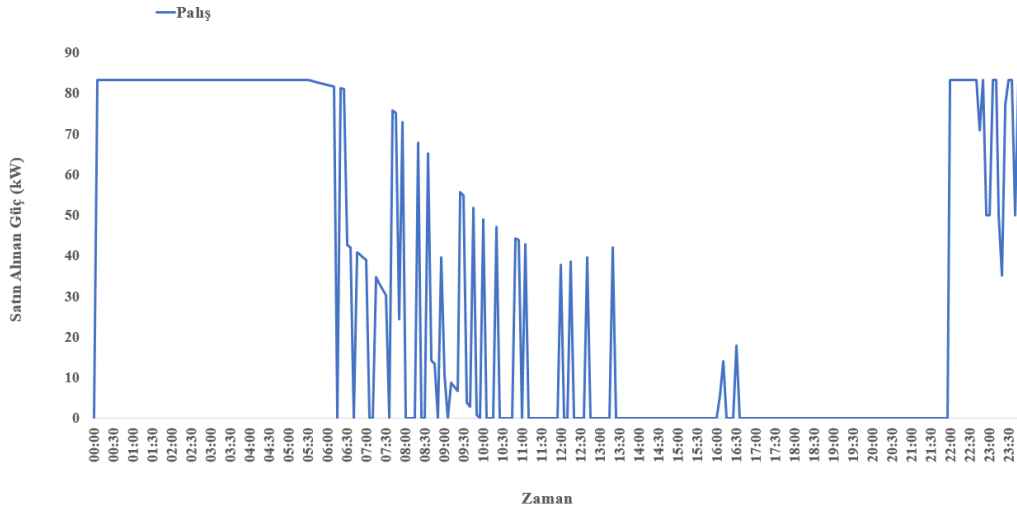
Bu uygulamada dışarıdan hizmet talep eden otopark sayısı iki olarak alınmıştır. Bu otoparkların talep ettikleri güç, otoparkların ana otoparka uzaklığı ve MESH'lerin hizmet verecekleri otoparka varış saatleri tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4 Otopark verileri

$Otopark$	P_{Talep}	X_O	T_v
1	300 kW	120 km	12:30
2	330 kW	160 km	09:00

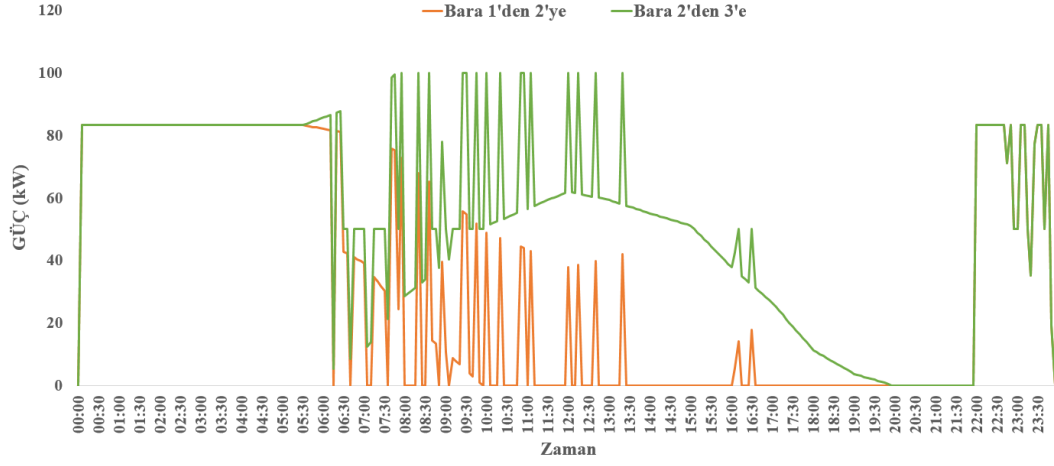
4.1.2.2 Simulasyon Çıktıları

EA'ların şarj grafikleri bölüm 3 teki Şekil 3.5'teki ile benzerdir. Bu bölümde farklı olarak dışarıya hizmet veren MESH'ler eklenmiştir. BU MESH'ler dışarıdaki iki otoparka ait toplam 630 kW'lık enerji ihtiyacını karşılamıştır. Tablo 4.2'de MESH'lerin başlangıç SoE'leri verilmiştir. Bu MESH'ler talep edilen çıkış enerjisine ulaşabilmek için yola çıkacağı süreye kadar ana otoparkta şarj olmuştur. Şebeke ve FV hem ana otoparktaki EV'lerin enerji ihtiyacını hem de dışarıdaki hizmet noktalarını oluşturan iki otoparktaki enerji ihtiyacını karşılamak için MES ve MESH'lere enerji aktarmıştır. FV'lerin üretimi yeterli olmayıp, şebekeden enerji alınmış ve şebekeye hiç enerji satılmamıştır. Şekil 4.2'de şebekeden çekilen enerjinin gün içindeki miktarını gösteren grafik bulunmaktadır.

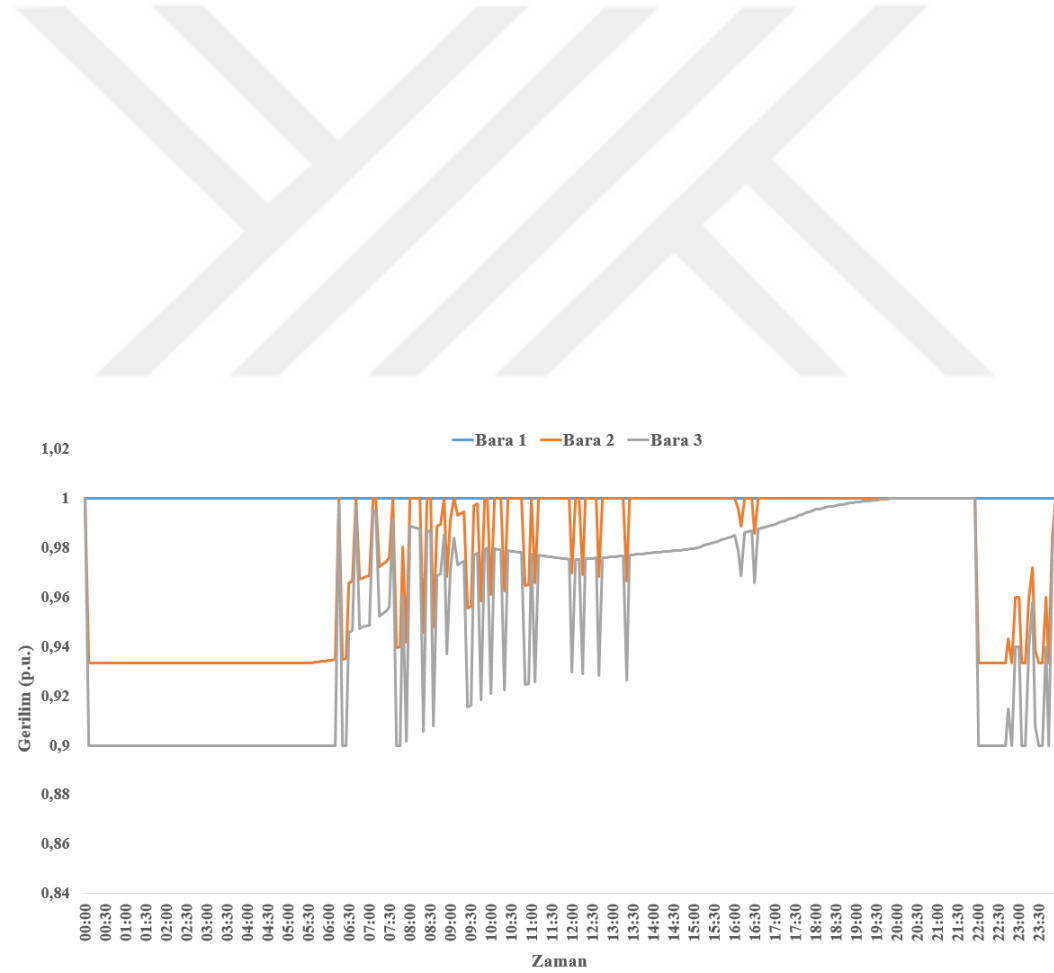
**Şekil 4.2** Şebekeden alınan güç

Bu sistem 3 baralı bir sistemdir. Birinci bara ana bara olup, şebekeden alışı ve satış bu baradan yapılmaktadır. İkinci barada FV bulunmakta, üçüncü bara ise şarj istasyonlarının bulunduğu baradır. Şekil 4.3'de bu baralar arası enerji durumu gösterilmektedir. Şebekeye satış olmadığından tersine bir enerji akışı bulunmamaktadır. Şekil 4.4'de ise baralarda bulunan gerilim düşümleri açık bir şekilde görülmektedir.

