



**T.C.
AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞEBEKE DESTEKLİ GÜNEŞ ENERJİLİ ARAÇ ŞARJ
İSTASYONLARININ TASARIMI VE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMET ALİ ŞAHİN

TEMMUZ

**ŞEBEKE DESTEKLİ GÜNEŞ ENERJİLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ
TASARIMI VE OPTİMİZASYONU**

Muhammet Ali ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANA BİLİM DALI

Danışman
Prof. Dr. Ünal KURT

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2023

Yüksek Lisans Tezi Kabul ve Onay Sayfası

Muhammet Ali ŞAHİN tarafından “Şebeke Destekli Güneş Enerjili Araç Şarj İstasyonlarının Tasarımı ve Optimizasyonu” başlıklı tez çalışması aşağıda verilen jüri üyeleri tarafından OY BİRLİĞİ ile Amasya Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ünal KURT

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan: Doç. Dr. Levent GÖKREM

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Doç. Dr. Levent UĞUR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 07/07/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dökümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Muhammet Ali ŞAHİN

07/07/2023

ŞEBEKE DESTEKLİ GÜNEŞ ENERJİLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammet Ali ŞAHİN

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2023

ÖZET

Teknolojik gelişmeler, nüfus artışı nedeniyle ülkemizin ve dünyanın enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Aynı zamanda fosil enerji kaynakları kullanımı sonucunda dünya küresel ısınma tehdidi ile yüzleşmektedir. Küresel ısınma sebebi olan karbon salınımının ülkemizde enerji ve ulaşım sektörleri başı çektiği tespit edilmiştir. Elektrikli araç şarj istasyonlarının yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerji ile sağlanması gerekmektedir. Yapılan çalışmada Türkiye ve Dünya’da elektrikli araç ve şarj istasyon sayıları ve Türkiye için güneş enerjili şarj istasyon durumu araştırılmıştır. Elektrikli araçların şarjı için şebeke destekli araç şarj istasyonu tasarımı yapılarak çalışma durumları belirlenmiştir. Tasarımı yapılan şarj istasyonu için elektrikli araç yük profili çeşitli analizler kullanılarak oluşturulmuştur. Tasarlanan güneş enerjili şarj istasyonu için genetik algoritma yöntemi kullanılarak kurulum maliyetinin fotovoltaiik panel ve batarya sayısı esas alınarak tespit edilmiştir. Kurulum maliyetinin yanında şarj istasyonları için karbon salınımı miktarları ve şebeke üzerinden alınan enerji miktarı her iki durum için tespit edilmiştir. Sonuç olarak her iki durum için optimizasyon sonuçları karşılaştırılarak sonuçlar tartışılmıştır. Şarj işlemi için yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen temiz enerjinin elektrikli araçların piyasa sürülmesindeki sıfır emisyon hedefine ulaşılmasında gerekli bir aşama olduğu anlaşılmaktadır.

Sayfa Sayısı : 76
Anahtar Kelimeler : Güneş Enerjisi, Şarj İstasyonu, Elektrikli Araçlar
Danışman : Prof. Dr. Ünal KURT

DESIGN AND OPTIMIZATION OF GRID SUPPORTED SOLAR VEHICLE CHARGING STATIONS

(M.Sc.Thesis)

Muhammet Ali ŞAHİN

AMASYA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2023

ABSTRACT

Due to technological developments and population growth, the energy needs of our country and the world are increasing day by day. At the same time, the world faces the threat of global warming as a result of the use of fossil energy sources. It has been determined that the carbon emission, which is the cause of global warming, is led by the energy and transportation sectors in our country. Electric vehicle charging stations must be supplied with energy produced by renewable energy sources. In the study, the number of electric vehicles and charging stations in Turkey and in the world and the situation of solar charging stations for Turkey were investigated. A grid-supported vehicle charging station was designed for the charging of electric vehicles and their working conditions were determined. The electric vehicle load profile for the designed charging station was created using various analyzes. For the designed solar charging station, using the genetic algorithm method, the installation cost was determined based on the number of photovoltaic panels and batteries. In addition to the installation cost, the amount of carbon emissions for the charging stations and the amount of energy received from the grid were determined for both cases. As a result, the optimization results for both cases were compared and the results were discussed. It is understood that clean energy generated from renewable energy sources for charging is a necessary step towards achieving the zero emission target in the market launch of electric vehicles.

PageNumber : 76
KeyWords : Solar Energy, Charging Station, Electric Vehicles
Supervisor : Prof. Dr. Ünal KURT

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez yazımı konusunda verdiği emeklerden dolayı Prof. Dr. Ünal KURT'a ve Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Ana Bilim Dalı Öğretim üyelerine vermiş oldukları değerli bilgilerden dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Aynı zamanda çalışmış olduğum iş yerindeki çalışma arkadaşlarımdan göstermiş oldukları sabır için teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
RESİMLER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması.....	5
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	7
2.1. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim İstatistikleri.....	7
2.2. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi.....	9
2.2.1. PV paneller	10
2.2.2. Şarj kontrol cihazları.....	10
2.2.3. Güneş aküleri	11
2.2.4. Eviriciler	11
2.3. Güneş Enerjisi Potansiyeli	11
2.3.1. Dünya güneş enerjisi potansiyeli	12
2.3.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli	12
3. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR.....	13
3.1. Elektrikli Araçların Tarihi	13
3.2. Elektrikli Araçların Çalışma Prensibi	14

Sayfa

3.3. Elektrikli Araç Çeşitleri	14
3.3.1. Bataryalı elektrikli araçlar	14
3.3.2. Hibrit elektrikli araçlar.....	15
3.4. Elektrikli Araçların Avantaj ve Dezavantajları	17
3.4.1. Tamamen elektrikli araçların avantajları ve dezavantajları	17
3.4.2. Hibrit elektrikli araçların avantajları ve dezavantajları	17
4. ŞARJ İSTASYONLARI	18
4.1. Şarj Standartları	18
4.1.1. IEC uluslararası şarj standartları.....	18
4.1.2. CHAdeMO şarj standartları	19
4.1.3. SAE şarj standartları	19
4.2. Şarj İstasyon Tipleri.....	21
4.2.1. Yavaş şarj istasyonları	21
4.2.2. Normal şarj istasyonları	22
4.2.3. Hızlı şarj istasyonları	22
4.2.4. Yeşil şarj istasyonları.....	22
4.3. Türkiye’deki Elektrikli Araç Şarj İstasyonları Yönetmeliği.....	23
4.4. Dünyadaki Elektrikli Araç ve Şarj İstasyonlarının Durumu.....	24
4.4.1. Dünyadaki elektrikli araç durumu	24
4.4.2. Dünyadaki elektrikli araç şarj istasyonu durumu	25
4.5. Türkiye’deki Elektrikli Araç ve Şarj İstasyonlarının Durumu	26
4.5.1. Türkiye’deki elektrikli araç durumu	26
4.5.2. Türkiye’deki elektrikli araç şarj istasyonu durumu	28
4.5.3. Elektrikli araç şarj istasyonu hibe programı	29

Sayfa

4.5.4. Şebeke destekli güneş enerjili elektrikli araç şarj istasyonlarının durumu....	30
5. GÜNEŞ ENERJİLİ ŞARJ İSTASYONU OPTİMİZASYONU	33
5.1. Güneş Enerjili Şarj İstasyonu Özellikleri	33
5.2. Elektrikli Araç Teknik Özellikleri	35
5.3. Şarj İstasyonu Kullanım İstatistikleri	36
5.3.1. Monte Carlo simülasyonu	40
5.3.2. Hareketli ortalama yöntemi	44
5.3.3. Ağırlıklı hareketli ortalama yöntemi.....	46
5.3.4. Üstel düzeltme yöntemi	47
5.3.5. Trend analiz yöntemi	48
5.3.6. Yapılan analiz yöntemlerinin hata oranı tespiti	50
5.4. Güneş Enerjili Şarj İstasyonu Üzerinden Çekilen Güç.....	53
5.5. Elektrikli Araç Şarj İstasyonunun Optimizasyonu	55
5.5.1. Optimizasyon için maliyet fonksiyonu	60
5.5.2. Çevresel fonksiyon	61
5.5.3. Optimizasyon için kısıtlamalar	62
6. SONUÇLAR.....	63
6.1. Şebeke Üzerinden Elektrik Enerjisinin Alınmaması Durumu	63
6.2. Şebeke Üzerinden Elektrik Enerjisi Alınması Durumu	67
6.3. Sonuç	71
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları,1990–2021 (TÜİK, 2023)	2
Çizelge 1.2. 1990-2021 yılı enerji sektörü içerisindeki CO2 emisyon dağılımı (TÜİK, 2023).....	3
Çizelge 4.1. Konnektör tipleri ve standartları (Çobanoğlu, 2020).....	20
Çizelge 5.1. Renault zoe teknik özellikleri (Renault, 2023)	35
Çizelge 5.2. Modelleme verileri.....	40
Çizelge 5.3. Monte Carlo simülasyonu için değer aralığı tablosu	41
Çizelge 5.4. Hafta içi günleri ve saatleri için üretilmiş olan rastgele sayılar tablosu	41
Çizelge 5.5. Rastgele sayı karşılıklarına gelen değerler tablosu.....	42
Çizelge 5.6. Monte Carlo simülasyonu sonuç tablosu.....	43
Çizelge 5.7. Hafta sonu için Monte Carlo simülasyonu adımları ve sonuçları.....	44
Çizelge 5.8. Zaman serisi analiz yöntemi için kullanılacak veriler tablosu.....	45
Çizelge 5.9. Hareketli ortalama yöntemi sonuçları.....	46
Çizelge 5.10. Ağırlıklı hareketli ortalama yöntemi sonuçları.....	47
Çizelge 5.11. Üstel düzeltme yöntemi sonuçları	48
Çizelge 5.12. Trend analiz yöntemi hesap tablosu	49
Çizelge 5.13. Trend analiz yöntemi sonuçları	50
Çizelge 5.14. Yapılan analizlerin hata sonuçları	51
Çizelge 5.15. Elektrikli araç şarj istasyonu için kullanılacak PV panel özellikleri (Kalyonpv, 2022).....	55
Çizelge 5.16. Elektrikli araç şarj istasyonu için kullanılacak BEDS özellikleri (Atlascopco, 2022).....	55
Çizelge 5.17. Türkiye elektrik piyasası fiyat tarife çizelgesi (Epdk, 2023).....	56
Çizelge 5.18. Aylara güneşlenme süreleri (Enerji işleri genel müdürlüğü, 2022).....	57

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.1. Optimizasyon sonuçları ve optimum değerler durum-1	64
Çizelge 6.2. Kurulum maliyetinin geri dönüş süresi durum-1.....	65
Çizelge 6.3. Optimizasyon sonuçları ve optimum değerler durum-2	68
Çizelge 6.2. Kurulum maliyetinin geri dönüş süresi durum-2.....	70



ŞEKİLLERİN DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. 2021 yılı enerji sektörü içerisindeki CO2 emisyon dağılımı (TÜİK, 2023).....	4
Şekil 2.1. Toplam yenilenebilir enerji kapasitesi (Irena, 2023).....	7
Şekil 2.2. Yenilenebilir enerji kurulu gücü (Teiaş, 2023).....	8
Şekil 2.3. Birincil kaynaklara göre kurulu güç (Teiaş, 2023).....	9
Şekil 2.4. Güneş enerjisinden elektrik üretiminin temel gösterimi.....	10
Şekil 2.5. Dünya güneş enerjisi potansiyel atlası (Globalsolaratlas, 2018)	12
Şekil 2.6. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (Enerji işleri genel müdürlüğü, 2023) ..	12
Şekil 3.1. Bataryalı elektrikli araç temel yapısı	15
Şekil 3.2. Seri, paralel ve seri-paralel hibrit araçların temel gösterimi.....	16
Şekil 4.1. Şebeke destekli güneş enerjili elektrikli araçlar için şarj istasyonu sistemi ve bileşenleri.....	23
Şekil 4.2. 2010-2021 yıllarındaki elektrikli araç ülkelere göre değişimi (Iea, 2023)	25
Şekil 4.3. 2010-2021 yıllarındaki dünya geneli şarj istasyonları değişimi (Iea, 2022)	26
Şekil 4.4. 2015-2021 yıllarındaki şarj istasyonlarının ülkelere göre değişimi (Iea, 2022) ..	26
Şekil 4.5. 2011-2023 yıllarındaki elektrikli ve hibrit araçların değişimi (TÜİK, 2023).....	27
Şekil 4.6. 2012-2023 yılları içerisinde elektrikli araçların değişimi.....	27
Şekil 4.7. Türkiye elektrikli araç şarj istasyonları haritası (Sanayi ve teknoloji bakanlığı, 2022).....	28
Şekil 5.1. Elektrikli araç Türkiye dağılımı (Anadolu ajansı, 2023).....	33
Şekil 5.2. Güneş enerjili elektrikli araç şarj istasyonu çalışma prensibi (Tehad, 2023)	34
Şekil 5.3. Türkiye elektrikli araç marka satışları yıllara göre.....	35
Şekil 5.4. Hafta sonu popülerlik grafiği (Google, 2022)	36
Şekil 5.5. Hafta içi popülerlik grafiği (Google, 2022).....	37
Şekil 5.6. Hafta içi popülerlik grafiğinin modellenmesi.....	38

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. Hafta sonu popülerlik grafiğinin modellenmesi	39
Şekil 5.8. Hafta içi şarj istasyonuna gelen elektrikli araç dağılımı.....	52
Şekil 5.9. Hafta sonu şarj istasyonuna gelen elektrikli araç dağılımı	53
Şekil 5.10. İstasyondaki hafta içi yük durumu.....	54
Şekil 5.11. İstasyondaki hafta sonu yük durumu	54
Şekil 5.12. İstasyon konumunun yıllık güneşlenme süreleri	57
Şekil 5.13. İstasyon konumunun ay bazında günlük küresel ışıınımı	58
Şekil 5.14. İstasyon konumunun günlük ortalama küresel ışıınımı	58
Şekil 6.1. İstasyon üzerindeki PV panel, yük ve şebeke güçleri durum-1	66
Şekil 6.2. BEDS kapasite oranı durum-1	66
Şekil 6.3. İstasyon üzerindeki PV panel, yük ve şebeke güçleri durum-2	69
Şekil 6.4. BEDS kapasite oranı durum-2	69

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. YEGM kampüsünde bulunan şarj istasyonu (Güyad, 2022)	30
Resim 4.2. Kalyon EV tarafından EPDK binasında yapılan şarj istasyonu (Kalyon ev, 2022)	31
Resim 4.3. G-Charge firmasının solar-batarya destekli elektrikli araç şarj istasyonu/tesisi (G-charge, 2022).....	31
Resim 4.4. Kalyon EV tarafından kurulumu yapılan kuzey marmara otoyolu şarj istasyonu (Tehad, 2021)	32
Resim 4.5. Kalyon EV tarafından kurulumu yapılan kuzey marmara otoyolu şarj istasyonu (Tehad, 2021)	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, yanda açıklamaları verilmek üzere aşağıda listelenmiştir.

