

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRO ŞEBEKELERDE ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU  
ALTYAPI DİZAYNI VE YENİLENEBİLİR ENERJİ  
SANTRALLERİNİN OPTİMAL BOYUTLANDIRILMASI

Uğur Mert IŞIK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Tesisleri Programı

Danışman

Doç. Dr. Erdin GÖKALP

Ağustos, 2023

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİKRO ŞEBEKELERDE ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU**  
**ALTYAPI DİZAYNI VE YENİLENEBİLİR ENERJİ**  
**SANTRALLERİNİN OPTİMAL BOYUTLANDIRILMASI**

Uğur Mert IŞIK tarafından hazırlanan tez çalışması 01.08.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Tesisleri Programı **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Erdin GÖKALP  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
Danışman

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Erdin GÖKALP, (Danışman)

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Altuğ BOZKURT, (Üye)

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR, (Üye)

İstanbul Gelişim Üniversitesi

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Danışmanım Doç. Dr. Erdin GÖKALP sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Mikro Şebekelerde Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Altyapı Dizaynı Ve Yenilenebilir Enerji Santrallerinin Optimal Boyutlandırılması 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.

Uğur Mert IŞIK

İmza

*Pek Değerli Aileme*



## TEŞEKKÜR

---

Tez alıőması sırasında anlayıőı, yol göstericiliği ile her zaman yanımda olan çok değerli tez danışmanım Doç. Dr. Erdin GÖKALP ve bu çalıőmadaki analizlerde kullanılan HOMER Grid programının lisansı ve kaynak araştırmaları konusunda yardımcı olan Arő. Gör. Dr. Said Mirza TERCAN'a ayrıca teőekkürü borç bilirim. ğrenim ve çalışma hayatım boyunca maddi ve manevi olarak sürekli yanımda olan anneme ve babama bana her zaman inandıkları ve başarı yolunda bitmek bilmeyen destekleri için ayrıca teşekkür ederim.

Uğur Mert IŞIK



# İÇİNDEKİLER

<b>TEŞEKKÜR</b>	<b>v</b>
<b>SİMGE LİSTESİ</b>	<b>viii</b>
<b>KISALTMA LİSTESİ</b>	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>x</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>xi</b>
<b>ÖZET</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xiv</b>
<b>1 GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1 Literatür Özeti .....	1
1.2 Tezin Amacı .....	2
1.3 Hipotez .....	3
<b>2 ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİLERİ</b>	<b>4</b>
2.1 Elektrikli Araçların Tarihçesi .....	4
2.2 Dünyada Elektrikli Araçlar .....	7
2.3 Elektrikli Araçların Çevresel Faydaları .....	10
2.4 Elektrikli Araçlarda Şarj Sistemleri .....	11
2.5 Elektrikli Araçların Şebekeye Etkisi .....	13
<b>3 ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI</b>	<b>15</b>
3.1 Elektrikli Araç Şarj Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi .....	15
3.2 Şarj Teknolojisi, Standartları ve Konnektör Tipleri .....	16
<b>4 GÜNEŞ ENERJİSİ VE FOTOVOLTAİK PANEL SİSTEMLERİ</b>	<b>24</b>
4.1 PV Panelin Tarihçesi ve Güneş Enerjisi .....	24
4.2 Güneş Enerjisi ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....	25
4.3 PV Sistem ve Termal Güneş Enerjisi .....	26
4.4 PV Sistem ve Elemanları .....	27
<b>5 BATARYA ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ</b>	<b>36</b>
5.1 Batarya Enerji Depolama Sistemlerinin Tarihçesi .....	36
5.2 Batarya Teknolojileri ve Çeşitleri .....	37
5.3 Batarya Enerji Depolama Sistemlerinin Bileşenleri ve Çalışma Prensibi .....	38
5.4 Batarya Enerji Depolama Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları .....	39
<b>6 MİKRO ŞEBEKELER VE YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ</b>	<b>42</b>

6.1 Mikro şebekelerin Enerji Güvenliği ve Bağımsızlığına Katkısı .....	42
6.2 Dağıtık Üretim ve Dağıtık Üretimin Faydaları .....	44
<b>7 HOMER YAZILIMI</b>	<b>46</b>
7.1 HOMER Grid Nasıl Çalışır? .....	47
7.2 Dizayn Sekmesi.....	48
7.3 Sonuçlar Sekmesi.....	54
<b>8 SİMÜLASYON ÇALIşMASI VE UYGULAMALAR</b>	<b>55</b>
8.1 Sistem Açıklaması.....	55
8.2 Çevresel Veriler .....	56
8.3 Örnek Mikro şebekenin Detaylı İncelemesi.....	57
8.4 Simülasyon Sonuçları .....	62
<b>9 SONUÇ</b>	<b>72</b>
<b>KAYNAKÇA</b>	<b>73</b>
<b>TEZDEN ÜRETİLMİş YAYINLAR</b>	<b>78</b>

## SİMGE LİSTESİ

---

\$	Amerikan doları
°C	Santigrat derece



## KISALTMA LİSTESİ

---

A	Amper
AA	Alternatif Akım
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ARGE	Araştırma ve Geliştirme
BEDS	Batarya Enerji Depolama Sistemi
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
DA	Doğru akım
EA	Elektrikli Araç
EAŞİ	Elektrikli Araç Şarj İstasyonu
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
KG	Kilogram
KŞS	Kombine Şarj Sistemi
KV	Kilo-Volt
KW	Kilo-watt
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takibi
MW	Mega-Watt
PV	Fotovoltaik
PWM	Sinyal Genişlik Modülasyonu
V	Volt
W	Watt
YES	Yenilenebilir Enerji Sistemi

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 Porsche Model P1 .....	5
Şekil 2. 2 Ford Model T.....	5
Şekil 2. 3 Toyota Prius .....	7
Şekil 2. 4 Elektrikli Araç Satış Rakamları.....	8
Şekil 2. 5 Dünyada Yıllık EA Satış Projeksiyonu .....	9
Şekil 2. 6 Fişli Şarj .....	12
Şekil 2. 7 Batarya Değişim Sistemi .....	13
Şekil 3. 1 İlk Elektrikli Araç Şarj Ünitesi.....	15
Şekil 3. 2 Elektrikli Araçlarda Kablosuz Şarj.....	16
Şekil 3. 3 Combo 1 ve Combo 2 Konnektörleri .....	18
Şekil 3. 4 CHAdeMO Konnektörü .....	19
Şekil 3. 5 GB/T Konnektör.....	19
Şekil 3. 6 Type 1-SAE J1772 Tip Konnektör.....	20
Şekil 3. 7 Type 2- SAE J3068 Tip Konnektör.....	21
Şekil 3. 8 ChaoJi Tip Konnektör .....	21
Şekil 3. 9 Tesla Şarj Konnektörü.....	22
Şekil 4. 1 Çatıya Monte PV Panel Sistemi .....	27
Şekil 4. 2 Monokristal Panel Üretim Yöntemi .....	29
Şekil 4. 3 Polikristal ve Monokristal Paneller .....	30
Şekil 4. 4 İnce Film Panel Çatı Uygulaması.....	31
Şekil 4. 5 PV Sistem Elemanları .....	35
Şekil 8. 1 Sisteme Ait Şematik Diagram .....	56
Şekil 8. 2 Florida'ya Ait Aylık Işınım Verileri .....	56
Şekil 8. 3 Bir Daireye Ait Yük Profili .....	57
Şekil 8. 4 EA'ların Ekosistemdeki Şarj İstasyonlarında Bulunma Oranı.....	59
Şekil 8. 5 EAŞİ Yük Profili .....	59
Şekil 8. 6 BEDS'in Şarj Durumu Ve Şebekeden Satın Alınan Enerji.....	60
Şekil 8. 7 Baz ve Optimize Edilmiş Sistem Elemanları .....	63
Şekil 8. 8 Batarya Şarj Durumu Ve Şebekeden Satın Alınan Enerji.....	64
Şekil 8. 9 Her İki Sistem İçin Şebekeden Satın Alınan Enerji Miktarı .....	65
Şekil 8. 10 PV Panel Üretimi ve Şebekeden Satın Alınan Enerji Miktarı.....	65
Şekil 8. 11 BEDS'in Şarj Durumunun Gün İçindeki Değişimi.....	66

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 3. 1</b> Şarj Çeşitleri .....	<b>17</b>
<b>Tablo 8. 1</b> PV Panel Dizayn Bilgileri.....	<b>58</b>
<b>Tablo 8. 2</b> EA Teknik Bilgileri .....	<b>58</b>
<b>Tablo 8. 3</b> Dönüştürücü Dizayn Bilgileri.....	<b>61</b>
<b>Tablo 8. 4</b> Şebeke Tüketim Fiyatlandırması .....	<b>62</b>
<b>Tablo 8. 5</b> Şebeke Talep Fiyatlandırması.....	<b>62</b>
<b>Tablo 8. 6</b> Baz Sistem İçin İlk Yatırım Maliyetleri .....	<b>67</b>
<b>Tablo 8. 7</b> Optimize Edilmiş Sistem İçin İlk Yatırım Maliyetleri .....	<b>67</b>
<b>Tablo 8. 8</b> Baz Sistem İçin İşletme ve Bakım Maliyetleri .....	<b>68</b>
<b>Tablo 8. 9</b> Optimize Edilmiş Sistem İçin İşletme Ve Bakım Maliyetleri .....	<b>68</b>
<b>Tablo 8. 10</b> Optimize Edilmiş Sistemin Temel Ekonomik Metrikleri .....	<b>68</b>
<b>Tablo 8. 11</b> Optimize Edilmiş Sistem İçin Toplam Maliyet .....	<b>69</b>
<b>Tablo 8. 12</b> Baz Sistem İçin Toplam Maliyet .....	<b>69</b>
<b>Tablo 8. 13</b> Baz ve Optimize Sistem için Maliyet Kıyaslaması .....	<b>70</b>
<b>Tablo 8. 14</b> Her İki Sistem İçin Emisyon Değerleri.....	<b>70</b>

## **Mikro Şebekelerde Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Altyapı Dizaynı ve Yenilenebilir Enerji Santrallerinin Optimal Boyutlandırılması**

Uğur Mert IŞIK

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Erdin GÖKALP

Geleneksel elektrik enerjisi üretim tesislerinde çevreye zararlı olduğu kanıtlanmış olan fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların doğaya zarar vermesinin önlenememesi ve fosil yakıt rezervlerinin gün geçtikçe azalması, alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılmasını gerekli kılmıştır. Güneş enerjisi, güneş radyasyonundan elde edilen yenilenebilir bir enerji türüdür. Güneş enerjisi sınırsız bir enerji kaynağıdır ve kullanımı çevre kirliliğine yol açmaz. Bu nedenle sürdürülebilir elektrik enerjisi üretimi için en umut verici enerji kaynaklarından biridir. Hava kirliliğine yol açan bir diğer sektör ise ulaşım sektörüdür. İçten yanmalı motora sahip taşıtların yol açtığı hava kirliliği dünyanın birçok farklı noktasında geri dönülemez sorunlara yol açmış ve açmaktadır. Bu noktada karbon emisyonu olmayan elektrikli araçların benimsenmesi ve kullanımının artması çok daha temiz ve yaşanabilir bir dünya için elzemdir. Buna paralel olarak; dünyada karbon emisyonlarını azaltmaya yardımcı olabilecek önlemlerden biri de PV tabanlı elektrikli araç şarj istasyonlarının kullanılmasıdır. Bu çalışma, 200 daire, 200 elektrikli araç, optimum boyutlandırılmış pil depolama sistemi ve PV panellere sahip elektrikli araç şarj istasyonlarından oluşan bir site ekosistemi için; kesinti ve arıza

senaryolarını da göz önüne alarak yapılan optimum sistem tasarımı ve bu ekosisteme ait elektriksel, çevresel ve finansal analizleri detaylı bir şekilde sunmaktadır. Bu çalışmada, HOMER Grid 'in Homer Optimizer modülü PV, dönüştürücü, elektrikli araç şarj istasyonu ve BEDS gibi sistem elemanlarının optimizasyonu için kullanılmıştır. Site ekosistemi HOMER ortamında simüle edilmiş olup, optimize edilmiş yenilenebilir enerji sistemleri entegre edilen ekosistem ve baz ekosistem için elektriksel, çevresel ve finansal analizler yapılmış ve kıyaslamalar sunulmuştur. Simülasyon sonuçları, optimize edilen sistemin karbon emisyonlarını %44 gibi önemli bir oranda azaltabileceğini gösterdi. Bu çalışma ayrıca, optimize edilmiş sistemin genel sistem maliyetini %9.5 oranında azaltabileceğini, dolayısıyla da yapılan optimizasyon çalışmasının ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu kanıtlamaktadır. Yenilenebilir enerji sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte sayıları her geçen gün artan mikro şebekeler ve buna bağlı olarak kullanımı artan elektrikli araçlar iklim krizi ve küresel ısınma gibi günümüzün en büyük sorunlarının çözülmesi yolunda şüphesiz ki önemli bir rol oynayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Mikro şebeke, elektrikli araç şarj istasyonları, fotovoltaik paneller, batarya enerji depolama sistemleri, HOMER.

## **Electric Vehicle Charging Station Infrastructure Design and Optimal Sizing of Renewable Power Plants in Micro Grids**

Uğur Mert IŞIK

Department of Electrical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc.Dr. Erdin GÖKALP

The transport and power sectors continue to be the leading global contributors to carbon emissions. Moreover, fossil fuel-based power generation systems pose significant environmental threats due to their emissions and pollution. With fossil fuels depleting, it has become imperative to explore alternative methods of generating power. Among these alternatives, solar energy stands out as one of the most promising forms of renewable energy, offering abundance and cleanliness. A potential measure to mitigate emissions is the implementation of a photovoltaic-based electric vehicle charging system within microgrids. This study presents the comprehensive findings regarding the optimal design of a microgrid, comprising 200 apartments, 200 electric vehicles, battery storage systems, and electric vehicle charging stations, all powered by photovoltaic panels. The study takes into account various interruption and failure scenarios, addressing electrical, environmental, and financial aspects of the system. In this study, the Homer Optimizer module which is part of HOMER Grid was utilized for the optimization of system elements such as PV, converters, electric vehicle charging stations, and battery storage systems. The site ecosystem was simulated in the HOMER environment and electrical, environmental, and financial analyses were conducted for both base ecosystem and

optimized ecosystem which includes optimized renewable energy systems. The simulation results revealed a notable 44% reduction in carbon emissions achieved by the optimized system. Furthermore, this study provides compelling evidence of the economic feasibility of the optimization work, as the overall system cost was effectively lowered by 9,5%. These findings collectively underscore the dual benefits of the optimized system: a substantial environmental impact through carbon emission reduction and enhanced economic viability for sustainable implementation. With the spread of renewable energy systems, microgrids and electric vehicles which become popular in recent years will undoubtedly play an important role in dealing with today's biggest problems such as climate crisis and global warming.

**Keywords:** microgrid, electric vehicle charging stations, photovoltaic panels, battery storage systems, HOMER

## 1.1 Literatür Özeti

Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar uzun yıllardır ulaşım ve enerji üretim sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak yoğun kullanımları hava kirliliği, sera gazı emisyonları, küresel ısınma, iklim değişikliği gibi çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Fosil yakıtlara dayalı enerji üretim sistemlerinin kullanılması, küresel ısınmanın hızlanması ve sera gazı emisyonlarının uzaması gibi önemli çevresel risklere yol açmaktadır. Gelişmiş ülkelerin birçoğu, karbon emisyonlarını ve olası çevresel etkilerini azaltmak amacıyla yönünü temiz ve verimli enerji kaynaklarına doğru çevirmiştir. Paris anlaşması [1] karbon emisyonuna yönelik önlemleri arttırmak ve sera gazı emisyonlarını kontrol etmek amacıyla 180' den fazla ülkenin katılımıyla imzalanmıştır.

Dahası, bu kaynakların sınırlı doğası gereği sonunda tükenecekleri anlamına gelir [2], bu da alternatif ve sürdürülebilir enerji kaynakları bulmayı zorunlu kılar. Sürdürülebilir, verimli ve temiz bir enerjinin üretilebilmesi için alternatif enerji kaynaklarının verimli kullanımı üzerine yapılan çalışmalar arttırılmalı ve bu kaynakların yaygın kullanımı benimsenmelidir. Bu sürecin hızlanması için devletlerin, endüstrileri ve bireyleri fosil yakıtlardan ziyade yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesini sağlamak adına sağlayacağı teşviklerin önemli rolü vardır. Enerji üretimi için alternatif çözüm arayışı devam eden bir süreçtir ve bu alandaki araştırmalar artarak ilerlemeye devam etmektedir. Çeşitli alternatif enerji çözümleri arasında öne çıkanlar güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik, biyokütle / biyogaz ve hidrojen enerjisidir [3].

Güneş enerjisi, bulunabilirlik ve maliyet etkinliği sayesinde yenilenebilir enerji sektöründe çok önemli bir oyuncu olarak ortaya çıkıyor. Bununla birlikte, güneş enerjisinin PV paneller tarafından yakalanması ve kullanılması, bu alandaki teknolojik gelişimin henüz erken aşamasında olmamız nedeniyle önemli zorluklar doğurmuştur [4], [5]. PV panel üreticileri, aktif olarak daha yüksek verimlilik ve panellerin maliyetlerini azaltma konusunda çalışmalarını sürdürmektedirler [6], [7].

Öte yandan elektrik üretimi tarafında ortaya çıkan çevre sorunları dışında; ulaşım sisteminde büyük yer edinmiş olan içten yanmalı motorlu taşıtların neden olduğu çevre kirliliği ve iklim değişikliği gibi sorunlar 21. yy.'ın en büyük sorunlarından biridir [8], [9]. EA gibi alternatif ulaşım biçimlerine geçmek, bu çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olabilir [10], [11]. EA'lar sıfır egzoz emisyonu üretir. Bununla birlikte rüzgâr ve güneş enerjisi gibi temiz enerji kaynakları ile entegrasyonu mümkündür.

Batarya teknolojisindeki gelişmeler sonucunda EA menzillerinin artması, şarj istasyonu altyapısının genişlemesi, verimliliğin artması ve hükümetlerin EA'ya verdiği ekonomik teşvikler ile EA'nın ulaşım sektöründeki yeri her geçen gün artmaktadır. EA'lar, sera gazı emisyonlarını azaltırken aynı zamanda da ulaşım sektörünü daha sürdürülebilir bir hale getirdiği için her geçen gün daha popüler hale gelmektedir [12]. IEA tarafından hazırlanan 'Global EV Outlook 2019' raporuna göre, 2030 yılında dünya çapında kullanımda olan EA'ların sayısının 130 milyon ile 250 milyon arasında olması beklenmektedir [13].

EA kullanımının hızla yayılması, dağıtım şebekesi güç kalitesi üzerindeki etki ve enerji tüketimindeki genel dalgalanma konusunda önemli endişeler doğurmaktadır [14] – [16]. EA'lar enerji sürdürülebilirliğine ve temiz enerjiye katkıda bulunurken, bir binanın ya da bir bölgenin toplam enerji maliyetinde artışa neden olabilir [17], [18]. Güneş enerjisinin değişken, aralıklı ve tam anlamıyla öngörülebilir olmaması, merkezi elektrik şebekesine entegrasyonu ve toplulukların enerji taleplerini karşılamada ihtiyaç duyulan güvenilirliği ve istikrarı sağlama noktasında çeşitli zorluklara yol açmaktadır [19]. Bu endişeyi gidermek için yedek güç kapasitelerini artırmaya veya BEDS kullanmaya ihtiyaç vardır [20].

## **1.2 Tezin Amacı**

Günümüzde ulaştırma ve enerji üretim sektöründe kullanımı oldukça yaygın olan fosil yakıtların ortaya çıkardığı yüksek karbon emisyonunu azaltmak amacıyla YES ve EA kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Buna paralel olarak, devletlerin de teşviğiyle YES entegreli mikro şebeke sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada EA, EAŞİ, ev yükleri, PV paneller, BEDS ve dönüştürücüden oluşan mikro şebeke HOMER ortamında simüle edilerek ekosistemin ticari, çevresel ve elektriksel sonuçları incelenmiştir. Ekosistemde sistem maliyetleri ve karbon emisyonları minimize edilirken YES ve BEDS entegrasyonu ile sürdürülebilir, esnek ve verimli bir site ekosistemi tasarlanmıştır. Bu

çalışmayla hem ulaşım hem de enerji üretim sektörlerinde fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması ve güneş, rüzgâr gibi temiz enerji kaynaklarının son tüketiciler tarafından daha aktif bir şekilde kullanımı amaçlanmıştır. Çalışmanın başlıca hedefleri:

- EAŞİ'nin optimum boyutlandırılması
- PV panellerin hem fiziksel hem de finansal limitler dikkate alınarak optimum boyutlandırılması
- BEDS' in elektrik kesintisi sırasında kesintisiz bir güç kaynağı olarak işlev görme yeteneğinin değerlendirilmesi
- Enerji maliyeti ve bugüne indirgenmiş net maliyet minimizasyonu
- Karbon emisyonlarının minimizasyonu

### **1.3 Hipotez**

İnsanoğlunun 1800'lü yıllardan beri kullandığı fosil yakıtlı araçların günümüzde iklim krizi ve küresel ısınma gibi geleceğimizi tehdit eden önemli sorunların temelinde yatan yüksek karbon emisyonlarına yol açması ve fosil yakıt rezervlerinin her geçen gün azalması insanlığı daha çevreci bir araç arayışına itmiştir. Bununla paralel olarak 1900'lü yıllarda popüler olan EA'lar 21.yy'da yeniden popüler olmaya başlamıştır. EA'lar fosil yakıt tüketmemesi ve dolayısıyla egzoz gazı emisyonuna sebep olmadığından geleneksel içten yanmalı motora sahip araçlara göre daha çevrecidir.

EA'ların kullanımının artması için batarya fiyatlarının uygun seviyelere gelmesi, EA menzilin artması, sürücü profilleri ve elektrik şebeke altyapısı dikkate alınarak optimum boyutlandırılmış EAŞİ'lerin stratejik noktalara kurulması gerekmektedir. Bununla birlikte; günümüz elektrik dağıtım şebekesi bu istasyon kurulumları için yetersiz kaldığından dolayı dağıtım şebekesinin kullanımının hızla artacağı beklenen EA'ların yaratacağı talebi karşılayacak şekilde geliştirilmesi ve güncellenmesi gerekmektedir. Elektrik dağıtım şebekelerinin EA'lara gerekli elektrik enerjisini sağlayabilecek duruma gelecek şekilde güncellenmesi ve geliştirilmesi noktasında YES'e sahip mikro şebekelerin katkısı da önemlidir. YES entegreli mikro şebekeler son tüketiciye yakın olabilmeleri, rüzgâr ve güneş gibi sonsuz enerji kaynaklarını kullanabilmeleri sayesinde geleneksel şebekelere kıyasla çok daha verimlidir. Ayrıca mikro şebekeler, kullanıcılarının enerji dağıtım şebekesine olan bağımlılığını azaltarak son kullanıcıya ilave esneklik sağlamış olur.

### 2.1 Elektrikli Araçların Tarihçesi

EA'ların ortaya çıkışı 19. yy.'ın sonu ile 20. yy.'ın başlarına dayanmaktadır [21]. Bu dönemde bağımsız olarak birçok buluş ve gelişme gerçekleşti ve EA'lar aktif bir şekilde kullanılmaya başlandı. 1800'lerde batarya ve elektrikli motorlar üzerine yapılan çalışmalar, EA'ların gelişmesine önemli katkılarda bulundu [22]. Bu çalışmaların sonucunda özellikle Macaristan, Hollanda ve ABD'de EA'lar üzerinde çalışmalar hızlandı. ABD'de yapılan çalışmalar sonucunda, William Morrison tarafından 1887 yılında "The Morrison Electric" adıyla piyasaya sürülen ilk EA'lardan biri ortaya çıkmış oldu [23]. Bu araç, batarya ve elektrik motoru kullanarak hareket eden elektrikli araçların erken örneklerinden biriydi. Basit bir şekilde açıklamak gerekirse, Morrison'ın kendi tasarladığı bu araç; güçlü bir bataryayı bir binek aracının altına yerleştirilerek oluşturulmuş bir araçtı, ancak çok fazla ilgi görmedi. 1890 yılında tasarlanan Morrison Electric modeli ise daha fazla ilgi gördü ve toplamda 12 adet üretildi. Bu araç, 10 saat içinde şarj olabilen ve 3 beygir gücüne sahip bir motora sahipti. Ancak EA'ların tarihi, yalnızca bu örnekle sınırlı değildir. Daha sonraki yıllarda, birçok başka mucit ve şirket EA'lar üzerinde çalışmalar yapmış ve EA teknolojisine gelişmesine katkı sağlamıştır. Ferdinand Porsche, 1898 yılında P1 adında ve sektöre damga vuran bir EA geliştirdi [24]. Tamamıyla elektrikle çalışan ve günümüz otomobillerinin birçoğuna öncülük eden bu araç, ahşaptan oluşturulmuş vagon benzeri kabine sahiptir. 130 kiloluk bir ağırlığa sahip olan bu modelin en önemli özelliği, yaz ve kış kullanımı için ayarlanabilir bir gövdeye ve modern bir Cabrio sistemine benzer Lohner alternatif gövdesine sahip olmasıdır. Üretildikten bir yıl sonra; yani 1899'yılının Eylül ayında Berlin'deki Uluslararası Motorlu Araç Sergisi'nde yer aldı. Ayrıca aynı dönemde verimlilik testine sokuldu ve en düşük enerji tüketim seviyesine sahip şehir içi kullanım aracı seçildi.