Bu simulasyonda 6 adet MESH bulunmaktadır. Bu MESH'lerin ilk 3 tanesi birinci talep eden otoparka, diğer 3 tanesi de ikinci talep eden otoparka gitmektedir. Şekil 4.4'te 2. ve 4. MESH'in SoE durumu görülmektedir. MESH'ler yola çıkışı

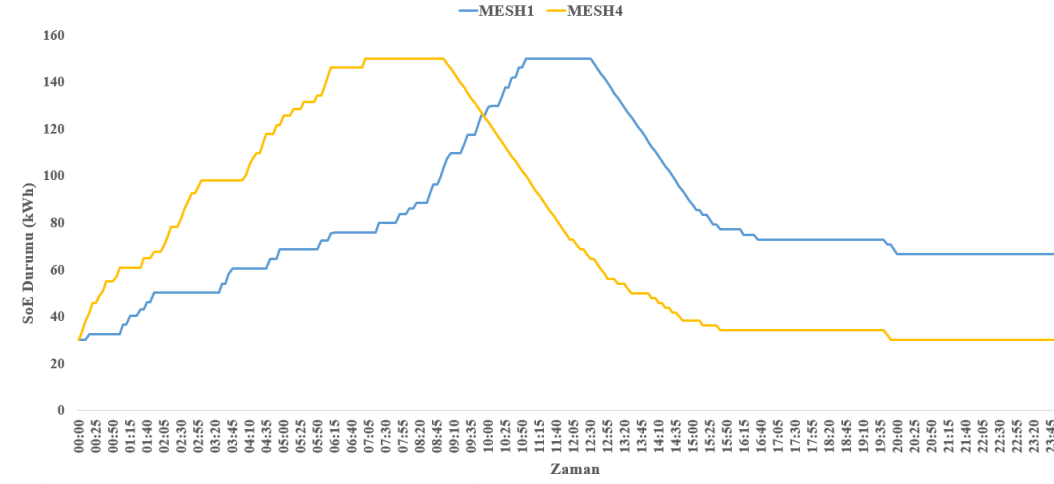


Şekil 4.3 Baralar arası güç akışı



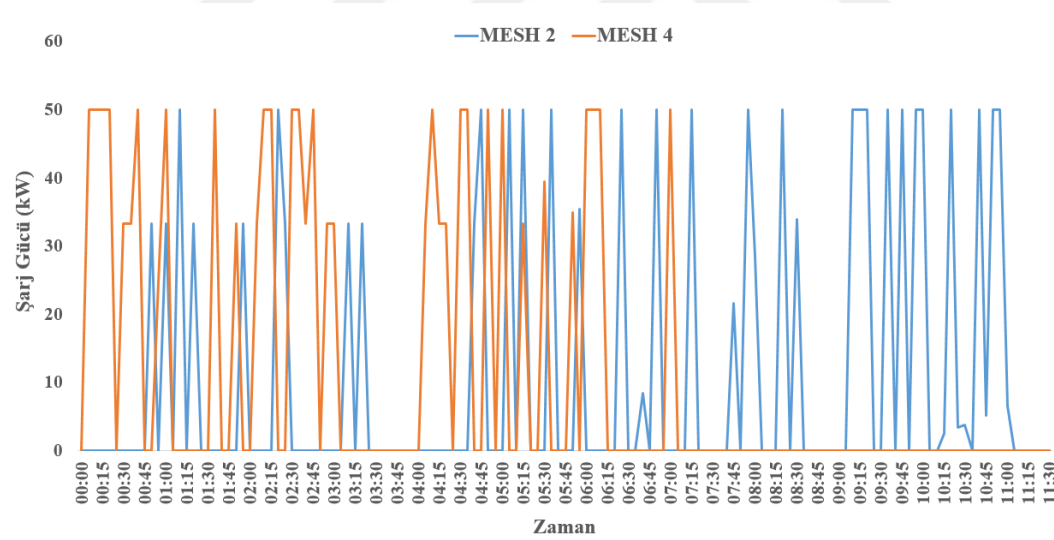
Şekil 4.4 Baralardaki gerilim genlikleri

zamanlarında istenen SoE değerine ulaşmış ve ardından talep eden otoparka gidip enerji ihtiyacını karşılamışlardır.



Şekil 4.5 MESH'lerin SoE durumu

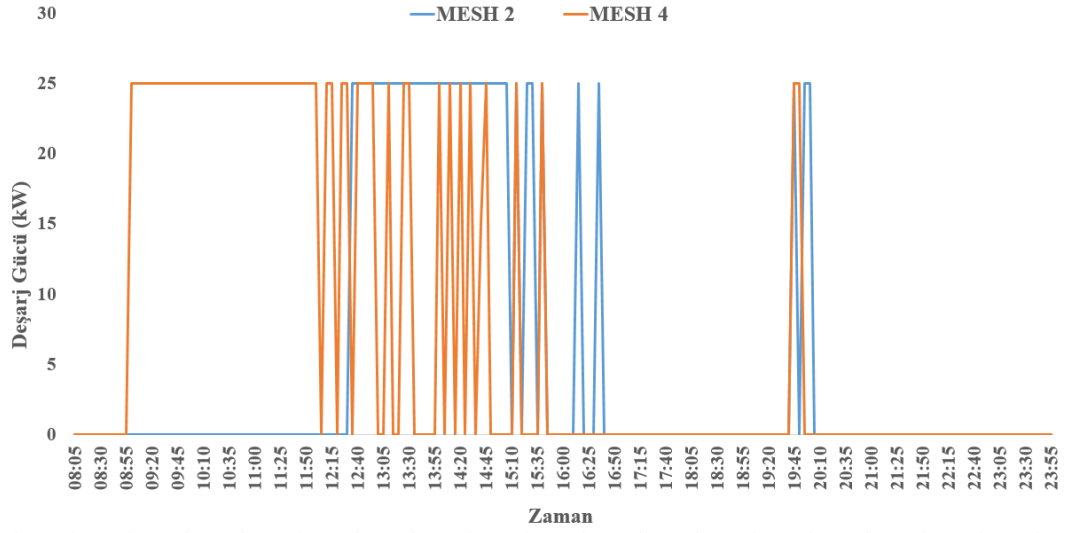
2. ve 4. MESH'in şarj durumunu gösteren grafik, şekil 4.6'de görülmektedir. Bu grafikte araçların ana otoparktan ayrılana kadar olan şarj olma durumları gösterilmiştir.



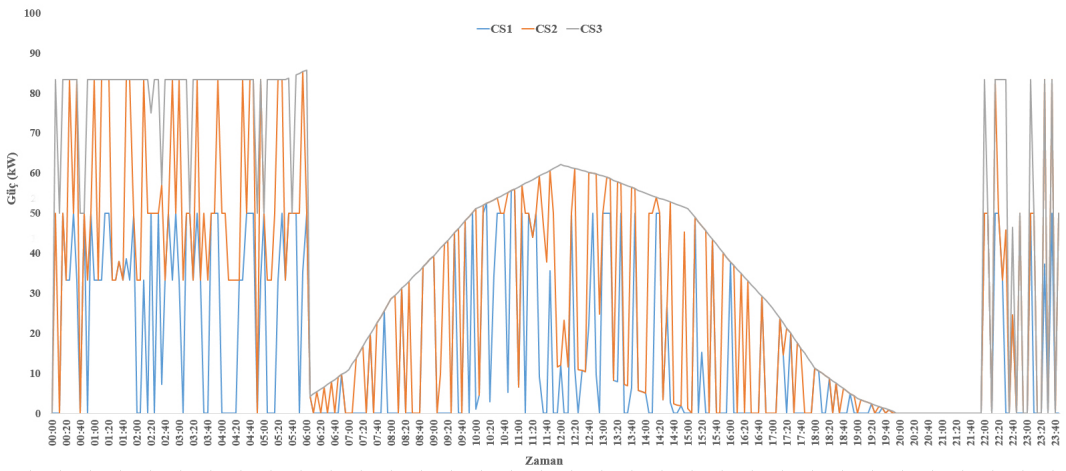
Şekil 4.6 MESH'lerin şarj durumu

MESH'ler enerji talep eden iki otoparka varıp, o otoparkların enerji ihtiyaçlarını gidermektedir. Şekil 4.7'da 2. ve 4. MESH'in deşarjını göstermektedir.