Simgeler

Açıklama

α	Düzeltilme sabiti
Σ	Toplam sembolü
K_T	Sıcaklık katsayısı
σ	Boşalma oranı
η	Verim

Kısaltmalar

Açıklama

TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
Yy	Yüzyıl
CO ₂	Karbondioksit
BEDS	Batarya enerji depolama sistemi
GA	Genetik algoritma
MOPSO	Çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu
TOPSİS	İdeal çözüme benzerliğe göre tercih sıralaması tekniği
MILP	Karma sayılarla doğrusal programlama
MAS	Çok etmenli sistem
PSO	Parçacık sürü optimizasyonu
MAPSO	Çok etmenli parçacık sürü optimizasyonu
PV	Fotovoltaik

IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
GW	Giga watt
MW	Mega watt
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
AC	Alternatif akım
DC	Doğru akım
MPPT	Maksimum güç noktası takibi
HEA	Hibrit elektrikli araç
İYM	İçten yanmalı motor
FHEA	Fişli hibrit elektrikli araç
IEC	Uluslararası Elektrik Komisyonu
SAE	Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği
TEPCO	Tokyo Elektrik Güç Şirketi
CHAdemo	Charge de move
CSS	Kombine şarj sistemi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
BEA	Bataryalı elektrikli araçlar
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
TOGG	Türkiye Otomobil Girişim Grubu
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
GÜYAD	Güneş Enerjisi Yatırımcılar Derneği
kW	Kilo watt
OMHY	Ortalama mutlak hata yüzdesi
OHKK	Ortalama hata karelerinin karekökü
LiFePO ₄	Lityum demir fosfat

DOD	Batarya derin deşarjı
TM	Toplam maliyet
KM	Kurulum maliyeti
CH ₄	Metan
N ₂ O	Nitröz oksit



1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinde insanlar sürekli bir gelişim içerisindeydir. Bu gelişim içerisinde insanlık 19. yy itibariyle büyük bir gelişim kaydetmiş ve bu gelişim büyük bir enerji ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Enerji ihtiyacındaki bu artışın getirdiği tüketim 21. yy itibariyle global olarak küresel ısınma tehdidini gün yüzüne çıkarmıştır. Küresel ısınmanın önüne geçilmesi amacıyla tüm ülkeler büyük bir uğraş içerisindeydir. Bu kapsamda Paris İklim Anlaşması ve Kyoto Protokolü gibi anlaşmalar ile geleceğe dönük sıfır karbon emisyonu için ciddi adımlar atmaya başlamışlardır.

Ülkemizde bu kapsamda dünyayı ilgilendiren bu konu hakkında Türkiye Büyük Millet Meclisi'nde 7 Ekim 2021 tarihinde Paris İklim Anlaşması Hakkında Kanunu onaylayarak karbon emisyonunu azaltılması için ülkece atılacak olan adımları kanuni bir çerçeve oturturmuştur. Bu anlaşma ile devletin tüm organları sıfır emisyon hedefi ile harekete geçmiştir.

Ülkemiz özelinde karbon salınımının sektörler arasındaki dağılımını konu ile alakalı olmasından dolayı incelemek gerekmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 29 Mart 2023 tarihinde yayınlanan son verilere göre elde edilen bilgiler aşağıdaki Çizelge 1.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1.1. Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları, 1990–2021 (TÜİK, 2023)

Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (CO ₂ eşdeğeri), 1990 - 2021						
Milyon ton						
Yıl	Toplam	1990 yılına göre değişim (%)	Enerji	Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı	Tarım	Atık
1990	219,5		139,5	22,9	46,1	11,1
1991	226,8	3,3	144,0	24,6	46,9	11,3
1992	233,1	6,2	150,3	24,3	47,0	11,5
1993	240,8	9,7	156,8	24,8	47,4	11,8
1994	234,4	6,8	153,3	24,1	44,9	12,0
1995	248,2	13,1	166,3	25,5	44,1	12,3
1996	267,6	21,9	184,0	26,2	44,8	12,7
1997	278,8	27,0	196,1	27,0	42,5	13,2
1998	280,3	27,7	195,8	27,3	43,7	13,5
1999	277,8	26,5	193,8	25,8	44,3	13,9
2000	298,9	36,2	216,0	26,2	42,3	14,3
2001	279,7	27,4	199,2	25,8	39,9	14,8
2002	285,6	30,1	206,0	26,8	37,6	15,2
2003	304,8	38,8	220,5	28,2	40,6	15,6
2004	314,4	43,2	226,3	30,8	41,3	16,1
2005	337,6	53,8	244,5	34,3	42,4	16,4
2006	358,0	63,1	260,5	36,8	43,9	16,8
2007	391,7	78,4	291,5	39,7	43,4	17,1
2008	388,5	77,0	288,3	41,7	41,3	17,2
2009	395,2	80,0	292,9	43,1	42,0	17,2
2010	398,8	81,7	287,9	49,1	44,4	17,4
2011	428,6	95,2	310,0	54,0	46,9	17,8
2012	448,2	104,2	321,6	56,3	52,7	17,6
2013	440,2	100,5	308,3	59,3	55,9	16,7
2014	459,5	109,3	326,7	60,1	56,2	16,5
2015	475,0	116,4	342,0	59,7	56,1	17,1
2016	501,1	128,3	361,7	63,8	58,9	16,7
2017	528,6	140,8	382,4	66,6	63,3	16,3
2018	523,1	138,3	373,4	67,7	65,3	16,6
2019	508,7	131,7	365,6	59,0	68,0	16,1
2020	524,0	138,7	366,6	68,0	73,2	16,3
2021	564,4	157,1	402,5	75,1	72,1	14,7

Toplam sera gazı emisyonlarında 2021 yılında CO₂ eşdeğer olarak en büyük oranı %71,3 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken bunu sırasıyla %13,3 oran ile endüstriyel işlemler ve

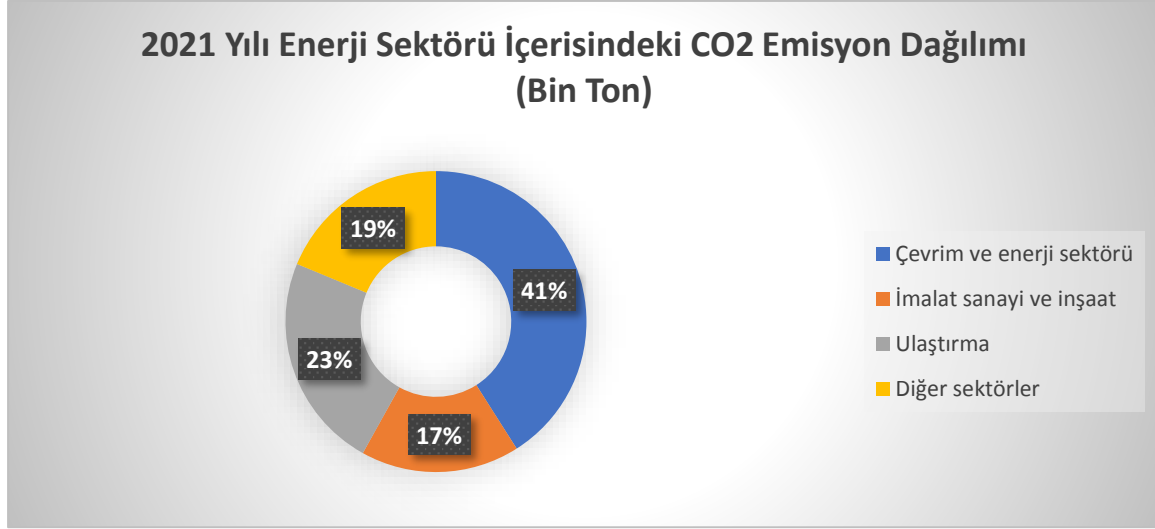
ürün kullanımı, %12,8 oran ile tarım ve %2,6 oran ile atık sektörü takip etmiştir (TÜİK, 2023).

Sera gazı emisyonlarındaki en büyük payı enerji sektörü kaynaklı olmasından dolayı üretilen enerjinin istenilen hedeflere ulaşması için kesinlikle yenilenebilir enerji kaynakların üretilmesi gerekliliği bir kez daha görülmektedir.

Enerji sektörünün kendi içerisindeki sera gazı emisyonlarını daha detaylı incelemek gerekirse Çizelge 1.2 ile Şekil 1.1'deki grafikten ulaştırmada ciddi bir CO₂ emisyonu üretilmektedir. Bu nedenle CO₂ emisyonunu azaltılması için ulaştırma alanında da ciddi adımların atılması gerekmektedir.

Çizelge 1.2. 1990-2021 yılı enerji sektörü içerisindeki CO₂ emisyon dağılımı (TÜİK, 2023)

CO ₂ emisyonları, 1990 - 2021						
(Bin ton)						
Sera gazı kaynakları	1990	2010	2015	2019	2020	2021
Toplam	151 615,0	316 193,0	384 929,7	402 692,3	412 926,9	452 702,8
Enerji	129 816,7	271 648,0	330 859,2	350 282,2	352 004,8	385 662,2
Yakıt yanması	129 596,4	271 491,7	330 704,5	350 099,2	351 809,5	385 452,3
Çevrim ve enerji sektörü	37 064,7	112 919,7	134 580,7	148 792,7	140 992,9	158 003,8
İmalat sanayi ve inşaat	37 004,0	52 119,6	59 358,6	54 277,0	59 868,7	65 873,6
Ulaştırma	26 250,8	44 382,6	74 271,6	80 745,1	79 032,5	89 319,3
Diğer sektörler	29 276,9	62 069,8	62 493,7	66 284,4	71 915,4	72 255,7
Kaçak emisyonlar	220,2	156,2	154,6	182,8	195,2	209,8
Karbondiyoksit taşıma ve depolama	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1



Şekil 1.1. 2021 yılı enerji sektörü içerisindeki CO2 emisyon dağılımı (TÜİK, 2023)

Ulaşım alanındaki CO2 emisyonunun azaltılması için devletler ve tüm otomobil üreticileri bazı adımlar atmaya başlamıştır. Ulaştırma alanında artık üretilecek olan araçların kademeli olarak elektrikli ve hibrit olarak üretilmesi ile ilgili kararlar alınmıştır. Birçok otomobil üreticisi 2025 yılından başlamak üzere üreteceği araçları en geç 2050 yılında tamamen elektrikli araç olarak üretme planları yapmaktadırlar (Tehad, 2022).

Bazı ülkeler ise yapacakları yasal düzenlemeler ile 2030 yılında tamamen elektrikli araçların kullanılmasını sağlamaya çalışmaktadırlar. Türkiye olarak üreteceğimiz otomobil için elektrikli olmasına karar verilmiştir ve 2023 yılı itibarıyla elektrikli aracımız yollarda olacaktır.

Ülkelerin ve otomobil üreticilerin yaptığı bu çalışmalar neticesinde ulaşım sektöründe teknolojik gelişmeler elektrikli araçların içten yanmalı motorlu araçların yerini alacağı kesinleşmiştir.

CO2 emisyonu azaltılması adına her ne kadar ulaşım sektörü için geliştirmeler ve hedefler sevindirici olsa da sıfır emisyon üreten elektrikli araçların şarj edilmesi için kullanılacak olan elektriğin fosil yakıtlardan üretilmesi tam manasıyla CO2 emisyonunun azaltılması yönelik adım değildir. Tam olarak CO2 emisyonunun azaltılması için elektrikli araçların şarjı için üretilecek elektrik de yenilenebilir enerji kaynaklarından olmak zorundadır.

Araştırma konusunun bu manada CO2 salınımının azaltılması ve teknolojik gelişmenin elektrikli araçlara yönelmesiyle yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjili şarj istasyonları konusu önem kazanmaktadır.

1.1. Literatür Taraması

Yapılan literatür taramasında araştırmacılar tarafından konvansiyonel yakıt kullanan araçların yerini elektrikli araçların almaya başlamasıyla beraber bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda şarj istasyonlarının optimizasyonu için birçok farklı yöntem kullanılmıştır. T. Li ve diğerleri, Güneş enerjili ve elektrik şebeke destekli bir şarj istasyonu için optimum bir tasarımı toplam maliyet, karbon emisyonu ve batarya enerji depolama sistemi (BEDS) kapasitesini minimize etmek için Monte Carlo simülasyonu ve genetik algoritma (GA) optimizasyon yöntemini kullanmıştır (Li, Zhang, Yuanxing ve Jiang, 2018). Sun Baojun, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve BEDS ile elektrikli araç şarj istasyonu için elektrik maliyetini ve karbon emisyonu minimize etmek için çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu (MOPSO) ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği (TOPSIS) kullanılmıştır (Boujun,2020). Leone, C. ve diğerleri ultra hızlı elektrikli araç şarj istasyonlarının maliyet ve karbon emisyonunu minimum yapmak için güneş enerjisi BEDS'den oluşan şarj istasyonu tasarımı yapılarak optimizasyon için çok amaçlı GA optimizasyonu yapmıştır (Leone, Longo, Fernandez-Ramirez ve Garcia-Trivino, 2022). Majid Moradzadeh ve diğerleri hızlı elektrikli araç şarj istasyonları için yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş ile rüzgâr enerjisi ve BEDS kullanarak yeni bir formülasyon önermişlerdir ve optimizasyon içinde karma sayılarla doğrusal programlama (MILP) tekniğini kullanmıştır (Moradzadeh, Abdelaziz, 2020). Dai ve arkadaşları yaptıkları çalışmada güneş enerjisi, BEDS ile birlikte elektrikli araç şarj istasyonunda elektrik fiyatının optimize etmek için çok etmenli sistem (MAS) ile parçacık sürü optimizasyonu (PSO) birleşimi olan çok etmenli parçacık sürü optimizasyonu (MAPSO) algoritma metodu kullanılmıştır (Dai, Liu ve Wei, 2019). Singh ve diğerleri güneş, rüzgâr, dizel enerji kaynakları ile BEDS kullanılan elektrikli araç şarj istasyonlarında elektrik maliyeti ve toplam kurulum maliyetin optimize etmek için GA kullanılmıştır (Singh, Baredar, Singh ve Kurup, 2017).