**Şekil 2. 1** Porsche Model P1

Ancak, o dönemde Ford'un ürettiği bir diğer araç olan Model T, EA'lara büyük bir darbe vurdu [25]. Benzinle çalışan bu model, o yıllarda sadece 700 dolar iken [26], EA'ların ortalama fiyatı 1700 dolar civarındaydı. EA'ların maliyetinin diğer araçlara göre neredeyse 3 kat daha yüksek olması, yeni karayollarının inşa edilmesiyle uzun mesafelere seyahat etme imkanının ortaya çıkması, EA'lar için hızlı yakıt dolumunun mümkün olmaması ve diğer araçlara kıyasla daha yavaş olması gibi nedenlerden dolayı EA'lar bu dönemde içten yanmalı motorlu araçların gölgesinde kalmıştır. Aynı zamanda bu yıllarda benzinli araçların kullanımı çok daha artınca EA'lara olan ilgi oldukça azalmıştır.



**Şekil 2. 2** Ford Model T

ABD'deki EA'lara olan ilgi düşüşünün bir diğer nedeni, Texas'ta petrol kaynaklarının keşfedilmesi idi. Yeni petrol kaynaklarının bulunmasıyla birlikte benzin fiyatları düştü ve şehrin her yanına yayılan benzin istasyonlarıyla benzin daha erişilebilir hale geldi. Öte yandan, elektriğin çok az yerde bulunması da göz önüne alındığında, bu durum 19. yy'deki EA'ların düşüşünü hızlandırdı. Bu dönemde petrol üretimi hızlanıp benzin fiyatlarının önemli ölçüde düşmesini gösteren iyi bir örnek, Texas'ta 1901'e kadar yıllık 836.000 varil olan petrol üretiminin, yeni kaynakların bulunmasından sonra günlük 100.000 varile çıkmasıdır.

Bu gelişmelerle birlikte, içten yanmalı araçlar piyasaya ağırlığını koymaya başladı ve EA'lar üzerindeki çalışmalar durdu. Ancak 1965-1975 arasında hızla artan benzin fiyatları ve 1973'teki Arap Petrol Ambargosu, EA'ları tekrar gündeme getirdi. NASA'nın 1971'de Ay'a gönderdiği EA da bu konuda olumlu bir reklam olarak görülebilir. Ancak EA'lar, benzinli araçlara kıyasla bazı eksikliklere sahipti: Araç hızları 72 km/s'yi geçemezken, bir şarjla gidebilecekleri mesafe sadece 64 kilometreydi. 20.yy'ın sonunda EA'lar uzun bir sürenin ardından tekrar ilgi görmeye başladı. Özellikle New York şehri, bu dönemde EA'lar taksi olarak kullanılmaktaydı. ABD genelinde ise 4200 arabanın yaklaşık %28'i EA'lardan oluşuyordu. Atlı araçlar hâlâ en yaygın ulaşım yöntemi olsa da benzinli araçlar ve EA'lar giderek daha yaygın hale gelmeye başlamıştı.

Ancak o dönemde, benzinli araçlar EA'lara göre kullanım açısından daha zorlu bir seçenektir. Benzinli araçlar daha gürültülüydü ve egzoz dumanı salgılıyorlardı. Bu nedenle, birçok mucit ve araştırmacı o dönemde EA'ların geleceği olduğunu düşünüyor ve bu alanda çalışmalar yapıyordu.

20. yüzyılın sonlarına doğru General Motors tarafından geliştirilen EV1 aracı ile birlikte büyük bir ilerleme kaydedildi [27]. 128 km menzili ve 0-100 km/s hıza çıkma süresinin kısa olması, bu aracı belirli bir süre ilgi odağı haline getirdi, ancak yüksek maliyeti nedeniyle üretimi 2001 yılında durduruldu. Günümüzde, EA'ların insanlar tarafından benimsenmesini ve yaygın olarak kullanılmasını sağlayan ilk araç birçok insan tarafından Toyota Prius olarak kabul görmektedir. 2004 yılında piyasaya sürülen bu araç büyük bir başarı elde etti [28].



**Şekil 2. 3** Toyota Prius

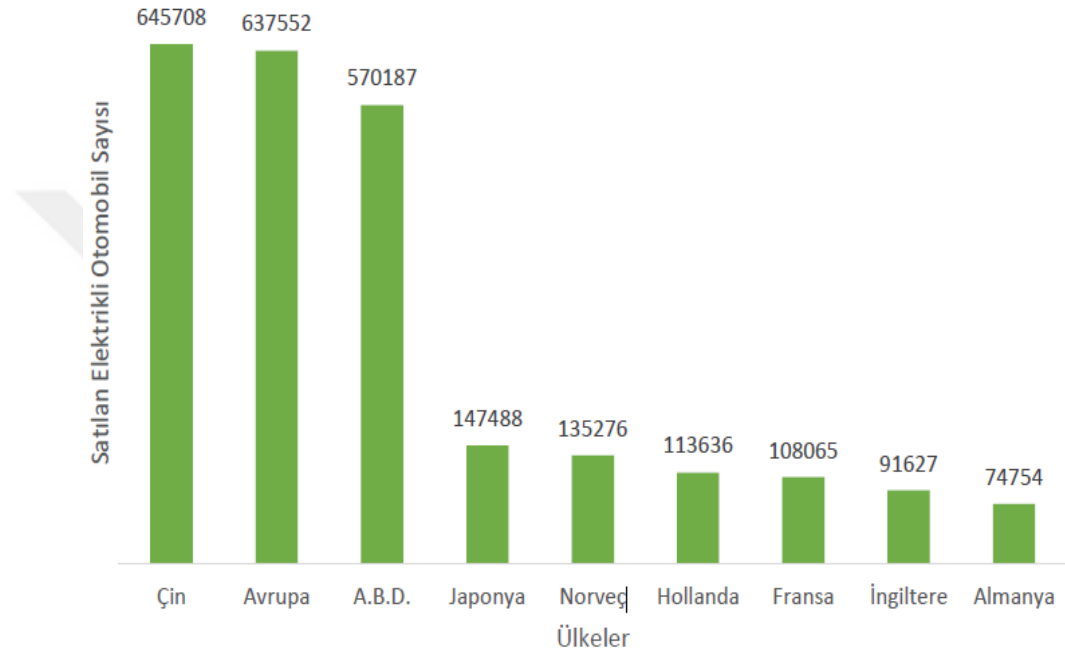
Toyota'nın uzun süre piyasayı domine etmesinin ardından EA sektöründe bayrağı Tesla Motors devralmıştır. 2006 yılında lüks EA'lar üretmek amacıyla kurulan bu firma, bugünlerde araçlarının menzilinini 500 km'nin üzerine çıkarmış durumdadır. Tesla'nın başarısı, EA'lara olan ilginin artmasını sağlamış ve diğer otomobil üreticilerini de etkilemiştir. Bu etkileşim sonucunda, 2010'lu yıllarda ABD'de Chevrolet Volt ve Nissan LEAF gibi araçlar piyasaya sürülmüştür. EA'lar, aynı anda sera gazı emisyonlarını azalttığı ve sürdürülebilir bir ulaşım sistemi kurmaya aday için dünya çapında giderek daha popüler hale gelmektedir. Batarya teknolojisindeki gelişmeler, EA menzillerinin artması, şarj istasyonu altyapısının genişletilmesi, verimliliğin artması ve devletlerin EA'lara verdiği ekonomik teşvikler sonucunda EA'ların ulaşım sektöründeki yeri her geçen gün artmaktadır [29] –[31]. IEA tarafından hazırlanan 'Küresel EV Görünümü 2019' raporuna göre, 2030 yılında dünya çapında kullanımda olan EV sayısının 130 milyon ile 250 milyon arasında olması beklenmektedir.

## **2.2 Dünyada Elektrikli Araçlar**

Fosil yakıtlar, uzun yıllardır ulaşım sektöründe başlıca enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Fosil yakıtların yoğun kullanımı hava kirliliği, sera gazı emisyonları, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi geri dönülmesi oldukça güç çevresel sorunlara neden olmuştur. Dünya, karbon ayak izini azaltmak için temiz ve verimli enerji kaynaklarına doğru yönelme konusunda odaklanmaktadır [32]. Paris Anlaşması, 2015

yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi altında 180'den fazla ülkenin karbon emisyonunu kontrol altına almak için imzaladığı uluslararası iklim değişikliği anlaşmasıdır.

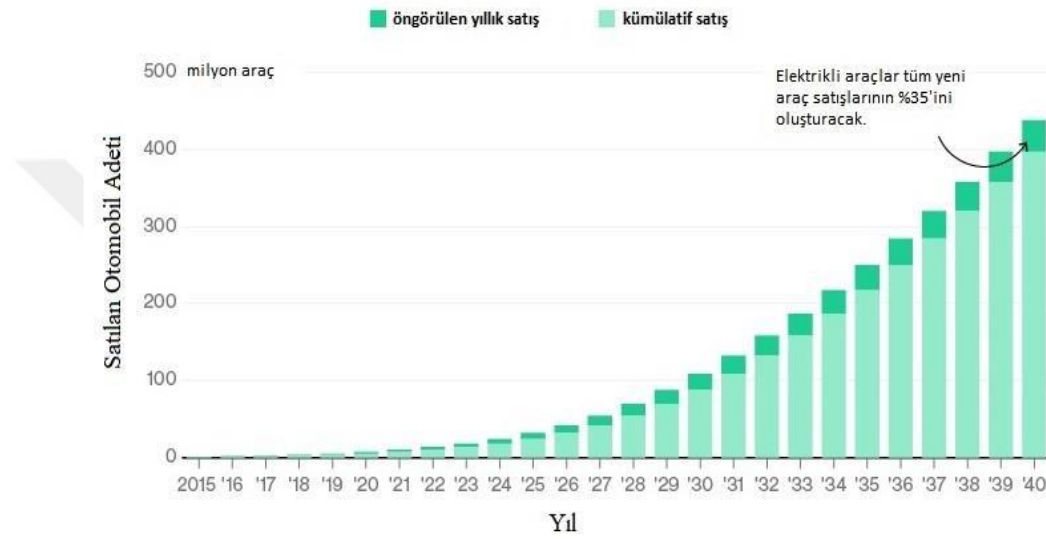
Dünya, fosil kaynaklı yakıtların kullanılmasını hızla terk etmektedir. Ülkeler, elektrikli ve hibrit araçların satışını teşvik etmek ve şarj istasyonlarını kurmak gibi önlemler almaktadır [33]. 2016 yılının sonunda elde edilen elektrikli otomobil satış raporu Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



**Şekil 2. 4 Elektrikli Araç Satış Rakamları**

Elektrikli otomobil satışlarının artmasında CO<sub>2</sub> gazı emisyonuna sebep olmaması ve nispeten daha ucuz olan elektrik enerjisiyle çalışması en büyük etkenlerdir. Ülkeler, içten yanmalı motorlu otomobillerden uzaklaşmaya başlamak için yavaş yavaş adımlar atmaktadır [34]. Birçok gelişmiş ülke, ulaşım sektöründe çevre dostu politikalar benimseyerek, benzinli ve dizel otomobillerin satışını yasaklama veya elektrikli araçlara geçişi teşvik etme konusunda önemli adımlar atmaktadır. Almanya, 2028 yılından sonra benzinli ve dizel otomobillerin yasaklanması kararı almıştır. Hollanda da benzer bir yaklaşımı benimsemiş ve 2025 yılından itibaren benzinli ve dizel otomobil satışını yasaklama yasa tasarısını onaylamıştır. Norveç ise 2026 sonrası için benzinle çalışan araç satışının yasaklanması kararını alarak, EA'lara yönelmeyi hedeflemiştir. Öte yandan, İngiltere ve Fransa, benzinli ve dizel otomobilleri yasaklamayı 2040 yılına kadar planladıklarını duyurmuştur. Bu ülkeler, elektrikli araçların ve çevre dostu alternatiflerin

benimsenmesini teşvik ederek, sürdürülebilir ulaşım için bir vizyon oluşturmaktadır. Çin ise 2026 yılına kadar tüm araç satışlarının %20'sinin elektrikli ya da hibrit araçlardan oluşmasını hedeflemektedir. Bu amaca ulaşmak için, ülke genelinde 167 bin şarj istasyonundan oluşan büyük bir şarj ağı kurmuştur. Bu çaba, elektrikli araçların benimsenmesini kolaylaştırarak çevresel etkileri azaltma çabalarına katkı sağlamaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda, Dünya genelinde EA satışlarına ilişkin yapılan projeksiyon Şekil 2.5'te sunulmuştur.



**Şekil 2. 5** Dünyada Yıllık EA Satış Projeksiyonu

EA üretimi yarışı her geçen gün daha da hızlanmaktadır. Birçok içten yanmalı araç üreticisi son 10 yılda EA pazarına giriş yaptı. Sadece elektrikli otomobil üretmek için kurulan şirketlerin sayısı da her geçen gün artmaktadır. Birçok ülke, fosil yakıtlı çalışan otomobilleri önümüzdeki 20-30 yıl gibi kısa bir süre içinde tedavülden kaldırma planları yapmaktadır. Otomotiv sektörünün önde gelen şirketleri, hibrit araçlarla bu yarışa adım attıktan sonra tamamen elektrikli otomobil modelleriyle devam etmeyi planlamaktadır. ABD, Çin ve Avrupa'daki EA üreten şirketler arasında yoğun bir rekabet yaşanmaktadır. Üreticiler, sürekli olarak EA'ların menzilini artırmak ve şarj sürelerini kısaltmak için ARGE çalışmalarına ve bu doğrultudaki yatırımlara ağırlık vermektedirler [35], [36].

### 2.3 Elektrikli Araçların Çevresel Faydaları

EA'lar, geleneksel benzinli ve dizel araçlara göre çevre dostu olmaları nedeniyle tercih edilebilir hale gelmiştir. EA'ların çevresel faydaları, emisyonların azaltılması, daha düşük gürültü seviyeleri ve daha az doğal kaynak tüketimi olarak özetlenebilir [37], [38]. EA'lar, sıfır karbon emisyonu ile çalışırlar. İçten yanmalı motorlara sahip araçlarda yaygın olan egzoz emisyonlarına bağlı hava kirliliği, sera gazı salınımı ve sağlık sorunları EA'larla önemli ölçüde azaltılır. EA'lar, fosil yakıt kullanımının azaltılmasıyla iklim değişikliğiyle mücadelede katkıda bulunurlar. Daha az veya sıfır karbon salınımı sayesinde sera gazı emisyonlarını azaltarak küresel ısınmanın yavaşlatılması noktasında katkı sunarlar. EA'lar, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrikle çalıştıklarında, temiz enerji dönüşümüne de katkıda bulunmuş olurlar. Güneş, rüzgâr veya hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrikle şarj edilen araçlar, enerji üretiminde fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaktadır [39].

EA'lar, doğal kaynakların daha az tüketilmesine de yardımcı olur. EA'lar, içten yanmalı motorlu araçlara göre daha az enerji tüketirler ve bu nedenle daha az doğal kaynak kullanılmış olur. Ayrıca, EA'lar için kullanılan bataryaların geri dönüşümü mümkündür ve bu da atık miktarını azaltmaya yardımcı olur.

EA'lar, içten yanmalı motorlara sahip araçlara kıyasla çok daha az gürültü çıkarır. İçten yanmalı motorlar, yakıtın yanması ve patlama süreçleri nedeniyle gürültü üretirken, EA'lar sessiz bir elektrik motoruna sahiptir. Bu sessiz çalışma, özellikle şehir içi bölgelerde yaşayan insanlar için büyük bir avantajdır. EA'lar, trafikte hareket ederken yolculara ve çevredeki insanlara daha sessiz ve konforlu bir sürüş deneyimi sunar. Aynı zamanda, gürültü kirliliği azaldığı için şehirlerdeki genel yaşam kalitesi artar. Elektrikli otobüsler, taksi filoları ve teslimat araçları gibi ticari araçlar da gürültü kirliliğini azaltmada önemli bir rol oynar. Şehir içinde çalışan bu araçların sessiz olması, yerel halkın rahatlamasına ve daha sakin bir çevrede yaşamasına yardımcı olur.

Dahası, EA'ların sessiz çalışması, trafik gürültüsünün yanı sıra doğal yaşamı da etkiler. Hayvanlar için daha az rahatsızlık ve stres kaynağı olması, doğal habitatların korunmasına ve ekosistemin dengesinin sağlanmasına katkıda bulunur. Gürültü kirliliğinin azaltılması, insan sağlığı üzerinde olumlu etkilere sahiptir. Sürekli yüksek gürültü seviyeleri, stres, uyku bozuklukları, işitme kaybı ve konsantrasyon problemleri

gibi sağlık sorunlarına neden olabilir. EA'lar sayesinde, gürültü kirliliğinin azaltılmasıyla bu tür sağlık sorunlarının riski azalır.

## **2.4 Elektrikli Araçlarda Şarj Sistemleri**

EA'larda şarj işlemi rejeneratif frenleme, batarya değişim ve fişli şarj sistemleri ile gerçekleştirmek mümkündür.

### **2.4.1 Rejeneratif Frenleme Sistemi ile Şarj**

Rejeneratif fren sistemi, elektrikli ve hibrit araçlarda frenleme sırasında bataryanın şarj olmasını sağlar. Araç sürüşü esnasında fren yapıldığında, elektrik motoru jeneratör moduna geçerek tekerleklerin sahip olduğu kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür ve bu elde edilen enerji bataryaya geri aktarılır. Bu sayede aracın bataryası, frenleme anında oluşan enerjiyi depolayarak daha sonra bu enerjiyi kullanma imkânı elde eder. Bu sistem sayesinde araç, frenleme sürecinde atık enerjiyi minimum düzeye indirerek daha verimli bir sürüş sağlar ve batarya şarjının daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanır. Rejeneratif frenleme, ısıya dönüşecek olan kinetik enerjinin bir kısmını geri kazanır ve bunun yerine onu elektriğe dönüştürür. Bu sistemde motor, hızlanma veya seyir sırasında tekerlekleri hareket ettirir, ancak yavaşlarken tekerlekler motoru çalıştırır. Bu iki yönlü enerji akışı, motorun bir jeneratör görevi görmesine, tekerleklerin dönmesine direnmesine ve aracın aküsünü şarj etmek için elektrik üretmesine olanak tanır. Rejeneratif frenleme sistemi teknolojisinin gelişmesi, enerji geri kazanımının verimliliğini artırırken frenleme işlemi de kolaylaştırmaktadır. Rejeneratif frenleme ve geleneksel frenleme sistemi optimal bir şekilde kullanıldığında, enerji verimliliğinde artış sağlanır ve istenen frenleme konforu elde edilir.

### **2.4.2 Fişli (Plug-in) Şarj Sistemi**

Hibrit otomobillerin plug-in (fişe takılabilen) modelleri ve EA'lar, harici bir şarj ünitesi aracılığıyla şarj edilmektedirler. Şekil 2.6'da örneklendiği üzere, şarj ünitesinin konnektörü aracın şarj soketine takılarak otomobilin bataryası doldurulur.



**Şekil 2. 6** Fişli Şarj

### **2.4.3 Batarya Değişim Sistemi**

Batarya değişim sistemi, fişli şarj sistemi kadar sık kullanılmasa da elektrikli ve hibrit araçların şarj edilmesinde kullanılan bir başka sistemdir. Bu sistemde, şarj seviyesi azalan batarya, batarya değişim istasyonunda değiştirilir ve yerine tam şarjlı bir batarya takılır. Şekil 2.7'de gösterildiği gibi, otomobil batarya değişim istasyonuna girer. Bataryanın değiştirileceği alana ilerler ve azalmış şarj seviyesine sahip batarya otomobilden çıkarılıp şarj edilmek üzere sistem tarafından alınır. Ardından, tamamen şarj edilmiş başka bir batarya otomobile takılır. Bu işlemden sonra EA yoluna devam eder. Bu şekilde kullanıcılar, kullanılan bataryaların şarj olmasını beklemek zorunda kalmaz ve zaman kaybetmez.

Batarya ömrü, bataryanın kullanılabilirliğinin ve performansının zaman içinde nasıl değiştiğini ifade eder. Batarya sürekli olarak şarj edilmeye ihtiyaç duyduğundan dolayı düzenli bakım yapılmadığı takdirde ömrü kısalmır. Batarya değişim istasyonlarında bulunan bataryalar sürekli bakımdan geçtiği için ömürleri uzar. EA'ların batarya ömrü, bir dizi faktörden etkilenir ve genellikle bataryanın yaşlanma süreciyle ilişkilidir. Birincil faktör, bataryanın kullanım sıklığı ve şarj/deşarj döngüleridir. Her şarj vedeşarj işlemi, bataryanın kimyasal yapısındaki değişikliklere neden olur ve zamanla batarya performansında azalmaya yol açabilir. Kullanıcıların bataryayı düzenli olarak tam doldurup tam boşaltmamaları, batarya ömrünü uzatabilir. Bataryaların tamamıyla şarj vedeşarj edilmemesi batarya ömrünü arttırmaktadır. Ayrıca hızlı şarj işlemlerinin sıklığı da bataryanın ömrünü etkileyebilir. İkincil faktör, bataryanın sıcaklık yönetimidir [40].

Yüksek sıcaklıklar bataryanın ömrünü olumsuz etkileyebilir. EA'ların batarya sıcaklığını kontrol etmek için termal yönetim sistemleri kullanılır [41]. Bu sistemler, bataryayı optimum sıcaklık aralığında tutarak batarya performansını ve ömrünü korumaya yardımcı olur. Ayrıca bataryaların teknolojik ilerlemelerle birlikte geliştiği ve batarya ömrünün arttığı da görülmektedir. Yeni nesil bataryalar, daha uzun ömür sunacak şekilde tasarlanmıştır. Araştırma ve geliştirme çalışmaları, batarya teknolojisini iyileştirerek bataryaların daha uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır.



Şekil 2. 7 Batarya Değişim Sistemi

## 2.5 Elektrikli Araçların Şebekeye Etkisi

EA'ların hızla yaygınlaşmasıyla birlikte, entegre edildiği şebeke üzerindeki etkileri hakkında yapılan çalışmalar artmıştır. EA'ların şebekeye hem olumlu hem de olumsuz etkileri bulunmaktadır. Olumlu etkilerinden belki de en önemlisi, EA'ların şebekeye entegrasyonu ile birlikte şebekeye esneklik sağlamasıdır. EA, şarj zamanlarının planlanmasıyla enerji talebi düzenlemesine katkıda bulunabilir. Akıllı şarj sistemleri sayesinde, EA'ların şarj süreleri ve saatleri, şebeke talebiyle dengelemek için optimize edilebilir. Bu, enerji şebekesinin yük dengesini iyileştirerek, enerji verimliliğini artırabilir ve enerji maliyetlerini düşürebilir.

Ancak, EA'ların hızlı benimsenmesi aynı zamanda bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Büyük sayıda elektrikli aracın aynı anda şarj olması durumunda, şebeke üzerinde aşırı yüklenme durumu söz konusu olabilir [42]. Bu durum, yerel trafoların ve dağıtım hatlarının kapasitesini aşabilir, gerilim düşümü, yük dengesizliği veya aşırı yüklenme gibi enerji kalitesini olumsuz etkileyen durumlara yol açabilir [43]. Bu nedenle, EA'ların şebekeye entegrasyonu için altyapının uygun bir şekilde güçlendirilmesi ve şebeke yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi önemlidir.

Bununla birlikte, EA şebekeye entegre edildiğinde, enerji depolama sistemleri olarak da kullanılabilirler. EA bataryaları, enerji depolama sistemleriyle entegre edilerek, güneş veya rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin depolanması ve şebekeye geri verilmesi sağlanabilir. Bu, enerji verimliliğini artırırken, yenilenebilir enerjinin kullanımını da teşvik eder.

### 3.1 Elektrikli Araç Şarj Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

20. yy.'ın başlarında ABD'deki tüm araçların %38'i EA'lardan oluşuyordu. Bu araçlar günümüzdeki gibi güçlü bataryalara sahip araçlardı. Örneğin, 1890'da tasarlanmış olan Morrison Electric modeli 3 beygir gücünde motora sahipti ve 10 saatte şarj oluyordu. 1912 yılında The Pope Manufacturing Company Şekil 3.1'de gösterilen bilinen ilk şarj cihazını yaptı. 1920 yılından itibaren petrol tarafındaki gelişmeler ve içten yanmalı motorlu araçların seri üretime geçişiyle birlikte elektrikli otomobile duyulan ilgi azalmıştır. Bu nedenle uzun bir süre EA ve EAŞİ alanlarında teknolojik bir gelişme sağlanmamıştır.