Ana otoparktaki ve hizmet talep eden dışarıdaki otoparkların enerji ihtiyacını karşılamak için MESH ve MES'ler şarj istasyonları tarafından şarj edilmektedir. Bu simülasyonda 3 adet şarj istasyonu bulunmaktadır ve onlara ait şarj grafikleri Şekil 4.8'da gösterilmektedir.



Şekil 4.7 MESH'lerin deşarj durumu



Şekil 4.8 CS'lerin güç durumu

Simulasyon sonuçlarına göre maliyet enerji maliyeti ve MESH'lerin dışarıya hareketinden oluşan maliyettir. Yol maliyeti 1. hizmet talep eden otopark için 790,38 TL, ikinci hizmet talep eden otopark için ise 1053,84 TL'dir. Enerji maliyeti ile birlikte toplam maliyet 3572,933 TL olmuştur.

4.2 Dışarı BMES Hizmeti Verilen Model

Bu bölümde, dışarıdan enerji talep eden noktaların ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik bir senaryo ele alınmıştır. Bu senaryoda, APB'nin enerji ihtiyacı, birinci modelde olduğu gibi MES'ler tarafından karşılanmıştır. Dış noktaların enerji talepleri ise BMESH'ler aracılığıyla karşılanmıştır. Bu sistem, EA'ların enerjiye bağlı yolda kalma gibi acil durumlarında veya olası enerji taleplerinde, BMESH'lerin ilgili noktalara giderek enerji sağlayarak sorunu çözmesini mümkün kılmaktadır.

Model, 4.1 bölümünde kullanılan üç baralı sistemle benzer bir yapıya sahiptir. AC güç akış modeli reaktif güç ihmal edilerek oluşturulmuştur. Hem MES hem de BMESH'lerin enerji ihtiyaçları, elektrik şebekesi ve FV kaynaklardan karşılanmıştır. Ancak, bu senaryoda MESH araçları kullanılmamış, BMESH araçları enerji talep eden noktalara doğrudan ulaşmıştır. BMESH araçlarının yolculuk sırasında harcadıkları enerji, hizmet verdikleri bataryalardan değil, kendi araç bataryalarından sağlanmıştır. Bu nedenle, enerji denklemlerinde yolculuk esnasında harcanan enerji göz ardı edilmiştir.

Bu model, enerji yönetimi ve dağıtımı süreçlerini daha etkin hale getirmek için geliştirilmiş olup, enerji talebini karşılamada yenilikçi bir çözüm sunmaktadır.

4.2.1 Matematiksel Model

Bu bölümde, bir önceki bölümden farklı olarak MESH'lerin denklemleri yerine BMESH'lerin denklemleri gelmiş olup BMESH'ler talep noktalarına kendileri gittikleri için, yoldaki taşıma maliyeti ortadan kalkmıştır. Modelin güç dengesi ve şebeke kısıtları, EA denklemleri, APB'deki MES denklemleri ve güç akışı denklemleri bölüm 4.1'dekiyle aynı olduğundan bu bölümde sadece yeni eklenen veya değiştirilen denklemlere yer verilecektir. Tablo 4.5'de ilgili indis, parametre ve karar değişkenlerine yer verilmiştir. Matematiksel modelin amaç fonksiyonu, toplam maliyeti en aza indirmek olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.5 Matematiksel modelin indis, parametre ve karar değişkenleri

Kümeler	$t, d, f, k, bkh, m, n, tn$
Parametreler	$\Delta T, \lambda_{d,t}^{alis}, \lambda_{d,t}^{satis}, CE_n^{cs}, CE_{d,m}^{EA}, CE_{d,k}^{MES}, CR_{d,m}^{EA}, CR_{d,k}^{MES}, DR_{d,k}^{MES}, N, P_{d,t}^{FV},$ $SoE_{d,m}^{EA,des}, SoE_{d,m}^{EA,ini}, SoE_{d,k}^{MES,ini}, SoE_{d,k}^{MES,max}, SoE_{d,k}^{MES,min}, T_{d,m}^a, T_{d,m}^d, DR_{d,bkh}^{BMESH}, CR_{d,bkh}^{BMESH},$ $CE_{d,bkh}^{BMESH}, SoE_{d,bkh}^{BMESH,ini}, SoE_{d,bkh}^{BMESH,max}, SoE_{d,k}^{MES,ini}, T_{d,bkh}^{gh}, T_{d,bkh}^{ch}, T_{d,bkh}^v, P_{tn}^{Talep}, x_{tn}, v_{BMESH}$
Karar Değişkenleri	$P_{d,t}^{alis}, P_{d,t}^{satis}, P_{d,t,k,m}^{EA}, P_{d,t,m}^{EA,tot}, P_{d,t,k,n}^{MES,ch}, P_{d,t,k}^{MES,ch,tot}, P_{d,t,k}^{MES,dis}, SoE_{d,t,m}^{EA}, SoE_{d,t,k}^{MES},$ $P_{d,t,n}^{CS}, a_{d,t,k,n}, u_t^{sebeke}, u_{d,t,k,m}, y_{d,t,k,m}, g_{d,t,kh,n}, z_{d,t,k,m}, T_{tn}^{Yol}, T_{tn}^{gidis},$ $P_{d,t,bkh}^{BMESH,dis}, Voltage_{DSO}, P_{DSO}^{line}, Prootbusbuy_{d,t}^{DSO}, Prootsellbus_{d,t}^{DSO}, SoE_{d,t,bkh}^{BMESH}, P_{d,t,bkh,n}^{BMESH,ch}, P_{d,t,bkh}^{BMESH,ch,tot}$

4.2.1.1 Amaç Fonksiyonu

Bu senaryoda amaç fonksiyonu bir önceki modelle benzer şekilde enerji maliyetini minimize etmek olarak belirlenmiştir. Eşitlik 4.49’de gösterildiği gibi net maliyet, şebekeden alınan enerjinin maliyeti ile şebekeye sattığımız enerjinin maliyetinin farkıdır. $P_{d,t}^{alis}$ t zamanında d barasında şebekeden satın alınan gücü, $P_{d,t}^{satis}$ t zamanında d barasında şebekeye satılan gücü, $\lambda_{d,t}^{alis}$ t zamanında d barasında şebekeden satın alınan enerjinin fiyatını belirtir. Bu modelde bir önceki modellerdeki gibi satın alınan enerji 3 tarifeli fiyatlandırmaya göre ücretlendirilmiştir. $\lambda_{d,t}^{satis}$ şebekeye satılan enerjinin birim fiyatını ifade etmektedir. ΔT zaman çözünürlüğünü ifade etmekte olup 5 dakikalık zaman dilimleri kullanılmıştır.

$$Maliyet = \sum_{d,t} (P_{d,t}^{alis} * \lambda_{d,t}^{alis} * \Delta T - P_{d,t}^{satis} * \lambda_{d,t}^{satis} * \Delta T) \quad (4.49)$$

4.2.1.2 BMESH Denklemleri

Eşitlik (4.50)-(4.61) arasında, BMESH’in operasyonel kısıtları detaylı bir şekilde tanımlanmaktadır. Bu kısıtlar, BMESH’lerin şarj ve deşarj süreçlerini, enerji seviyesinin yönetimini ve şebeke ile olan etkileşimlerini gösteren matematiksel ifadeleri içermektedir.

Eşitlik (4.50), bir BMESH’in şarj gücünün, maksimum şarj oranı ile sınırlandırıldığını ifade etmektedir. Bu durumda, herhangi bir t anındaki maksimum şarj gücü $CR_{d,bkh}^{BMESH}$ olarak tanımlanmıştır ve bu eşitlik, BMESH’in şarj kapasitesine yönelik bir kısıtlamayı temsil etmektedir.