Literatür araştırması sonucu şebeke destekli elektrikli araç şarj istasyonu için şarj işlemi için gelen araç sayısının tahmin edilmesinin ardından şebekeden alınan elektrik maliyetinin

minimum olması ve kurulacak olan fotovoltaiik (PV) panel ile BEDS maliyetinin minimum yapmak için GA optimizasyon yöntemi kullanılmıştır.

Yapılan tez çalışmasının birinci bölümünde tez konusunun önemi vurgulanmıştır. Aynı zamanda daha önce yapılan çalışmalar hakkında literatür taramasına yer verilmiştir. İkinci bölümde güneş enerjisinden ve ülkemiz için öneminden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde elektrikli araçlar ve çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde şarj istasyonları hakkında bilgi verilerek Türkiye'deki genel durumu hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde güneş enerjili şarj istasyonu için optimizasyon çalışması yapılarak mevcut şebekeye bağlı elektrikli araç şarj istasyonları ile karşılaştırma yapılmıştır. Altıncı bölümde ise yapılan araştırma ve optimizasyon sonucunda elde edilmiş bilgiler özetlenerek çalışmamız sonuçlandırılmıştır.

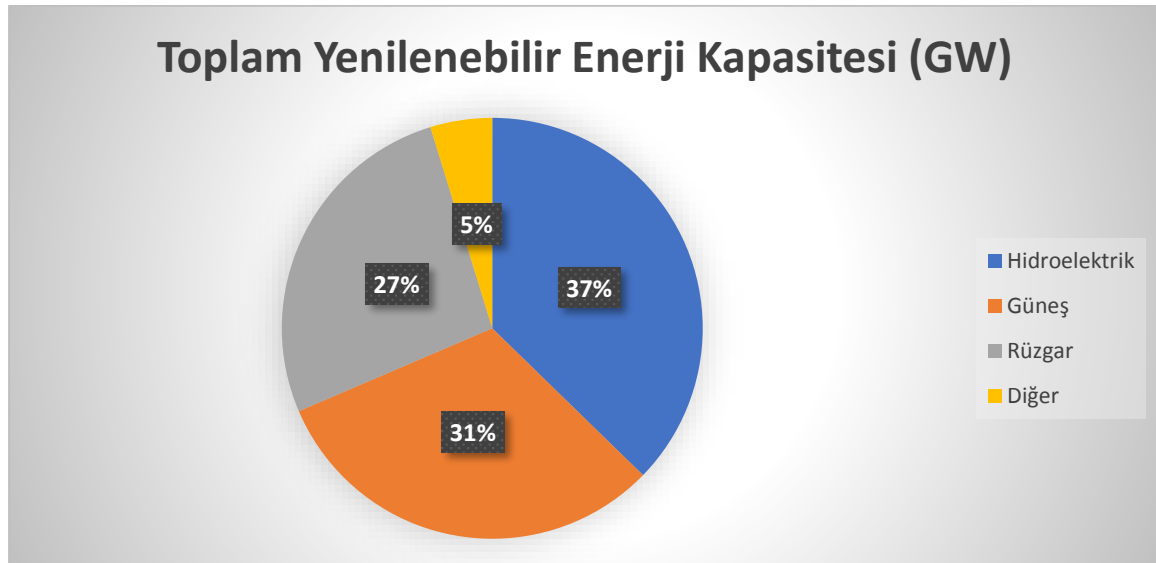
2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi tüm canlılar için hayati önem taşımaktadır. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında bitmez tükenmez ve temiz bir enerji kaynağıdır. Ülkemiz ve küresel olarak elektrik üretilmesi adına sıfır emisyon üretmesinden dolayı kullanılması yaygınlaşmakta ve ülkeler güneş enerjisi yatırımların her geçen gün artırarak devam etmektedir. Ülkemiz de güneş enerjisinin farkına varmış bu kapsamda fosil yakıtlardan elektrik üretilmesini azaltmak ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılması için güneş enerjisi yatırımlarının artmasını teşvik etmektedir.

2.1. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim İstatistikleri

Dünya üzerindeki güneşten elektrik enerjisinin üretilmesi hızlı bir şekilde artmaktadır. Bunun göstergesi olarak en son yayınlanmış verileri incelemenin güneş enerjisinden elektrik üretiminin artışını ve ülkeler olarak önemini göstermektedir.

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) son yayınlamış olduğu verilere göre 2022 yılı sonu itibariyle yenilenebilir enerji kapasitesi 3 372 GW olmuştur. Hidroelektrik enerji kapasitesi 1 256 GW, güneş enerjisi 1 053 GW, rüzgâr enerjisi 899 GW olmuştur. Diğer yenilenebilir enerji kaynağı olan bio enerji 149 GW, jeotermal 15 GW ve okyanus enerjisi 524 MW kapasiteye ulaşmıştır (Irena, 2023).

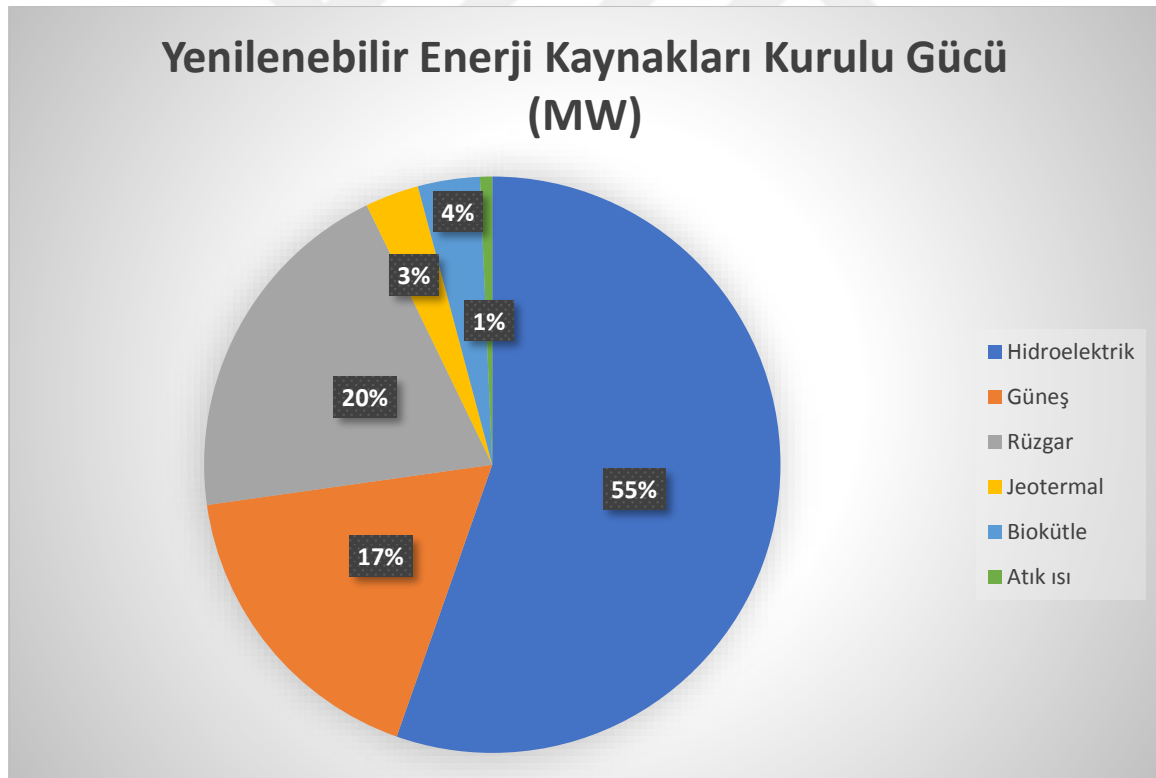


Şekil 2.1. Toplam yenilenebilir enerji kapasitesi (Irena, 2023)

Yenilenebilir enerji kapasitesi bir önceki yıla göre 2022 yılında 295 GW artmıştır. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki liderliğini devam ettirerek 192 GW kapasite artışı gerçekleşmiştir. Rüzgâr enerjisi 75 GW, hidroelektrik enerji 21 GW, biyoenerji 8 GW ve jeotermal enerji 181 MW kapasite artışı gerçekleşmiştir (Irena, 2023).

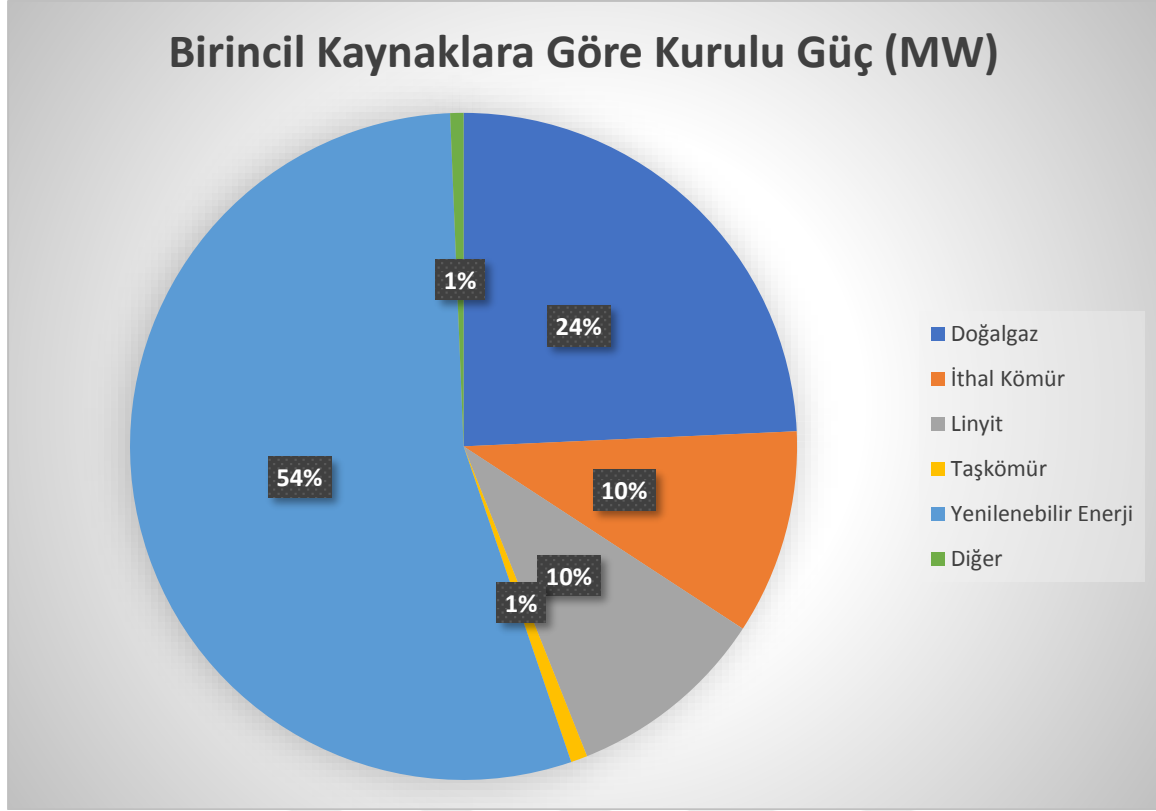
Dünya üzerinde veriler ışığında yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en fazla kapasite artışını güneş enerjisinde yaşamıştır.

Türkiye’de ise birincil kaynaklar içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güçleri Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) Nisan 2023 verilerine göre toplam 57 029 MW olmuştur. Hidroelektrik enerji 31 583 MW, rüzgâr enerjisi 11 439 MW, güneş enerjisi 9 916 MW, jeotermal enerji 1 719 MW, biokütle 1 982 MW ve atık ısı ise 390 MW kurulu kapasiteye ulaşmıştır (Teiaş, 2023).



Şekil 2.2. Yenilenebilir enerji kurulu gücü (Teiaş, 2023)

Ülkemiz için birincil kaynaklara göre kurulu gücü toplam 104 473 MW olmuştur. Doğalgaz 25 364 MW, ithal kömürden 10 374 MW, linyitten 10 192 MW, taş kömürden 841 MW, yenilenebilir enerji 57 029 MW ve diğer 673 MW kapasiteye ulaşmıştır (Teiaş, 2023).



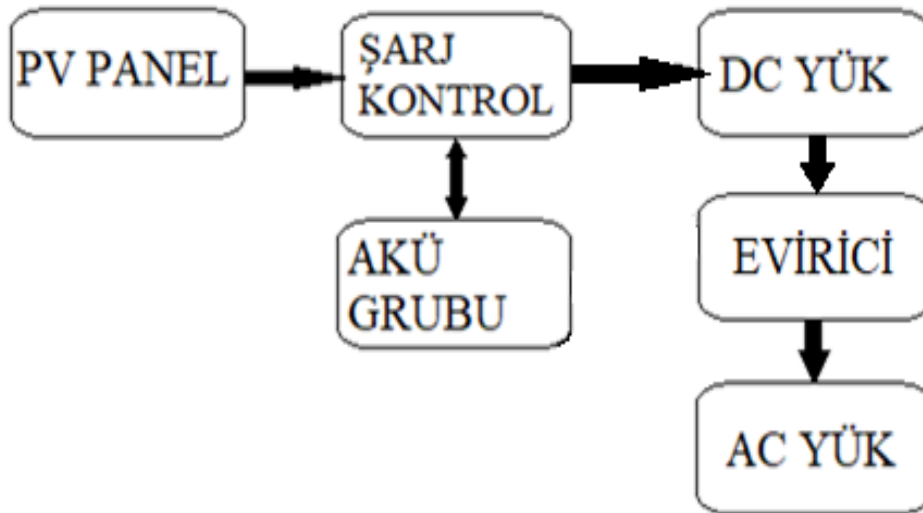
Şekil 2.3. Birincil kaynaklara göre kurulu güç (Teiaş, 2023)

Birincil kaynaklara göre ülkemizin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı görüldüğü gibi artmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi de bariz bir şekilde önemli bir yere sahiptir.

2.2. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi güneş pilleri ya da PV piller olarak adlandırılan yarıiletken maddeler ile sağlanmaktadır. Fotovoltaik piller, güneş hücreleri veya güneş pilleri olarak da adlandırılan cihazlar, algıladıkları foton enerjisinden eşit sayıda pozitif ve negatif yükler oluşturarak güneş enerjisini doğrudan kullanılabilir yararlı elektrik enerjisine dönüştürürler (Altaş, 1998: 66-71).

Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanılarak üretilir. Günümüzde en çok kullanılan yarı iletken maddeler; kristal silisyum, amorf silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellürid, bakır indiyum diseleniddir. Doğada en yaygın olarak bulunan silisyum, ticari ortama girmiş güneş pillerinin en yaygın kullanılanıdır (Perdahçı, 2005).



Şekil 2.4. Güneş enerjisinden elektrik üretiminin temel gösterimi

Güneş enerjisinden elektrik üretimi için kullanılan ekipmanlar ise;

2.2.1. PV paneller

PV paneller güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretilmesi için en temel bileşendir. PV panel içerisinde bulunan güneş enerjisi hücreleri aracılığı ile güneş ışınlarını soğurarak DC gerilim üretirler. Bu hücreler tek başlarına ürettikleri gerilim ideal olarak 0.5 Volt gerilim elde edilmiş olur. Aynı şekilde ideal olarak 7 Amper bir akım elde edilmektedir. Paneli oluşturan bu hücrelerin seri olarak birbirine bağlanması ile istenilen seviyeler gerilim ve güç elde edilmiş olmaktadır.

2.2.2. Şarj kontrol cihazı

Şekil 2.4. temel gösterim üzerinden güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin direk olarak DC yük üzerinden harcanabileceği gibi aynı zamanda kullanılamayan enerji batarya üzerinde depolanabilmektedir. Bu depolama işlemi yapılırken özellikle güneş ışınlarının olmadığı ya da PV panel üzerine çok az düştüğü hava şartlarında akü içerisinde depolanmış olan enerjiden tersi yönde yani akü üzerinden PV panele doğru akmasını önlemektir.

Şarj kontrol cihazları ters yönde akımı kestiği gibi akü gruplarının da fazla yüklenmesini yani doğru şekilde şarj edilmesini kontrol etmektedir.

2.2.3. Güneş aküleri

Güneş enerjisinden elektrik üretimi temel bileşenlerinden biri akü grupları sitem üzerinde elektrik üretilmediği anlarda elektrik enerjisinin devamlılığı için kullanılmaktadır.

Aküler üzerinde güneş ışınları yeterli seviye de olduğu ve yükün harcadığı enerjiden daha fazla üretildiği anlarda akü grupları şarj edilerek ihtiyaç duyulduğu zaman gerekli elektrik enerjisini sisteme sağlamaktadır.

Piyasaya arz edilmiş çeşitli aküler mevcut olmakla beraber güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılacak olan akülerin uzun ömürlü olması istenmektedir. Elektrik enerjisi üretimi aşamasında en fazla bakıma ihtiyacı olan ekipman akü gruplarıdır.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi aşamasında bakımı en az gerektiren jel tipi akü grupları tercih edilmektedir.

2.2.4. Eviriciler

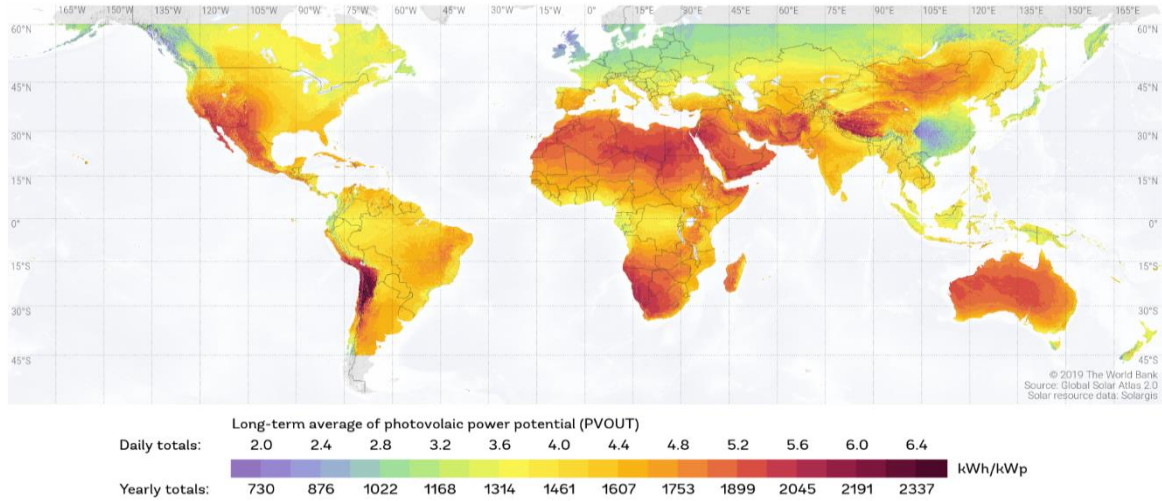
Çeviriciler, güneş enerjisinden üretilen DC gerilimini AC gerilim olan ülkemiz için standart 220 Volt, 50 Hz frekansa çevirmektir. Kullanım yerine göre üç faz 380 V gerilim seviyesine de üretilen enerji çevrilmektedir. Çeviriciler üretilen enerjiyi bu standartlarda sabitlemek ve bu şekilde sistem güvenilirliğini sağlamaktır. Çeviriciler için en önemli özellik ise paneller üzerinde meydana gelebilecek gölgelenme ve diğer şartlar altında çıkış gücünün en üst seviyede tutulmasını amaçlamaktadır. Bu en üst seviyede tutma işlevine maksimum güç noktası takibi (MPPT) denilmektedir. Piyasaya arz edilmiş olan ve güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim sistemin en fazla kullanılan sinüs dalgalı çeviricilerdir. Kullanılan çevirici verimleri şu an için %95'in üzerindedir.

2.3. Güneş Enerjisi Potansiyeli

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde yer seçimi ve en optimum şekilde güneş enerjisinden yararlanmak için güneş enerjisi potansiyeli haritaları mevcuttur.

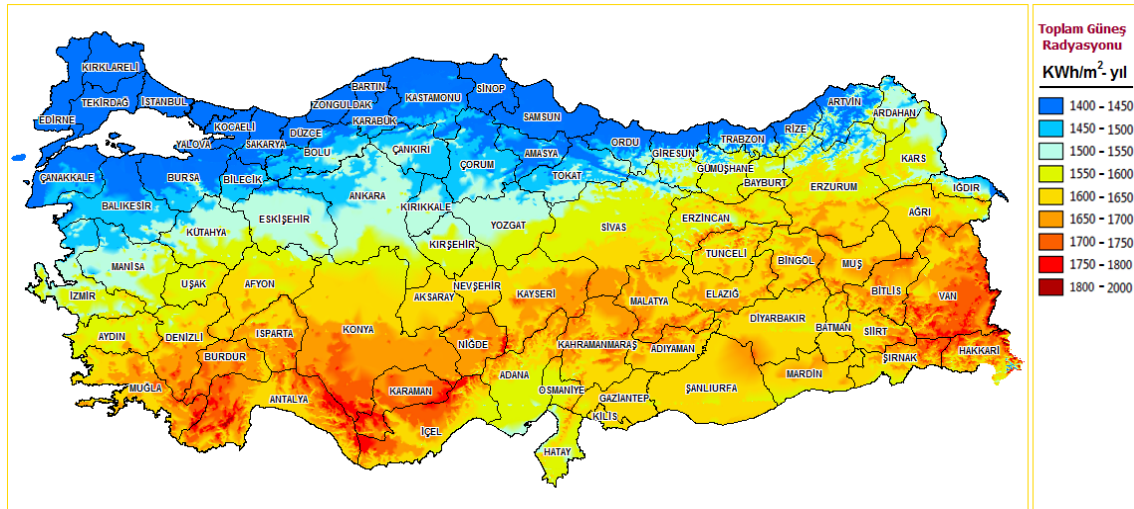
2.3.1. Dünya güneş enerjisi potansiyel atlası

Dünya güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Dünya güneş enerjisi potansiyel atlası (Globalsolaratlas, 2018)

2.3.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası



Şekil 2.6 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (Enerji işleri genel müdürlüğü, 2023)

Türkiye ve dünya güneş enerjisi atlaslarını incelediğimizde birçok Avrupa ülkesinden ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinin ciddi şekilde fazla olduğu görülmektedir. Ülkemizde güneş enerjisini tüm alanlarda etkin şekilde kullanılması gerektiği açıktır.

3. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Sıfır emisyon hedefi doğrultusunda fosil yakıtlı araçlar yerine elektrikli araçlar üretilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Elektrikli araçlar tamamen çevreci ve kullandığı elektrik enerjisinden sonra dışarıya herhangi bir şekilde zararlı salınım yapmamaktadır.

3.1. Elektrikli Araçların Tarihi

Yakın gelecekte fosil yakıtların tükenecek olması ulaşımda fosil yakıtlara bağımlı olan insanoğlunun elektrikli araçlara yönelimini son yıllarda hızlandırmıştır. Elektrikli araç denildiğinde bir elektrik motoru ile tahrik edilerek hareketi sağlanan her türlü araçlar akla gelir. Bugün çok popüler olan elektrikli araçların tarihi aslında 1800’lü yılların başına mekanik enerji ile çalışan ilk arabalara kadar uzanmaktadır. 1800’lerin son çeyreğinde yollarda çok sayıda elektrik motoru ile tahrik edilen araçlar görülmeye başlanmıştır. Karayolu uzunluklarının az olması elektrikli araçların menzillerini zorlamadığı için bu yıllarda elektrikli araçlar oldukça yaygınlaşmıştır. İlk rejenaratif fren sistemi bu yıllarda 1897 yılında bulunmuştur ve elektrikli bir araca uygulanarak menzili artırılmıştır. Elektrikli araçlar için 1900-1912 yılları arasında altın çağını yaşadı denilebilir. Buna rağmen 1912 yılında Amerika yollarındaki elektrikli araç sayısı içten yanmalı motorlu araç sayısının ancak 1/3’üne ulaşabilmiştir (Kocabey, 2018).

Ancak 1909 yılında FORD firması tarafından seri üretime geçen içten yanmalı motorlu araçların yaygınlaşması elektrikli araçlar için sonun başlangıcı olmuştur. Çünkü, elektrikli araçların maliyetinin diğer araçlara göre 3 kat pahalı olması, yeni karayollarının yapılması ile uzak mesafelere seyahatin gerekmesi, yakıt ikmalinin hızlı yapılamaması ve diğer araçlara göre yüksek hızlara ulaşamaması gibi sebeplerden dolayı elektrikli araçlar içten yanmalı motorlu araçların gölgesinde kalmıştır. Bunun sonucu olarak 1960’lı yıllara kadar elektrikli araçlar karayolu taşımacılığında unutulmuştur (Kocabey, 2018).

1960’lı yıllarda fosil yakıt kaynaklı hava kirliliğinin artması elektrikli araçları yeniden gündeme taşımış ancak çalışmalar sınırlı kalmıştır. 1970’lerin ortalarında yaşanan petrol krizi, petrol üreticisi olmayan pek çok ülkenin elektrikli araç araştırmalarına tekrardan hız vermesini sağlamıştır. 1980’li yıllarda hükümetler elektrikli araçların çevre dostu olmaları

nedeniyle bu araçlara karşı duyulan ilgiyi artırmaya ve resmi kaynaklardan ekonomik destek vermeye başlamışlardır. Elektrikli araçların asıl gelişimi 1990'dan sonra yeni gelişen batarya teknolojileri ile olmuştur. 1997 yılında Toyota firması PRIUS isimli hibrit aracını piyasaya sürmüştür. Bu araç tüketicilerin beklentilerine büyük oranda cevap vermiş ve böylece ilk büyük ölçekli seri üretim elektrikli araba olma unvanını kazanmıştır (Kocabey, 2018).

Özellikle son 10 senedir elektrikli otomobiller tekrar hayatımıza girdi. Ancak bu sefer karayolu taşımacılık tarihinin geleceği olacaklarını öngörmek bir hayal olmasa gerektir. 2003 yılında kurulan Tesla Motors şirketi tarafından 2006 yılında üretimi yapılan ve 2008 yılında piyasaya sunulan gerçek manada ilk elektrikli otomobil olan Roadster modeli tahminlerin üzerinde bir satış başarısına ulaşmıştır. Bu elektrikli aracın yüksek fiyatına rağmen büyük satış rakamlarına ulaşması konvansiyonel araç üreticisi diğer firmaların da dikkatini bu alana yöneltmesine yol açmıştır. Günümüzde hemen hemen neredeyse tüm markaların mutlaka bir elektrikli araç modeli bulunmaktadır (Kocabey, 2018).

3.2. Elektrikli Araçların Çalışma Prensibi

Elektrikli araçlar başta elektrik ve mekanik bileşenlerden oluşmaktadır. Elektrikli araçlar adı üzerinde hareket için gerekli olan itki kuvvetini elektrik motorundan almaktadır. Elektrik motorundan üretilen güç gerekli olan mekanik parçalar ile beraber hareket sağlanmaktadır. Elektrik motoru ise hareket enerjisini sağlarken gerekli olan elektrik enerjisini kendi içerisinde bulunan batarya grubundan sağlamaktadır. Elektrikli otomobil ana bileşenleri; batarya grubu, elektrik motoru, güç kontrol sistemi ve mekanik aktarım parçalarıdır.

3.3. Elektrikli Araç Çeşitleri

Elektrikli araçlar kendi içerisinde bataryalı ve hibrit elektrikli araçlar olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.3.1. Bataryalı elektrikli araçlar

Bataryalı elektrikli araçlar kendi içerisinde büyük bir batarya grubu üzerinden gerekli olan elektrik enerjisini sağladığı için bu şekilde adlandırılmaktadır. Konvansiyonel yakıtlı araçlardaki yakıt hava karışımlarının yapılması ve motor içerisindeki odacıklardaki yanma

işlemlerinin aksine elektrikli araçlar batarya üzerindeki elektriği güç kontrol sistemi üzerinden elektrik motorlarına aktardıkları için tepki süresinin kısa olmasından dolayı iyi hızlanmaları ve emisyon üretimi olmaması artı yönleridir. Fakat konvansiyonel yakıtlı araçlara göre içerdiği batarya içerisindeki enerjinin daha kısa menzil sunmaları ile şarj teknolojisinin gelişime açık olmasıyla beraber uzun şarj etme süreleri eksi yönleri arasındadır.

Bataryalı elektrikli araçların batarya grubunu şarj etmek için şarj cihazına bağlanması gerekmektedir.