**Şekil 3. 1** İlk Elektrikli Araç Şarj Ünitesi

General Motors tarafından 2001 yılında piyasaya sürülen EV1 otomobili, standartlara uygun olarak şebekeye bağlı bir sistemle şarj edilebiliyordu. Bu otomobil, General Motors tarafından EA endüstrisine farklı bir boyut kazandırdı [44]. Yazaki, 2006 yılında şebeke bağlantısı olan yeni bir sistem üretmiştir. Üretilen bu sistemin transfer gücü 19.2 kW'ye kadar ulaşmaktadır. Günümüzde ise gelişen teknolojiyle birlikte, EA'ları daha kısa sürede şarj edebilen yüksek güçlü hızlı şarj istasyonları ortaya çıkmıştır. Bu şarj istasyonları, 2000'li yılların başlarında pek az ülkede ve oldukça sınırlı sayıda mevcuttu. Ancak günümüzde, birçok ülkede yaygın olarak kullanılan hızlı şarj istasyonları bulunmaktadır.

Yenilikçi şarj teknolojileri de EA şarj sistemlerinin gelişiminde önemli bir rol oynamıştır. Örneğin, şekil 3.2’de gösterildiği gibi kablosuz şarj teknolojileriyle araçlar kablosuz şarj pedleri üzerine park ederek şarj edilebilir hale gelmiştir. Bu, kullanıcıların kablolarla uğraşmadan ve pratiklik sağlayarak şarj işlemini kolaylaştırmaktadır.



**Şekil 3. 2** Elektrikli Araçlarda Kablosuz Şarj

Ayrıca, akıllı şarj sistemleri de EA şarjının gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, enerji yönetimi ve şarj optimizasyonu konusunda akıllı algoritmalar kullanarak son kullanıcı için daha verimli bir şarj deneyimi sağlar. Akıllı şarj sistemleri, kullanıcıların şebeke taleplerini dengelemek, enerji maliyetlerini azaltmak ve şebekenin yük dengesini sağlamak için enerji talebini optimize edebilir.

### **3.2 Şarj Teknolojisi, Standartları ve Konnektör Tipleri**

EAŞİ’lerin kullanımı EA’ların kullanımıyla birlikte dünya çapında hızla artmaktadır. Ancak şarj istasyonları, teknoloji, standartlar ve konnektör tipleri açısından ülkeden ülkeye ve kullanım amacına göre farklılık gösterir. Şarj istasyonlarını teknik olarak AA ve DA olmak üzere iki başlık altında listelemek mümkündür. Elektrik şebekesi tüketicisine genellikle AA sunar ancak bir EA’nın bataryasının şarj edilebilmesi için DA elektrik enerjisine ihtiyaç duyulur. AA’nın DA’ya dönüşümü araçta veya şarj noktasında gerçekleştirilebilir. Arabadaki AA-DA dönüştürücü, şebekeden gelen AA’yı bataryanın şarj edilmesi için gereken DA’ya dönüştürür. AA şarjı genellikle DC şarjdan daha az şarj gücüne sahiptir. Şarj süresi; aracın bataryasının kapasitesi, EA şarj istasyonunun gücü ve

şarj ayarları gibi çeşitli faktörler ile bağlantılıdır. Gelişen EAŞİ teknolojisiyle birlikte önümüzdeki yıllarda şarj sürelerinin hızla düşmesi beklenmektedir.

Ortalama güçteki bir şarj istasyonu, bir elektrikli araca 22 kW veya daha az güç aktarımı sağlayabilir. Yüksek güçlü şarj noktaları ise 22 kW'den daha fazla güç aktarımı sağlar. Hızlı şarj cihazları üzerindeki ARGE çalışmaları sürdürülmektedir. Günümüzde 185 kW ve daha yüksek güç sağlayabilen hızlı şarj cihazları bulunmaktadır. Şarj üniteleri ve şarj tipleri çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitlilik, şarj tipleri ve araçların batarya kapasiteleri arasındaki farklılıklardan kaynaklanır. Şarj tipleri genellikle gerilim seviyesi, akım tipi ve şarj gücü gibi faktörlere göre sınıflandırılır. Tablo 3.1'de gösterildiği gibi şarj çeşitleri evrenseldir. Şarj seviyesi yükseldikçe, enerji aktarımının miktarı artar ve şarj süresi kısalır. Ancak şarj işlemi seviyesi yükseldikçe, bataryanın şarj esnasında ısınma eğilimi de artar.

**Tablo 3. 1 Şarj Çeşitleri**

Şarj Tipleri	Gerilim (V)	Şarj Sistemi Tipi	Güç (kW)	Şarj Süresi (Saat)
Tip 1- AC	120	Yerleşik	1.41	14-17
Tip 2- AC	236	Yerleşik	4.1	4-6
Tip 3- AC	206	Yerleşik veya ayırık	>20	0.4-1
Tip 1-DC	198-440	Ayrık	36.5	0.4-1
Tip 2-DC	198-440	Ayrık	90.5	0.2
Tip 3-DC	200-600	Ayrık	240	<0.6

EA ile şarj istasyonu arasında iletilen elektrik enerjisinin fiziksel bağlantı noktasına konnektör denir. Farklı otomobil markalarının kullandığı farklı konnektörler bulunmaktadır.

### **3.2.1 Kombine Şarj Sistemi ve Kombo 1, Kombo 2 Konnektör**

KŞS diğer adıyla kombine şarj sistemi olarak bilinen konnektör tipi 2013 yılında Volkswagen tarafından kullanılmaya başlanmıştır. KŞS kombo, Amerika ve Avrupa'da mevcut olan AA şarj konnektörlerine DA akımını taşıyan +/- pinlerin eklenmesiyle oluşturulmuştur.

KŞS Kombo 1, iki ek pim ekleyerek J1772 Tip 1 konektörünü temel alır. Konektör, 350 kW'a kadar AC ve DC şarj yapabilir. Amerika'da KŞS kombo 1, Türkiye ve Avrupa'da ise KŞS Kombo 2 konektör tasarımı kullanılmaktadır. KŞS Kombo 2, iki ek pim ekleyerek Tip 2 konektörüne dayanır. Konektör, 350 kW'a kadar AC ve DC şarjı yapabilir. KŞS Kombo soketleri, Avrupa ve Amerika'daki neredeyse tüm EAŞİ'lerde yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu konektörlerin kullanımı oldukça yaygındır. EAŞİ'ler, uyumlu bir bağlantı kablosuyla KŞS Kombo soketlerine sahip olma eğilimindedir.



Şekil 3. 3 Combo 1 ve Combo 2 Konektörleri

### 3.2.2 CHAdeMO Tip Konektör

CHAdeMO tipi şarj konektörü, 2009 yılında ilk kez kullanıma sunulmuş ve dört Japon otomobil üreticisinin desteğiyle bugün dünyadaki en yaygın şarj konektörlerinden biri haline gelmiştir. Yeni versiyonu 2018 yılında sunulan CHAdeMO soket, 400 kW DC şarj hızına ulaşabilen bir yapıya sahip olup KŞS kombo'ya göre daha kompakt bir tasarıma sahiptir.

2020 verilerine göre dünya genelinde bir milyondan fazla CHAdeMO soketli araç bulunmaktadır. Bu soketi destekleyen 40 binden fazla şarj istasyonunun olduğu tahmin edilmektedir. CHAdeMO destekli istasyonların çoğu Avrupa, Japonya ve ABD'de bulunmaktadır. Ayrıca, günümüzde Türkiye'deki DA şarj istasyonlarının hemen hemen tamamında CHAdeMO uyumlu kablo seçeneği bulunmaktadır.



Şekil 3. 4 CHAdeMO Konnektörü

### 3.2.3 GB/T Tip Konnektör

EA dönüşümünü ve teknolojisini tam olarak destekleyen Çin, 2015 yılında hem AA hem de DA şarj için kendi konnektör tasarımlarını tanıtmıştır. Çin'de satılan tüm elektrikli modellerde kullanılan GB/T standardı, bugün milyonlarca araçta kullanılmaktadır. GB/T soketleri, Çin'de DA şarj için 235 kW seviyesine kadar şarj imkânı sağlamaktadır. Bu soketler ayrıca EA dönüşümünü Çin'e göre daha geriden takip eden Hindistan'da da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Hindistan'da bu soketin adı Bharat EV Charger DC-001 olarak bilinmektedir.



Şekil 3. 5 GB/T Konnektör

### 3.2.4 Type 1 – SAE J1772 Tip Konnektör

ABD ve Kanada'da yaygın olarak kullanılan Type 1 SAE J1772 konnektörü, yalnızca tek fazlı sistemlere entegre edilebilir. Bu konnektör Amerika'da Seviye 1 şarj cihazlarında tercih edilmekte olup aynı zamanda KŞS Kombo 1'in üst kısmını oluşturmaktadır.



Şekil 3. 6 Type 1-SAE J1772 Tip Konnektör

### 3.2.5 Type 2 – SAE J3068 Tip Konnektör

ABD'de Seviye 2, Avrupa'da ise Mod 1, 2, 3 şarj cihazlarında yaygın olarak kullanılan Type 2 SAE J3068 tip konnektör, üç fazlı sistemlere bağlanabilme özelliğine sahiptir ve 22 kW'nin üzerinde şarj hızlarına ulaşabilir. Aynı zamanda 2013 yılından bu yana Avrupa Birliği'nin resmi şarj konnektörü olarak kullanılmaktadır. J3068, Türkiye'de Mennekes olarak da bilinir ve bir dönem DA şarj için güncellenmesi düşünülmüştür. Ancak DA akımını taşıyan +/- pinlerin J3068'in altına eklenmesiyle KŞS Kombo 2 geliştirilmiştir. Tesla, bu konnektörün modifiye edilmiş bir versiyonunu Avrupa'daki Supercharger istasyonlarında kullanmaktadır. Type 2 SAE J3068 konnektörü dünyanın hemen hemen her ülkesinde bulunabilir. ABD, Avrupa ve Türkiye gibi birçok ülkede yaygın olarak kullanılmakta ve birçok EA' da standart olarak sunulmaktadır.



Şekil 3. 7 Type 2- SAE J3068 Tip Konnektör

### 3.2.6 ChaoJi Tip Konnektör

Çin ve Japonya ortaklığıyla geliştirilen ChaoJi soketi, 1500 V ve 600 A destekleyerek 900 kW'lık bir DC şarj hızına ulaşabilme imkânı sağlayacak. CHAdeMO 3.0 olarak da bilinen bu proje, iki farklı protokol üzerinden uygulanacak. ChaoJi-1 protokolü sadece Çin'de kullanılıyorken, ChaoJi-2 protokolü Japonya ve dünyanın geri kalanında geçerlidir. KŞS konnektörlerinin yerine geçmesi beklenen ChaoJi tip konnektörün mevcut Type 1 SAE J1772, Type 2 SAE J3068 ve GB/T konnektörlerle uyumlu bir şekilde yeni EA'lara uygulanabilecek. Projenin geliştirme planı içinde, elektrikli ağır taşıtlar, otobüsler ve hatta uçakların şarj edilebilmesini sağlayacak olan Ultra-ChaoJi soketi de bulunmaktadır.



Şekil 3. 8 ChaoJi Tip Konnektör

### 3.2.7 Tesla Şarj Konnektörü

Elektrikli otomobilin yeniden doğuşuna öncülük eden Tesla, 2008 yılında ilk lityum iyon pilli elektrikli otomobilini piyasaya sürdüğünde, şarj konusunda ihtiyaçlarını karşılayabilecek evrensel bir konnektör tasarımına sahip değildi. Tesla, bu eksikliği fark ederek hem AC hem de DC şarjını aynı kompakt konnektörde birleştiren bir konnektörün geliştirilmesine hız verdi. Günümüzde yalnızca Tesla Supercharger şarj istasyonlarında bulunan ve 250 kW 'ye kadar hızlarda şarj sağlayabilen Tesla konnektörü, Çin ve Avrupa'da satılan otomobillerde bölgedeki yaygın soketlere yerini bırakmış durumda. Gelecekte, hızla gelişen şarj konnektörü teknolojisi göz önüne alındığında, bu özel konnektör tasarımının kullanılmaya devam edilip edilmeyeceği ise belirsizdir.



Şekil 3. 9 Tesla Şarj Konnektörü

EAŞİ'lerin yaygınlaşma süreci, özellikle son yıllarda önemli bir ivme kazanmıştır. Bu süreçte birçok faktör etkili olmuştur. Öncelikle, EA'ların popülaritesindeki artış, şarj altyapısının genişlemesini gerektirmiştir. Artan EA talebi, şarj istasyonlarının yaygınlaşması için bir itici güç olmuştur. Hükümetlerin ve yerel yönetimlerin teşvik politikaları da EAŞİ'lerin yaygınlaşmasını desteklemiştir. Birçok ülke, vergi indirimleri, mali teşvikler, şarj istasyonu kurulumunda kolaylıklar gibi teşvikler sunarak EA kullanımını teşvik etmiştir. Bu politikalar, şarj altyapısının hızla gelişmesine ve yaygınlaşmasına katkıda bulunmuştur. Bu bölümde bahsedildiği gibi, teknolojik ilerlemeler de EAŞİ'lerin yaygınlaşmasını desteklemiştir.

Hızlı şarj teknolojileri, araçların daha kısa sürede şarj edilebilmesini sağlamıştır. İş birliği ve yatırımlar da EAŞİ'lerin yaygınlaşmasında önemli bir rol oynamıştır. Otomobil

reticileri, enerji dağıtım Şirketleri, Şarj altyapısı sağlayıcıları ve diğer kuruluŐlar arasındaki iş birlikleri, daha fazla Şarj istasyonunun kurulması ve mevcut altyapının iyileştirilmesi iÇin yapılan yatırımları artırmıŐtır. Bu, daha geniş bir Şarj altyapısının oluŐturulmasına olanak sağlamıştır.



# GÜNEŞ ENERJİSİ VE FOTOVOLTAİK PANEL SİSTEMLERİ

---

## 4.1 PV Panelin Tarihçesi ve Güneş Enerjisi

PV paneller 19. yy.'a kadar uzanan zengin ve köklü bir geçmişe sahiptir. 1839'da Fransız fizikçi Alexandre-Edmond Becquerel, bazı malzemelerin ışığa maruz kaldığında elektrik akımı üretme fenomenini keşfetti. Bu keşif, fotovoltaik etki olarak adlandırılan fenomenin temelini oluşturdu. Bu keşiften sonra, 19. yy. boyunca birçok bilim insanı, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme konusunda çalışmalar yaptı. Ancak, bu dönemde PV panellerin pratik uygulamaları için uygun malzemeler ve teknolojiler henüz bulunamamıştı. Alexandre-Edmond Becquerel ile başlayan bu hikâyenin gelişmesi ve yaygınlaşması 20.yy.'ın ortalarını buldu. 1954'te, Bell Labs'taki bilim insanları ilk silikon yapıdaki fotovoltaik hücreyi icat ettiler, ancak bu ürünün verimlilik oranı sadece %6 idi. Bu icat fotovoltaik hücre alanında daha fazla araştırma ve geliştirme yapılması noktasında bilim insanlarını heyecanlandırarak önemli bir rol oynadı. 1960'larda ve 1970'lerde, NASA'nın uzay araştırmaları PV panellerin gelişimine büyük katkı sağladı. Uzay araçlarında kullanılmak üzere yüksek verimli PV panellerin geliştirilmesi, güneş enerjisinin kullanımı konusunda önemli bir adımdı. Bu dönemde, PV teknolojisi hızla gelişti ve daha verimli, dayanıklı ve uygun maliyetli paneller üretilebildi.

1980'lerden itibaren, PV panellerin ticari kullanımı yaygınlaşmaya başladı. İlk başlarda özellikle uzak bölgelerdeki elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılan PV paneller, zamanla daha geniş bir kullanım alanına sahip oldu. Güneş enerjisi, çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edildiği ve dahası çevreci insanlar tarafından da destek gördüğü için PV panellerin popülaritesi arttı. Verimin artması ve maliyetlerin azaltılabildiğinin kanıtlanmasıyla birlikte PV teknolojisinin gelişimi hızla ilerlemeye devam etti. Bugün, PV paneller evleri ve işletmeleri güçlendirmekten uzak alanlara elektrik sağlamaya ve hatta EA'ları şarj etmeye kadar geniş bir uygulama alanında kullanılmaktadır. PV panellerin tarihi, güvenilir, yenilenebilir bir enerji kaynağı geliştirmeyi mümkün kılan bilimsel keşifler, mühendislik atılımları ve teknolojik ilerlemelerin bir kombinasyonu olarak özetlenebilir. Dünya odağını daha temiz ve

sürdürülebilir enerji kaynaklarına doğru kaydıldıkça, PV teknolojisi, gelecek nesillerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için şüphesiz ki önemli bir rol oynamaya devam edecektir.

## **4.2 Güneş Enerjisi ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Güneş enerjisi, güneşten gelen ışık ve ısı enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üretme veya ısıtma amaçlarıyla kullanılabilen temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Güneş, sonsuz bir kaynak olduğu için güneş enerjisi, çevre dostu bir enerji seçeneği olarak kabul edilmektedir. Güneş enerjisinin kullanımı, PV paneller ve termal kollektörler gibi teknolojiler aracılığıyla gerçekleştirilir. PV paneller, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Termal kollektörler ise güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürerek ısıtma veya sıcak su üretimi için kullanılır.

Güneş enerjisinin birçok avantajı vardır. Öncelikle, güneş enerjisi temiz bir enerji kaynağıdır ve çevreye zararlı emisyonlar üretmez. Fosil yakıtların aksine, güneş enerjisi kullanımıyla sera gazı salınımı azalır ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynamış olur. Ayrıca, güneş enerjisi güneşin kaynağından direkt olarak elde edildiği için Güneş enerjisinden üretilen enerji fiyatlarındaki fiyat oynaklığı, fosil yakıtları kullanan enerji üretim sistemlerine kıyasla çok daha azdır. Güneş enerjisi sistemleri kurulduktan sonra işletme ve bakım maliyetleri oldukça düşüktür. Bu da uzun vadede enerji maliyetlerini düşürür. Güneş enerjisi aynı zamanda enerji güvenliğini artırır. Ülkeler, güneş enerjisini yerel olarak üretebilirler ve enerji ithalatına olan bağımlılıklarını azaltabilirler. Güneş enerjisi, uzak bölgelerde elektrik sağlama imkânı sunarak enerji erişimini genişletir ve kalkınmayı destekler.

Son yıllarda güneş enerjisinden enerji üretimi, teknolojik ilerlemeler ve maliyetlerin düşmesiyle birlikte hızla yaygınlaşmıştır. Büyük ölçekli güneş enerjisi santralleri kurulmuş, ev ve işletmelerde PV panel sistemleri kullanılmıştır. Artan yenilenebilir enerji hedefleri ve enerji dönüşümünde güneş enerjisinin önemi, güneş enerjisinin gelecekte daha da yaygınlaşacağını göstermektedir. Güneş enerjisi, yerel ve ulusal enerji güvenliği açısından da büyük önem taşır. Dünyanın birçok farklı yerindeki ülkeler için Güneş enerjisine ulaşmak çok daha kolay olduğundan, enerji ithalatına bağımlılığı azaltır ve enerji kaynaklarına erişimde ekstra bağımsızlık sağlar [45]. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar aynı zamanda iş yaratma potansiyeli taşır ve ekonomik büyümeyi destekler.

Güneş enerjisinin uygulama alanları oldukça geniştir. Evlerde ve işyerlerinde kullanılan güneş panelleri, elektrik tüketimini karşılamak veya enerji maliyetlerini düşürmek için kullanılabilir. Büyük ölçekli güneş enerjisi santralleri, elektrik şebekesine entegre olarak bölgesel veya ulusal düzeyde elektrik üretebilir. Ayrıca, güneş enerjisi çiftlikleri, çöl alanlarında büyük alanlara kurularak büyük miktarda enerji üretebilir.

### **4.3 PV Sistem ve Termal Güneş Enerjisi**

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için kullanılan iki temel teknoloji PV ve termal güneş enerjisi sistemleridir. Her iki teknoloji de güneş enerjisinden faydalanarak çevre dostu ve sürdürülebilir enerji üretimine katkıda bulunurlar. Fotovoltaik hücreler, genellikle silikon tabanlı olup güneş ışığını elektrik enerjisine çevirmek için fotoelektrik etkiyi kullanır. Güneş ışığı panel üzerindeki fotovoltaik hücreleri vurduğunda, elektronlar serbest hale gelir ve elektrik akımı oluştururlar. Üretilen akım DA'dır ve bu akım, inverter ile AA'ya dönüştürülür. PV paneller, genellikle çatılar, araziler veya güneş enerjisi santralleri gibi alanlarda kullanılır ve elektrik enerjisi üretimi için efektif bir çözüm sunarlar.

Termal güneş enerjisi sistemleri ise güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürmek için kullanılır. Bu sistemler genellikle güneş kolektörleri ve depolama tanklarından oluşur. Güneş kolektörleri, güneş ışığını emerek suyu veya başka bir akışkanı ısıtarak kullanım suyu veya ısıtma sistemlerine enerji sağlar. Bu ısı enerjisi, depolama tankında saklanarak ihtiyaç duyulduğunda kullanılabilir. Termal güneş enerjisi sistemleri, özellikle su ısıtma, ısıtma sistemleri ve yüzme havuzu ısıtma gibi uygulamalarda etkili bir şekilde kullanılır.

PV ve termal güneş enerjisi sistemleri birlikte kullanıldığında, güneş enerjisi potansiyeli ve sistem verimliliği arttırılmış olur. Örneğin, PV panellerden elde edilen elektrik enerjisi, termal güneş enerjisi sistemleri tarafından kullanılarak sıcak su üretiminde veya ısıtma sistemlerinde kullanılabilir. Bu tip sistemler, enerji verimliliğini artırır ve güneş enerjisi kaynaklarının maksimum şekilde kullanılmasını sağlar. PV ve termal güneş enerjisi sistemleri, çevresel faydalarının yanı sıra enerji maliyetlerini düşürme potansiyeline sahiptir. Güneş enerjisine dayalı sistemler, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır ve enerji maliyetlerinde uzun vadede tasarruf sağlar. Ayrıca, güneş enerjisi sistemleri uzun ömürlüdür ve düşük bakım gerektirir.



**Şekil 4. 1** Çatıya Monte PV Panel Sistemi

#### **4.4 PV Sistem ve Elemanları**

- PV Panel
- İnvörtör
- Akü
- Akü Şarj Regülatörü

##### **4.4.1 PV Panel Yapısı ve Çeşitleri**

PV paneller, güneş enerji santrallerinin temelini oluşturur ve güneşten elektrik enerjisi üretimi için en yaygın tercih edilen yöntemdir. Fotovoltaik kelimesi, Latince "photos" kelimesiyle ışık anlamına gelen kelime ve elektrikle ilişkilendirilen önemli bir isim olan Alessandro Volta'dan esinlenerek ortaya çıkmıştır. Fotovoltaik kelimesinin kökeni, bu iki kelimenin birleşimiyle oluşturulmuştur ve "ışıkta doğrudan elektrığe" anlamına gelir.

PV paneller, güneş ışığının fotovoltaik etki denilen bir süreçle doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlar. Bu paneller, genellikle silikon tabakalarından oluşur ve güneş ışığı altında çalışarak elektrik üretirler. Güneş ışığı, fotovoltaik hücrelerdeki yarıiletken malzemeler tarafından emilir ve bu malzemelerdeki elektronlar serbest hale gelir. Elektronların hareketi, bir elektrik akımı oluşturarak panelden elektrik enerjisi üretir. PV panellerin tasarımı, hücrelerin güneş ışığından maksimum miktarda enerjiyi toplamasını ve elektrik üretimini optimize etmesini sağlar. Paneller genellikle cam veya polimer malzemeyle korunan ve dayanıklı bir yapıya sahiptir. Bu koruyucu katmanlar, hücreleri çevresel etkilere karşı korur ve panelin uzun ömürlü olmasını sağlar.

PV panellerin boyutları ve çıkış güçleri farklılık gösterebilir. Küçük ev sistemlerinden ticari ve endüstriyel ölçekli güneş enerjisi santrallerine kadar çeşitli uygulamalar için farklı boyutlarda ve güç seviyelerinde paneller bulunmaktadır. Panellerin çıkış gücü, fotovoltaiik hücrelerin verimliliği ve panelin fiziksel boyutlarıyla ilişkilidir. PV teknolojisi, Güneş'in füzyon reaksiyonu sonucu oluşan enerjinin ışık yoluyla dünyaya yayılması ve bu ışığın yarıiletken malzeme üzerinde fotovoltaiik etkiyi tetiklemeyle elektrik enerjisi üretimi gerçekleşen bir olaydır. PV paneller, bu etkiyi kullanarak Güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Fotovoltaiik hücreler, genellikle silikon gibi yarıiletken malzemelerden yapılmıştır. Güneş ışığı hücreye düştüğünde, yarıiletken malzeme içindeki elektronlar enerji kazanır ve serbest hale geçer. Bu serbest elektronlar, yarıiletken malzeme içinde bir elektrik akımı oluşturarak elektrik enerjisi üretir. Oluşan elektrik enerjisi miktarı, PV panelin kullanılan malzeme özellikleri, ışığın yoğunluğu, panelin yerleşim açısı ve diğer faktörlere bağlı olarak değişir.