Eşitlik (4.51) ise BMESH’lere ait toplam şarj gücünün, tüm bireysel BMESH’lerin şarj güçlerinin toplamına eşit olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak, Eşitlik

(4.52), her bir BMESH'in başlangıç durumu olan SOE değerinin, BMESH'in başlangıç SOE değeriyle aynı olduğunu vurgulamaktadır. Bu ifade, BMESH'in başlangıç enerji durumunu ifade etmektedir.

Eşitlik (4.53), BMESH'in enerji seviyesindeki değişimi tanımlayan bir denklemdir. BMESH'in herhangi bir t anındaki SOE değeri, bir önceki t anındaki SOE değerine şarj gücünün eklenmesi vedeşarj gücünün çıkarılmasıyla hesaplanmaktadır. Bu denklem, enerji transfer sürecini matematiksel bir ifade ile detaylandırmaktadır. Eşitlik (4.54), BMESH'lerin enerji seviyelerinin alt ve üst sınırlarını kısıtlayarak, sistemde enerji seviyelerinin güvenli sınırlar içinde tutulmasını sağlar.

Eşitlik (4.55), bir BMESH'in aynı anda yalnızca bir şarj istasyonu ile bağlantı kurabileceğini belirtirken, Eşitlik (4.56) aynı anda yalnızca bir şarj istasyonuna bağlanma gerekliliğini matematiksel olarak ifade etmektedir. Bu kısıtlamalar, BMESH'lerin operasyonel süreçlerinin düzenlenmesi ve çakışmaların önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Eşitlik (4.57), bir BMESH'indeşarj gücünün, maksimumdeşarj oranı ile sınırlandırıldığını açıklamaktadır. Bu durumda, herhangi bir t anında BMESH'in maksimumdeşarj gücü $DR_{d,kh}^{BMESH}$ olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, Eşitlik (4.58), talep noktalarındaki enerji ihtiyaçlarının, tüm BMESH'lerin toplamdeşarj gücüyle karşılandığını ifade etmektedir. Bu denklem, enerji arz ve talebi arasındaki dengeyi sağlamaktadır.

Eşitlik (4.59), BMESH'in enerji talep eden bir noktaya giderken geçirdiği süreyi saat cinsinden tanımlar. Bu süre, Eşitlik (4.60) ile ΔT 'ye bölünerek 5 dakikalık t zaman dilimine dönüştürülmüştür. Eşitlik (4.61), BMESH'in enerji talep eden bir otoparka vardığı t anını göstermektedir. Bu denklem, sistemdeki hareket ve zamanlama kısıtlamalarının analizinde kullanılmaktadır.

$$P_{d,t,bkh,n}^{BMESH,ch} \leq CR_{d,bkh}^{BMESH} * g_{d,t,bkh,n}, \quad \forall t, k, n \in [T_{gh}^{d,bkh}, T_{ch}^{d,bkh}] \quad (4.50)$$

$$P_{d,t,bkh}^{BMESH,ch,tot} = \sum_n P_{d,t,bkh,n}^{BMESH,ch}, \quad \forall t, k \quad (4.51)$$

$$SoE_{d,t,bkh}^{BMESH} = SoE_{d,bkh}^{BMESH,ini}, \quad \forall k, t = 1 \quad (4.52)$$

$$SoE_{d,t,bkh}^{BMESH} = SoE_{d,t-1,k}^{BMESH} + P_{d,t,bkh}^{MESH,chtot} * CE_{d,bkh}^{BMESH} * \Delta T - P_{d,t,bkh}^{BMESH,dis} * \Delta T, \quad \forall k, t > 1 \quad (4.53)$$

$$SoE_{d,bkh}^{bMESH,min} \leq SoE_{d,t,bkh}^{BMESH} \leq SoE_{d,bkh}^{BMESH,max}, \quad \forall t, k \quad (4.54)$$

$$\sum_n g_{d,t,bkh,n} \leq 1, \quad \forall t, k \quad (4.55)$$

$$\sum_{kh} g_{d,t,bkh,n} \leq 1, \quad \forall t, n \quad (4.56)$$

$$P_{d,t,bkh}^{BMESH,dis} \leq DR_{d,bkh}^{BMESH}, \quad \forall k, n > T_v^{d,bkh} \quad (4.57)$$

$$\sum_d \sum_t \sum_{bkh} P_{d,t,bkh}^{BMESH,dis} = \sum_{tn} P_{tn}^{Talep} \quad (4.58)$$

$$T_{tn}^{Yol} = x_{tn} / v_{BMESH}, \quad \forall o \quad (4.59)$$

$$T_{tn}^{gidis} = T_{tn}^{Yol} / \Delta T, \quad \forall o \quad (4.60)$$

$$T_{d,bkh}^v = T_{d,bkh}^{ch} + T_{tn}^{Yol} \quad (4.61)$$

4.2.2 Test Ve Sonuçlar

Bu model, EA otoparkı alanında kullanılan MES, dışarıda enerji talep eden noktalar için BMESH, ve bu MES ve BMESH'lerin şarj edildiği şarj istasyonları ve anaotoparkı kullanan EA'ları kapsayan bir optimizasyon çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, maliyetlerin minimize edilmesi amacıyla MILP yöntemi tercih edilmiştir. Modelin çözülmesi için, GAMS v.24.1.3 ortamı kullanılmış ve bu ortamda IBM'in CPLEX v.12 çözücüsünden faydalanılmıştır.

4.2.2.1 Giriş Verileri

Bu simülasyon çalışmasında, bölüm 4.1'den farklı olarak MESH'ler kaldırılmış yerine enerji talep noktalarına kendileri hareket eden BMESH'ler eklenmiştir. FV,EA, MES ve MES'lerin hizmet verdiği otopark verileri bölüm 4.1 de verilen modeldeki verilerle aynıdır. Simulasyon boyunca üç farklı özelliğe sahip 6 adet BMESH kullanılmıştır. Bu 6 BMESH, üç farklı talep noktasına hizmet vermektedir. BMESH'lerin verileri tablo 4.6'de verilmiştir. BMESH'ler kendi otopark noktalarında şarj olup, T_{ch} zamanında hizmet verecekleri noktaya harekete geçmektedirler. .

Tablo 4.6 BMESH verileri [66],[67],[68]

<i>Model</i>	<i>DR</i>	<i>CR</i>	<i>CE</i>	<i>SoE_{ini}</i>	<i>SoE_{max}</i>	<i>SoE_{min}</i>	<i>T_{ch}</i>
1	25 kW	50 kW	0,95	30 kWh	140 kWh	30 kWh	11:00
2	25 kW	50 kW	0,95	30 kWh	140 kWh	30 kWh	08:15
3	25 kW	50 kW	0,95	30 kWh	105 kWh	20 kWh	06:35
4	25 kW	50 kW	0,95	30 kWh	105 kWh	20 kWh	07:25
5	25 kW	50 kW	0,95	30 kWh	70 kWh	15 kWh	07:00
6	25 kW	50 kW	0,95	30 kWh	70 kWh	15 kWh	05:45

BMESH'ler T_{ch} zamanında APB'den ayrılarak hizmet verecekleri talep noktalarına gitmektedir. Bu BMESH'ler 3 farklı noktaya hizmet vermektedir. Bu talep noktalarının talep ettikleri güç, ana otoparka uzaklıkları ve BMESH'lerin hizmet verecekleri noktalara varış saatleri tablo 4.7'de verilmiştir.