Şekil 3.1. Bataryalı elektrikli araç temel yapısı

3.3.2. Hibrit elektrikli araçlar

Bir hibrit elektrikli araç (HEA), tam elektrikli araçlara veya bataryalı elektrikli araçlara geçiş amacıyla hem konvansiyonel yakıt kullanan içten yanmalı motor (İYM) ile elektrikli motoru aynı anda içermektedir. Hareket için gerekli olan gücü her iki motordan da sağlayabilmektedir. Elektrikli araç için tüketiciler olarak menzillerinin kısa olması ve şarj istasyonuna erişim konusunda tereddüt yaşayanlar için iyi bir alternatif olduğu görülmektedir. Hibrit elektrikli araçlar kendi içerisinde de seri, paralel ve seri-paralel olmak üzere çeşitleri mevcuttur.

Paralel hibrit araçlar, elektrik motoru ve benzin ile çalışan İYM hareketi sağlamak için aynı anda kullanılır güç iletim yapmaktadır. Paralel hibrit araçlarda ilk kalkış anında elektrik motoru devreye girer ve daha sonra belirlenen hız limiti üzerinde İYM üzerinden güç

sağlanmaktadır. Bu araçlarda tam elektrikli araçlara göre daha küçük boyutlarda batarya grubu bulunmakta ve İYM devrede iken İYM üzerinden bu batarya grubunun şarj işlemi yapılmaktadır.

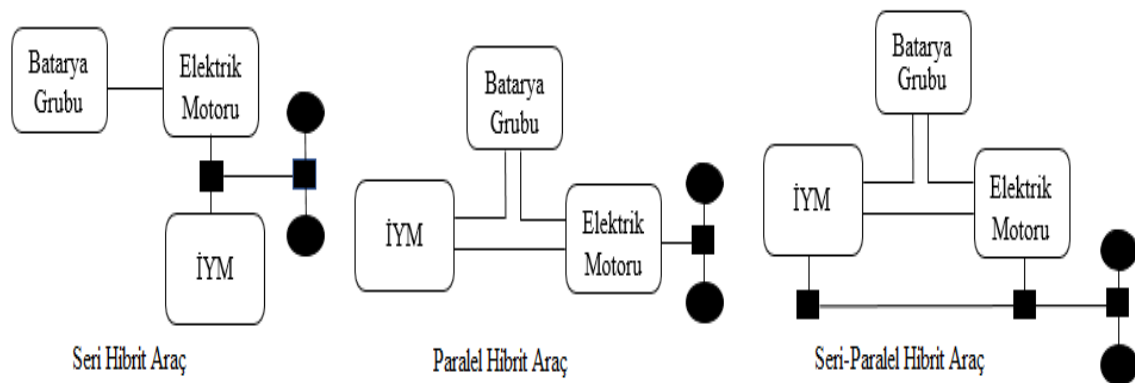
Seri hibrit araçlar, paralel hibrit araçlarda olduğu gibi elektrikli motor ve İYM bir arada bulunmaktadır. Fakat paralel hibrit araçlara göre güç iletimi sadece elektrik motoru üzerinden yapılmaktadır. İYM görevi ise araç içerisinde bulunan ve paralel hibrit araçların aksine daha büyük kapasiteli batarya grubunu şarj etmek için kullanılmaktadır.

Seri-paralel hibrit araçlar, adından anlaşılabilceği üzere seri ve paralel hibrit araçların özelliklerini aynı anda taşımaktadır. Elektrik motoru ve İYM aynı anda bulunmaktadır. Hareket sağlanması için güç iletimini her iki motorda sağlayabilmektedir. Araç içerisinde İYM tarafından şarj işlemi yapılan batarya grubu bulunmaktadır.

Hibrit araçlar çeşitleri üzerinden anlatıldığı üzere içerisinde bulunan İYM sayesinde batarya gruplarını şarj etmektedirler. Aynı zamanda araçların rejenaratif fren sistemi üzerinden de fazla enerji kazanılarak batarya grubu şarj işlemi yapılmaktadır.

Bunun sayılan türlerin haricinde hibrit araçların bir çeşidi ise plug-in hibrit olarak adlandırılan fişli hibrit elektrikli araçtır. Fişli hibrit elektrikli araç (FHEA) motor sisteminde fark bulunmamak ile beraber batarya grubunu şarj işlemini gerçekleştirmek için tam elektrikli araçlarda olduğu üzere şarj soketinin bulunmasıdır.

Hibrit elektrikli araçların temel gösterimi Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Seri, paralel ve seri-paralel hibrit araçların temel gösterimi

3.4. Elektrikli Araçların Avantaj ve Dezavantajları

Elektrikli araç çeşitlerinden bataryalı ve hibrit araçların ayrı ayrı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

3.4.1. Bataryalı elektrikli araçların avantajları ve dezavantajları

Bataryalı elektrikli araçların avantajları; konvansiyonel yakıt kullanılmadığı ve yakıt yakma tepkimesi sonucu egzoz gazı çıkışı olmadığı için sıfır egzoz gazı emisyonu, elektrik motoru kullanıldığı için çalışma olarak sessiz olması, rejenaratif fren sistemini kullanılması nedeniyle tüketilen enerjinin bir kısmını tekrar kazanılması, konvansiyonel yakıt kullanan araçlara göre yakıt tüketiminin az olması ve elektrikli araçlardaki parça sayıları daha az olması ve yakıt sistemindeki birçok parçanın olmaması nedeniyle idame maliyetlerinin daha az olmasıdır.

Dezavantajları ise; batarya sisteminin gelişmeye açık olmakla beraber şu an için menzil konusunda konvansiyonel araçlara göre kısa olması, şarj işleminin gerçekleştirilmesi için kamusal alanda ve diğer yerlerdeki şarj istasyonları altyapısının şu an için yetersiz olmasıdır.

3.4.2. Hibrit elektrikli araçların avantajları ve dezavantajları

Hibrit elektrikli araçların avantajları; elektrikli motor ile içten yanmalı motorun bir arada kullanılması nedeniyle yakıt masrafının daha az olması, daha az konvansiyonel yakıt kullanıldığı için daha az egzoz emisyonu salınımı yapması, rejenaratif fren sistemini kullanılması nedeniyle tüketilen enerjinin bir kısmını tekrar kazanılması ve FHEA tiplerinde de aynı zamanda batarya gruplarının da şarj edilmesidir.

Dezavantajları ise; elektrikli motorun ve İYM kullanılması nedeniyle üretim maliyetlerinin yüksek olması, aynı anda iki farklı motor kullanılmasının getirdiği karmaşıklık ve hayatımıza son senelerde girmiş olan araç türü olduğu için yedek parçaya erişimin şu an için kısıtlı olmasıdır.

4. ŞARJ İSTASYONLARI

Şarj istasyonları elektrikli araçların enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmesi için kullanılmaktadır.

4.1. Şarj Standartları

Elektrikli araçların şarj edilmesi için bu alanda faaliyet gösteren bazı kuruluşlar tarafından şarj istasyonları ve elektrikli arabalar için şarj standartları geliştirilmiştir. Bu standartların oluşmasında temel etken araba üreticileri olmuştur. Elektrikli araçlar arasında fark ortaya koyabilmek için araç üretiminde farklı şarj standartları belirlenmiştir. Geliştirilmiş olan bu şarj standartlarından bazıları; Uluslararası Elektrik Komisyonu (IEC) tarafından belirlenmiş başta Avrupa ülkeleri olmak üzere birçok ülkede de kullanılan IEC 61851 ve IEC 62196, Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği (SAE) tarafından oluşturulan J1772, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) şirketi ve japon araç üreticileri tarafından kurulan CHAdeMO derneği tarafından geliştirilen CHAdeMO standardıdır. Ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü tarafından IEC şarj standartlarını temel alarak TS 13909 ve TS 13912 standartlarını oluşturarak elektrikli araç ve elektrikli araç şarj istasyonları için uygulanacak olan bir standart geliştirmiştir. Geline nokta cep telefonlarının şarj işlemi için farklı markaların farklı şarj cihazının olması gibi artık tek bir tip şarj girişi üzerinde olması yönünde yaptırımlar uygulanmaya başlanmıştır. Elektrikli araç şarj standartlarının da ilerleyen yıllarda tek bir şarj standardı üzerinde anlaşması muhtemel gözükmektedir.

4.1.1. IEC uluslararası şarj standartları

Ülkemizdeki elektrik altyapısı uyumlu olduğundan dahil olduğumuz Uluslararası Elektrik Komisyonu'nun belirlediği standartları şöyle açıklayabiliriz: IEC, 162 ülkeyi ve 10 000 uzmanı bir araya getirerek, toplu olarak "elektroteknoloji" olarak bilinen tüm elektriksel, elektronik ve ilgili teknolojiler için Uluslararası Standartlar hazırlayan ve yayınlayan dünyanın önde gelen kuruluşudur. IEC Uluslararası Standartları, elektrikli veya elektronik cihazların dünyanın her yerinde birbirleriyle verimli ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayan küresel olarak ilgili teknik özellikleri ve ölçümleri içerir. IEC çalışması, Akıllı Şebekeler de dahil olmak üzere elektrikli otomobillerden, yenilenebilir enerjiden, elektrik

üretiminden, iletim ve dağıtımdan ev aletleri ve ofis ekipmanlarına, pillere, nanoteknolojiye, iletişim protokollerine kadar çok sayıda teknolojiyi kapsamaktadır. IEC tüm uygunluk değerlendirme formlarını destekler ve ekipman, sistem veya bileşenlerin Uluslararası Standartlarına uygun olduğunu onaylayan Uygunluk Değerlendirme Sistemlerini yönetir. IEC Uluslararası Standartlar seti IEC 62196-1 ve IEC 62196-2 olmak üzere yeni geliştirdikleri iki standartla elektrikli otomobilleri şarj etmek için fişleri ve soketleri tanımlar. Bu IEC standartları, farklı ülkelerdeki farklı elektrik altyapıları ve düzenlemelerini ele alırken, dünyanın dört bir yanındaki elektrikli araç şarj mekanizmalarını çevreleyen çok çeşitli araştırma ve geliştirme hacmini bir araya getirmektedir. IEC 62196-1 genel gereklilikleri içerirken, IEC 62196-2 Tip 1, 2 ve 3 olarak bilinen üç tip şebeke bağlantı sistemini standartlaştırır. Her bir ülkedeki elektrik altyapısına ve düzenleme koşullarına bunlardan hangisi uygunsa o yöntem kullanılır. Bu standartlar, bir elektrikli aracı bir güç kaynağından şarj etmenin dört modunu tanımlayan IEC 61851-1 üzerine kuruludur. 1'den 3'e kadar olan modların bir elektrikli aracın bir şebeke kaynağına doğrudan bağlanarak üç ila on saat arasında tamamen şarj edilmesine izin verdiği tahmin edilmektedir. Mod 4 (DC hızlı şarj), bir elektrikli otomobili on dakikadan kısa bir sürede tam olarak şarj edebilir, ancak şebeke dışı aküler kullandığından, uygulanması en pahalıdır. Yeni genel IEC 62196-1 standardı bu modların dördüne uygulanırken, IEC 62196-2 yalnızca şebeke şarjı için geçerlidir (Mod 1 ila 3). DC şarjını standartlaştırmak için üçüncü bir standart olan IEC 62196-3 geliştirilmektedir (Mod 4) (Mumcu, 2019).

4.1.2. CHAdeMO şarj standartları

CHARge de MOve'un kısaltması olan CHAdeMO, ismini Japonca "O chademoikagadesuka" cümlesinden alır. Anlamı "şarj edilirken bir bardak çay içelim" olan bu standart ilk küresel hızlı şarj protokolüdür. CHAdeMO 6 kW ile 200 kW arasında değişen değerlerde şarj sağlayabilmektedir. Daha çok Japon üreticiler tarafından tercih edilse de Avrupa'da temsilcilikleri de kurulmuştur. Elektrikli araçların hızlı şarj olabilmesi menzil endişesini ortadan kaldıracığından elektrikli araçların popülaritesi artacaktır (Mumcu, 2019).

4.1.3. SAE şarj standartları

SAE ise CHAdeMO standartlarına bağlı kalmak istemeyen Amerikan Otomobil Mühendisleri Derneği tarafından geliştirilmiş CCS (Combo Charging System) kombo şarj

sistemi anlamına gelen şarj standartlarının adıdır. SAE J1772 komitesi hızlı bir şarj sistemi geliştirmekle görevlendirildiğinde, temel olarak mevcut J1772 fişini aldı ve yüksek güçlü DC için iki büyük pim (pim: elektriğin prizden iletilmesini sağlayan, fişin ucundaki metal silindirik çubuklar) ekledi. Üst kısım ABD'de kullanılan sıradan J1772 fişidir ve alt kısım iki DC güç pimidir. J1772 komitesinin CCS'yi geliştirmesinin sebepleri arasında otomobil üreticilerinin yeniden şarj etmek için otomobilin şasesinde yalnızca bir delik (veya daha küçük bir delik) kullanarak daha fazla tasarım özgürlüğü sağlamak istemesi ve şarjı kontrol etmek için akıllı şebeke protokollerini kullanmak istemesi vardır. Ayrıca şarj kablosu CHAdeMO'dan daha hafiftir ve kullanımı kolaydır. Ekim 2011'de, yedi otomobil üreticisinden oluşan bir konsorsiyum (Audi, BMW, Daimler, Ford, General Motors, Porsche ve Volkswagen) kombo şarj sistemine destek vermeyi kabul ettiğini açıklamıştır. Sistem ABD'de J1772 fişi ile uyumlu, Avrupa'da ise IEC 62196 Tip 2 fişini temel almaktadır. Bu yaklaşım aynı zamanda elektrikli aracın gelecekteki akıllı şebeke uygulamalarına entegrasyonunu da kolaylaştıracaktır (Mumcu, 2019).

Çizelge 4.1. Konnektör tipleri ve standartları (Çobanoğlu, 2020)

Konnektör Tipi	Konnektör Açıklaması	Konnektör Görseli
Tip 1/Yazaki (SAE J1772 ve IEC 62196-1 standartları) 	Bu, AA'da (aynı zamanda Kuzey Amerika ve AB ülkeleri tarafından kabul edilen) EA şarjı için standart Japon konnektörüdür. 'Opel Ampera' (önceki sürüm), 'Nissan Leaf', 'Nissan e-NV200', 'Mitsubishi Outlander', 'Mitsubishi Imiev', 'Peugeot iON', 'Citroën C-Zero', 'Renault Kangoo ZE' (tip 1), 'Ford Focus electric', 'Toyota Prius Plug-in' ve 'KIA SOUL' gibi elektrikli araç modellerini şarj etmek için kullanılabilir.	
Tip 2 (IEC 62196-2 standardı) 	Bu konnektör tipi, AB Komisyonu tarafından EA'ların normal (≥ 22 kW) şarjı için standart olarak atanır. Opel Ampera (güncel sürüm), 'BMW i3 ve i8', 'BYD E6', 'Renault Zoe', 'Volvo V60 fişli hibrit', 'VW Golf fişli hibrit', 'VW E-up', 'Audi A3 E-tron', 'Mercedes S500 fişli hibrit', 'Porsche Panamera' ve 'Renault Kangoo ZE' gibi EA modellerini şarj etmek için kullanılabilir.	