PV paneller, birden çok fotovoltaiik hücrenin bir araya getirilmesiyle oluşur. Panellerin verimliliği, kullanılan malzemenin türüne bağlıdır. Genellikle kullanılan PV panellerin verimi %5 ile %18 arasında değişmektedir. Verimlilik, teknolojik gelişmeler ve ilerlemelerle artırılmaktadır [46]. PV panellerin verimliliği, çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar arasında PV panellerde biriken toz miktarı, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı da yer alır. Toz birikmesi, güneş ışığının panellere ulaşmasını engelleyerek verimliliği olumsuz etkileyebilir. Aynı şekilde, yüksek ortam sıcaklıkları da PV panellerin performansını düşürebilir. Rüzgâr hızı ise panellerin soğumasını sağlayarak verimliliği artırabilir.

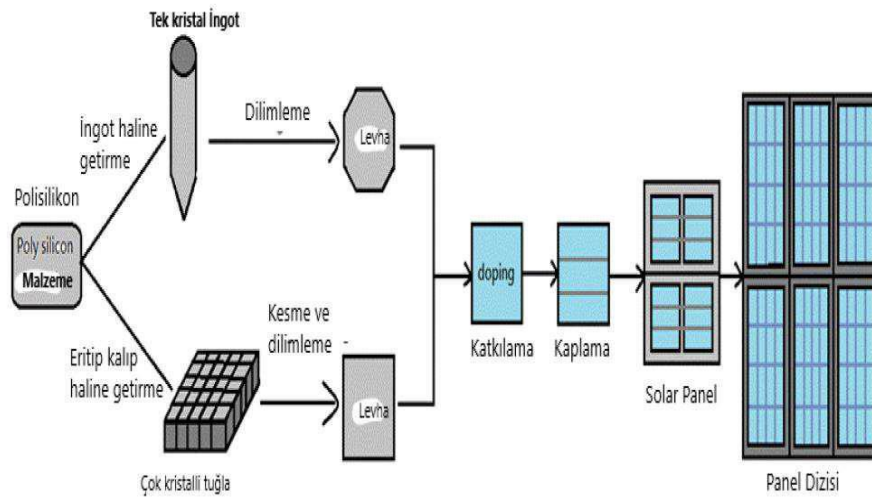
Daha yüksek enerji üretimi için PV hücreleri bir araya getirilerek modüller oluşturulur. Modüller daha sonra panelleri oluşturmak için bir araya getirilir ve paneller de diziler oluşturmak için bir araya getirilir. Bu şekilde, akım, gerilim ve güç değerlerini istenen seviyelere getirebilen Güneş enerji santralleri inşa edilebilir. PV paneller; monokristal, polikristal ve ince film panel olmak üzere 3 başlık altında incelenebilir.

#### **4.4.1.1 Monokristal Paneller**

Monokristal hücrelerin üretiminde iki farklı yöntem kullanılır: "Czochralski çekmesi" ve "Yüzer bölge" yöntemleri. Bu yöntemler, saf silikonun kristal yapısının oluşturulmasını sağlar. Czochralski yöntemi, Polonyalı kimyager Jan Czochralski tarafından bulunmuştur. Czochralski çekmesi yönteminde, saf silikon öncelikle eritilerek sıvı hale getirilir. Daha sonra dönen bir kristal çubuk, erimiş silikonun içine daldırılır ve yavaşça

çekilirken dönmeye devam eder. Bu süreçte erimiş silikon, kristal çubuğun üzerinde katılaşmaya başlar. Sonuç olarak, yüksek saflıkta bir silikon kristal külçesi oluşur. Bu külçe daha sonra dilimlenir ve elde edilen parçalara "wafer" adı verilir. Wafers, fotovoltaik hücrelerin temel bileşenlerini oluşturur. Dilimlenme işlemi, üretimin en zorlu aşamasıdır. Wafer'lar, ince ve düzgün yüzeylere sahip olacak şekilde kesilir. Bu aşamada, kesim işlemi sırasında hassas kontrol ve yüksek kalite gereklidir. Dilimlenen wafer'lar, fotovoltaik hücrelerin gövdesini oluşturmak için kullanılır. Wafer'ların gövdesine daha sonra iletken malzemeler eklenir. Bu iletkenler, elektrik akımının hücre içinde düzgün bir şekilde akmasını sağlar. Böylece, fotovoltaik hücrelerin üretimi tamamlanır ve güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilen bileşenler elde edilmiş olur.

Monokristal hücreler, tek kristal yapıları sayesinde yüksek verimlilik sağlarlar. Czochralski çekmesi ve Yüzer bölge yöntemleri, bu yüksek verimlilikteki hücrelerin üretiminde önemli adımları oluşturur.



**Şekil 4. 2** Monokristal Panel Üretim Yöntemi

Silikon temelli PV panellerin verimlilikleri, kullanılan silikonun saflık düzeyiyle doğrudan ilişkilidir. Silikonun daha yüksek saflıkta olması, panellerin daha verimli olmasını sağlar. Fraunhofer Enstitüsü tarafından 2018 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, deneysel ortamda monokristal hücreler için elde edilen maksimum verimin %26.7 olduğu tespit edilmiştir. Ancak, piyasada satılan panellerde bu verim genellikle %19 ile %21 arasında değişmektedir. Panellerin verimliliği, silikonun saflığının yanı sıra diğer faktörlere de bağlıdır. Örneğin, panellerin yapısı, yüzey özellikleri ve ışığı emme kabiliyeti gibi faktörler de verimlilik üzerinde etkilidir. Araştırmalar ve teknolojik

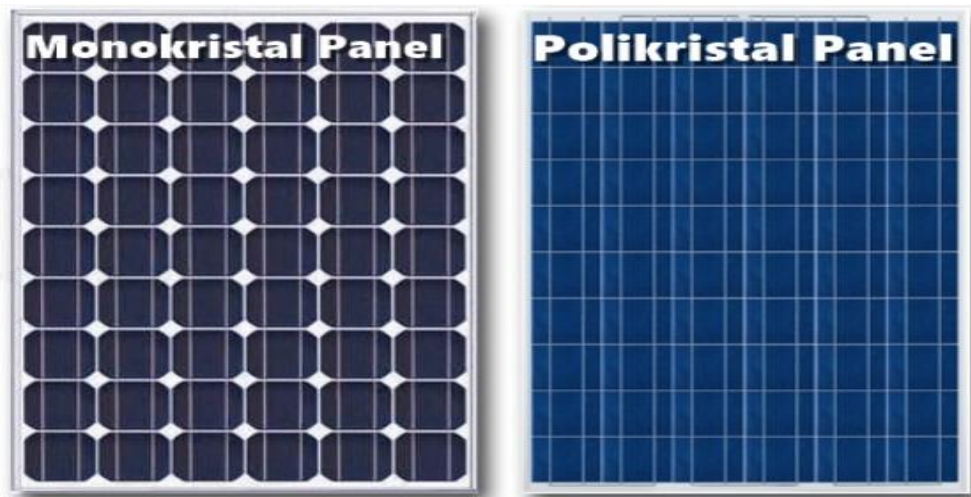
gelişmeler, silikon malzemenin saflığını artırmak ve panel tasarımlarını optimize etmek suretiyle verimliliği artırmayı hedeflemektedir.

Panellerin verimliliğini artırmak, güneş enerjisinden daha fazla elektrik üretmek ve sistemlerin daha fazla enerjiyi kullanılabilir hale getirmek için önemlidir. Yüksek verimlilik, daha az alan kullanarak daha fazla enerji üretme potansiyeli sunar ve bu da güneş enerjisi sistemlerinin daha ekonomik ve çevre dostu olmasını sağlar.

#### 4.4.1.2 Polikristal Paneller

Monokristal panellerin üretim zorluğu ve yüksek maliyeti, polikristal panellerin ortaya çıkmasında önemli bir etkidir. Polikristal panellerin üretimi için, silikonun monokristal panellerde olduğu gibi saflaştırma işlemi yapılmadan doğrudan eritilerek külçe haline getirilir ve bu külçeler dilimlenir. Bu yöntem, işlemleri basitleştirerek üretim maliyetini düşürürken, kullanılan silikonun saflık oranı daha düşük olduğu için polikristal panellerde verim kaybına neden olur. Verim kaybının sebebi, kullanılan silikonun monokristal panellerdeki gibi homojen ve koyu renkli olmamasından kaynaklanır.

Polikristal paneller, kolay üretimi ve düşük maliyeti nedeniyle piyasada en yaygın tercih edilen panel türüdür. Ancak, monokristal panellerde kullanılan silikonun, polikristal panellerde kullanılanlardan daha saf olması, polikristal panellerin verimini düşürür ve kullanım ömrünü kısaltır. Genel olarak, polikristal paneller daha yaygın olarak kullanılsa da monokristal paneller yüksek verimlilik ve estetik tercih edenler için daha ideal bir seçenek olabilir.



Şekil 4. 3 Polikristal ve Monokristal Paneller

#### 4.4.1.3 İnce Film Paneller

İnce film paneller, bir kaplama malzemesinin üzerine bir ya da birden fazla ince katmanın yerleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Bu paneller, kalınlık olarak mikrometre boyutlarında olup diğer panel türlerine göre daha geniş bir yüzey alanını kaplarlar. İnce film panellerin üretimi kolay olup esnek yapıları sayesinde çeşitli kullanım alanlarına sahiptirler. Ayrıca, monokristal ve polikristal panellere göre daha dayanıklıdır ve yüksek sıcaklıklarda daha yüksek verimlilik sağlarlar. Ancak, ince film panellerin genel verimlilikleri diğer panellere kıyasla düşüktür, bu yüzden tercih sebebi olarak öne çıkmazlar. Bununla birlikte, ince film panellerin bazı avantajları bulunmaktadır. Örneğin, üretimleri kolaydır ve esnek yapıları sayesinde farklı şekillerde kullanılabilirler. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda daha yüksek verimlilik sağlarlar ve sıcaklığa karşı daha dayanıklıdır. Önde gelen ince film çeşitleri arasında kadmiyum tellürid, amorf silikon ve bakır diselenid indiyum bulunmaktadır. Günümüzde kullanılan PV panellerin, panel başına ürettikleri güç değeri genellikle 45 W ile 450 W arasında değişmektedir. Monokristal ve polikristal paneller, güneş enerji santralleri için en çok tercih edilen panel tipleridir. Bunun temel nedeni, ince film panellerin verimliliklerinin bu iki panel türüne kıyasla daha düşük olmasıdır. Ancak, teknolojik gelişmeler ve araştırmaların devam etmesiyle birlikte ince film panellerin verimliliği de artmaktadır, bu da gelecekte tercih edilebilirliklerini artırabilir.



Şekil 4. 4 İnce Film Panel Çatı Uygulaması

#### **4.4.2 İnvvertör**

İnvvertörler, DA'yı AA'ya dönüştüren elektronik cihazlardır. İnvvertörler, çıkışta elde edilen gerilim ve frekans değerlerini sabit veya değişken bir şekilde üretebilirler. Bu sayede çeşitli elektriksel cihazların çalışması için uygun güç kaynağı sağlar. İnvvertörler genel olarak iki şekilde sınıflandırılabilir. İlk sınıflandırma yöntemi, kullanılan çıkış dalga formuna dayanır. Sinüsoidal invvertörler, çıkışta ürettikleri alternatif gerilimi tam bir sinüs dalga formunda sağlarlar ve genellikle hassas elektronik cihazların güç kaynağı olarak tercih edilirler. Kare dalga invvertörler ise çıkışta kare dalga formunda bir alternatif gerilim üretirler ve daha basit uygulamalarda kullanılırlar. İkinci sınıflandırma yöntemi, invvertörlerin çıkış gerilimlerinin sürekli olarak ayarlanıp ayarlanamadığına dayanır. Sabit çıkışlı invvertörler, çıkış gerilimini sabit bir değerde tutarlar ve genellikle sabit güç ihtiyacı olan cihazlar için kullanılırlar. Değişken çıkışlı invvertörler ise çıkış gerilimini ayarlanabilir ve değiştirilebilir hale getirirler. Bu sayede çeşitli güç ihtiyaçlarına uygun şekilde gerilim ayarlaması yapılabilir.

##### **4.4.2.1 Şebeke bağlantısız (off-grid) invvertörler**

Bu tür invvertörler, özellikle enerji depolama sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisi doğrudan AA'yı dönüştürülerek bir yükü besleyebilirken, invvertörde depolanan DA elektrik enerjisi AA'ya dönüştürülerek ilgili yükü besleyebilme özelliğine sahiptir. Depolama sistemleri, güneş enerjisi veya diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen fazla enerjinin depolanmasını ve daha sonra ihtiyaç duyulduğunda kullanılmasını sağlar. Bu sistemlerde invvertörler, akülerde depolanan DC enerjiyi AC enerjiye dönüştürerek kullanılabilir hale getirirler. Bu sayede enerji depolama ve kullanım süreci daha esnek hale gelir.

Depolama sistemlerinde invvertörler, enerji depolama birimleri ile çalışır. Akülerde depolanan enerji invvertörler tarafından AC enerjiye dönüştürülerek elektrikli cihazlar veya ağa geri besleme yapılabilir. Bu da enerji depolama ve kullanım sürecini optimize eder ve enerji verimliliğini artırır.

##### **4.4.2.2 Şebeke Bağlantılı (on-grid) İnvvertörler**

On-grid invvertör, güneş panellerinden gelen doğru akımı alır ve elektrik şebekesine uygun olan AA'ya dönüştürür. Bu dönüşüm işlemi sayesinde güneş enerjisi elektrik şebekesine doğrudan entegre edilebilir. On-grid sistemler, elektrik şebekesine bağlı çalışan sistemlerdir. Bu sistemlerde, PV panellerden elde edilen enerji, evler, işyerleri veya diğer

ticari ve endüstriyel yapılar tarafından tüketilebilir. Ayrıca, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine geri beslenebilir. Bu şekilde, güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi, binaların elektrik ihtiyacını karşılamada kullanılabilir ve aynı zamanda elektrik şebekesine katkı sağlayabilir. On-grid invertörler, güneş enerjisi sistemlerinin verimli ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu invertörler, güneş panellerinden gelen enerjiyi optimizasyon işleminden geçirerek maksimum enerji verimliliğini sağlar. Ayrıca, elektrik şebekesine entegrasyonu kolaylaştırır ve güvenlik önlemleriyle uyumludur.

#### **4.4.3 Akü**

Güneş enerji sistemlerinde enerji depolama birimi genellikle akülerdir. PV paneller tarafından üretilen enerji, güneşin parlak olduğu gündüz saatlerinde akülere depolanır ve güneş battıktan sonra akülerden elde edilen enerji kullanılabilir hale gelir. Bu sayede, PV paneller sadece gündüz saatlerinde enerji üretebilirken, gece veya enerji ihtiyacının olduğu diğer zamanlarda depolanan enerji akülerden elde edilerek kullanılabilir. Güneş enerji güç sistemlerinde, yüksek döngü sayısına sahip şarj edilebilir kurşun asit aküler yaygın olarak kullanılır. Bu aküler, güneş enerjisi sistemlerinde sık sık şarj ve deşarj işlemine tabi tutulabilir ve uzun süreli kullanıma uygun olarak tasarlanmıştır. Ayrıca, döngü sayısı daha yüksek olan sulu tip aküler ile VRLA (Valve Regulated Lead Acid) tipi Jel ve AGM (Absorbent Glass Mat) aküler de tercih edilen akü tipleri arasında yer alır. Bu akü tipleri, güvenilir performans sağlar ve enerji depolama sürecinde etkili bir şekilde kullanılabilir. Lityum ve nikel bazlı aküler, daha uzun ömürlü ve daha hafif yapılarıyla dikkat çeker. Taşınabilirlik ön planda olduğunda tercih edilebilirler. Lityum aküler, yüksek enerji yoğunluğu ve hızlı şarj/deşarj özellikleriyle bilinirken, nikel bazlı aküler de dayanıklılık ve uzun ömürleriyle öne çıkar. Ancak, bu akü tipleri genellikle daha yüksek maliyetlidir.

#### **4.4.4 Akü Şarj Regülatörü**

PV paneller tarafından üretilen enerjinin sağlıklı bir şekilde akülerde depolanabilmesi için paneller ile akü arasında konumlandırılan şarj regülatörleri büyük önem taşır. Bu regülatörler, şarj işleminin verimli bir şekilde gerçekleşmesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda panellerden akülere ters akımın gitmesini önleyen önemli bir bileşendir.

Şarj regülatörlerinin yapısında bulunan transistörler, anahtarlama işlevi görerek panellerin geriliminin akü geriliminden yüksek olmadığı durumlarda akım geçişine izin vermez. Böylece, PV panellerden gelen doğru akımı düzenleyerek sabitleyen akü şarj

regülatörü, akülerin sağlıklı bir şekilde şarj olabilmesi için stabil bir doğru akım sağlar. Aküler, şarj işlemi sırasında beslenen akım ve voltaj değerlerinin sabit ve düzenli olmasına ihtiyaç duyarlar. PV paneller ise sürekli olarak değişen akım ve voltaj değerlerine sahip olduklarından akülerin verimli ve sağlıklı bir şekilde şarj edilmesini sağlamak için regülatörlerin yardımına ihtiyaç duyarlar.

Akü şarj regülatörleri, PV güneş enerji santrallerinde vazgeçilmez bir bileşendir. Bu regülatörler, akülerden panellere ters akımın gitmesini engellediği gibi akülerin aşırı şarj olmasını da önler. Aküler dolduğunda regülatör, panellerden gelen elektriği keserek akünün aşırı şarj olmasını engeller. Bu sayede akülerin ömrü ve performansı korunur. Akü şarj kontrol birimleri genellikle iki çeşittir. İlk olarak, şarj regülatörleri sadece şarj işlemi yapar ve akülerin doğru voltajda şarj olmasını sağlar. İkinci olarak, MPPT şarj regülatörleri, panellerden en yüksek verimle güç elde etmek için panellerin çıkış gücünü optimize eder. Bu sayede daha yüksek verimlilik elde edilir ve güneş enerjisi sistemlerinden maksimum fayda sağlanır.

#### **4.4.5 PWM**

PWM, akü şarj kontrolü için en yaygın olarak kullanılan yöntemidir. Bu yöntemde, şarj kontrol birimi akünün durumunu izler ve batarya voltajı ve akımı arasındaki farka bağlı olarak düzenlemeler yapar. PWM, şarj kontrol biriminin çıkış voltajını ve akımını düzenleyerek aküyü doğru bir şekilde şarj etmeyi sağlar. PWM, enerji verimliliği açısından iyi performansı gösterir ve genellikle küçük ve orta ölçekli güneş enerjisi sistemlerinde kullanılır.

#### **4.4.6 MPPT**

MPPT, güneş panellerinden gelen enerjinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan bir teknolojidir. Bu yöntemde, şarj kontrol birimi güneş panellerinden gelen enerjiyi izler ve panelin maksimum güç noktasını belirler. MPPT, şarj kontrol biriminin çıkışını bu noktaya ayarlayarak en yüksek verimi elde etmeyi sağlar. MPPT yöntemi, değişken hava koşullarında ve büyük ölçekli güneş enerjisi sistemlerinde daha etkilidir. Bu yöntem, güneş enerjisi sisteminden daha fazla enerji verimliliği sağlayabilir. Her iki yöntem de akü şarj kontrol birimlerinin verimli bir şekilde çalışmasını sağlar, ancak kullanılan sistem ve uygulama koşullarına bağlı olarak tercih edilen yöntem değişebilir.



Şekil 4. 5 PV Sistem Elemanları

### 5.1 Batarya Enerji Depolama Sistemlerinin Tarihçesi

BEDS'ler, enerji depolamak ve taşımak için kullanılan önemli bir teknolojidir. İlk BEDS'ler, 18. yy.'da Alessandro Volta tarafından icat edilen Volta piline dayanmaktadır. Volta pili, katot ve anot arasında kimyasal reaksiyonlar yoluyla elektrik enerjisi üreten bir cihazdır. Ancak, bu erken bataryaların enerji depolama kapasitesi oldukça sınırlıydı ve daha gelişmiş sistemlere ihtiyaç duyulduğu aşıkardı.

Batarya enerji depolama teknolojisi, 19. yy.'da gelişmeye devam etti. 1800'lerin ortalarında, John F. Daniell tarafından geliştirilen Daniell hücresi, Volta pilinin yerine geçebilecek daha verimli bir depolama sistemidir. Daniell hücresi, katot ve anot arasında çinko ve bakır elektrotlarını kullanarak elektrik enerjisi ürettiyordu.

20. yy.'da batarya enerji depolama teknolojisinde, çok büyük ilerleme kaydedildi ve çeşitli türlerde bataryalar ortaya çıktı. Günümüzde otomobil akülerinde yaygın olarak kullanılmakta olan kurşun-asit bataryalar bu dönemde geliştirilmiştir [47]. Bu aküler, kurşun plakalar ve sülfürik asit elektroliti kullanarak elektrik enerjisi depolayan bataryalardır.

Günümüzde ise, lityum-iyon bataryalar gibi daha gelişmiş BEDS'ler özellikle EA sektöründe popülerlik kazanmıştır. Lityum-iyon bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu, hafiflik ve daha uzun ömür gibi avantajlarıyla öne çıkmaktadır. Mobil cihazlar, dizüstü bilgisayarlar ve EA'larda geniş çapta kullanılmaktadırlar. BEDS, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasıyla da büyük önem kazandı [48]. Güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, değişken bir doğaya sahiptir ve bu enerjiyi depolayabilen batarya sistemleri, enerjiyi kullanılabilir hale getirme ve enerji tüketimini dengeleme konusunda kritik bir rol oynamaktadır [49].

## **5.2 Batarya Teknolojileri ve Çeşitleri**

### **5.2.1 Kurşun Asit Bataryalar**

Kurşun asit bataryalar, en eski ve en yaygın kullanılan batarya tipidir. Elektrokimyasal reaksiyonlarla enerji depolayan kurşun plakalar ve sülfürik asit elektroliti içerirler. Bu bataryalar genellikle araç akülerinde ve güç kaynaklarında kullanılır.

### **5.2.2 Lityum İyon Bataryalar**

Lityum iyon bataryalar, günümüzde yaygın olarak kullanılan bir batarya teknolojisidir. Daha yüksek enerji yoğunluğu, hafiflik ve daha az kendini deşarj etme özelliği sunarlar. Taşınabilir elektronik cihazlardan EA'lara kadar birçok uygulamada kullanılırlar.

### **5.2.3 Lityum Polimer Bataryalar**

Lityum polimer bataryalar, lityum iyon bataryaların bir türevidir. Esnek polimer elektrolitleri kullanılırlar ve daha düşük profilli, ince tasarımlara olanak tanır. Taşınabilir cihazlarda, akıllı saatlerde ve hafif EA'larda tercih edilirler.

### **5.2.4 Nikel Metal Hidrit Bataryalar**

Nikel metal hidrit bataryalar, lityum iyon bataryaların yaygınlaşmadan önce taşınabilir elektronik cihazlarda sıkça kullanılan bir teknolojiydi. Daha düşük enerji yoğunluğuna sahip olmalarına rağmen, daha düşük maliyetleri ve çevresel etkileri nedeniyle bazı uygulamalarda hala tercih edilebilirler.

### **5.2.5 Kurşun-Gel Bataryalar**

Kurşun-gel bataryalar, kurşun asit bataryaların geliştirilmiş bir versiyonudur. Elektrolit yerine jel formunda elektrolit kullanılır, böylece sıvı elektrolite göre daha düşük sızıntı riski ve daha iyi titreşim dayanımı sağlanır. Bu bataryalar, derin deşarj ve yüksek çevrim ömrü gerektiren uygulamalarda kullanılır.

### **5.2.6 Sodyum-Sülfür Bataryalar**

Sodyum-sülfür bataryalar, yüksek sıcaklıkta çalışabilen bir tür bataryadır. Sıvı sodyum ve sülfür elektrolitleri içerirler. Özellikle güneş enerjisi veya rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre edildiğinde büyük ölçekli enerji depolama projelerinde kullanılabilirler.