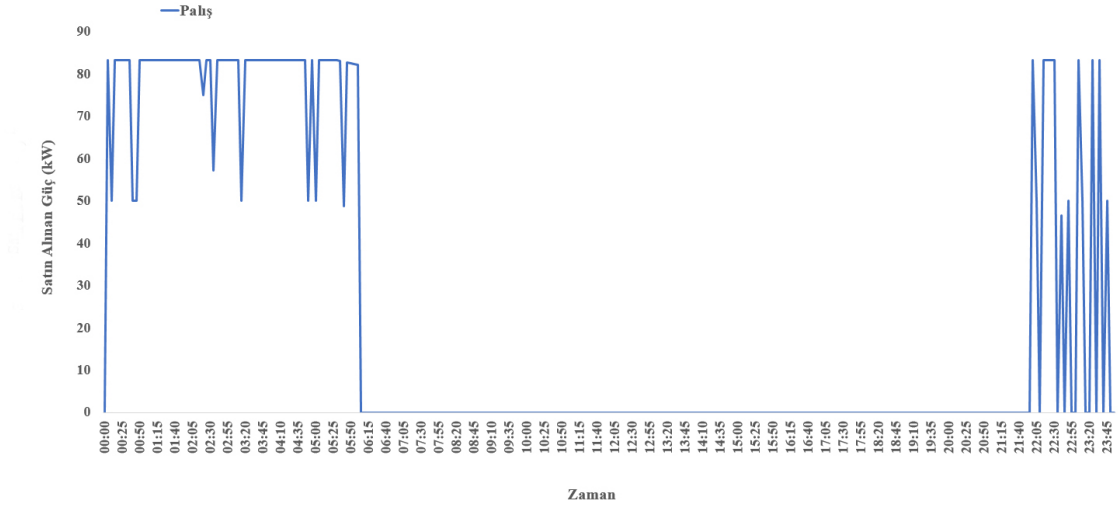
Tablo 4.7 Talep noktası verileri

<i>TalepN.</i>	<i>P_{Talep}</i>	<i>X_O</i>	<i>T_v</i>
1	110 kW	120 Km	12:30
2	110 kW	160 Km	10:15
3	85 kW	80 Km	07:35
4	85 kW	20 Km	07:40
5	55 kW	40 Km	07:30
6	55 kW	60 Km	06:30

4.2.2.2 Simulasyon Çıktıları

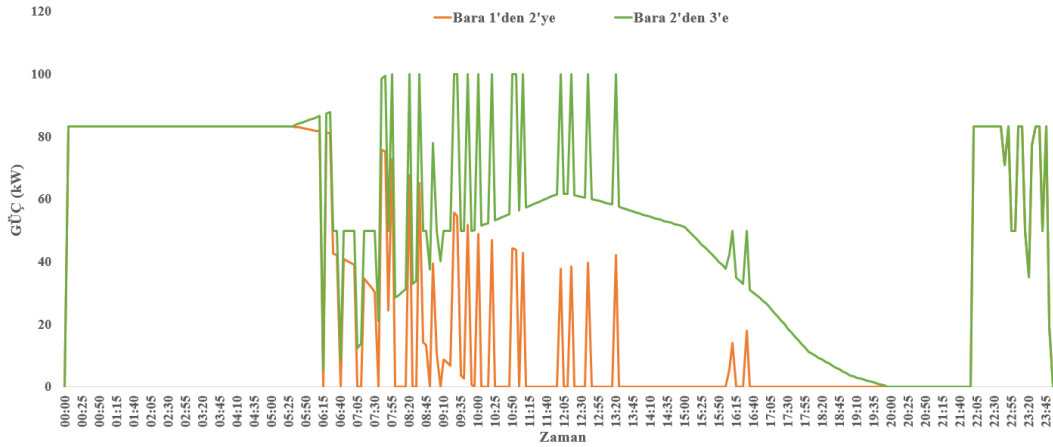
EA'ların şarj grafikleri bölüm 3 teki Şekil 3.5'teki ile benzerdir. Bu bölümde farklı olarak dışarıya hizmet veren BMESH'ler eklenmiştir. BU BMESH'ler talep noktalarının toplam 500 kW'lık enerji ihtiyacını karşılamıştır. Tablo 4.6'de MESH'lerin başlangıç SoE'leri verilmiştir. Bu MESH'ler talep edilen çıkış enerjisine ulaşabilmek için yola çıkacağı süreye kadar ana otoparkta şarj olmuştur. Şebeke ve FV MES ve BMESH'lere enerji aktarmıştır. FV'lerin üretimi yeterli

olmayıp, şebekeden enerji alınmış ve şebekeye hiç enerji satılmamıştır. Şekil 4.9’de şebekeden çekilen enerjinin gün içindeki miktarını gösteren grafik bulunmaktadır.



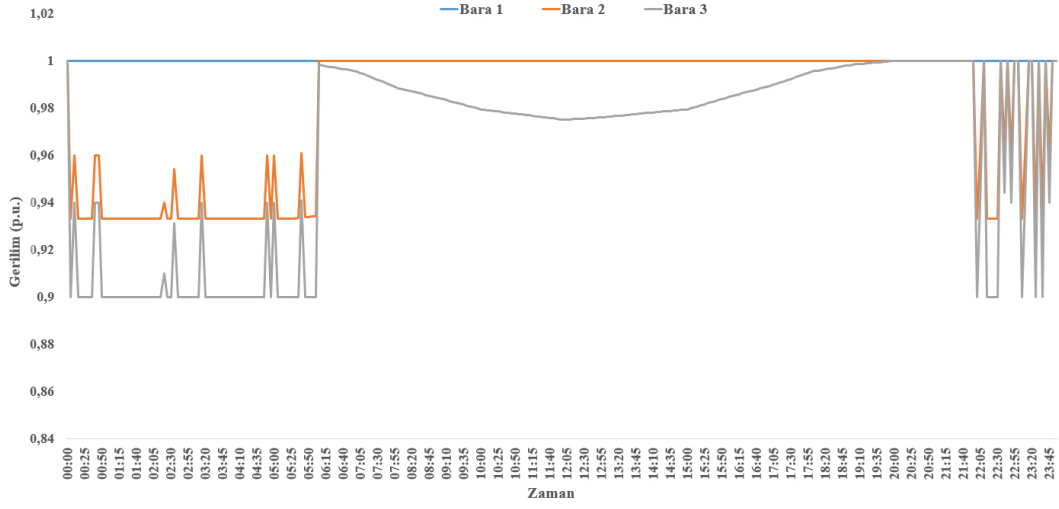
Şekil 4.9 Şebekeden alınan güçler

Bu sistem 3 baralı bir sistemdir. Birinci bara ana bara olup, şebekeden alışı ve satış bu baradan yapılmaktadır. İkinci barada FV bulunmakta, üçüncü bara ise şarj istasyonlarının bulunduğu baradır. Şekil 4.10’de bu baralar arası enerji durumu gösterilmektedir. Şebekeye satış olmadığından tersine bir enerji akışı bulunmamaktadır. Şekil 4.11’de ise baralarda bulunan gerilim düşümleri açık bir şekilde görülmektedir