Çizelge 4.1. Konnektör tipleri ve standartları (Çobanoğlu, 2020) (devam)

Konnektör Tipi	Konnektör Açıklaması	Konnektör Görseli
Combined Charging System (CCS Combo 2) 	Bu konnektör, hızlı şarj için ek güç kontakları olan tip 2'nin geliştirilmiş versiyonudur. CCS AA ve DA ile uyumludur ve CCS, 2017'den beri Avrupa'da hızlı şarj için standarttır. 'Audi', 'BMW', 'Porsche' ve Volkswagen' gibi üreticiler bu tip konnektörlere sahiptir.	
Tip 4 / CHAdeMO 	CHAdeMO sadece DA ile çalışır ve hızlı şarj için kullanılabilir. 'Nissan Leaf', 'Nissan E-NV200', 'Mitsubishi Outlander', 'Mitsubishi iMiev', 'Peugeot iON', 'Citroën C-Zero' ve 'KIA SOUL' gibi elektrikli araç modellerini şarj etmek için kullanılabilir.	
Tesla Supercharger 	Sadece 'Tesla' için olan bu konnektör, tip 2 konnektörüyle aynı konfigürasyona sahiptir, ancak biraz modifiye edilmiştir, bu nedenle standart tip 2 prizine uymaz. Bununla birlikte, Avrupa'daki 'Tesla Model 3' bir CCS girişi ile donatılmıştır.	

4.2. Şarj İstasyon Tipleri

Şarj istasyon tipleri yavaş, normal, hızlı ve yeşil şarj istasyonları olarak dört başlık halinde açıklanmıştır.

4.2.1. Yavaş şarj istasyonları

Yavaş şarj istasyonlarında elektrikli araçlar düşük bir akım ile şarj edilmektedir. Evde kullanılan prizler ve hatları yavaş şarj işlemi için akla gelmektedir. Türkiye ve birçok ülkede

olduğu gibi genel standart 220V ve alınacak akım yaklaşık olarak 15 A civarındadır. Bu şartlar altında şarj işlemi tüm gece boyunca yapılmaktadır. Diğer şarj istasyon tiplerine göre erişimi en kolay olan yöntemdir.

4.2.2. Normal şarj istasyonları

Normal şarj istasyonları ise düşük şarj istasyonları aksine direk prize değil ayrıca bir şarj ünitesine ihtiyacı duyulmaktadır. Kullanılacak olan şarj ünitesi ile birlikte yaklaşık olarak 30 A ile 60 A arasında bir akım ile şarj işlemi yapılmaktadır. Çekilen akım nedeniyle uygun altyapının montajı yapılacak yerler olması gerekmektedir. Şarj süresi düşük şarj istasyonundan kısa da olsa 3 ile 6 saat arasında sürebilmektedir.

Normal şarj istasyonları genel itibariyle müstakil evlerde, sitelerin ve alışveriş merkezlerinin otoparklarında kullanılmaktadır.

4.2.3. Hızlı şarj istasyonları

Hızlı şarj istasyonları ise diğer şarj istasyonlarından daha yüksek akım ile elektrikli araçların batarya grubunu şarj etmektedir. Yaklaşık olarak 150 A ile 400 A arasında şarj istasyonu üzerinden akım verilmektedir. Yüksek akımlar ile şarj işlemi yapıldığı için 30 dakikadan daha az sürelerde şarj işlemi gerçekleşmektedir.

Hızlı şarj istasyonları daha çok kamusal alanlarda, otobanlarda ve dinlenme tesislerinde kullanılmaktadır.

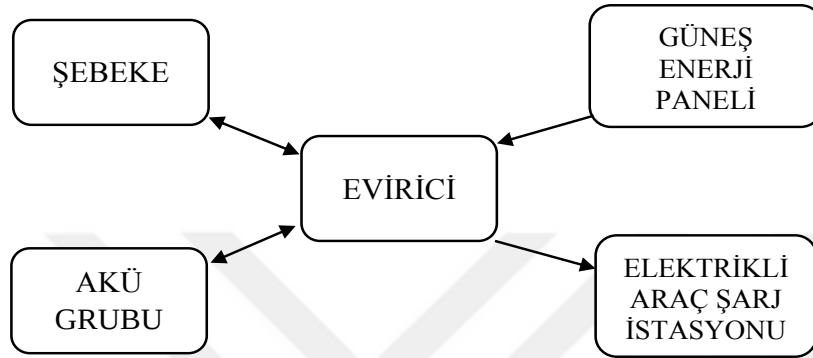
DC elektrikli araç hızlı şarj istasyonları elektrikli araç üzerinde bulunan çeviriciyi atlayarak direk olarak batarya grubuna yüksek güçte akım vermektedir. Bu sebeple yüksek hızlı şarj istasyonu olarak da adlandırılmaktadır.

4.2.4. Yeşil şarj istasyonları

Mevcut olarak şebekeden beslenen elektrikli araç şarj istasyonları konvansiyonel olarak üretilen elektrik enerjisini şebekeden sağlamaktadır. Bu nedenle bu şarj istasyonlarındaki kullanılan elektrik enerjisi üretiminde sera gazları salınımı yapılmaktadır. Yeşil şarj

istasyonlarında ise kullanılan elektrik enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş, rüzgâr enerjisi gibi enerji kaynaklarından üretilmektedir.

Şekil 4.1’de elektrikli araçlar için güneş enerjili şarj istasyonunun sistem şeması ve bileşenleri görülmektedir.



Şekil 4.1. Şebeke destekli güneş enerjili elektrikli araçlar için şarj istasyonu sistemi ve bileşenleri

Şebeke destekli güneş enerjili elektrikli araç şarj istasyonlarında güneş enerjisi panelleri üzerine düşen güneş ışınları sayesinde elektrik enerjisi üretilmektedir. Üretilen DC elektrik enerjisi evirici üzerinden elektrikli aracın şarj edilmesi için kullanılmaktadır. Yük yani elektrikli aracın şarj işlemi yapılmadığı zamanlarda akü grubunun doluluk oranı değerlendirilerek akü grubunun şarj işlemi gerçekleştirilmektedir. Akü dolu olması ve yükünde bulunmaması durumunda ise üretilen elektrik enerjisi sisteme şebekeye verilmektedir.

Şarj istasyonlarında üretilen elektrik enerjisi güneş ışınları ile doğrudan ilişkili olması nedeniyle güneş enerjisini azaldığı gece şartlarında elektrikli aracı şarj etmek için öncelikli olarak akü grubunda şarj işlemi gerçekleştirilmektedir. Akü grubunda da gerekli elektrik enerjisi bulunmaması halinde şebeke üzerinden elektrik enerjisi sağlanarak elektrikli araçlar şarj edilmektedir.

4.3. Türkiye’deki Elektrikli Araç Şarj İstasyonları Yönetmeliği

Uzun yıllar Türkiye’de elektrikli araçlar şarj istasyonları için kanuni bir altyapısı bulunmamak ile beraber 25 Aralık 2021 tarihinde 7346 sayılı kanun “Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” ile 6446 sayılı kanunda şarj istasyonları ile ilgili

düzenleme yapılarak kanuni bir zemine oturturulmuştur. Kanuni olarak yapılan son düzenleme neticesinde Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından 2 Nisan 2022 tarihinde “Şarj Hizmet Yönetmeliği” yayınlanmıştır. Bu aşamadan sonra yeni kurulacak ve var olan tüm şarj istasyonlarının kurulumu ve işletilmesi bu yönetmelik doğrultusunda yapılacaktır (Resmi gazete, 2022).

4.4. Dünyadaki Elektrik Araç ve Şarj İstasyonlarının Durumu

Dünya genelinde elektrikli araç ve şarj istasyonları sayıları ile artış oranları bu kısmın alt başlıklarında incelenmiştir.

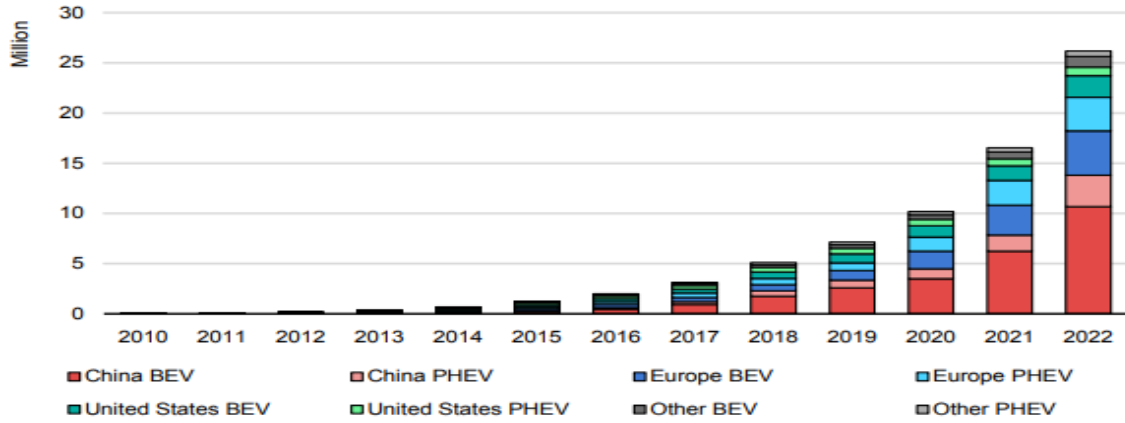
4.4.1. Dünyadaki elektrikli araç durumu

Dünya genelinde elektrikli araç sayısı 2020 yılında olduğu gibi Kovid-19 pandemisi, tedarik zincirindeki aksamalara ve çip krizine rağmen 2021 yılında da rekor kırmıştır. Öyle ki 2012 yılının tamamında satılan 120 000 adet araç 2021 yılında sadece bir hafta içerisinde satılmıştır (Iea, 2023).

2022 yılında bataryalı elektrikli araçlar (BEA) ile fişli hibrit elektrikli araçlar (FHEA) 2021 yılına göre %60 artışla 10 milyon elektrikli araç daha satılmıştır. 2022 yılında yaşanan bu artış ile birlikte dünya genelinde toplam elektrikli araç sayısı 26 milyonun üzerine çıkmıştır (Iea, 2023).

Dünya çapında diğer araç türleri içerisinde en büyük artışı elektrikli araçlar elde etmiştir. Satılan araçların büyük bir bölümünü Çin oluşturmaktadır. 2022 yılında 2021 yılına göre %60 oranın da artış göstererek 5,9 milyon elektrikli araç satışı yapılmıştır. Avrupa’da birkaç senelik durgunluktan sonra ise bir önceki senenin aynı dönemine göre %15 oranı olan 2,7 milyon olarak gerçekleşmiştir. Bu oranlar ile toplam satışların %85 lik kısmını Çin ve Avrupa oluşturmaktadır. Diğer %15 luk kısmı ise Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve diğer ülkeler oluşturmaktadır. ABD’de 2022 yılında bir önceki seneye göre %55 lik artış ile 800 000 satış yapılmıştır (Iea, 2023).

Toplam artışlar ile beraber Çin de toplam elektrikli araç sayısı yaklaşık olarak 13,8 milyona ulaşmıştır. Avrupa yaklaşık olarak 8 milyon ve ABD ise yaklaşık olarak 3 milyon elektrikli araç bulunmaktadır (Iea, 2023).



Şekil 4.2. 2010-2022 yıllarındaki elektrikli araç ülkelere göre değişimi (Iea, 2023)

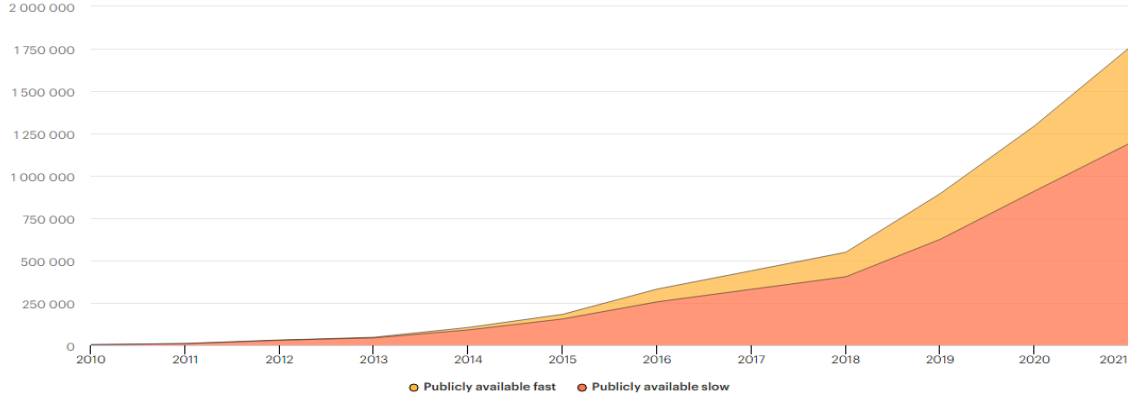
4.4.2. Dünyadaki elektrikli araç şarj istasyonu durumu

Dünya genelinde toplam şarj istasyon sayısı yaklaşık olarak 2,7 milyona ulaşmıştır. 2021 yılında yeni yaklaşık olarak 900 000 şarj istasyonu kurulumu yapılmıştır. Pandeminin etkisinden dolayı 2020 yılında %45 olarak gerçekleşen artış miktarı 2021 yılı için %37 ve 2022 yılında %55 olmuştur (Iea, 2023).