### **5.3 Batarya Enerji Depolama Sistemlerinin Bileşenleri ve Çalışma Prensipleri**

BEDS'ler, elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolayabilen bataryaları kullanarak enerji depolama ve geri dönüşüm işlevini yerine getirir. Bu sistemler, enerji talebinin düşük olduğu veya güç kaynağının arzının sınırlı olduğu durumlarda enerjiyi depolamak ve daha sonra ihtiyaç duyulduğunda geri vermek için kullanılır. BEDS'ler genellikle aşağıdaki bileşenleri içerir:

#### **5.3.1 Bataryalar**

Enerjiyi kimyasal formda depolayan ve geri dönüştüren elektrokimyasal hücrelerden oluşan bataryalar, sistemin ana bileşenidir. Farklı uygulama alanına ve performans gereksinimlerine uygun olacak şekilde farklı batarya teknolojileri (örneğin lityum iyon, kurşun asit, sodyum-sülfür) kullanılabilir.

#### **5.3.2 Şarj ve Deşarj Kontrol Sistemleri**

Bataryaların etkili bir şekilde şarj edilmesini ve deşarj edilmesini sağlayan kontrol sistemleri bulunur. Bu sistemler, bataryaların performansını optimize etmek, aşırı şarj veya aşırı deşarj gibi zararlı durumları önlemek ve enerji akışını düzenlemek için kullanılır.

#### **5.3.3 İvertör**

Bataryalardan depolanan enerjiyi doğru gerilim, frekans ve dalga şekliyle elektrik şebekesine veya yük cihazlarına iletmek için kullanılan bir cihazdır. İvertör, BEDS'in enerji dönüşümünü sağlar.

#### **5.3.4 Enerji Yönetim Sistemi**

EMS, BEDS'in çalışmasını izler, kontrol eder ve optimize eder. Sistem performansını izlemek, enerji talebini tahmin etmek, batarya şarj/deşarj işlemlerini yönetmek ve enerji verimliliğini artırmak için veri toplar ve analiz eder. BEDS'lerin çalışma süreci aşağıdaki aşamalardan oluşur.

#### **5.3.5 Şarj Süreci**

BEDS, elektrik enerjisi kaynağından (güneş panelleri, rüzgâr türbinleri, elektrik şebekesi vb.) gelen enerjiyi bataryalara şarj etmeye başlar. İvertör, gelen enerjiyi uygun şekilde dönüştürür ve bataryaların şarj edilmesini sağlar.

### **5.3.6 Depolama**

Şarj edilen bataryalar, kimyasal enerjiyi depolar ve enerji talebi olduğunda depolanan enerjiyi geri vermek için bekler.

### **5.3.7 Deşarj Süreci**

Enerji talebi arttığında veya elektrik şebekesinde bir kesinti olduğunda, BEDS devreye girer. Depolama sistemi depolanan enerjiyi DA olarak İnvertere iletir.

### **5.3.8 Dönüşüm ve Dağıtım**

İnvertör, depolanan enerjiyi uygun gerilim, frekans ve dalga şekliyle elektrik şebekesine veya son kullanıcıya iletilebilecek hale dönüştürür. Bu şekilde enerji, talep eden cihazlar veya elektrik şebekesi tarafından kullanılabilir hale gelir. BEDS'ler, enerji dalgalanmalarını dengelemek, güç kesintilerinde yedek enerji sağlamak, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjiyi depolamak ve daha verimli enerji kullanımı sağlamak gibi birçok avantaja sahiptir. Bu şekilde, BEDS'ler enerji talebinin dalgalanmasını dengeleyerek enerji güvenliğini artırırken, sürdürülebilir enerji kaynaklarının daha etkin kullanımına da katkıda bulunur.

## **5.4 Batarya Enerji Depolama Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları**

### **5.4.1 Batarya Enerji Depolama Sistemlerinin Avantajları**

#### **5.4.1.1 Enerji Depolama ve Yedekleme**

BEDS'ler, enerjiyi depolama kapasitesine sahip olmaları nedeniyle enerji talebi düşük olduğunda enerjiyi depolayabilir ve ihtiyaç duyulduğunda geri vererek enerji yedekleme işlevini yerine getirebilir. Bu, enerji dalgalanmalarını dengelemek, güç kesintilerinde sürekli enerji sağlamak ve enerji güvenliğini artırmak için önemli bir avantajdır.

#### **5.4.1.2 Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu**

BEDS'ler, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjiyi depolayabilir ve istenildiğinde kullanılabilir hale getirebilir. Bu, güneş enerjisi veya rüzgâr enerjisi gibi dalgalı enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Ayrıca, enerji talebi ve üretimi arasındaki dengesizlikleri azaltır ve enerji şebekesindeki yükü dengelemeye yardımcı olur.

### **5.4.1.3 Esneklik ve Hızlı Tepki Süresi**

BEDS'ler, hızlı bir şekilde şarj edilip deşarj edilebilirler, bu da enerji talebi veya üretiminde meydana gelebilecek olan ani değişikliklere hızlı bir şekilde tepki verebilmesini sağlar. Bu, enerji sistemlerinin esnekliğini artırır, güç dalgalanmalarını düzenler ve enerji şebekesinin kararlılığını sağlar.

### **5.4.1.4 Enerji Verimliliği**

BEDS'ler, enerjiyi şebekeden alıp depolayabilir ve daha sonra bu depolanan enerjiyi geri verirken enerji kaybını minimize eder. Enerjinin pek ihtiyaç duyulmayan zaman diliminde depolanıp, tüketicilerin yoğun ve aktif olduğu zaman diliminde şebekeye geri verilmesi enerji verimliliğini artırır ve enerji kullanımının daha etkin bir şekilde yönetilmesine olanak tanır.

## **5.4.2 Batarya Enerji Depolama Sistemlerinin Dezavantajları**

### **5.4.2.1 Yüksek Maliyet**

BEDS'ler genellikle yüksek maliyetli olabilir. Bataryaların kendisi pahalı olabilir ve sistem tasarımı, kurulum ve bakım maliyetlerini de dikkate almak gerekir. Ancak, batarya teknolojilerinin gelişimiyle birlikte maliyetler düşmekte ve daha erişilebilir hale gelmektedir.

### **5.4.2.2 Sınırlı Ömür**

Bataryaların yapısı gereği sınırlı ömürleri vardır ve zamanla kapasiteleri azalır. Bu, bataryaların belirli bir zaman diliminden sonra değiştirilmesi ya da yenilenmesi gerektiği anlamına gelir. Bataryanın ömrü, kullanılan batarya teknolojisi, kullanım koşulları ve yapılan bakım sıklığına bağlı olarak değişmektedir.

### **5.4.2.3 Çevresel Etkiler**

Batarya üretimi ve ömrü tükenen bataryaların geri dönüşüm süreci olumsuz çevresel etkilere neden olabilir. Bazı batarya teknolojileri, çevresel kaynakların kullanımını ve tehlikeli kimyasalların kullanımını gerektirebilir. Bu nedenle, BEDS'lerin çevresel etkileri dikkate alınmalı ve doğru geri dönüşüm ve bertaraf yöntemleri uygulanmalıdır.

### **5.4.2.4 Depolama Kapasitesi Sınırlamaları**

BEDS'lerin depolama kapasiteleri sınırlıdır. Büyük ölçekli enerji depolama ihtiyaçlarını karşılamak için çok sayıda batarya birleştirelmesi gerekebilir.

BEDS'lerin olumlu ve olumsuz yönlerini kısaca özetlemek gerekirse, BEDS'ler esneklik, enerji verimliliğinin artırılması gibi birçok avantaj sunsa da maliyet, ömür, çevresel etkiler ve depolama kapasitesi sınırlamaları gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Fakat son dönemdeki teknolojik gelişmeler ve maliyet düşüşleriyle birlikte, BEDS'ler giderek daha popüler hale gelmektedir ve enerji sektöründe önemli bir rol oynamaktadır.



## MİKRO ŞEBEKELER VE YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ

---

Mikro şebekeler, enerji üretim ve tüketimini optimize etmek amacıyla entegre edilmiş dağıtık enerji sistemleridir. Geleneksel merkezi enerji şebekelerine alternatif olarak geliştirilen mikro şebekeler, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Bu sistemlerde, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik, yerel olarak depolanabilir ve ihtiyaç anında kullanılabilir.

Mikro şebekeler, enerji üretiminin daha da dağıtılarak yerel enerji üretimine odaklanılmasını sağlar. Bu da enerji kaynaklarının daha yakın bir mesafede bulunan tüketicilere ulaşmasını ve enerji kayıplarının azalmasını sağlar. Ayrıca, mikro şebekeler enerji bağımsızlığını artırır ve güvenilirlik sorunlarına karşı dirençli bir enerji sistemini destekler. Özellikle afet durumlarında, merkezi enerji şebekelerinin kesintiye uğradığı durumlarda, mikro şebeke sistemleri yerel olarak enerji sağlayabilir ve toplumun ihtiyaçlarını karşılayabilir.

Yenilenebilir enerji sistemleri, düşen maliyetleri, teknolojik ilerlemeleri ve artan farkındalığıyla dünya genelinde hızla yaygınlaşmaktadır. Bunun yanı sıra, enerji depolama teknolojilerindeki gelişmeler, yenilenebilir enerjinin istikrarlı bir şekilde kullanılabilmesini sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji sistemleri, enerji kaynaklarının daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına olanak tanırken, enerji güvenliği sağlama ve enerji bağımsızlığını artırma potansiyeline sahiptir.

### 6.1 Mikro şebekelerin Enerji Güvenliği ve Bağımsızlığına Katkısı

Mikro şebekeler, enerji güvenliği ve bağımsızlığına önemli katkılar sağlayabilen teknolojilerdir. Mikro şebekelerin enerji güvenliği ve bağımsızlığına katkıları 5 ana başlık altında değerlendirilebilir.

#### 6.1.1 Dağıtık enerji üretimi

Mikro şebekeler, enerji üretimi ve tüketimi için dağıtık bir yapı sunar. Bu, enerjiyi merkezi bir kaynaktan almak yerine, kullanıcıların kendi enerjilerini üretebileceği anlamına gelir. Bu şekilde, mikro şebeke kullanıcıları enerji tedarikçilerine olan

bağımlılıklarını azaltabilir ve enerji arzında daha bağımsız hale gelebilir. Dağıtık enerji üretimi, merkezi enerji şebekesine olan yükü azaltır [50]. Mikro şebekelerde üretilen enerjinin bir kısmı yerel olarak tüketildiği için, merkezi şebekeye gönderilmesi gereken enerji miktarı azalır. Bu da enerji şebekesinin daha dengeli ve sürdürülebilir bir şekilde çalışmasını sağlar.

### **6.1.2 Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu**

Mikro şebekeler, yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgâr, hidroelektrik vb.) entegrasyonunu kolaylaştırır [51], [52]. Evlerde veya küçük topluluklarda yenilenebilir enerji kaynakları kurularak, mikro şebekeler aracılığıyla bu enerji kaynaklarından elde edilen enerjiyi kullanmak mümkündür. Bu durum, daha sürdürülebilir enerji kullanımını teşvik eder ve enerji bağımsızlığını artırır [53], [54]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının mikro şebekelere entegrasyonu, fosil yakıtlara dayalı enerji üretiminin azaltılmasını ve çevresel etkilerin en aza indirilmesini sağlar. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji, mikro şebeke sistemleri üzerinde kullanıcıların enerji taleplerini karşılar ve enerji bağımsızlığını artırır. Ayrıca, enerji sistemlerinin daha sürdürülebilir ve çevre dostu olmasını sağlar. Mikro şebekeler, enerji güvenliği ve bağımsızlığını artıran yenilikçi bir yaklaşımdır. Yerel düzeyde enerji üretimini teşvik ederken, sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırarak çevresel etkileri azaltabilir [55], [56]. Ayrıca, enerji kaynaklarının daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Tüm bunlar, enerji sistemlerini daha güvenli, esnek ve sürdürülebilir hale getirir.

#### **6.1.2.1 Güneş Enerjisi**

Güneş enerjisi, mikro şebekeler için popüler ve yaygın bir sürdürülebilir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi panelleri kullanılarak güneşten gelen ışık enerjiye dönüştürülür. Bu enerji, mikro şebeke sistemlerine entegre edilerek kullanılabilir. Güneş enerjisi, özellikle güneşli bölgelerde veya güneş panellerinin uygun şekilde konumlandırıldığı yerlerde mikro şebeke sistemlerine entegre edilebilir.

#### **6.1.2.2 Rüzgâr Enerjisi**

Rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Rüzgâr enerjisi, rüzgârlı bölgelerde mikro şebeke sistemlerine entegre edilebilir. Rüzgâr enerjisi, büyük ölçekli rüzgâr çiftliklerinden veya daha küçük rüzgâr türbinlerinden elde edilebilir ve mikro şebeke sistemleriyle yerel tüketicilerin enerji ihtiyacının karşılanmasında yardımcı olabilir.

### **6.1.2.3 Hidroelektrik Enerji**

Hidroelektrik enerji, suyun kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılır. Su gücüyle çalışan jeneratörler, su akışının enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Hidroelektrik enerji, akarsular, barajlar veya gelgit enerjisi gibi kaynaklardan elde edilebilir. Mikro şebeke sistemlerine entegre edilerek kullanılabilir ve enerji ihtiyaçlarını karşılayabilir.

### **6.1.2.4 Biyokütle Enerjisi:**

Biyokütle enerjisi, organik materyallerin yanması veya fermantasyonu yoluyla elde edilen enerjidir. Tarımsal atıklar, ahşap artıkları, biyokütle gazı ve biyoyakıtlar gibi biyokütle kaynakları, enerji üretimi için kullanılabilir. Mikro şebeke sistemleri, biyokütle enerjisi kaynaklarını entegre ederek sürdürülebilir bir enerji sağlar.

### **6.1.3 Enerji depolama yönetimi**

Mikro şebekeler, enerji depolama sistemleriyle entegre çalışabilir. Bu sayede, fazla üretilen enerji depolanabilir ve ihtiyaç duyulduğunda kullanılabilir. Enerji depolama teknolojileri, mikro şebekelerin enerji arzını dengelemesine ve sürekliliği sağlamasına yardımcı olur. Bu da enerji güvenliğini artırır.

### **6.1.4 Şebeke bağlantısı kesintilerine karşı direnç:**

Mikro şebekeler, merkezi enerji şebekesinin kesinti yaşadığı durumlarda bağımsız olarak çalışabilir. Örneğin, doğal afetler, altyapı sorunları veya planlı bakım çalışmaları gibi durumlarda merkezi şebekeye bağımlı olmayan mikro şebekeler, enerji tüketimini sürdürebilir. Bu, enerji güvenliği açısından önemlidir, çünkü mikro şebekelerin bağımsız çalışabilmesi kullanıcılara enerji kesintilerinden etkilenmemeleri için bir güvence sağlar.

### **6.1.5 Enerji verimliliği:**

Mikro şebekeler, enerji tüketimi ve üretimi arasında daha iyi bir denge sağlayarak enerji verimliliğini artırabilir. Örneğin, enerji talebinin ve üretiminin daha iyi yönetilmesi, gereksiz enerji israfını önler ve enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlar. Bu da enerji bağımsızlığına katkıda bulunur ve enerji maliyetlerini düşürebilir.

## **6.2 Dağıtık Üretim ve Dağıtık Üretimin Faydaları**

Dağıtık üretimin şebekeye entegrasyonu, her geçen gün daha önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Dağıtık üretim kapasitesindeki günden güne yaşanan artış,

geleneksel enerji sistemlerini farklı bir boyuta taşıyarak elektrik enerjisi akışının iletimden dağıtım ve en nihayetinde tüketiciye olan olağan yönünü tersine çevirmektedir[57]. Bu dönüşüme aracılık eden dağıtık üretim, elektrik şebekesi için birçok potansiyel fayda ve fırsat sunmaktadır [58]. Bu bölümde farklı paydaşlar için dağıtık enerji kaynaklarının yaygınlaşmasıyla elde edilebilecek olan potansiyel faydalar özetlenmeye çalışılmıştır. Konvansiyonel enerji üretim santralleri tarafından üretilen elektriğin bir yerden bir yere taşınmasında kayıplar söz konusu olacaktır. Dağıtık üretimin artmasıyla birlikte, inşa edilen yüksek gerilim hatlarının yani iletim şebekesinin üzerindeki yükün azalması sağlanacaktır. Konvansiyonel elektrik üretim santrallerinin kurulabilmesi için gerekli fiziksel şartlar çoğunlukla yerleşim alanları dışında ve tüketimden uzak olan noktalardadır. Bu durum, yüksek miktarda elektriğin iletim hatlarıyla uzak mesafelerde taşınması anlamına gelmektedir. Tüketim noktalarında dağıtık üretimin artmasıyla bu enerji akışı da giderek azalacak ve iletim hatları üzerindeki yük rahatlayacaktır. Bu durum, tüm elektrik sisteminin daha verimli çalışması, enerji kayıplarının ve maliyetlerin azalması anlamına gelecektir. Dağıtık üretimin başlıca faydaları:

- Dağıtık üretimin artmasıyla, yüksek maliyetli konvansiyonel elektrik santral yatırımlarına olan ihtiyaç azalacaktır.
- İthal yakıt maliyetlerine bağımlılık azalacaktır. Bu durum, enerji ithalatını azaltacaktır.
- Mikro şebekelerin oluşmasıyla toplam enerji dengesizliği ve şebeke planlama ihtiyacı azalacaktır.

HOMER Grid, talep yükünü azaltma ve enerji arbitrajı yoluyla elektrik maliyetlerini düşürme konusunda dağıtılmış, şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı teknolojilere yatırım yapmanın potansiyel faydalarını keşfetmeye odaklanan bir optimizasyon aracıdır. Enerji sistemi modellemesi ve optimizasyonu için popüler bir yazılım aracı olan HOMER Pro'nun bir uzantısıdır.

HOMER Grid, HOMER Pro'dan farklı olarak optimizasyon hedefinde talep ücretlerini dikkate almaya özel bir önem verir. Talep ücretleri, bir müşterinin belirli bir zaman aralığında talep ettiği maksimum güç miktarına bağlı olarak kamu hizmetleri tarafından uygulanan ücretlerdir. HOMER Grid, bu talep giderlerini hesaba katarak, kullanıcıların dağıtılmış enerji kaynakları ile ilişkili finansal etkileri, potansiyel tasarrufları ve bunların talep giderleri üzerindeki etkilerini analiz etmelerine yardımcı olur. Kullanıcılar için modelleme sürecini kolaylaştırmak için HOMER Grid, şebekelerin tarife veritabanından yararlanır. Bu veritabanı, kullanıcıların belirli bir sistemi doğru bir şekilde modellemelerini kolaylaştıran kapsamlı bir koleksiyonu içerir. Ek olarak, HOMER Grid, kullanıcıların özel veya benzersiz fiyatlandırma senaryolarını simüle etmeleri ve kendi tarife yapılarını oluşturmalarına olanak tanır.

Genel olarak, HOMER Grid, enerji alanında çalışan profesyoneller ve araştırmacılar için talep ücretlerini ve diğer tarife yapılarını dikkate alarak ekonomik uygulanabilirliği değerlendirmek ve dağıtık enerji sistemlerinin şebekeye bağlı sistemlere entegrasyonunu optimize etmek için çok fonksiyonlu ve kullanışlı bir araç görevi görür. HOMER Grid' i kullanmak için, modele bileşenler (ör. Jeneratör, depolama ve PV panel), bileşen maliyetleri ve kaynak kullanılabilirliği dahil girdileri sağlamak üzere tasarım sekmesinin altındaki bilgileri seçilir.

Sonuçlar sekmesinde, HOMER Grid, arayüze eklenen bu girdileri ve kombinasyonlarını simüle ederek günümüze indirgenmiş net maliyete göre sıralandırılan uygun konfigürasyonlara ait sonuçları sunar. HOMER Grid ayrıca simülasyon sonuçlarını ve yapılandırmaları karşılaştırmanıza, bunları ekonomik ve teknik değerlerine göre değerlendirmenize yardımcı olan çok çeşitli tablo ve grafikleri sunar. Raporlarda ve sunumlarda kullanmak üzere tabloları ve grafikleri dışa aktarılabilir.

## **7.1 HOMER Grid Nasıl Çalışır?**

HOMER Grid, simülasyon ortamına taşınan enerji güç sistemlerinin, maliyete göre optimize edilmiş sistem konfigürasyonlarını listeler ve her bir konfigürasyon için hassasiyet analizleri sağlar.

### **7.1.1 Simülasyon**

HOMER Grid, farklı mevsim ve zaman aralıklarının yaratabileceği dengesizliği göz önüne alır ve yılın her zaman aralığında enerji dengesi hesaplamaları yaparak bir sistemin çalışmasını simüle eder. Her zaman aralığı için HOMER, o anki elektrik ve termal talebi, sistemin anlık sağlayabileceği enerjiyle karşılaştırır ve sistemin her bir bileşenine giden ve bileşenlerden gelen enerji akışını hesaplar. Piller veya yakıtla çalışan jeneratörler içeren sistemler için, HOMER Grid ayrıca her adımda jeneratörlerin nasıl çalıştırılacağına ve pillerin şarj edilip edilmeyeceğine veya deşarj edilip edilmeyeceğine karar verir.

HOMER Grid, dikkate almak istediğiniz her sistem yapılandırması için bu enerji dengesi hesaplamalarını gerçekleştirir. Daha sonra bir yapılandırmanın uygulanabilir olup olmadığını belirler ve sistemin projenin ömrü boyunca kurulum ve çalıştırma maliyetini tahmin eder. Sistem maliyet hesaplamaları, sermaye, değiştirme, işletme ve bakım, yakıt ve faiz gibi maliyetleri hesaba katar.

### **7.1.2 Optimizasyon**

HOMER Optimizer, en düşük maliyetli sistemi aramak için tescilli türevsiz bir algoritma kullanır. HOMER Optimizer daha sonra, sistem tasarım seçeneklerini karşılaştırmak için kullanabileceğiniz net mevcut maliyete göre sıralanmış yapılandırmaların bir listesini görüntüler.

### **7.1.3 Duyarlılık Analizi**

Duyarlılık değişkenleri simülasyon ortamına girdi olarak eklenince, HOMER Grid belirtilen her duyarlılık değişkeni için optimizasyon işlemi tekrarlar. Örneğin, rüzgâr hızını bir duyarlılık değişkeni olarak tanımlanırsa, HOMER Grid belirtilen rüzgâr hızı aralığı için sistem yapılandırmalarını simüle eder.

## 7.2 Dizayn Sekmesi

Dizayn sekmesinde simülasyon ortamına yükler, bileşenler, teşvikler ve kaynaklar eklenebilir ve bu girdiler düzenlenebilir. Dizayn sekmesine tıkladığında, HOMER en son üzerinde çalışılan sistemi otomatik olarak görüntüler.

### 7.2.1 Kurulum

Kur sayfası, sistemin ana girdilerini düzenlendiği sekmedir. Her alan hakkında daha fazla bilgi için lütfen aşağıdaki listeye bakın. Kurulum sekmesindeki öğeler şekil 7.1’de belirtilmiş ve aşağıda detaylandırılmıştır.

- 1.İsim: Projenin isminin belirtildiği kısım.
- 2.Yazar: Çalışmayı yürüten kişinin isminin eklendiği kısım.
- 3.Açıklama: Proje hakkında gerekli bilgilerin eklendiği kısım.
- 4.Konum Ara: Projenin konumunun belirtildiği kısım.
- 5.Kaynaklar: Proje için gerekli bilgi ve kaynağın indirilebildiği kısım.
6. İskonto oranı, Enflasyon oranı ve Proje ömrü: iskonto oranı, enflasyon oranı ve proje ömür bilgileri ilgili kısımlara eklenebilir.

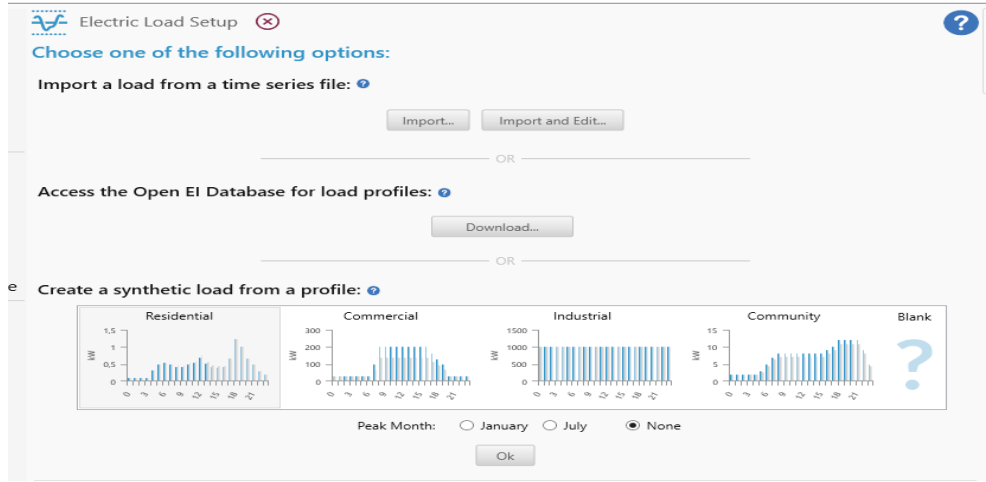
The screenshot shows the 'Setup' page in HOMER Grid. At the top, there is a map of the United States with a location marker at (39°5.5'N, 94°51.4'W). Below the map is a search bar labeled 'Search Location:' with a 'Search' button. To the right of the search bar is a 'Resources' dropdown menu. Below the search bar, there are six input fields with labels and values: 'Name:' (empty), 'Author:' (empty), 'Description:' (empty), 'Discount rate (%)' (8.00), 'Inflation rate (%)' (2.00), and 'Project lifetime (years)' (25.00). Each field has a small circular icon to its right. The fields are numbered 1 through 6 in red circles, corresponding to the list in the text above.