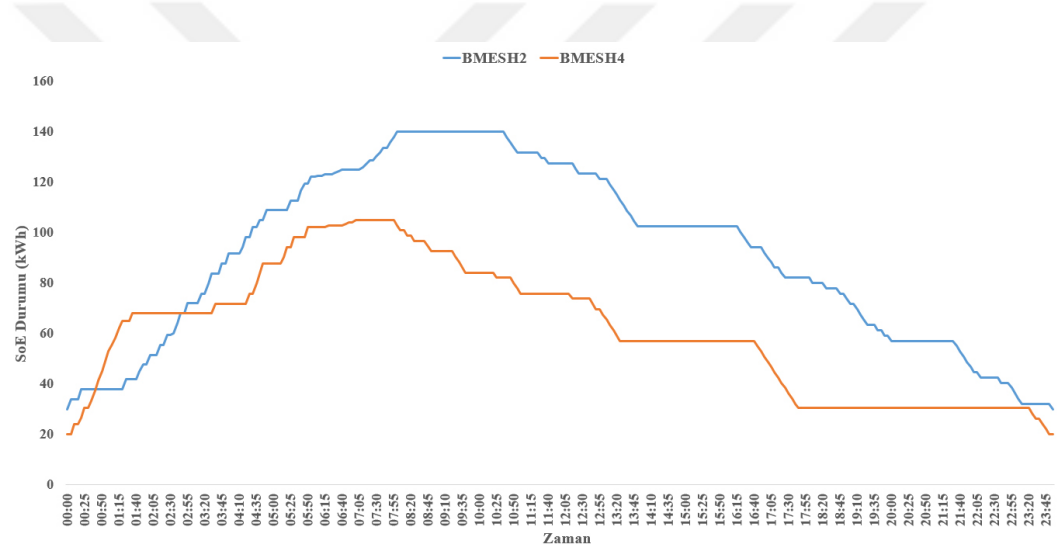


Şekil 4.10 Baralar arası güç akışı

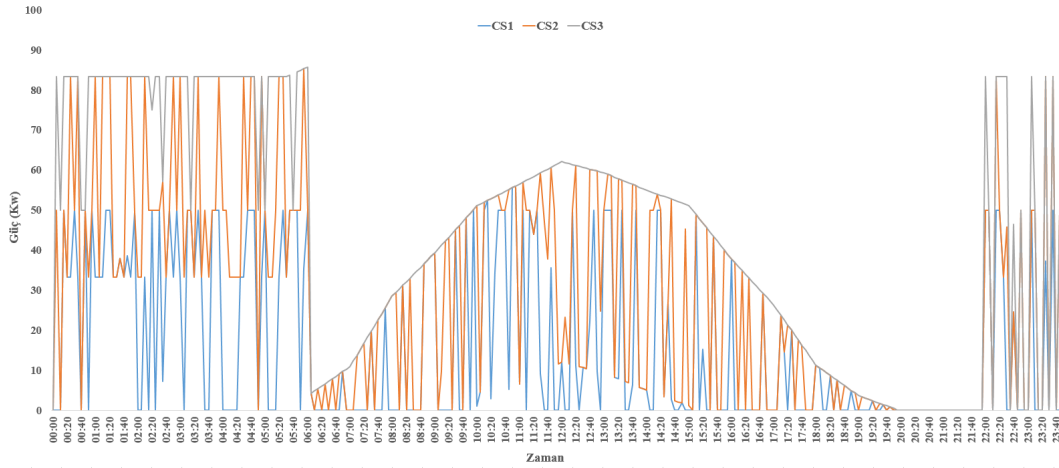
Bu simülasyonda 6 adet BMESH bulunmaktadır. Bu MESH’ler her biri farklı talep noktasına gidecek şekilde 6 farklı noktaya hizmet vermektedir. Şekil 4.12’te 2. ve 4. MESH’in SoE durumu görülmektedir. MESH’ler yola çıkış zamanlarında istenen SoE değerine ulaşmış ve ardından talep noktasına gidip oradaki enerji ihtiyacını karşılamışlardır.



Şekil 4.11 Baralardaki gerilim genlikleri

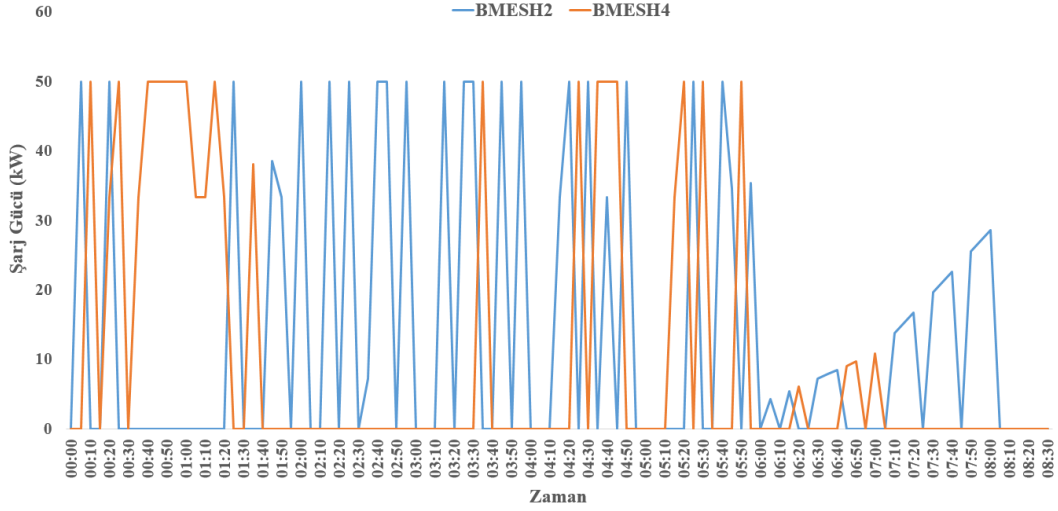


Şekil 4.12 2. ve 4. BMESH'in SoE durumu

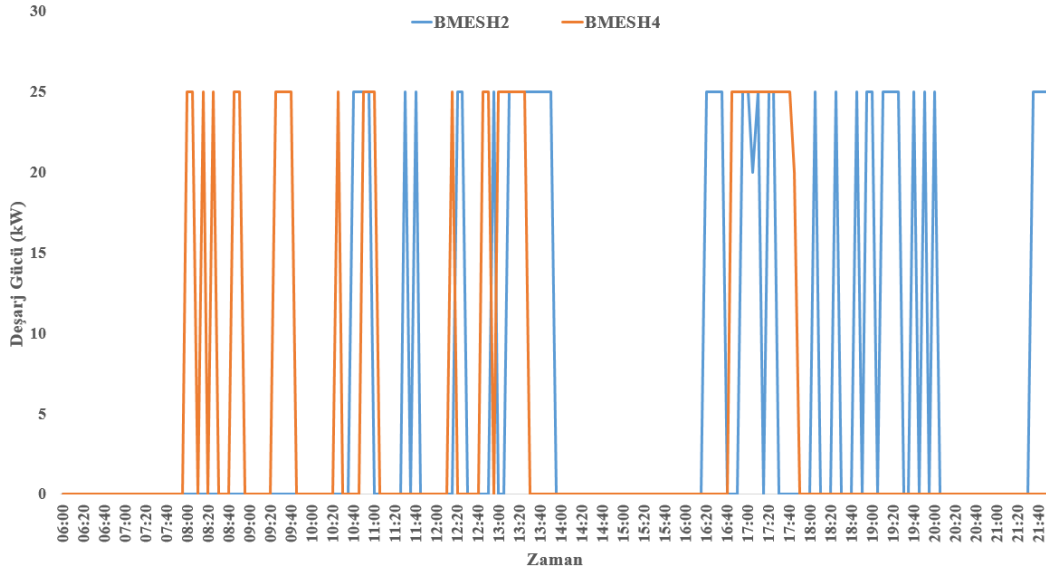


Şekil 4.13 CS'lerin güç durumu

2. ve 4. BMESH'lerin şarj durumunu gösteren grafik, şekil 4.14'de görülmektedir. Bu grafikte araçların ana otoparktan ayrılana kadar olan şarj olma durumları gösterilmiştir. BMESH'ler enerji talep eden noktalara varıp, o noktaların enerji ihtiyaçlarını gidermektedir. Şekil 4.15'da 2. ve 4. MESH'in deşarjını göstermektedir.



Şekil 4.14 2. ve 4. BMESH'in şarj durumu



Şekil 4.15 2. ve 4. BMESH'in deşarj durumu

Ana otoparkın ve enerji talep eden noktaların enerji ihtiyacını karşılamak için BMESH ve MES'ler şarj istasyonları tarafından şarj edilmektedir. Bu simülasyonda 3 adet şarj istasyonu bulunmaktadır ve onlara ait şarj grafikleri Şekil 4.13'da gösterilmektedir. Simülasyon sonuçlarına göre enerji maliyeti 1077,091 TL olmuştur.

EA'lar, çevre dostu ulaşım çözümleri sunarak küresel ısınma ve iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynamaktadır. Fosil yakıtla çalışan araçlara kıyasla, elektrikli araçların karbondioksit emisyonları önemli ölçüde daha düşüktür. Bu bağlamda, elektrikli araç şarj altyapısının ve parklanma bölgesinin etkin bir şekilde optimize edilmesi, enerji verimliliğini artırmanın yanı sıra çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir. Park alanlarının enerji yönetimi, şarj istasyonlarının verimli kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum fayda sağlanması, çevresel faydaları daha da artırmaktadır.

Bu tezde, enerji yönetimi ve maliyet optimizasyonu konularında MES etkinliği incelenmiş ve yenilikçi matematiksel modeller geliştirilmiştir. Çalışmada önerilen birinci model, otoparklarda enerji tüketimini optimize ederek, MES'lerin operasyonel verimliliğini artırmayı hedeflemiştir. İkinci model ise MES'lerin dışarıya hizmet sağladığı durumlarda enerji akışlarını ve maliyetleri daha geniş bir perspektifte değerlendirmiştir.