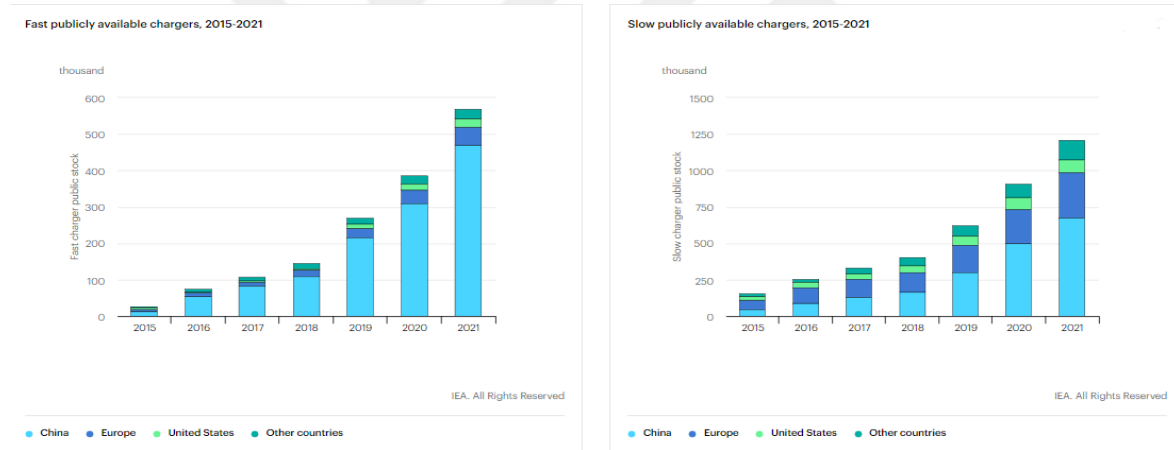
Çin şarj istasyonları sayısı bakımından dünya da lider konumundadır. Dünya üzerinde kurulu olan istasyonlar içinde hızlı şarj istasyonlarının %85'ine ve yavaş şarj istasyonlarının ise %50'ine sahiptir. Çin de 2022 yılı için kurulumu yapılan istasyonlar sonucunda halka açık yavaş şarj istasyonları yaklaşık olarak 360 000 olmuştur. Hızlı şarj ise yaklaşık %90 lık bir artış ile 760 000 olmuştur (Iea, 2023).

Avrupa şarj istasyonları sayısı olarak ikinci sırada gelmekte olup yeni kurulumlar sonucu diğer yıllara oranla %50 lik bir artış ile toplamda 460 000 üzerinde yavaş şarj istasyonu bulunmaktadır. Hızlı şarj istasyonları ise %55 lik bir artış ile yaklaşık olarak 70 000 olmuştur. ABD ise yavaş şarj istasyonu %9 luk bir artış gerçekleşmiştir. Hızlı şarj istasyonu olarak ABD'de 2022 yılında 6 300 adet kurulum yapılmıştır. Toplam olarak ABD'de 2022

yılı sonu itibariyle 28 000 şarj istasyonu vardır. Kore ise yavaş şarj istasyonlarını bir önceki yıla göre iki katına çıkararak 184 000 adet şarj istasyonuna sahiptir (Iea, 2023).



Şekil 4.3. 2010-2021 yıllarındaki dünya geneli şarj istasyonları değişimi (Iea, 2022)



Şekil 4.4. 2015-2021 yıllarındaki şarj istasyonlarının ülkelere göre değişimi (Iea, 2022)

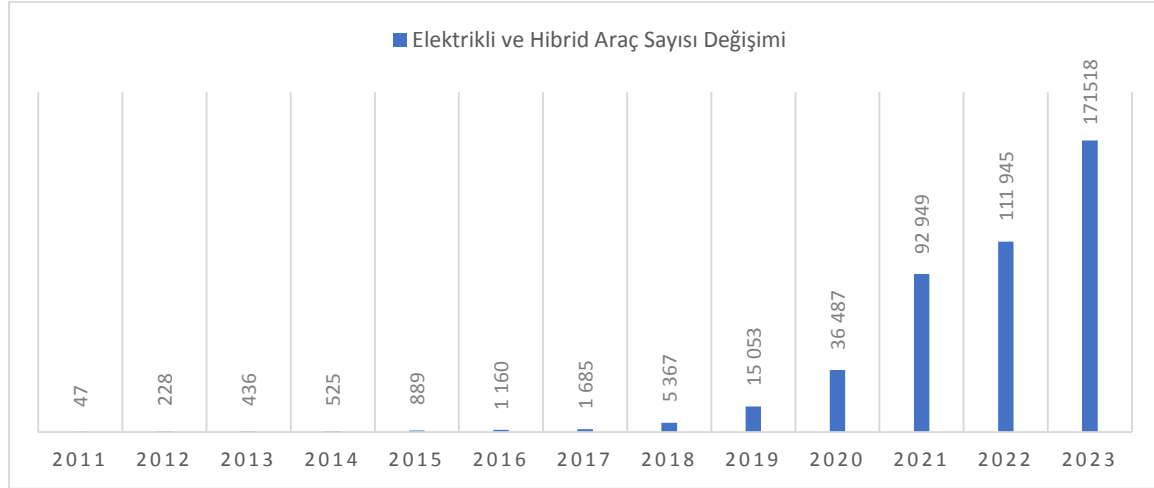
4.5. Türkiye'deki Elektrik Araç ve Şarj İstasyonlarının Durumu

Ülkemizde bulunan elektrikli araç ve şarj istasyonları sayısı bu kısımda detaylı olarak incelenmiştir.

4.5.1. Türkiye'deki elektrikli araç durumu

Türkiye'deki elektrikli ve hibrit araç sayısı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından her ay yayınlanan motorlu kara taşıtlarından toplam verilerine ulaşılmaktadır.

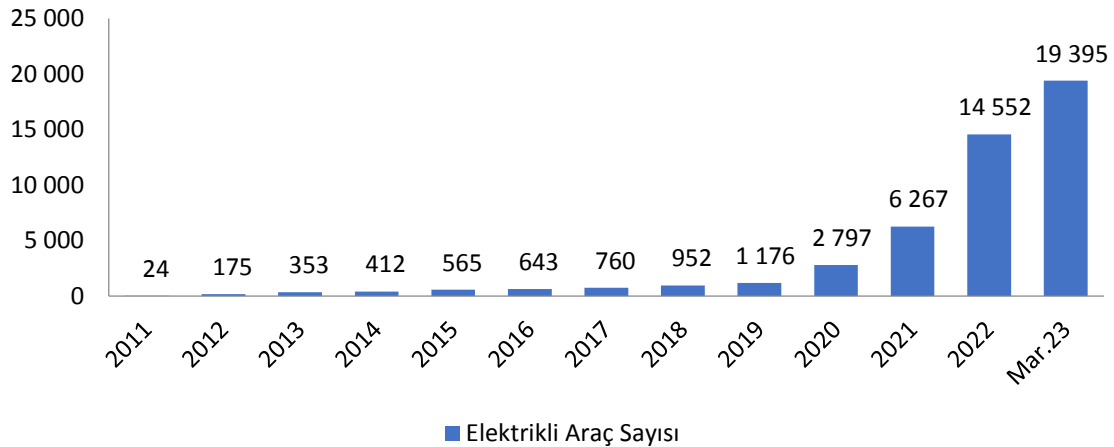
TÜİK verilerine göre ilk elektrikli ve hibrit araç Türkiye’de 2011 yılında tescili yapılmıştır. Gelineen noktada Mart 2023 tarihi itibariyle toplam sayı 171 518 adet olmuştur. Şekil 4.5’de 2011-2023 yılları arasında toplam olarak elektrikli ve hibrit araç değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.5. 2011-2023 yıllarındaki elektrikli ve hibrit araçların değişimi (TÜİK, 2023)

Türkiye’de bulunan elektrikli araçlar ile ilgili TÜİK tarafından yayınlanan motorlu kara taşıtları raporundan erişim sağlanmaktadır. 2022 yılı sonu itibariyle 2021 yılına göre satılan elektrikli araç sayısı %132 oranında artış gözlenmiştir. Mart 2023 tarihi itibariyle sadece elektrikli araç sayısı toplam 19 395 adet olarak tespit edilmiştir (TÜİK, 2023).

2011 yılında ilk olarak satılan elektrikli araçların yıllar içerisindeki değişimleri Şekil 4.6’da görülmektedir.



Şekil 4.6. 2011-2023 yılları içerisinde elektrikli araçların değişimi

Şu an için elektrikli araç sayısı toplam olarak 19 395 adet olsa da önümüzdeki senelerde bu sayının hızla artacağı özellikle yerli elektrikli aracımız Türkiye Otomobil Girişim Grubu (TOGG) ile birlikte 1-1,5 milyon adet elektrikli aracın yollar da olacağı öngörülmektedir.

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu "Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritası" raporuna göre 2023 yılında elektrikli araç pazar payının %7,5 hedefiyle elektrikli araç stoğunu 110 bin, 2025 yılı için pazar payını %10 hedefiyle elektrikli araç sayısını 402 bine ve 2030 yılında ise elektrikli araçların pazar payını %35 hedefiyle 2,5 milyon adet elektrikli araç stoğuna ulaşmayı hedeflemektedir (Sanayi ve teknoloji bakanlığı, 2022).

4.5.2. Türkiye'deki elektrikli araç şarj istasyonu durumu

Türkiye'de EPDK tarafından şarj istasyonlarının sayısı ve konumlarının belirlenmesi için yayınlanan yönetmelik ile beraber "Serbest Erişim Platformu" kurularak lisans alan şirketlerin şarj istasyon noktalarını paylaşmaktadır. Telefon üzerinden Şarj@TR uygulaması ile kullanıcılar telefonlarına uygulamayı kurarak bulunulan noktaya en yakın şarj istasyonuna kolaylıkla ulaşmaktadır.

Elektrikli araç şarj istasyonlarının verisini Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın 2022 yılında yayınlamış olduğu "Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritası" raporundan elde edilmiştir.

2022 yılında paylaşılan Türkiye elektrikli araç şarj istasyonları haritası Şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.7. Türkiye elektrikli araç şarj istasyonları haritası (Sanayi ve teknoloji bakanlığı, 2022).

Harita üzerinde yeşil ile gösterilmiş şarj istasyonları AC ve turuncu ile gösterilen şarj istasyonları ise DC şarj istasyonlarını göstermektedir. Toplam soket sayısı 3 886 adettir ve bunların 260 tanesi DC, 3 626 adedi ise AC soket olarak ayrılmaktadır. Aynı şekilde toplam şarj gücü, AC 75 428 kW ve DC 10 230 kW olmak üzere 85 MW gücün üzerindedir (Sanayi ve teknoloji bakanlığı, 2022).

Yayınlanmış olan raporda 2023 yılı sonu itibari ile kamuya açık şarj soketi sayısını %21'i DC soket olmak kaydı ile 18 bin şarj soketine ulaşmayı, 2025 yılı için %30' u DC olmak üzere 53 bin şarj soketine ulaşmayı ve 2030 yılı itibariyle %35'i DC olmak üzere 251 bin soketine ulaşmayı hedeflenmektedir (Sanayi ve teknoloji bakanlığı, 2022).

2023 yılında yeni kurulan şarj istasyonları ile birlikte elektrikli araç şarj istasyon sayısı 4498 adet olmuştur. Kurulmuş olan şarj istasyonlarının 898 hızlı şarj istasyonu ve 3600 yavaş şarj istasyonudur. Elektrikli araç piyasası gelişmekte olmasından kaynaklı olarak şarj istasyon sayıları da sürekli artmaktadır.

Türkiye'de elektrikli araçlar için şarj hizmeti sağlayan firma sayısı 124 adet olmuştur. Başlıca lisans alan şarj ağı firmaları ise; Eşarj, Sharz.net, ZES, Voltrun, Gersan-G_charge, Tesla Supercharger, Trugo ve Kalyon EV yer almaktadır.

4.5.3. Elektrikli araç şarj istasyonu hibe programı

Elektrikli araç sayısının hızlı bir şekilde artmasını göz önünde bulunduran Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı tarafından Türkiye de elektrikli araç şarj altyapısını artırmak için bir hibe programı açıklamıştır.

Hibe programı kapsamında Mayıs 2022 ile Nisan 2023 arasındaki tarihleri kapsayacak şekilde en az 90 kW güce sahip DC hızlı şarj istasyonları için destekleme yapılacaktır. Toplamda 1 572 adet DC şarj istasyonu yatırımı yapılması planlanmaktadır. Yapılacak olan şarj istasyonları tüm bölgelere homojen olacak şekilde dağıtılmıştır (Tehad, 2022).

Yapılması planlanan program neticesinde şu an için toplam elektrikli araç şarj kapasitesi 85 MW ın üzerinde bir güce sahipken program haricinde hiç ünite kurulmasa bile 230 MW gücün üzerine çıkacaktır (Tehad, 2022).

Ayrıca bu hibe programı ile trafo şebeke altyapısını da güçlendirmeyi hedeflenmektedir. Bu şekilde 2022 yılı sonu itibariyle yerli elektrikli aracımızın yollara çıkmasıyla şarj istasyonu ve şebeke altyapısındaki büyük problemlerin önüne geçilmiş olacaktır.

4.5.4. Şebeke destekli güneş enerjili elektrikli araç şarj istasyonları durumu

Elektrikli araçlar için ülkemizde kurulmuş olan şarj istasyonları sayılı olan birkaç girişim haricinde maalesef direk şebeke üzerinden beslenen elektrikli araç şarj istasyonlarıdır.

Bu örneklerden bahsetmek gerekirse 2019 yılında yapılan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) kampüsünde Güneş Enerjisi Yatırımcıları Derneği (GÜYAD) tarafından güneş enerjisi ile bütünleşik hızlı ve yavaş dolum özellikli iki araçlık şarj istasyonu kurulmuştur (Güyad, 2022).



Resim 4.1. YEGM kampüsünde bulunan şarj istasyonu (Güyad, 2022)

Kalyon EV şirketi tarafından EPDK binasına hızlı şarj özellikli güneş enerjili şarj istasyon kurulumu yapılmıştır.



Resim 4.2. Kalyon EV tarafından EPDK binasında yapılan şarj istasyonu (Kalyon EV, 2022)

Gersan firmasının elektrikli araçların şarj hizmet kolu olan G-Charge tarafından ürünleri arasına kattığı “Solar-Batarya Destekli Elektrikli Araç Şarj İstasyonu/Tesis”i şuan için kurulmuş olmamakla beraber elektrikli araçların yaygınlaşması ile beraber bu şekilde tesislerin yaygınlaşacaktır.



Resim 4.3. G-Charge firmasının solar-batarya destekli elektrikli araç şarj istasyonu/tesisi (G-charge, 2022)

Yine Kalyon EV firması tarafından kurulumu yapılan İstanbul Kuzey Marmara Otoyolunda 2 adet 200 kW ve 2 adet de 50 kW gücünde 4 adet elektrikli aracın şarj olabileceği bir istasyondur (Tehad, 2021).