Şekil 7. 1 Homer Grid kurulum sekmesi arayüzü

### 7.2.2 Elektrik Yükü

Elektrik yükü, sistemin karşılaması gereken yüküdür. HOMER simülasyon ortamına aktarılmak istenen sistemdeki yüklerin ayrıntıları tam olarak belli olmadığı durumlarda HOMER in içine entegre edilmiş taslak yük probilleri kullanılabilir. Buna ek olarak

HOMER üzerinde tek tek zaman adımlarını değiştirmek de dahil olmak üzere çeşitli şekillerde elektrik yük profilleri oluşturmak mümkündür.



Şekil 7. 2 HOMER Grid yük profili arayüzü

### 7.2.3 Şebeke ve Tarifeler

Bir Elektrik dağıtım şirketi, müşterilere elektrik sağlayan bir kuruluştur. ABD'deki kamu hizmetlerine örnek olarak Pacific Gas & Electric, Xcel Energy ve Con Edison verilebilir. Genellikle konut ve ticari müşteriler için farklı tarifelere sahiptir. Her tarife, hizmet ücretlerinin bir listesidir ve belirli saatler arasında verilen elektrik dağıtım hizmetine karşılık gelir. HOMER kitaplığından var olan bir tarifeyi seçmek ve kendi tarifinizi oluşturmanız mümkündür.



Şekil 7. 3 HOMER Grid tarife oluşturma ve seçme arayüzü

## 7.2.4 Komponentler

Komponentler, mikro şebekeleri oluşturan temel elemanlardır. Bileşenler arasında bir Kontrolör, Jeneratör, PV panel, Depolama, Dönüştürücü vb. elemanlar bulunur. HOMER Grid üzerinde konfigüre edilebilen başlıca elemanlar: PV, depolama sistemi, dönüştürücü, jeneratör ve rüzgâr türbinleridir.

### 7.2.4.1 PV

PV sekmesi, bir dizi PV panelin maliyetini, performans özelliklerini ve diziliş yönünü girmenize ve HOMER Grid'in en uygun sistemi ararken göz önünde bulundurmasını istediğiniz boyutları seçmenize olanak tanır. Fotovoltaik bileşen hem düz panel hem de konsantre PV teknolojileri temsil edebilir. PV sekmesi aşağıdaki sekmelere erişim sağlar:

İnvertör: Buraya invertör parametreleri girilebilir.

MPPT: PV çıkışı DA'ya ayarlanmışsa, burada kontrolörün parametrelerini ayarlarsınız. Gelişmiş ayar sekmesi, HOMER tarafından sunulan standard dışı detay dizayn değişkenlerin yapılabildiği kısımdır.

Sıcaklık: Ortam sıcaklığının panel verimliliği üzerindeki etkisini dikkate alıp almayacağınızı ve ilgili girdileri ayarlayıp ayarlamayacağınızı belirtebilirsiniz.



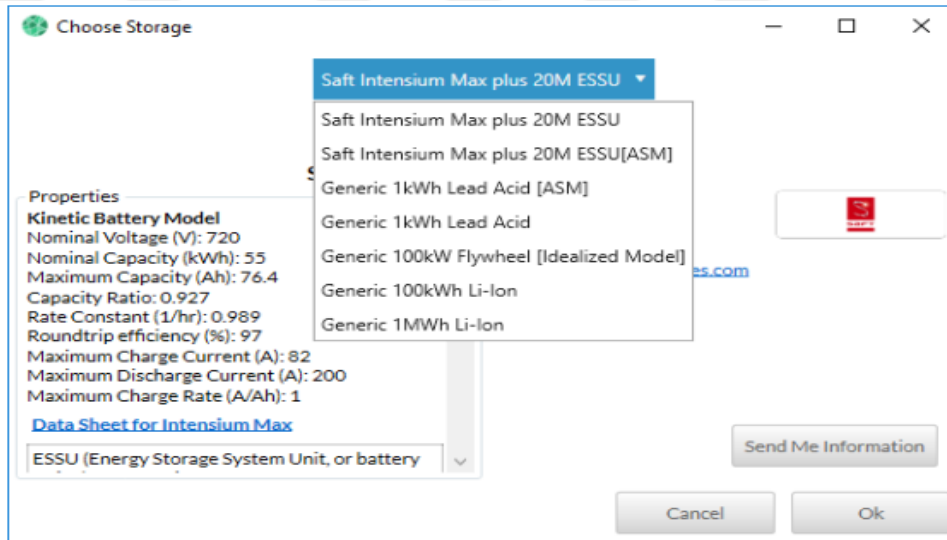
Şekil 7. 4 HOMER Grid PV modül arayüzü

### 7.2.4.2 Depolama Sistemi

Depolama sekmesi, HOMER arayüzünden bir depolama bileşeni seçilebilmesini, gerekli teknik ayrıntılara ulaşılabilmesini ve depolama maliyetlerinin belirlenmesini sağlar.

Birkaç tür depolama bileşeni vardır:

- İdealize Edilmiş Pil: İdealize edilmiş pil modeli, kullanıcıların enerjiyi ve gücü bağımsız olarak boyutlandırmasına olanak tanır.
- Kinetik Akü: Kinetik Akü modeli, elektrik üretimi için mevcut enerjiyi kullanılmayan bağlı enerjiden ayıran iki tanklı bir sistemdir.
- Değiştirilmiş Kinetik Pil: Değiştirilmiş Kinetik Pil Modeli, hıza bağlı kayıpları, kapasiteye sıcaklığa bağımlılığı ve takvim ömrü üzerindeki sıcaklık etkilerini açıklar.



Şekil 7. 5 HOMER Grid depolama sistemi arayüzü

### 7.2.4.3 Jeneratör

Jeneratör sayfası, bir jeneratörün maliyet ve boyut özelliklerini girmenizi sağlar. Ayrıca, simülasyona ilave girdi ekleyebileceğiniz aşağıdaki sekmelere erişim sağlar:

- Yakıt Kaynağı: Jeneratör tarafından kullanılan yakıtın ve maliyetinin belirtildiği kısım.
- Yakıt Eğrisi: Yakıt tüketimi parametrelerinin ayarlandığı kısım.
- Emisyonlar: Jeneratörün emisyon faktörlerinin belirtildiği kısım.
- Bakım: Jeneratörün bakım maliyeti ve ortalama arıza süresinin eklendiği kısım.

**Şekil 7. 6** HOMER Grid jeneratör sistemi arayüzü

### 7.2.5 Enerji Kesintileri

HOMER Grid, enerji kesintisi durumunda kesintinin müşteriye maliyetini ve kesinti sırasında kritik yüklerin çalışmasının sağlandığı senaryoların maliyetini modelleyebilir. Kesinti modellemesinde mevcut parametreler aşağıdaki gibidir:

- **Dayanıklılık:** Dayanıklılık, yılda en fazla bir kez meydana gelen birkaç günlük kesinti olaylarını ifade eder. Bu, sel veya yangın gibi doğal afetleri modellenmek istenildiğinde kullanılabilir.
- **Güvenilirlik:** Güvenilirlik, her yıl meydana gelen, süreklilik arz eden ve genelde planlı olan enerji kesintilerini modeller.
- **Kesinti Ayarları:** Bu sekme enerji kesintisi sırasında tasarlanan sistemin alacağı reaksiyonu ve olası sonuçları ayarlamayı sağlar.
- **Kritik Olmayan Yük:** Bir enerji kesintisi durumunda, yalnızca kritik olarak işaretlenen yükler enerjilendirilecektir. Örneğin, bir süpermarket sahibi, işletmelerindeki kayıpları en aza indirmek için kesinti sırasında en azından dondurucunun / buzdolabının çalışır durumda kalmasını ister.

**Resilience** ?

Resilience models one major outage which occurs no more than once per year. The non-critical load will not be served during the outage.

Outage duration (days):  (..)

Start date of outage:  Pick specific date:  [..]

Random date. Try a sensitivity analysis with multiple random outage times: [Settings]

Outage occurs every (years):  (..)

Generator schedule forced-off periods are ignored during an outage.

Dispatch algorithm has advance knowledge of this outage

**Şekil 7. 7** HOMER Grid kesinti arayüzü

### 7.2.6 Teşvikler

Teşvik, bir yatırımdan imtiyaz almanın bir yoludur. Aşağıda HOMER Grid'de mevcut olan teşviklerin listesi bulunmaktadır. Teşvikler sekmesinden aşağıdaki teşviklerden biri eklenebilir.

- Bonus Amortismanı
- Sermaye Bazlı Teşvik
- Amortisman
- Yatırım Vergisi Kredisi
- Üretim Bazlı Teşvik

**Choose Incentive** [..] [X]

Bonus Depreciation

Properties

Name: **Bonus Depreciation**

Abbreviation: **Bonus**

Type: **Bonus Depreciation**

Percent credit: **50 %**

Maginal tax percent: **21.00 %**

Elligible percent: **100 %**

**Applies to PV**

**Applies to storage**

Notes:

**Şekil 7. 8** HOMER Grid Teşvik arayüzü

### 7.3 Sonuçlar Sekmesi

Sonuçlar sekmesi dizayn sekmesinin hemen yanında yer alır ve simülasyon sonuçlarına ulaşmak için kullanılır. Simülasyon sonuçlarını karşılaştırmaya ve bunları ekonomik ve teknik değerlerine göre değerlendirmeye yarayan tablo ve grafik gibi farklı şekillerde incelemek mümkündür. Sonuçları raporlarda ve sunumlarda kullanmak dışı aktarabilmek mümkündür.

The screenshot displays the HOMER Grid software interface, specifically the Results tab. The interface is divided into two main sections: Sensitivity Cases and Optimization Results.

**Sensitivity Cases**

Sensitivity	Architecture	Cost
NominalDiscountRate (%)	PV (kW), 1kWh LI, GS-1, Conv (kW), NPC (\$), COE (\$)	Operating cost (\$/yr), Initial capital (\$)
12.0		\$570,222, \$0.0772, \$61,876, \$0.00
8.00		\$799,897, \$0.0772, \$61,876, \$0.00

**Optimization Results**

Architecture	Cost	System
PV (kW), 1kWh LI, GS-1, Conv (kW), NPC (\$), COE (\$), Operating cost (\$/yr), Initial capital (\$), Ren. Frac. (%)		
	\$570,222, \$0.0772, \$61,876, \$0.00	0, 0
50, 1, 9,999,999, \$611,242, \$0.0827, \$63,071, \$30,000		0, 0
200, 1, 9,999,999, \$886,109, \$0.120, \$49,164, \$433,030		17.9, 0
200, 50, 1, 9,999,999, \$927,129, \$0.126, \$50,360, \$463,030		17.9, 0

**Suggested Changes:**

- Accuracy increase
- Incentives

Buttons: Optimization Report, Column Choices...

Şekil 7. 9 HOMER Grid tablo formatında sonuçlar arayüzü

# 8

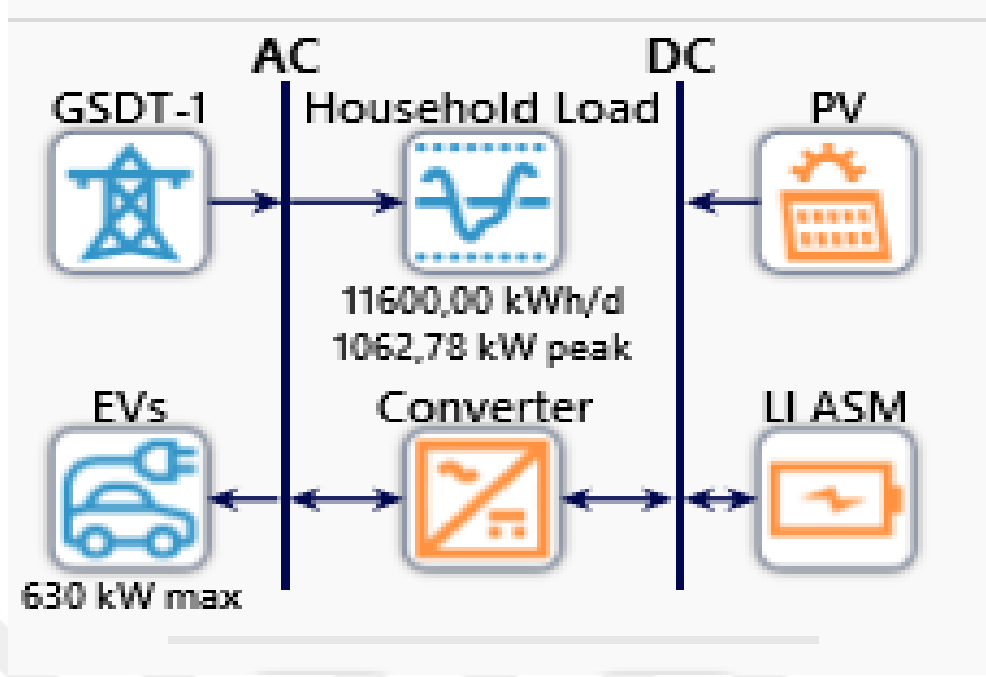
## SİMÜLASYON ÇALIŞMASI VE UYGULAMALAR

---

### 8.1 Sistem Açıklaması

Bu çalışmanın amacı, sistem maliyetlerini ve açığa çıkan karbon emisyonlarını en aza indirirken yenilenebilir enerji sistemleri ile sistemdeki yük talebini sağlayan sürdürülebilir ve karlı bir site ekosistemi tasarlamaktır. Site ekosistemi Florida, Avon Park'tadır ve her biri on dairesel yirmi binadan oluşmaktadır. Ekosistemde her daire için bir EA olmak üzere toplamda iki yüz EA bulunmaktadır. Her bina için bir tane olmak üzere toplamda yirmi adet çatıya monte PV panel ve 35 adet optimum boyutlandırılmış EAŞİ bulunmaktadır.

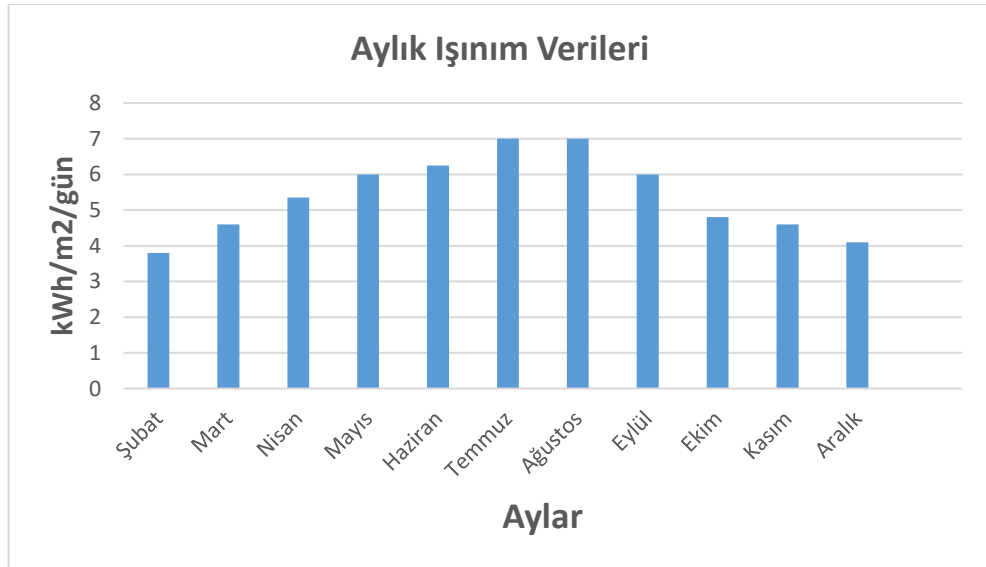
Şekil 8.1'de gösterilen site ekosistem modeli, PV paneller, elektrik dağıtım şebekesi, BEDS, EA, EAŞİ ve uygun boyutlu dönüştürücülerden oluşmaktadır. EAŞİ'nin ve binaların çatısına monte edilen PV paneller şebekeye entegredir. Enerji dağıtım şebekesi, PV ve BEDS, site ekosistemindeki yüklere kesintisiz güç kaynağı sağlamak için enerji kaynağı işlevi görür, sisteme esneklik ve yedeklilik sağlar. Güneş enerjisi, PV sistemi tarafından DA'ya dönüştürülür ve sisteme iletilir. Bu enerji daha sonra AA yüklerine enerji sağlamak için bir dönüştürücü aracılığıyla AA'ya dönüştürülür. Eşzamanlı olarak, PV sistemi tarafından üretilen elektrik enerjisinin fazlası BEDS'te depolanır. Güç kaynaklarının sistemdeki elektrik yüklerini beslemede yetersiz olduğu durumlarda, BEDS devreye girip dönüştürücü aracılığıyla yüklere güç sağlayabilir. Bu sisteme ilave yedeklilik ve esneklik sağlar.



Şekil 8. 1 Sisteme Ait Şematik Diagram

## 8.2 Çevresel Veriler

Florida, yaklaşık 1975 kWh/m<sup>2</sup>/yıl olmak üzere oldukça yüksek bir güneş ışınımına sahiptir. Florida için aylık ortalama güneş ışınımı verisi şekil 8.2’de gösterilmiştir. Güneş panelleri güneş radyasyonunu elektrik enerjisine dönüştürerek elektrik üretir. Özellikle yaz aylarında artan güneş radyasyonunun PV panellere sahip mikro şebekeler için etkisi önemlidir.



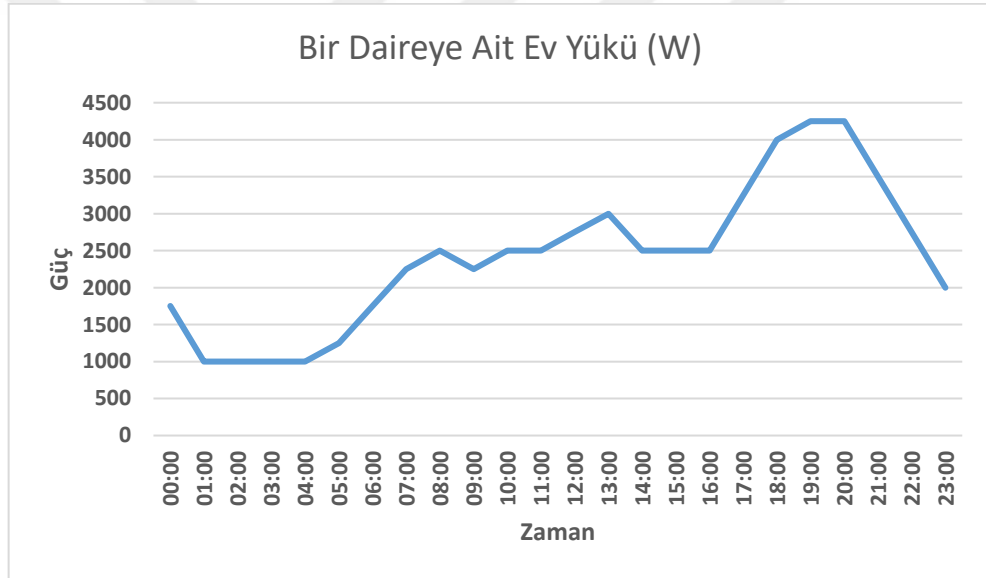
Şekil 8. 2 Florida’ya Ait Aylık Işınım Verileri

### 8.3 Örnek Mikro şebekenin Detaylı İncelemesi

Sunulan mikro şebeke modeli doğrulanmak amacıyla HOMER Grid simülasyon ortamına aktarılmış ve kapsamlı analizi yapılmıştır. PV paneller, konvertör, enerji depolama sistemi, ev yükleri, şebeke ve EAŞİ'lerden oluşan mikro şebeke için uygulanabilir konfigürasyonlar HOMER Optimizer modülü ile analiz edilmiş ve optimum konfigürasyonu bulmak amacıyla karşılaştırılmıştır. Optimize edilmiş sistem tasarımında finansal ve teknik fizibilitenin yanı sıra karbon emisyonları da dikkate alınmaktadır. Optimize edilen sistemin elemanları aşağıdaki bölümlerde detaylandırılmıştır.

#### 8.3.1 Ev Yükü Karakteristiği

Şekil 8.3 ekosistemdeki ev yükleri için 1 saatlik aralıklarda günlük yük profilini göstermektedir. Ev yüklerinin saatlik yükü 4250 W ile 1000 W aralığında değişmektedir.



Şekil 8. 3 Bir Daireye Ait Yük Profili

#### 8.3.2 PV Panel Karakteristiği

PV paneller Florida'nın güneş radyasyonu verileri göz önüne alınarak HOMER ortamında modellenmiştir. PV sistem tarafından elektrik enerjisine dönüştürülebilen güneş radyasyon enerjisi miktarı, panellerin yüzey alanı, panellerin yerleşim açısı, verimliliği ve yerel hava koşulları dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır.

PV sistemin boyutlandırılması HOMER Optimizer modülü ile yapılmıştır. Düz Plakalı PV paneller seçilmiş ve Tablo 8.1'deki dizayn parametreleri simülasyon ortamına aktarılmıştır. Tablo 8.1, PV panelin temel tasarım özelliklerini göstermektedir.

**Tablo 8. 1** PV Panel Dizayn Bilgileri

Panel Tipi	İndirgeme Faktörü (%)	Ömür (yıl)	Güç (kW)
Düz Plakalı PV	80	25	3000

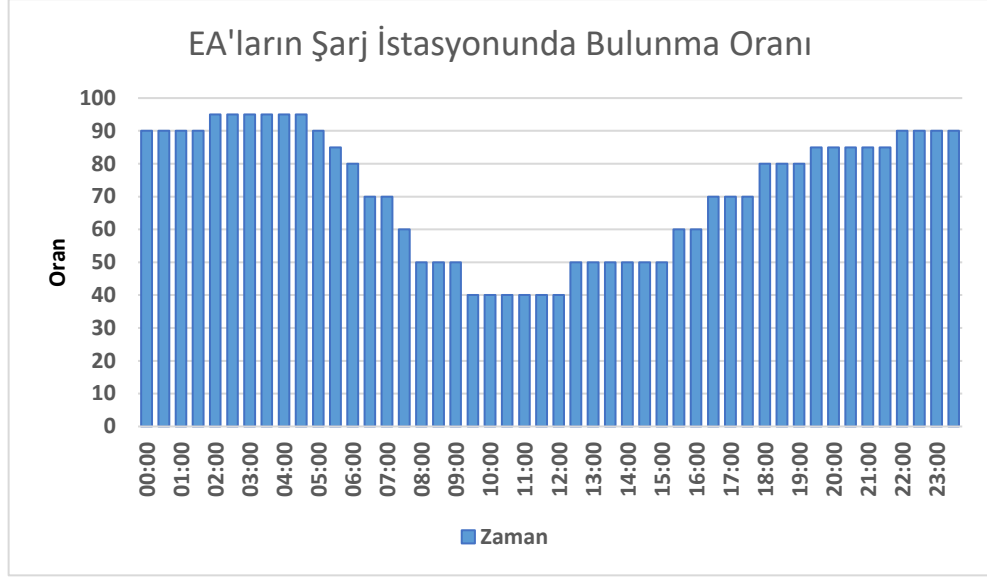
### 8.3.3 Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Karakteristiği

EAŞİ'lerin güç tüketimi özelliklerinin incelenmesi ile güvenilir ve optimize edilmiş bir mikro şebeke elde etmeyi amaçlanmıştır. Tablo 8.2'de gösterildiği üzere; ekosistemde 5 farklı EA modeli bulunmaktadır. Ekosistemde her modelden 40 adet olmak üzere toplamda 200 adet EA bulunmaktadır. EA şarj planlaması, EA'ların maksimum şarj gücü ve batarya kapasitesi EAŞİ'lerin boyutlandırılmasını etkileyen ana unsurlardır. EAŞİ'lerin sayısı ve çıkış gücü bu girdilere göre belirlenmiştir. Tablo 8.2, her EA modeli için elektriksel verileri göstermektedir.