Simülasyon sonuçları göstermektedir ki, MES kullanımı, sabit şarj istasyonlarına kıyasla enerji altyapısına olan bağımlılığı önemli ölçüde azaltmakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ile çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Ayrıca, MES'lerin taşınabilirlik özellikleri sayesinde, farklı lokasyonlarda enerji dağıtımı daha esnek bir şekilde gerçekleştirilebilmekte, bu da hem enerji maliyetlerini minimize etmekte hem de kullanıcı taleplerine çözüm sunmaktadır.

Çalışmanın önemli bir diğer çıktısı, MES'lerin kullanımıyla şebekeden bağımsız bir operasyonun mümkün olabileceğinin gösterilmesidir. MES'lerin etkin çalışması, hem enerji arzındaki dalgalanmaların dengelenmesine hem de FV üretiminden maksimum fayda sağlanmasına olanak tanımaktadır. MES'lerin gün içerisindeki enerji alım-satım dengesini düzenlemesi, park alanı içerisindeki enerji akışını daha öngörülebilir ve kontrol edilebilir bir hâle getirmiştir. MES'ler, FV üretimi

sırasında enerji depolayarak, FV üretiminin düşük olduğu saatlerde EA'lara enerji sağlamaktadır. Bu strateji, enerji şebekesine olan bağımlılığı en aza indirirken, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasını mümkün kılmaktadır.

Önerilen yaklaşımların uygulanabilirliği, farklı kullanım senaryolarında doğrulanmış ve bu modellerin büyük ölçekli uygulamalarda da başarılı sonuçlar elde edebileceği gösterilmiştir. Tezin bulguları, elektrikli araç şarj altyapısının gelecekteki planlamasında MES sistemlerinin önemli bir rol oynayacağını ortaya koymakta ve bu konuda yapılacak olan daha ileri çalışmalar için değerli bir temel oluşturmaktadır.



- [1] *Technology needs in long-distance transport*. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports%20energy-technology-perspectives-%202020/technology-needs-in-long-distance-transport.html>.
- [2] *Iea (2023), global ev outlook 2023, iea, paris*. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>.
- [3] *Iea (2022), global ev outlook 2022, iea, paris*. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>.
- [4] İ. Şengör, S. Güner, O. Erdiñç, “Real-time algorithm based intelligent ev parking lot charging management strategy providing pll type demand response program,” *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 12, no. 2, pp. 1256–1264, 2021. doi: 10.1109/TSTE.2020.3040818.
- [5] A. Al Mehadi, O. Watson, A. Kamineni, “Comparative analysis of milp and rl algorithms for ev charging scheduling at airport parking,” *2024 IEEE Kansas Power and Energy Conference (KPEC)*, IEEE, 2024, pp. 1–6.
- [6] N. Bodenschatz, M. Eider, A. Berl, “Mixed-integer-linear-programming model for the charging scheduling of electric vehicle fleets,” *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, IEEE, 2020, pp. 741–746.
- [7] L. Zhang, Y. Li, “Optimal management for parking-lot electric vehicle charging by two-stage approximate dynamic programming,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 8, no. 4, pp. 1722–1730, 2017. doi: 10.1109/TSG.2015.2505298.
- [8] M. Akil, E. Dokur, R. Bayindir, “Optimal scheduling of on-street ev charging stations,” *2022 IEEE 20th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC)*, IEEE, 2022, pp. 679–684.
- [9] K. Brooks, V. Roberge, M. Tarbouchi, “Optimization of electric vehicle charge scheduling in multiple parking lots: A method based on metaheuristics and high performance computing,” *2024 International Conference on Computing, Internet of Things and Microwave Systems (ICCIMS)*, IEEE, 2024, pp. 1–5.
- [10] M. Mohammadi-Landi, M. Rastegar, M. Mohammadi, S. Afrasiabi, “Stochastic optimal sizing of plug-in electric vehicle parking lots in reconfigurable power distribution systems,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 10, pp. 17 003–17 014, 2022.

- [11] J. Zhou, Y. Zhou, K. Zhang, S. Liu, S. Shi, H. Li, "Scheduling optimization method for charging piles in electric vehicle charging stations based on mixed integer linear programming," *2023 IEEE 7th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, IEEE, 2023, pp. 220–224.
- [12] J. F. Franco, M. J. Rider, R. Romero, "A mixed-integer linear programming model for the electric vehicle charging coordination problem in unbalanced electrical distribution systems," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 6, no. 5, pp. 2200–2210, 2015.
- [13] M. A. Baherifard, R. Kazemzadeh, A. S. Yazdankhah, M. Marzband, "Intelligent charging planning for electric vehicle commercial parking lots and its impact on distribution network's imbalance indices," *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 30, p. 100620, 2022.
- [14] M. Ahrabi, M. Abedi, H. Nafisi, M. A. Mirzaei, B. Mohammadi-Ivatloo, M. Marzband, "Evaluating the effect of electric vehicle parking lots in transmission-constrained ac unit commitment under a hybrid igdt-stochastic approach," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 125, p. 106546, 2021.
- [15] A. Arif, J. Milanovic, "Battery storage allocation in unbalanced distribution systems with ev demand uncertainty," *2022 17th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS)*, IEEE, 2022, pp. 1–6.
- [16] İ. Şengör, A. K. Erenoğlu, O. Erdinç, A. Taşcıkaraoğlu, İ. C. Taştan, A. F. Büyük, "Optimal sizing and siting of ev charging stations in a real distribution system environment," *2020 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, IEEE, 2020, pp. 1–6.
- [17] A. C. F. Sabillón, J. F. Franco, M. J. Rider, R. Romero, "Optimal charging coordination of electric vehicles in unbalanced electrical distribution system considering vehicle-to-grid technology," *2015 3rd International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG)*, Ieee, 2015, pp. 1–5.
- [18] J. F. Franco, M. J. Rider, R. Romero, "An milp model for the plug-in electric vehicle charging coordination problem in electrical distribution systems," *2014 IEEE PES General Meeting| Conference & Exposition*, Ieee, 2014, pp. 1–5.
- [19] M. A. Mejia, L. H. Macedo, G. Muñoz-Delgado, J. Contreras, A. Padilha-Feltrin, "Distribution system planning considering non-utility-owned electric vehicle charging stations," *2022 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, IEEE, 2022, pp. 1–6.
- [20] Ö. Gönül, A. C. Duman, Ö. Güler, "Multi-objective optimal sizing and techno-economic analysis of on-and off-grid hybrid renewable energy systems for ev charging stations," *Sustainable Cities and Society*, vol. 115, p. 105846, 2024.
- [21] A. K. Mathur, P. K. Yemula, *et al.*, "Optimal charging schedule for electric vehicles in parking lot with solar power generation," *2018 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)*, IEEE, 2018, pp. 611–615.