**Tablo 8. 2** EA Teknik Bilgileri

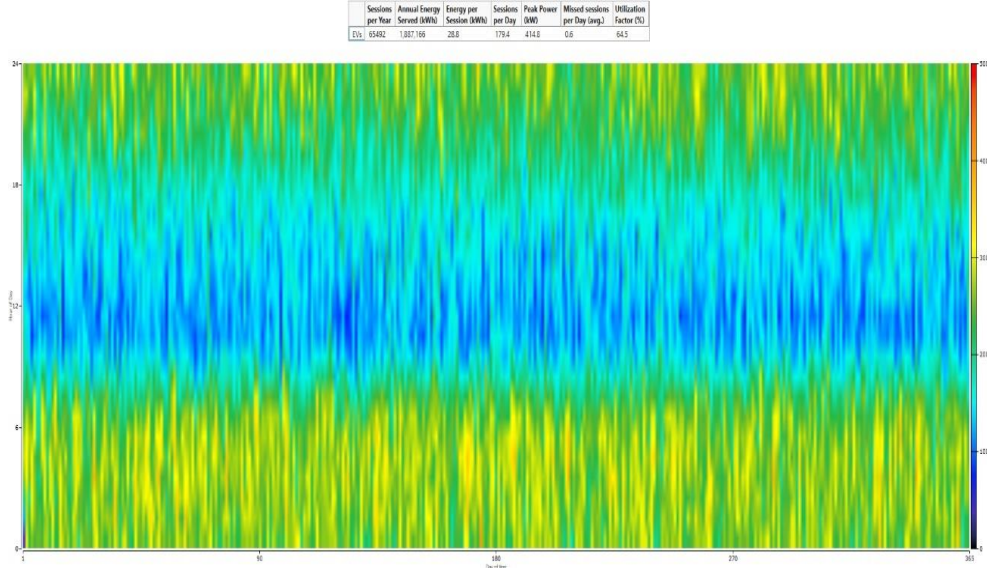
Araç Modeli	Batarya Kapasitesi (kWh)	Şarj Gücü (kW)
Volkswagen E-Golf	24	7,2
BMW i-3	22	6,6
Tesla Model- S	85	17,2
Ford Focus Electric	23	6,6
Nissan LEAF	24	6,6

Tablodaki EA teknik detaylarına ek olarak, EAŞİ boyutlandırmasında ekosistemdeki araçların şarj istasyonlarında bulunma olasılığı da dikkate alınmıştır. EA'ların şarj istasyonlarında bulunma sıklığı şekil 8.4'te gösterilmiştir.



**Şekil 8. 4** EA'ların Ekosistemdeki Şarj İstasyonlarında Bulunma Oranı

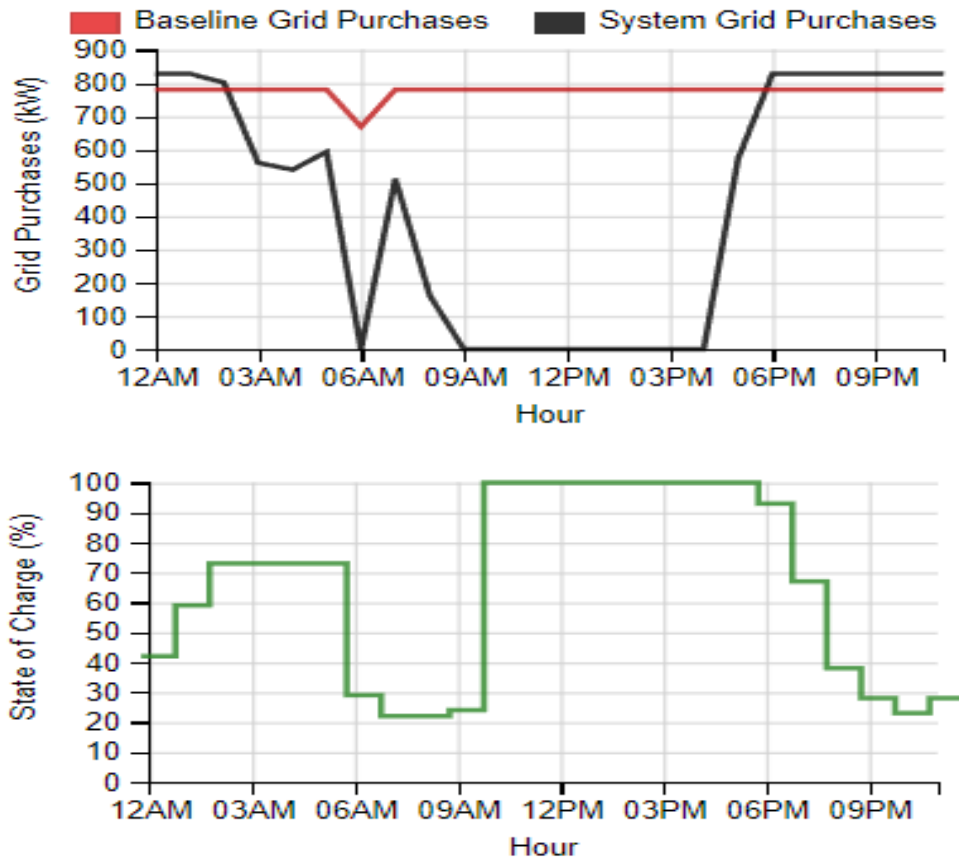
Yukarıda verilen parametrelere göre HOMER Optimizer modülü kullanılarak optimum boyutlandırma yapılmıştır. EAŞİ'ler 18 kW maksimum çıkış gücüne sahip olan 35 şarj cihazından oluşmaktadır. Optimize edilen ekosistemde tüm EA'ların tam olarak şarj edildiğinden emin olmak için, eğer tüm şarj cihazları kullanılıyorsa, EA'ların sıraya girdiği kabul edilmiştir. Yıllık EAŞİ yük profili şekil 8.5'te gösterilmiştir.



**Şekil 8. 5** EAŞİ Yük Profili

### 8.3.4 Batarya Enerji Depolama Sistemi

BEDS'in temel amacı, yüke gerekli gücün sürekli olarak sağlanmasını sağlamaktır. PV sistem tarafından üretilen enerjinin yük gereksinimlerini karşılamakta yetersiz kaldığı durumlarda, BEDS yükler için gerekli olan elektrik enerjisini sağlamak için deşarj olmaya başlar. BEDS tamamen tükenirse, şebeke beslemesi ana güç kaynağı olarak kullanılır. BEDS, düşük elektrik fiyatlarından yararlanarak bataryayı elektrik tüketiminin yoğun olmadığı saatlerde şarj eder ve elektrik fiyatlarının daha yüksek olduğu yoğun saatlerde bataryayı boşaltır. Bu, fiyatların en yüksek olduğu yoğun saatlerde şebekeden tüketilen enerji miktarını azaltır ve elektrik şebekesi üzerindeki yoğunluğu azaltarak enerji kalitesini artırır. Bu sayede elektrik faturalarından da tasarruf edilmiş olunur.



Şekil 8. 6 BEDS'in Şarj Durumu Ve Şebekeden Satın Alınan Enerji

Ek olarak, BEDS şebekede enerji kesintisi durumunda yedek güç sağlayabilir. Bu önerilen ekosisteme ilave güvenliği ve esneklik sağlar. BEDS'in boyutlandırılması HOMER Optimizer modülü ile yapılmıştır. Batarya şarj durumu ve şebekeden satın alınan enerji arasındaki ilişki şekil 8.6'da gösterilmiştir.

### 8.3.5 Dönüştürücü

Dönüştürücü, PV paneller ve BSS tarafından sağlanan DC gücü arasındaki iletimi sağladığı için ekosistemin en önemli parçalarından biridir. Dönüştürücünün optimum boyutlandırılması HOMER optimizer modülü kullanılarak hem finansal hem de elektriksel koşullar göz önüne alınarak yapılmıştır. EAŞİ tasarımı için kullanılan dönüştürücü verileri tablo 8.3'te verilmiştir.

**Tablo 8. 3** Dönüştürücü Dizayn Bilgileri

Verimlilik (%)	Ömür (yıl)	Güç (kW)
95	15	2072

### 8.3.6 Şebeke Enerji Fiyatlandırması

Ekosistemde maliyet optimizasyonu yapılırken dikkate alınan enerji fiyatı, kullanım süresine, zamanına ve şebekenin yüklenme oranına bağlıdır ve günlük, haftalık, aylık olarak değişmektedir. Bu değişiklikler ilgili bölgenin elektrik dağıtım şebekesi tarafından yapılmaktadır. Elektrik dağıtım şebekesinin enerji fiyatlandırması, yazın tüketimin yoğun olduğu saatler, yazın tüketimin az olduğu saatler, kışın tüketimin yoğun olduğu saatler, kışın tüketimin az olduğu saatler gibi birçok tarife bölünmüştür. EA şarj istasyonunun planlanması ve maliyet optimizasyonu, ilgili elektrik dağıtım şirketinin uyguladığı farklı fiyatlandırma yapıları dikkate alınarak gün boyunca çeşitli enerji fiyat dönemlerini kapsayacak şekilde planlanmıştır. Tablo 8.4 ve tablo 8.5 tüketim ve talep fiyatlandırmalarını içermektedir.

**Tablo 8. 4** Şebeke Tüketim Fiyatlandırması

Tarife Adı	Fiyat [\$/kWh]	Sezon	Kullanım Zamanı
Fosil Yakıtsız Enerji – Yaz ayı pik saatler	0,06026	4/1-10/31	Pzt-Cuma 12:00-21:00
Fosil Yakıtsız Enerji– Yaz ayı pik olmayan saatler	0,0101	4/1-10/31	Pzt-Cuma 12:00-21:00; Cmt-Pazar 00:00-00:00
Fosil Yakıtsız Enerji – Kış ayı pik saatler	0,06026	11/1-3/31	Pzt-Cuma 06:00-10:00; Pzt-Cuma 18:00-22:00
Fosil Yakıtsız Enerji – Kış ayı pik olmayan saatler	0,0101	11/1-3/31	Pzt-Cuma 10:00-18:00; Pzt-Cuma 22:00-06:00; Cmt-Pazar 00:00-00:00
Yaz ayı pik saatler	0,04266	4/1-10/31	Pzt-Cuma 12:00-21:00
Yaz ayı pik olmayan saatler	0,02822	4/1-10/31	Pzt-Cuma 12:00-21:00; Cmt-Pazar 00:00-00:00
Kış ayı pik saatler	0,04266	11/1-3/31	Pzt-Cuma 06:00-10:00; Pzt-Cuma 18:00-22:00
Kış ayı pik olmayan saatler	0,02892	11/1-3/31	Pzt-Cuma 10:00-18:00; Pzt-Cuma 22:00-06:00; Cmt-Pazar 00:00-00:00

**Tablo 8. 5** Şebeke Talep Fiyatlandırması

Tarife Adı	Fiyat [\$/kWh]	Sezon	Kullanım Zamanı
Yaz ayı pik saatler	4,62	4/1- 10/31	Pzt-Cuma 12:00-21:00
Kış ayı pik saatler	4,62	11/1-3/31	Pzt-Cuma 06:00-10:00 Pzt-Cuma 18:00-22:00
Baz talep ücreti	1,54	1/1-12/31	Sabit- her zaman
Servis ücreti	1,33	1/1-12/31	Sabit- her zaman
Enerji tasarrufu maliyet ücreti	1,08	1/1-12/31	Sabit- her zaman
Kapasite kazanım maliyeti	3,56	1/1-12/31	Sabit- her zaman

## 8.4 Simülasyon Sonuçları

HOMER Grid programına ait HOMER Optimizer modülü, site ekosistemindeki elemanların optimum boyutlandırılması ve sistem konfigürasyonunun belirlenmesi için kullanılmıştır. Simülasyon ortamına aktarılan site ekosisteminin bugünkü net maliyeti,

işletme maliyeti ve enerji maliyeti HOMER Grid ile hesaplanarak site ekosisteminin finansal fizibilitesi hazırlanmıştır.

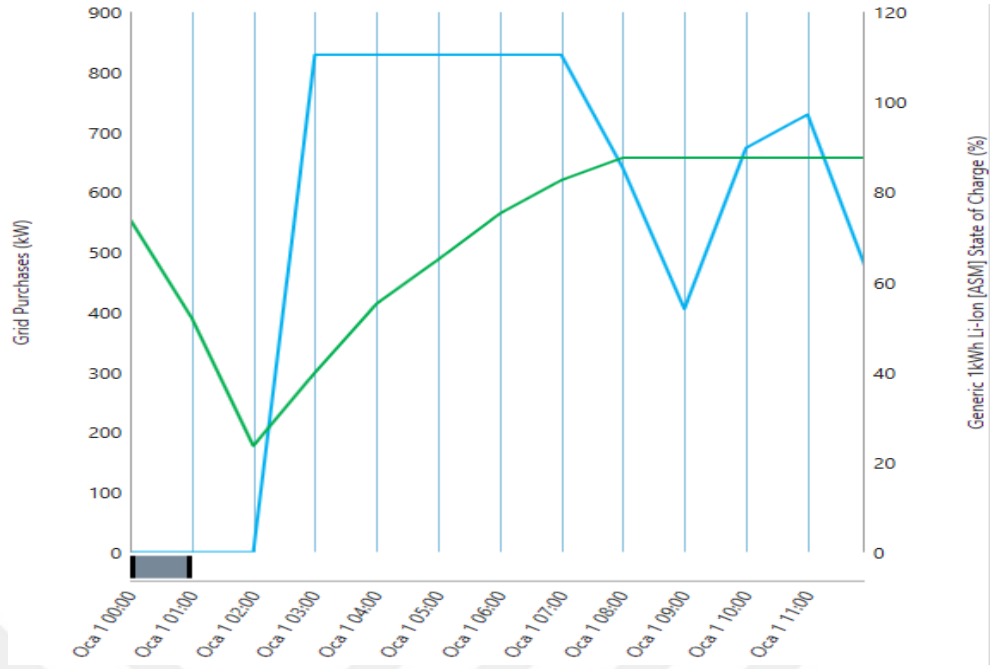
Bu bölümde, optimize edilmiş sistem ile baz sistem karşılaştırılarak optimum sistemin sunduğu çevresel ve ekonomik avantajlar ifade edilmektedir. Baz sistemde, site ekosistemi kesintiler sırasında yedek güç sağlayan bir BEDS ile birincil enerji kaynağı olarak enerji şebekesini kullanmaktadır. Buna karşılık, önerilen optimize edilmiş mikro şebeke sistemi, birincil enerji kaynağı olarak uygun boyutta PV panellerinin yanı sıra, enerji akışını yönetmek için BEDS ve daha büyük bir dönüştürücü içerir. Dönüştürücü, elektrik şebekesi ile BEDS arasındaki enerji akışını sorunsuz bir şekilde yönetebilecek şekilde HOMER optimizer modülü ile boyutlandırılmıştır.



Şekil 8. 7 Baz ve Optimize Edilmiş Sistem Elemanları

BEDS'in baz alınan sisteme dahil edilmesinin temel nedeni, her yıl 2 saatlik planlı bir elektrik kesintisi olmasıdır. Elektrik kesintisi sırasında, site ekosistemindeki ev yükleri BEDS ile beslenir. Bu noktada BEDS 2 Saatlik elektrik kesintisi durumunda sistemin şebeke dışı olarak çalışabilmesini sağlar.

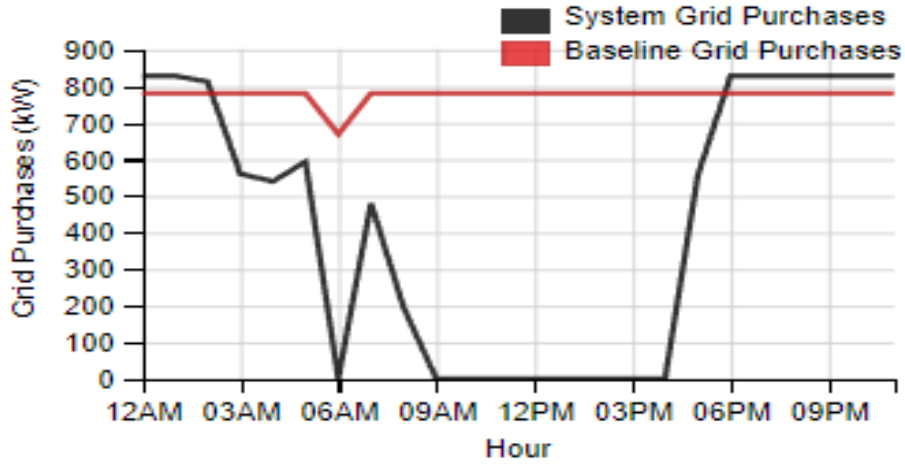
Şekil 8.8'de gösterildiği gibi 00:00-02:00 saatleri arasında meydana gelen elektrik kesintisi sırasında; enerji şebekesinden satın alınan enerji miktarı sıfıra düşmekte ve BEDS gerekli ev yüklerini beslemek için kullanılmaktadır. Bu durumda, BEDS'in şarj durumu, %60'tan BEDS için minimum eşik seviyesi olarak belirlenen %20'ye düşmüştür. Elektrik kesintisi sona erdiğinde, BEDS tekrar şarj olmaya başlar. Şebekeye bağlı PV, EAŞİ ve BEDS'lerden oluşan mikro şebeke, çeşitli hassasiyet parametreleri altında analiz edilebilir.



**Şekil 8. 8** Batarya Şarj Durumu Ve Şebekeden Satın Alınan Enerji

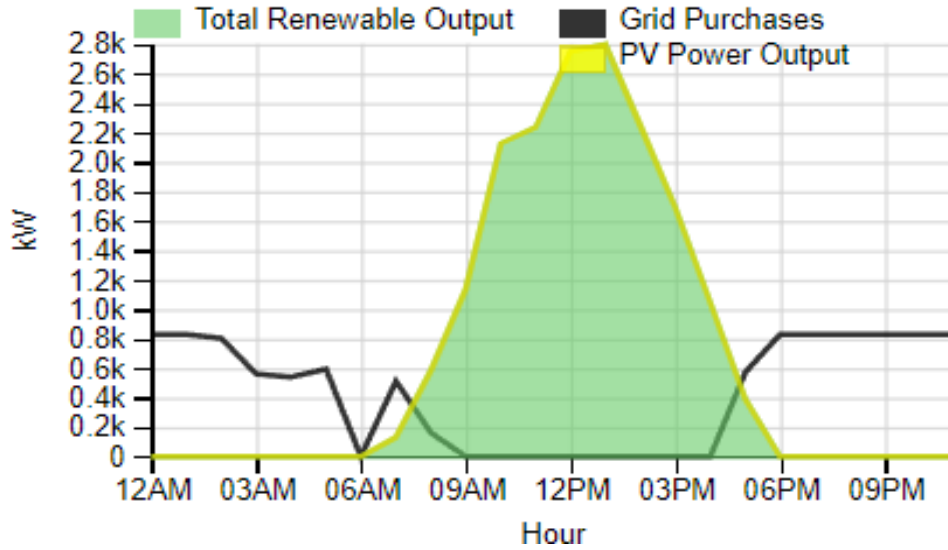
#### 8.4.1 Elektriksel Analiz

Optimize edilmiş sistemin temel elektriksel avantajları, artan güvenilirlik ve talep tarafı esnekliğidir. BEDS'in temel amacı, yüke gerekli gücün sürekli olarak sağlamaktır. PV sistem tarafından üretilen enerjinin yük gereksinimlerini karşılamakta yetersiz kaldığı durumlarda, BEDS deşarj olmaya başlar. BEDS belirlenen minimum şarj seviyesine indiğinde, şebeke beslemesi ana güç kaynağı olarak kullanılır. BEDS, düşük elektrik fiyatlarından yararlanarak bataryayı elektrik tüketiminin yoğun olmadığı saatlerde ya da PV üretiminin yoğun olduğu saatlerde şarj eder ve elektrik fiyatlarının daha yüksek olduğu yoğun saatlerde deşarj olmaya olur. Bu, fiyatların en yüksek olduğu yoğun saatlerde şebekeden tüketilen enerji miktarını azaltır ve elektrik şebekesi üzerindeki yoğunluğu azaltarak enerji kalitesini artırır. Bu sayede elektrik faturalarından da tasarruf edilmiş olunur. Şekil 8.9, her iki sistem için de rastgele bir günde elektrik dağıtım şebekesinden satın alınan enerji miktarını göstermektedir. Baz sistemin şebekeden satın aldığı enerji günün büyük bir çoğunluğunda sabittir, çünkü baz sistemde herhangi bir yenilenebilir enerji sistemi bulunmamaktadır.



Şekil 8. 9 Her İki Sistem İçin Şebekeden Satın Alınan Enerji Miktarı

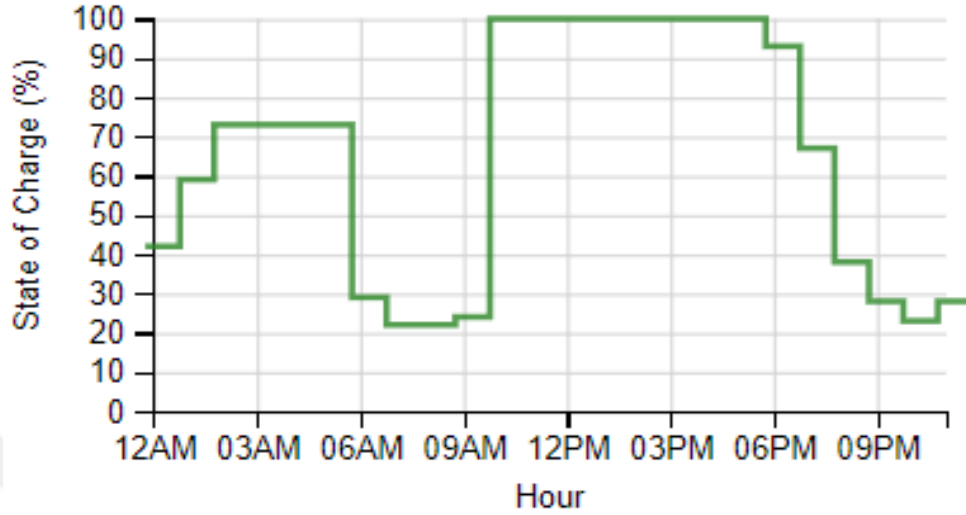
Öte yandan, Optimize edilmiş sistem, PV panellerin ürettiği elektrik enerjisini en verimli şekilde kullanarak elektrik dağıtım şebekesinden yapılan enerji alımını azaltır. YES ve BEDS, fiyatların en yüksek olduğu yoğun saatlerde şebekeden tüketilen enerji miktarını azaltır ve bunun yerine bataryada depolanan enerjiyi kullanır. Şekilde gösterildiği gibi, PV panelin elektrik üretiminin en yüksek seviyede olduğu sabah 09:00 ile akşam 16:00 arasında şebekeden enerji alımı gözlenmez. Bu, sistemin bu süre zarfında PV paneller tarafından üretilen elektrik enerjisini etkin ve verimli bir şekilde kullandığını gösterir.



Şekil 8. 10 PV Panel Üretimi ve Şebekeden Satın Alınan Enerji Miktarı

Ayrıca, Şekil 8.11 'da gösterildiği gibi. BEDS, sabah 10 ile akşam 6 arasında PV paneller tarafından üretilen enerji artışı nedeniyle ortaya çıkan fazlalık elektrik enerjisiyle şarj edilir. BEDS'in tamamen şarj olması mikro şebekeye ek güvenilirlik ve esneklik sağlar. BEDS, PV panellerin ürettiği fazla enerjiyi gün içinde depolayarak, pil, akşam veya bulutlu

günler gibi güneş ışığının az olduğu veya hiç olmadığı dönemlerde enerji taleplerini karşılamak için kullanılabilir. Bu, şebekeden enerji alımlarına olan bağımlılığı azaltarak sunulan sistemin dayanıklılığını ve esnekliğini artırır.



Şekil 8. 11 BEDS'in Şarj Durumunun Gün İçindeki Değişimi

#### 8.4.2 Ekonomik Analiz

Bu bölümde, her iki sistem için başlangıç yatırım maliyetleri, işletme maliyetleri, bakım maliyetleri gibi temel faktörleri karşılaştırarak her iki sistem için de ayrıntılı ekonomik analiz sunulmuştur.

##### 8.4.2.1 İlk yatırım maliyetleri

İlk yatırım maliyetleri, bir sistem için gereken birincil ve sabit maliyetleri ifade eder. Bu birincil ve sabit maliyetler, ekipman maliyetlerini, işçilik maliyetlerini ve sistemin uygulanmasıyla ilgili diğer maliyetleri içerir. Optimize edilmiş bir sistem, baz alınan sistemden daha yüksek başlangıç yatırım maliyetlerine sahiptir, çünkü iyileştirilmiş verimliliği elde etmek için genellikle daha ileri teknoloji veya ek ekipman kullanılması gerekir. Tablo 8.6 ve tablo 8.7'de her iki sistem için de ilk yatırım maliyetleri verilmiştir. Optimize edilmiş sistemin ilk yatırım maliyeti, yüksek PV kurulum maliyetleri nedeniyle kıyaslanan baz sisteme kıyasla oldukça yüksektir.