- [22] A. K. Karmaker, M. A. Hossain, H. R. Pota, A. Onen, J. Jung, “Energy management system for hybrid renewable energy-based electric vehicle charging station,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 27 793–27 805, 2023.
- [23] C.-R. Chen, Y.-S. Chen, T.-C. Lin, “Optimal charging scheduling for electric vehicle in parking lot with renewable energy system,” *2019 IEEE international conference on systems, man and cybernetics (SMC)*, IEEE, 2019, pp. 1684–1688.
- [24] R. Rajkumar, B. Venkatesan, G. Lakshmiprabha, S. Loahit, S. M. Muhsin, “Optimal charging process for electric vehicle using renewable energy source,” *2023 International Conference on Circuit Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, IEEE, 2023, pp. 463–468.
- [25] I. A. Zenhom, M. F. Shaaban, W. A. Omran, “Grid interactive charging of evs in pv-powered parking lots considering uncertainties,” *IEEE Access*, 2023.
- [26] M. Salari, S. Armaghani, Z. Moravej, “A novel solution methodology for electrical vehicles charging schedule in coordinated with full flexible resources in microgrid,” *Journal of Energy Storage*, vol. 90, p. 111 765, 2024.
- [27] A. Asaad *et al.*, “Multi-objective optimal planning of ev charging stations and renewable energy resources for smart microgrids,” *Energy Science & Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 1202–1218, 2023.
- [28] P.-Y. Kong, “Autonomous robot-like mobile chargers for electric vehicles at public parking facilities,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 6, pp. 5952–5963, 2019.
- [29] M. R. Salehizadeh, M. A. Beyazıt, E. Demirel, A. Taşcıkaraoğlu, J. J. Liu, “Charging experience enhancement for electric and hydrogen vehicles through a pv-based mobile multi-charging station,” *2024 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, IEEE, 2024, pp. 1–6.
- [30] Y. Ding, F. Chen, J. Feng, H. Cheng, “Competition and pricing strategy of electric vehicle charging services considering mobile charging,” *IEEE Access*, 2024.
- [31] A. C. Erüst, M. A. Beyazıt, F. Y. Taşcıkaraoğlu, A. Taşcıkaraoğlu, “Deep reinforcement learning-based navigation strategy for a mobile charging station in a dynamic environment,” *2023 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, IEEE, 2023, pp. 1–6.
- [32] H. Li, D. Son, B. Jeong, “Electric vehicle charging scheduling with mobile charging stations,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 434, p. 140 162, 2024.
- [33] M. A. Beyazıt, A. Taşcıkaraoğlu, “Electric vehicle charging through mobile charging station deployment in coupled distribution and transportation networks,” *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 35, p. 101 102, 2023.
- [34] Z. Zhang, Z. Y. Dong, C. Yip, “A new charging scheme based on mobile charging robots cluster: A three-level coordinated perspective,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2024.

- [35] P.-Y. Kong, "Extending energy storage lifetime of autonomous robot-like mobile charger for electric vehicles," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 106 811–106 821, 2020.
- [36] M. Beyazit, A. Erenoglu, A. Tascikaraoglu, "Fairness and equity in electric vehicle charging with mobile charging stations," *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2024.
- [37] S. Afshar, Z. K. Pecenak, M. Barati, V. Disfani, "Mobile charging stations for ev charging management in urban areas: A case study in chattanooga," *Applied Energy*, vol. 325, p. 119 901, 2022.
- [38] S. Afshar, V. Disfani, "Optimal scheduling of electric vehicles in the presence of mobile charging stations," *2022 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, IEEE, 2022, pp. 1–5.
- [39] A. K. Aktar, A. Taşçıkaraoğlu, J. P. Catalão, "Scheduling of mobile charging stations with local renewable energy sources," *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 37, p. 101 257, 2024.
- [40] M. A. Beyazit, A. K. Erenoglu, A. Taşçıkaraoğlu, "Scheduling of mobile charging stations for fair electric vehicle charging," *2023 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, IEEE, 2023, pp. 1–6.
- [41] Z. Zhang, Z. Y. Dong, C. Yip, F. Luo, "Security-economic driven coordinated operation of the mobile charging robots cluster and active distribution networks," *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2024.
- [42] M. Nazari-Heris, A. Loni, S. Asadi, B. Mohammadi-ivatloo, "Toward social equity access and mobile charging stations for electric vehicles: A case study in los angeles," *Applied Energy*, vol. 311, p. 118 704, 2022.
- [43] M. R. Chakraborty, S. Dawn, P. K. Saha, J. B. Basu, "Evolution and present status of electric vehicles: A comprehensive review," *2024 International Conference on Computational Intelligence for Green and Sustainable Technologies (ICCIGST)*, IEEE, 2024, pp. 1–6.
- [44] *Elektrikli araçların gelişimi*. [Online]. Available: <https://voltla.com.tr/blog/elektrikli-araclarin-gelisimi> (visited on 01/20/2024).
- [45] *Elektrikli araçların tarihsel gelişimi ve günümüzdeki önemi*. [Online]. Available: <https://www.devkas.com/elektrikli-araclarin-tarihsel-gelisimi-ve-gunumuzdeki-onemi.html> (visited on 03/20/2024).
- [46] H. S. Das, M. M. Rahman, S. Li, C. W. Tan, "Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 120, p. 109 618, 2020.

- [47] Ö. Gönül, A. C. Duman, Ö. Güler, “Electric vehicles and charging infrastructure in turkey: An overview,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 143, p. 110913, 2021, issn: 1364-0321. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110913>. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121002069>.
- [48] *Trends in electric cars*. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/trends-in-electric-cars> (visited on 04/2024).
- [49] *Global ev data explorer*. [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer> (visited on 04/23/2024).
- [50] *Türkiye ulaştırma sektörünün dönüşümü: Elektrikli araçların türkiye dağıtım şebekesine etkileri*. [Online]. Available: <https://shura.org.tr/turkiye-ulaştırma-sektorunun-donusumu-elektrikli-arac-larin-turkiye-dagitim-sebekesine-etkileri/> (visited on 12/2019).
- [51] U. Fesli, M. B. Ozdemir, “Electric vehicles: A comprehensive review of technologies, integration, adoption, and optimization,” *IEEE Access*, 2024.
- [52] H. Shareef, M. M. Islam, A. Mohamed, “A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 64, pp. 403–420, 2016.
- [53] J. Martínez-Lao, F. G. Montoya, M. G. Montoya, F. Manzano-Agugliaro, “Electric vehicles in spain: An overview of charging systems,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 77, pp. 970–983, 2017.
- [54] *Ev charging standards*. [Online]. Available: <http://therevpr%20object.com/doc/2012-EVcharging-s.pdf> (visited on 02/04/2020).
- [55] A. Yousuf, Z. Wang, R. Paranjape, Y. Tang, “Electric vehicle charging station infrastructure: A comprehensive review of technologies, challenges, and mitigation strategies,” *2023 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, IEEE, 2023, pp. 588–592.
- [56] Y. Zheng, Z. Y. Dong, Y. Xu, K. Meng, J. H. Zhao, J. Qiu, “Electric vehicle battery charging/swap stations in distribution systems: Comparison study and optimal planning,” *IEEE transactions on Power Systems*, vol. 29, no. 1, pp. 221–229, 2013.
- [57] *Türkiye için elektrikli araç şarj altyapısı*. [Online]. Available: <https://sarjdestek.sanayi.gov.tr/turkiye-icin-elektrikli-arac-sarj-altyapisi> (visited on 01/2022).
- [58] *Teknolojik ürün yatırım destek programı elektrikli araçlar için şarj istasyonları çağrısı*. [Online]. Available: <https://sarjdestek.sanayi.gov.tr/cagri-duyurusu> (visited on 01/2022).

- [59] *Mobility strategy*. [Online]. Available: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/mobility-strategy_en (visited on 06/20/2021).
- [60] *Domestic policies*. [Online]. Available: <https://chineseclimatepolicy.oxfordenergy.org/book-content/domestic-policies/vehicles/electric-vehicles/> (visited on 2020).
- [61] *Electric vehicle database, "current and upcoming electric vehicles"*. [Online]. Available: <https://ev-database.org/>.
- [62] *Innoenergy, "energy for transport and mobility: Robot "charles" and evolutive cube of power "eiko""*. [Online]. Available: <https://www.innoenergy.com/discover-innovative-solutions/onlinemarketplace-%20for-energy-innovations/ev-charging-robot-charles/>.
- [63] *Lg electronics, "lg315n1k-a5"*. [Online]. Available: <https://www.lg.com/us/business/solar-panels/lg-LG315N1K-A5>.
- [64] *Otokar atlas kamyon*. [Online]. Available: <https://www.acamar.com.tr/marka/otokar/atlas-kamyon> (visited on 2024).
- [65] *Npr 10 long*. [Online]. Available: <https://www.isuzu.com.tr/modeller/kamyon/npr10-long> (visited on 2024).
- [66] *Ev70 m*. [Online]. Available: <https://www.ev-bee.com/urun/1-ev70-m>.
- [67] *Ev105 c*. [Online]. Available: <https://www.ev-bee.com/urun/4-ev105-c>.
- [68] *Ev140 t*. [Online]. Available: <https://www.ev-bee.com/urun/5-ev140-t>.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirisi

1. A. F. Tetik, H. Yigit, A. K. Erenoglu, O. Erdiñ, A.R. Boynuegri, "Optimizing Parking Lot Management with Mobile Energy Suppliers for Electric Vehicles", IEEE Global Energy Conference 2024, Riverside, USA, Batman, Türkiye 2024, pp. 6-11