**Tablo 8. 6** Baz Sistem İçin İlk Yatırım Maliyetleri

Ekipman	Maliyet (\$)
BEDS	\$1.664.000,00
Amortisman bonusu	-\$174.720,00
Talep	\$0,00
Dönüştürücü	\$127.396,28
Toplam	\$1.616.67628

**Tablo 8. 7** Optimize Edilmiş Sistem İçin İlk Yatırım Maliyetleri

Ekipman	Maliyet (\$)
BEDS	\$1.176.889,00
Amortisman bonusu	-\$628.623,35
Talep	\$0,00
PV	\$4.810.000,00
Dönüştürücü	\$506.660,51
Toplam	\$5.864.926,17

#### 8.4.2.2 İşletme ve bakım maliyetleri

İşletme maliyetleri; işçilik maliyetlerini, enerji maliyetlerini, bakım maliyetlerini ve sistemi çalıştırmak için gereken diğer masrafları içerir. Optimize edilen sistem, daha verimli olacak şekilde tasarlandığından dolayı daha az enerji ve kaynak çalışmaya devam eder. Bu nedenle temel sistemden daha düşük işletme maliyetlerine sahiptir. Bakım maliyetleri ise; onarım maliyetlerini, değiştirme maliyetlerini ve sistemin çalışır durumda tutulmasıyla ilgili diğer maliyetleri içerir. Optimize edilmiş sistem daha güvenilir ve daha az bakım gerektirecek şekilde tasarlandığından, temel sistemden daha düşük bakım maliyetlerine sahip olacaktır. Tablo 8.8 ve tablo 8.9'dan belirtildiği üzere; optimize edilmiş sistemin işletme maliyeti, PV panellerin ürettiği gücün verimli kullanılması sayesinde baz sistemden oldukça düşüktür.

**Tablo 8. 8** Baz Sistem İçin İşletme ve Bakım Maliyetleri

Ekipman	Değiştirme Maliyeti (\$)	İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)
BEDS	\$1.194.667,00	\$576.000,00
Amortisman bonusu	\$0,00	\$0,00
Talep	\$0,00	\$105.955.53,22
Dönüştürücü	\$127.396,28	\$144.427,50
Toplam	\$1.322.06,228	\$11.315.980,72

**Tablo 8. 9** Optimize Edilmiş Sistem İçin İşletme Ve Bakım Maliyetleri

Ekipman	Değiştirme Maliyeti (\$)	İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)
BEDS	\$2.153.333,20	\$336.889,00
Amortisman bonusu	\$0,00	\$0.00
Talep	\$0,00	\$3.863.374,32
PV	\$0,00	\$112.500,00
Dönüştürücü	\$506.660,51	\$575.409,75
Toplam	\$2.661.99,771	\$4.885.173,07

#### 8.4.2.3 Yatırımın geri dönüşü

Son olarak, yatırım getirisi, ilgili sistemlerin kârlılığının bir ölçüsüdür. Optimize edilmiş bir sistem, daha verimli ve uygun maliyetli olacak şekilde tasarlandığından ve zaman içinde daha yüksek kârlılıkla sonuçlanacağından, temel sistemden daha yüksek bir yatırım getirisine sahip olacaktır.

**Tablo 8. 10** Optimize Edilmiş Sistemin Temel Ekonomik Metrikleri

Metrikler	Değer
Mevcut Değer (\$)	\$1.281,771
Yıllık Değer (\$ / yıl)	\$51.271
Yatırım getirisi (%)	1,2
İç Getiri Oranı (%)	2,2
Geri Ödeme (yıl)	18,93

Optimize edilen ve baz sistemlerin ekonomik analizini karşılaştırırken, uzun vadede hangi sistemin daha uygun maliyetli olduğunu belirlemek için 8.4.2 bölümünde belirtilen tüm ekonomik faktörleri göz önünde bulundurmak gerekir. Optimize edilmiş sistem çok daha teknolojik ekipmanlardan oluştuğundan dolayı daha yüksek başlangıç yatırımı gerektirir. Ancak daha yüksek başlangıç yatırım maliyetine rağmen optimize edilmiş sistemin yüksek verimliliği ve düşük işletme ve bakım maliyetleri sayesinde kullanım ömrü boyunca optimize edilmiş sistemin toplam maliyeti baz sisteme göre daha düşük seviyede kalmaktadır. Detaylı analizi sunulan örnek mikro şebekede optimize edilmiş sistemin başlangıç maliyeti oldukça yüksek olmasına rağmen, optimize edilmiş sistem için bugünkü toplam maliyet 12,5 milyon dolar iken, baz sistem için bu miktar 13,8 milyon dolardır. Detaylı karşılaştırma aşağıda tablo 8.11 ve tablo 8.12’de bulunmaktadır.

**Tablo 8. 11** Optimize Edilmiş Sistem İçin Toplam Maliyet

Ekipman	Maliyet (\$)	Değiştirme Maliyeti (\$)	İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)	Hurda Maliyeti (\$)	Toplam (\$)
BEDS	\$1.176.889,00	\$2.15.3333,20	\$336.889,00	-\$700,395.24	\$2.968.715,96
Amortisman bonusu	-\$628.623,35	\$0,00	\$0,00	\$0,00	-\$628.623,35
Talep	\$0,00	\$0,00	\$3.863.374,32	\$0,00	\$3.860.374,32
PV	\$4.810.000,00	\$0,00	\$112.500,00	\$0,00	\$4.922.500,00
Dönüştürücü	\$506.660,51	\$506.660,51	\$575.409,75	-\$168,886.84	\$1.419.843,93
Toplam	\$5.864.926,17	\$2.661.99,771	\$4.885.173,07	-\$869,282.08	\$12.542.810,86

**Tablo 8. 12** Baz Sistem İçin Toplam Maliyet

Ekipman	Maliyet (\$)	Değiştirme Maliyeti (\$)	İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)	Hurda Maliyeti (\$)	Toplam (\$)
BEDS	\$1.664.000,00	\$1.194.667,00	\$576.000,00	-\$387,673.58	\$3.046.993,42
Amortisman bonusu	-\$174,720.00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	-\$174,720.00
Talep	\$0,00	\$0,00	\$10.595.553,22	\$0,00	\$10.595.553,22
Dönüştürücü	\$127.396,28	\$127.396,28	\$144.427,50	-\$42,465.43	\$356.754,63
Toplam	\$1.616.676,28	\$1.322.063,28	\$11.315.980,72	-\$430,139.43	\$13.824.581,27

**Tablo 8. 13** Baz ve Optimize Sistem için Maliyet Kıyaslaması

Maliyet	Baz Sistem	Optimize Edilmiş Sistem	Maliyetteki Azalma Oranı (%)
Toplam Maliyet (\$)	13.824.581	12.542.811	9,27

#### 8.4.3 Çevresel Etkilerin Analizi

2015 yılında kabul edilen Paris Anlaşması, sera gazı emisyonlarını azaltmayı ve küresel ısınmayı sanayi öncesi seviyelerin, 2 °C'nin çok altına, 1,5 °C hedefiyle sınırlamayı amaçlayan küresel bir anlaşmadır. Anlaşma, emisyonlarını azaltmak için önlemler almayı taahhüt eden 180'den fazla ülke tarafından imzalandı. Bu doğrultuda emisyonlarını azaltmaya yardımcı olabilecek önlemlerden biri de PV tabanlı bir EAŞI'nin kullanılmasıdır. Bu mikro şebekede PV paneller tarafından üretilen enerji EA'ları şarj etmek için kullanılır. Bu sayede hem fosil yakıt tüketen geleneksel enerji üretim sistemlerinin yerine yenilenebilir enerji kullanımı hem de fosil yakıtlı taşıtlar yerine çevreci EA'ların kullanımı ile sera gazı emisyonlarını ve diğer kirleticilerin kullanımı azaltılmıştır. PV tabanlı EAŞI'lerin kullanımı karbondioksit emisyonlarını azaltmanın yanı sıra, hava kirliliğine önemli katkıda bulunan kükürt dioksit ve nitrojen oksit emisyonlarını azaltmaya da yardımcı olmaktadır. Bu noktada, geleneksel elektrik üretim sistemlerinin yerine YES'in ve fosil yakıtlı araçlar yerine EA'nın kullanımı hava kalitesinin iyileştirilmesi ve hava kirliliğiyle ilişkili sağlık risklerinin azaltılması dahil olmak üzere önemli çevresel faydası olmaktadır.

**Tablo 8. 14** Her İki Sistem İçin Emisyon Değerleri

Zararlı Gazlar	Baz Sistem Değerleri [kg/yıl]	Optimize Edilmiş Sistem Değerleri [kg/yıl]	Emisyondaki Azalma Oranı (%)
Karbondioksit	3.950,67	2.211,88	44,01
Karbon Monoksit	0,00	0,00	0,00
Yanmamış Hidrokarbonlar	0,00	0,00	0,00
Partikül Madde	0,00	0,00	0,00
Kükürt Dioksit	17.128,00	9.589,00	44,02
Azot Oksitler	8.376	4.690	44,01

Önerilen her iki sistem için emisyon çıktıları tablo 8.13'te verilmiştir. Her iki sistem için de yukarıdaki emisyon veri tablosu dikkate alınarak; PV panel içeren mikro şebekelerin sera gazı emisyonlarını ve diğer kirleticileri azaltmada bu kadar hayati bir rol oynadığı kanısına varmak mümkündür.



Bu çalışma hem enerji üretimi hem de ulaştırma sektörlerinde karbon emisyonlarını azaltma hedefine ulaşmak için PV tabanlı EAŞI'leri ve EA'ları aynı ekosistemde buluşturan bir model sunmaktadır. Karbon emisyonlarını azaltmanın yanı sıra, PV tabanlı mikro şebekeler, enerji bağımsızlığı, sistem esnekliği, sürekliliğin ve sürdürülebilirliğin artması ve enerji maliyetlerinin düşürülmesi noktasında da fayda sağlamaktadır. Simüle edilen bu ekosistem, YES'in değişkenliğinden dolayı oluşabilecek potansiyel kayıpları minimize etmek, enerji tüketim maliyetini minimize etmek ve şebeke kesintileri sırasında önemli olan elektriksel yüklerin enerjisiz kalmasını engellemek amacıyla optimum boyutlandırılmış BEDS entegre edilmiştir. Çalışmanın teknik ve ekonomik uygulanabilirliğinin teyit edilmesi amacıyla HOMER ortamında simüle edilmiştir. Simülasyonun sonuçları, optimize edilen sistemin karbon emisyonlarını %44 gibi büyük bir oranda azaltabileceğini gösterdi. Çalışma ayrıca, optimize edilmiş sistemin genel sistem maliyetini %9,5 oranında azaltabileceğini ve bu da önerilen sistemi sunulan yatırım getirisi ve diğer ekonomik parametreler ile ekonomik olarak uygulanabilir hale getirdiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, yenilenebilir enerjiye dayalı EAŞI'leri ve EA'ların ve YES'in şebekeye entegrasyonunu teşvik eden politika ve programların geliştirilmesine yardımcı olabilir. Son olarak, bu çalışma, son dönemde ulaşım ve enerji sistemlerinin kesişimine ilişkin artan araştırmalara katkıda bulunmakta ve gelecek için sürdürülebilir ve esnek sistemler oluşturmak için yenilenebilir enerji entegrasyonu potansiyelini vurgulamaktadır.

- [1] J. Delbeke and P. Vis, *Towards a Climate-Neutral Europe*. London: Routledge, 2019. doi: 10.4324/9789276082569.
- [2] “Critical Review on and Analysis of Solar Powered Electric Vehicle Charging Station,” *International Journal of Renewable Energy Research*, no. Vol12No1, 2022, doi: 10.20508/ijrer.v12i1.12821.g8443.
- [3] T. R. Hawkins, O. M. Gausen, and A. H. Strømman, “Environmental impacts of hybrid and electric vehicles—a review,” *Int J Life Cycle Assess*, vol. 17, no. 8, pp. 997–1014, 2012, doi: 10.1007/s11367-012-0440-9.
- [4] M. S. Dresselhaus and I. L. Thomas, “Alternative energy technologies,” *Nature*, vol. 414, no. 6861, pp. 332–337, 2001, doi: 10.1038/35104599.
- [5] F. Zhang, H. Deng, R. Margolis, and J. Su, “Analysis of distributed-generation photovoltaic deployment, installation time and cost, market barriers, and policies in China,” *Energy Policy*, vol. 81, pp. 43–55, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.enpol.2015.02.010.
- [6] L. El Chaar, L. A. Lamont, and N. El Zein, “Review of photovoltaic technologies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 5, pp. 2165–2175, Jun. 2011. doi: 10.1016/j.rser.2011.01.004.
- [7] V. V. Tyagi, N. A. A. Rahim, N. A. Rahim, and J. A. L. Selvaraj, “Progress in solar PV technology: Research and achievement,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 20. Elsevier Ltd, pp. 443–461, 2013. doi: 10.1016/j.rser.2012.09.028.
- [8] M. G. Hudedmani, V. Soppimath, and C. Jambotkar, “A Study of Materials for Solar PV Technology and Challenges,” *European Journal of Applied Engineering and Scientific Research*, vol. 5, no. 1, pp. 1–13, 2017, [Online]. Available: [www.scholarsresearchlibrary.com](http://www.scholarsresearchlibrary.com)
- [9] L. Chapman, “Transport and climate change: a review,” *J Transp Geogr*, vol. 15, no. 5, pp. 354–367, Sep. 2007, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2006.11.008.
- [10] C. Li *et al.*, “Hidden benefits of electric vehicles for addressing climate change,” *Sci Rep*, vol. 5, Mar. 2015, doi: 10.1038/srep09213.
- [11] H. Huo, Q. Zhang, F. Liu, and K. He, “Climate and Environmental Effects of Electric Vehicles versus Compressed Natural Gas Vehicles in China: A Life-Cycle Analysis at Provincial Level,” *Environ Sci Technol*, vol. 47, no. 3, pp. 1711–1718, Feb. 2013, doi: 10.1021/es303352x.
- [12] “3-Global milestone\_ The first million electric vehicles - International Council on Clean Transportation”.
- [13] *Global EV Outlook 2018*. OECD, 2018. doi: 10.1787/9789264302365-en.
- [14] K. Erhan, M. Ayaz, and E. Ozdemir, *Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Güç Kalitesi Üzerine Etkileri - Impact of Charging Stations for Electric Vehicles on Power Quality*. 2013.
- [15] M. Yilmaz and P. T. Krein, “Review of the impact of vehicle-to-grid technologies on distribution systems and utility interfaces,” *IEEE Transactions on Power*

- Electronics*, vol. 28, no. 12. pp. 5673–5689, 2013. doi: 10.1109/TPEL.2012.2227500.
- [16] H. Çiftçi and B. E. Türkay, “Effects of Electric Vehicles on Distribution Network, Cost Analysis and Optimization with Genetic Algorithm.”
- [17] Z. Yang, K. Li, and A. Foley, “Computational scheduling methods for integrating plug-in electric vehicles with power systems: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 51. Elsevier Ltd, pp. 396–416, Jun. 25, 2015. doi: 10.1016/j.rser.2015.06.007.
- [18] S. W. Hadley and A. A. Tsvetkova, “Potential Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Regional Power Generation,” *Electricity Journal*, vol. 22, no. 10, pp. 56–68, Dec. 2009, doi: 10.1016/j.tej.2009.10.011.
- [19] S. Niu, Z. Zhang, X. Ke, G. Zhang, C. Huo, and B. Qin, “Impact of renewable energy penetration rate on power system transient voltage stability,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 487–492, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.egy.2021.11.160.
- [20] Z. Dalala, M. Al-Omari, M. Al-Addous, M. Bdour, Y. Al-Khasawneh, and M. Alkasrawi, “Increased renewable energy penetration in national electrical grids constraints and solutions,” *Energy*, vol. 246, May 2022, doi: 10.1016/j.energy.2022.123361.
- [21] P.R.Fayziyev, I.A.Ikromov, A.A.Abduraximov, and Q.M.Dehqonov, “Timeline: History of the Electric Car, Trends and the Future Developments,” *Eurasian Research Bulletin*, vol. 6, pp. 89–94, Mar. 2022, [Online]. Available: <https://www.geniusjournals.org/index.php/erb/article/view/888>
- [22] “history of electric cars <https://www.caranddriver.com/features/g43480930/history-of-electric-cars/>,” Jun. 13, 2023.
- [23] “The Morrison Electric <https://iowahistoryjournal.com/an-electrifying-iowan/>,” Jun. 13, 2023.
- [24] “Porsche History [https://silodrome.com/history-model-t-ford/](https://www.porsche.com/uk/aboutporsche/pressreleases/pag/?id=F70D79AF2AF4E019C1257C6D0023421E&pool=international-de#:~:text=The%20%E2%80%9CP1%E2%80%9D%20%E2%80%93%20designed%20and,electric%20vehicle%20its%20unofficial%20name.,” Jun. 13, 2023.</a></p>
<p>[25] “Ford Model T History <a href=),” Jun. 13, 2023.
- [26] “Ford History [74](https://corporate.ford.com/articles/history/the-model-t.html,” Jun. 13, 2023.</a></p>
<p>[27] K. Rajashekara, “History of electric vehicles in General Motors,” <i>IEEE Trans Ind Appl</i>, vol. 30, no. 4, pp. 897–904, 1994, doi: 10.1109/28.297905.</p>
<p>[28] R. H. Staunton, C. W. Ayers, L. D. Marlino, J. N. Chiasson, and B. A. Burress, “Evaluation of 2004 Toyota Prius Hybrid Electric Drive System,” Oak Ridge, TN (United States), May 2006. doi: 10.2172/890029.</p>
<p>[29] A. Jenn, I. L. Azevedo, and P. Ferreira, “The impact of federal incentives on the adoption of hybrid electric vehicles in the United States,” <i>Energy Econ</i>, vol. 40, pp. 936–942, Nov. 2013, doi: 10.1016/j.eneco.2013.07.025.</p>
</div>
<div data-bbox=)

- [30] Y. A. Wu, A. W. Ng, Z. Yu, J. Huang, K. Meng, and Z. Y. Dong, "A review of evolutionary policy incentives for sustainable development of electric vehicles in China: Strategic implications," *Energy Policy*, vol. 148, p. 111983, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.enpol.2020.111983.
- [31] D. Diamond, "The impact of government incentives for hybrid-electric vehicles: Evidence from US states," *Energy Policy*, vol. 37, no. 3, pp. 972–983, Mar. 2009, doi: 10.1016/j.enpol.2008.09.094.
- [32] T. S. Ustun, C. Ozansoy, and A. Zayegh, "Recent developments in microgrids and example cases around the world—A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 8, pp. 4030–4041, Oct. 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.07.033.
- [33] A. C. Mersky, F. Sprei, C. Samaras, and Z. (Sean) Qian, "Effectiveness of incentives on electric vehicle adoption in Norway," *Transp Res D Transp Environ*, vol. 46, pp. 56–68, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.trd.2016.03.011.
- [34] A. Dinc and M. Otkur, "Optimization of Electric Vehicle Battery Size and Reduction Ratio Using Genetic Algorithm," in *2020 11th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE)*, IEEE, Jul. 2020, pp. 281–285. doi: 10.1109/ICMAE50897.2020.9178899.
- [35] C. C. Chan, "The past, present and future of electric vehicle development," in *Proceedings of the IEEE 1999 International Conference on Power Electronics and Drive Systems. PEDS'99 (Cat. No.99TH8475)*, IEEE, 1999, pp. 11–13 vol.1. doi: 10.1109/PEDS.1999.794525.
- [36] L. Situ, "Electric Vehicle development: The past, present & future," in *2009 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA)*, 2009, pp. 1–3.
- [37] D. A. Notter *et al.*, "Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles," *Environ Sci Technol*, vol. 44, no. 17, pp. 6550–6556, Sep. 2010, doi: 10.1021/es903729a.
- [38] T. R. Hawkins, O. M. Gausen, and A. H. Strømman, "Environmental impacts of hybrid and electric vehicles—a review," *Int J Life Cycle Assess*, vol. 17, no. 8, pp. 997–1014, Sep. 2012, doi: 10.1007/s11367-012-0440-9.
- [39] Xuan Liu and Bin Su, "Microgrids &#x2014; an integration of renewable energy technologies," in *2008 China International Conference on Electricity Distribution*, IEEE, Dec. 2008, pp. 1–7. doi: 10.1109/CICED.2008.5211651.
- [40] K. Qian, C. Zhou, Y. Yuan, and M. Allan, "Temperature effect on electric vehicle battery cycle life in Vehicle-to-grid applications," in *CICED 2010 Proceedings*, 2010, pp. 1–6.
- [41] H. Min, Z. Zhang, W. Sun, Z. Min, Y. Yu, and B. Wang, "A thermal management system control strategy for electric vehicles under low-temperature driving conditions considering battery lifetime," *Appl Therm Eng*, vol. 181, p. 115944, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115944.
- [42] D. Mathur, N. Kanwar, and S. K. Goyal, "Impact of electric vehicles on community microgrid," 2020, p. 040010. doi: 10.1063/5.0031793.
- [43] T. Markel, "Markel, T., (2010). 'Plug-in electric vehicle infrastructure: a foundation for electrified transportation', MIT Energy Initiative Transportation Electrical Symposium, 10(1): 1–10."

- [44] B. Johnson, “Environmental products that drive organizational change: General motor’s electric vehicle (EV1),” *Corporate Environmental Strategy*, vol. 6, no. 2, pp. 140–150, 1999, doi: 10.1016/S1066-7938(00)80024-X.
- [45] A. Tavakoli, S. Saha, M. T. Arif, M. E. Haque, N. Mendis, and A. M. T. Oo, “Impacts of grid integration of solar PV and electric vehicle on grid stability, power quality and energy economics: a review,” *IET Energy Systems Integration*, vol. 2, no. 3, pp. 243–260, Sep. 2020, doi: 10.1049/iet-esi.2019.0047.
- [46] E. H. Adeh, S. P. Good, M. Calaf, and C. W. Higgins, “Solar PV Power Potential is Greatest Over Croplands,” *Sci Rep*, vol. 9, no. 1, p. 11442, Aug. 2019, doi: 10.1038/s41598-019-47803-3.
- [47] P. Ruetschi, “Review on the lead—acid battery science and technology,” *J Power Sources*, vol. 2, no. 1, pp. 3–120, Dec. 1977, doi: 10.1016/0378-7753(77)85003-9.
- [48] S. Ould Amrouche, D. Rekioua, T. Rekioua, and S. Bacha, “Overview of energy storage in renewable energy systems,” *Int J Hydrogen Energy*, vol. 41, no. 45, pp. 20914–20927, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.06.243.
- [49] N. Garimella and N.-K. C. Nair, “Assessment of battery energy storage systems for small-scale renewable energy integration,” in *TENCON 2009 - 2009 IEEE Region 10 Conference*, IEEE, Nov. 2009, pp. 1–6. doi: 10.1109/TENCON.2009.5395831.
- [50] G. Buja, M. Bertoluzzo, and C. Fontana, “Reactive Power Compensation Capabilities of V2G-Enabled Electric Vehicles,” *IEEE Trans Power Electron*, vol. 32, no. 12, pp. 9447–9459, Dec. 2017, doi: 10.1109/TPEL.2017.2658686.
- [51] K. Rahbar, C. C. Chai, and R. Zhang, “Real-time energy management for cooperative microgrids with renewable energy integration,” in *2014 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, IEEE, Nov. 2014, pp. 25–30. doi: 10.1109/SmartGridComm.2014.7007617.
- [52] K. Rahbar, C. C. Chai, and R. Zhang, “Energy Cooperation Optimization in Microgrids With Renewable Energy Integration,” *IEEE Trans Smart Grid*, vol. 9, no. 2, pp. 1482–1493, Mar. 2018, doi: 10.1109/TSG.2016.2600863.
- [53] P. A. Owusu and S. Asumadu-Sarkodie, “A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation,” *Cogent Eng*, vol. 3, no. 1, p. 1167990, Dec. 2016, doi: 10.1080/23311916.2016.1167990.
- [54] P. Ray, “Renewable energy and sustainability,” *Clean Technol Environ Policy*, vol. 21, no. 8, pp. 1517–1533, Oct. 2019, doi: 10.1007/s10098-019-01739-4.
- [55] Y. Parag and M. Ainspan, “Sustainable microgrids: Economic, environmental and social costs and benefits of microgrid deployment,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 52, pp. 72–81, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.esd.2019.07.003.
- [56] T. Adefarati and R. C. Bansal, “Reliability, economic and environmental analysis of a microgrid system in the presence of renewable energy resources,” *Appl Energy*, vol. 236, pp. 1089–1114, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.12.050.
- [57] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Söder, “Distributed generation: a definition,” *Electric Power Systems Research*, vol. 57, no. 3, pp. 195–204, Apr. 2001, doi: 10.1016/S0378-7796(01)00101-8.

- [58] G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, and W. D'haeseleer, "Distributed generation: definition, benefits and issues," *Energy Policy*, vol. 33, no. 6, pp. 787–798, Apr. 2005, doi: 10.1016/j.enpol.2003.10.004.



## TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

---

### **Konferans Bildirileri**

1. U. M. Işık, S. M. Tercan and E. Gökalp, "Optimal sizing and detailed analysis of microgrid with photovoltaic panel and battery energy storage system integrated electric vehicle charging station," 2023 5th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), Istanbul, Turkiye, 2023, pp. 1-9, doi: 10.1109/HORA58378.2023.10156797.