Resim 4.4. Kalyon EV tarafından kurulumu yapılan kuzey marmara otoyolu şarj istasyonu (Tehad, 2021)



Resim 4.5. Kalyon EV tarafından kurulumu yapılan kuzey marmara otoyolu şarj istasyonu (Tehad, 2021)

5. GÜNEŞ ENERJİLİ ŞARJ İSTASYONU OPTİMİZASYONU

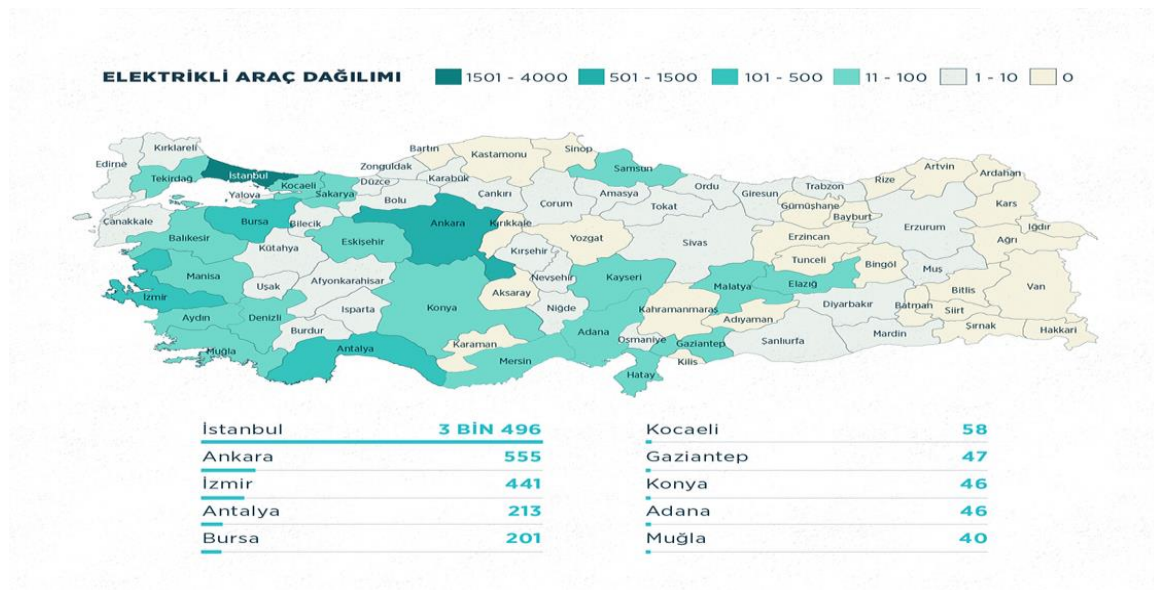
Güneş enerjili şarj istasyonu için optimum maliyetin ve karbon emisyonun azaltılması için bu bölümde kabuller yapılarak çok amaçlı optimizasyon çalışması yapılacaktır.

Ülkemizde ve dünyada hızla elektrikli araç sayısı artmaktadır. Paylaşılan veriler ışığında elektrikli araçların artması ve bunun paralelinde şarj istasyon sayısının da artması gerekmektedir. 2050 yılı sıfır karbon emisyonunu sağlanabilmesi adına ise araçların elektrikli olmasıyla beraber kurulumu yapılacak şarj istasyonlarının mutlak surette güneş enerjisi başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin kullanılması gerekmektedir.

Optimizasyon sürecine başlarken 50 kW DC bir şarj istasyonu üzerinde çalışma yapılacaktır. Aynı şekilde ülkemiz tam elektrikli araç olarak satışı en fazla olan Renault markasının ZOE modeli üzerinden güneş enerjili şarj istasyonu için batarya kapasitesi hesabı yapılacaktır.

5.1. Güneş Enerjili Şarj İstasyonu Özellikleri

İstasyon gücü DC 50 kW ve aynı anda iki aracı şarj edilecek şekilde iki soketi olacaktır. Şarj istasyonumuzun konumunu Şekil 5.1’de görüldüğü üzere İstanbul’da en fazla elektrikli araca sahip olması nedeniyle İstanbul olarak seçilmiştir.



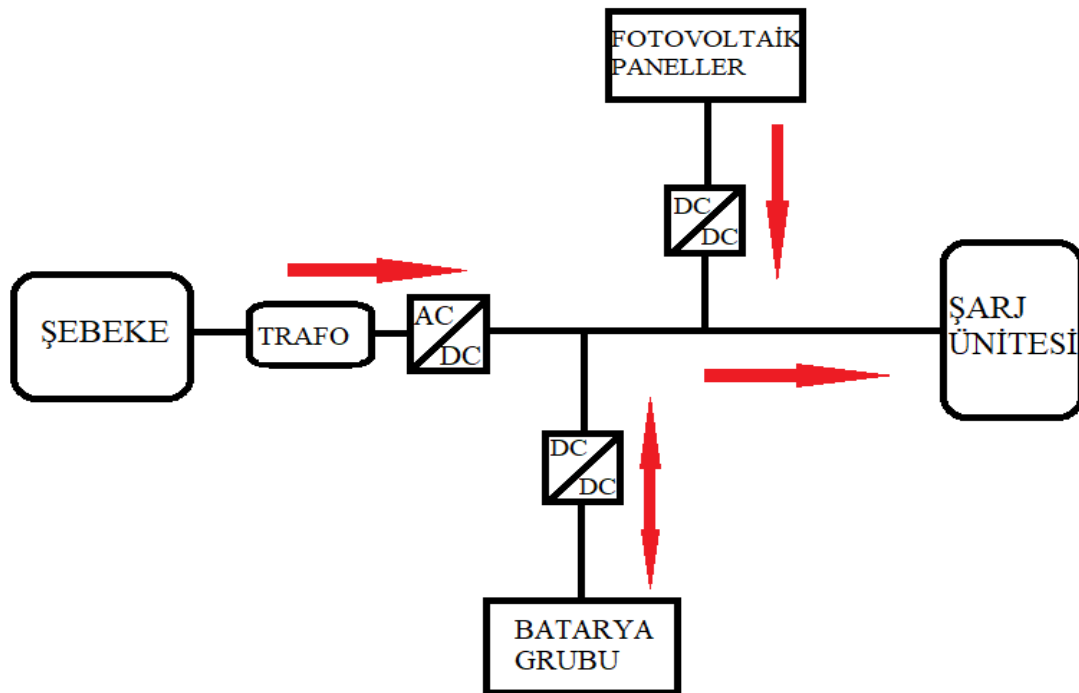
Şekil 5.1. Elektrikli araç Türkiye dağılımı (Anadolu ajansı, 2023)

Güneş enerjili şarj istasyonumuz şebeke destekli olacak olup güneş enerji panelleri ile öncelikli olarak enerjisini sağlayacaktır. Güneşe enerjisinden üretilen elektrik şarj ünitesi sayesinde elektrikli araca direk olarak aracı şarj edecektir. İstasyon ayın zamanda batarya depolama sistemi olacak olup batarya sisteminin doldurulması konusunda iki durum üzerinde çalışma yapılacaktır.

Batarya depolama sisteminin tekrar şarj edilmesi konusunda;

1. Batarya depolama sistemi sadece güneş enerji üzerinden beslenecektir. Güneş enerjisinin olmaması durumunda güneş enerjisinden enerji sağlanıncaya kadar depolama işlemi yapılmayacaktır.
2. Batarya depolama sistemi güneş enerjisi sistemi üzerinden öncelikli olarak dolumu yapılacaktır. Güneş enerjisinin yetersiz olması durumunda ise şebeke üzerinden tekrar şarj edilme işlemi yapılacaktır.

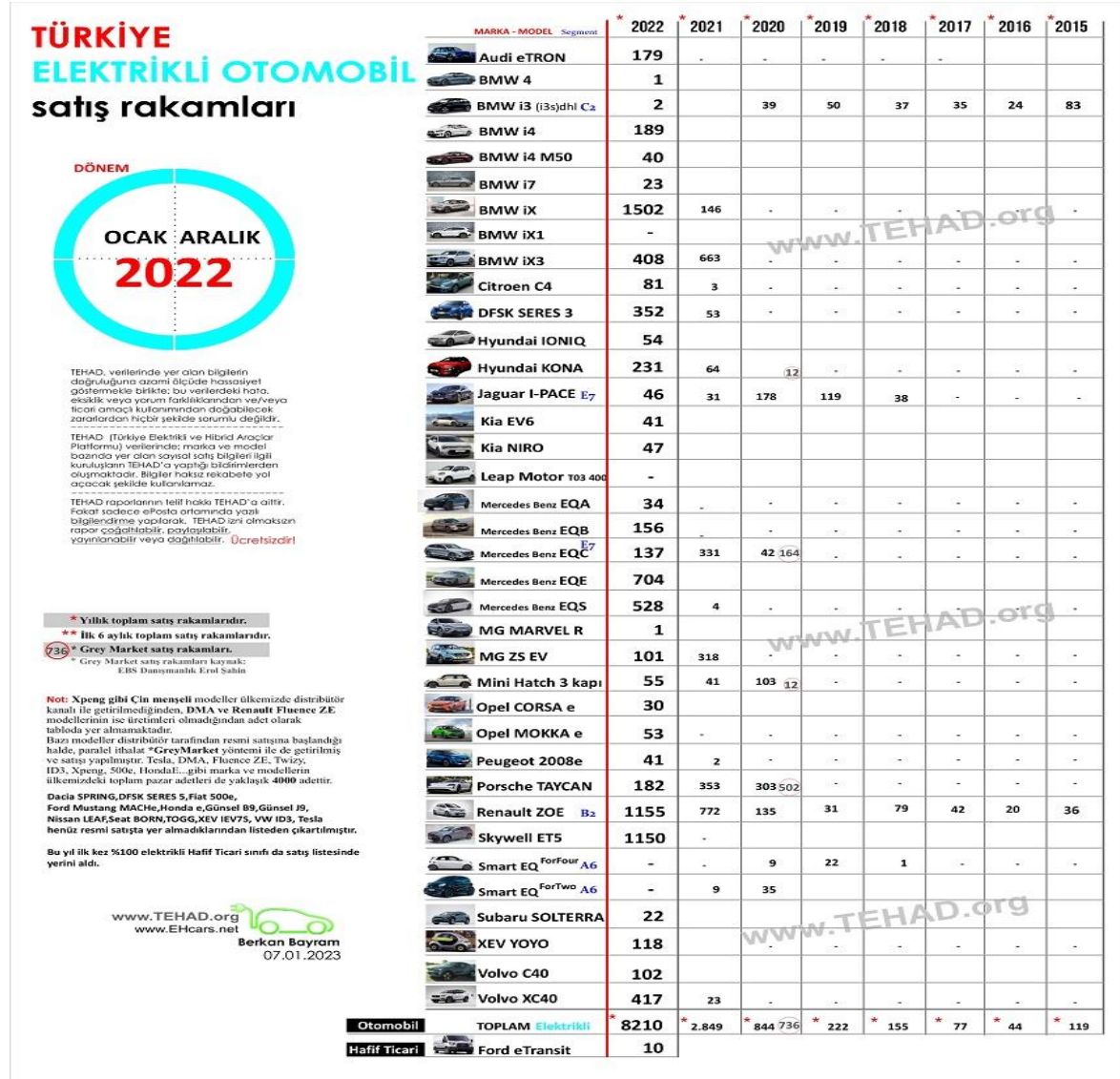
Güneş enerjili elektrikli araç şarj istasyonumuzun çalışma prensibi Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Güneş enerjili elektrikli araç şarj istasyonu çalışma prensibi

5.2. Elektrikli Araç Teknik Özellikleri

Türkiye’de tam elektrikli araçlar olarak çeşitli markalar mevcuttur. Fakat çalışmamız için gelir durumu, ortalama alınacak mesafe, genel şartlar ve Şekil 5.3’de görülen satış rakamları üzerinden çalışmamızda temel alınacak tam elektrikli araç Renault ZOE olacaktır.



Şekil 5.3. Türkiye elektrikli araç marka satışları yıllara göre (Tehad, 2023)

Çizelge 5.1. Renault zoe teknik özellikleri (Renault, 2023)

Yakıt Tipi	Maksimum Güç(kW/bg)	Menzil (km)	Batarya gücü (kWh)	CO2 Emisyonu (g/km)
Elektrik	80/108	395	52	0

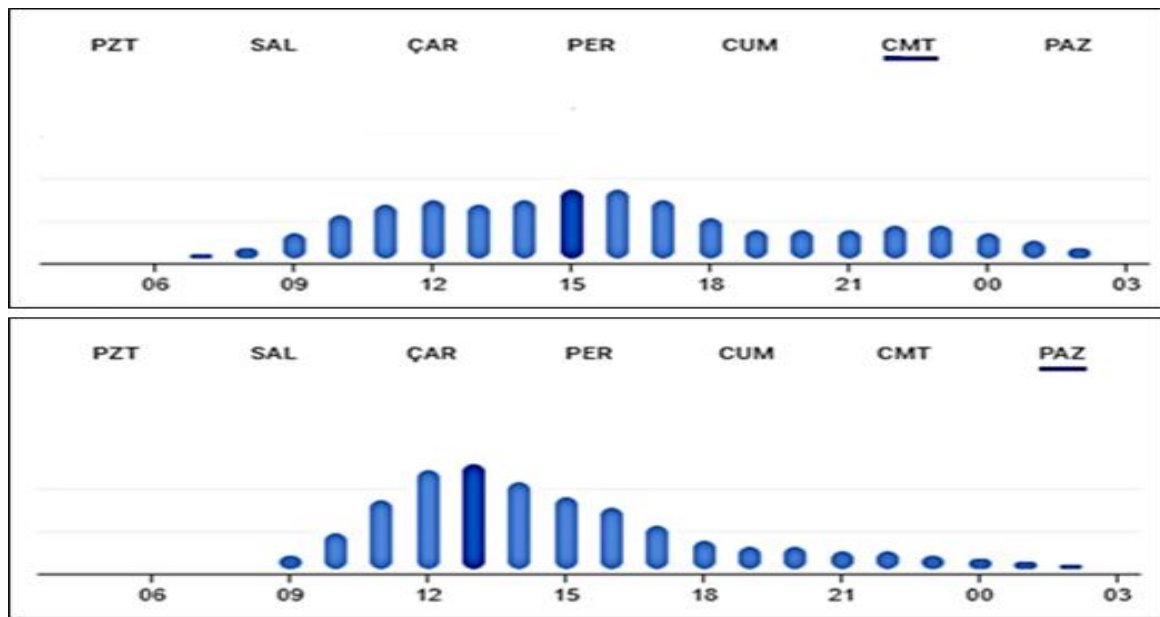
Çizelge 5.1’de görüldüğü üzere aracımızın batarya kapasitesi 52 kWh olarak görülmektedir. Yapılacak olan hesaplamalar bu batarya kapasitesi üzerinden yapılacaktır.

5.3. Şarj istasyonu Kullanım İstatistikleri

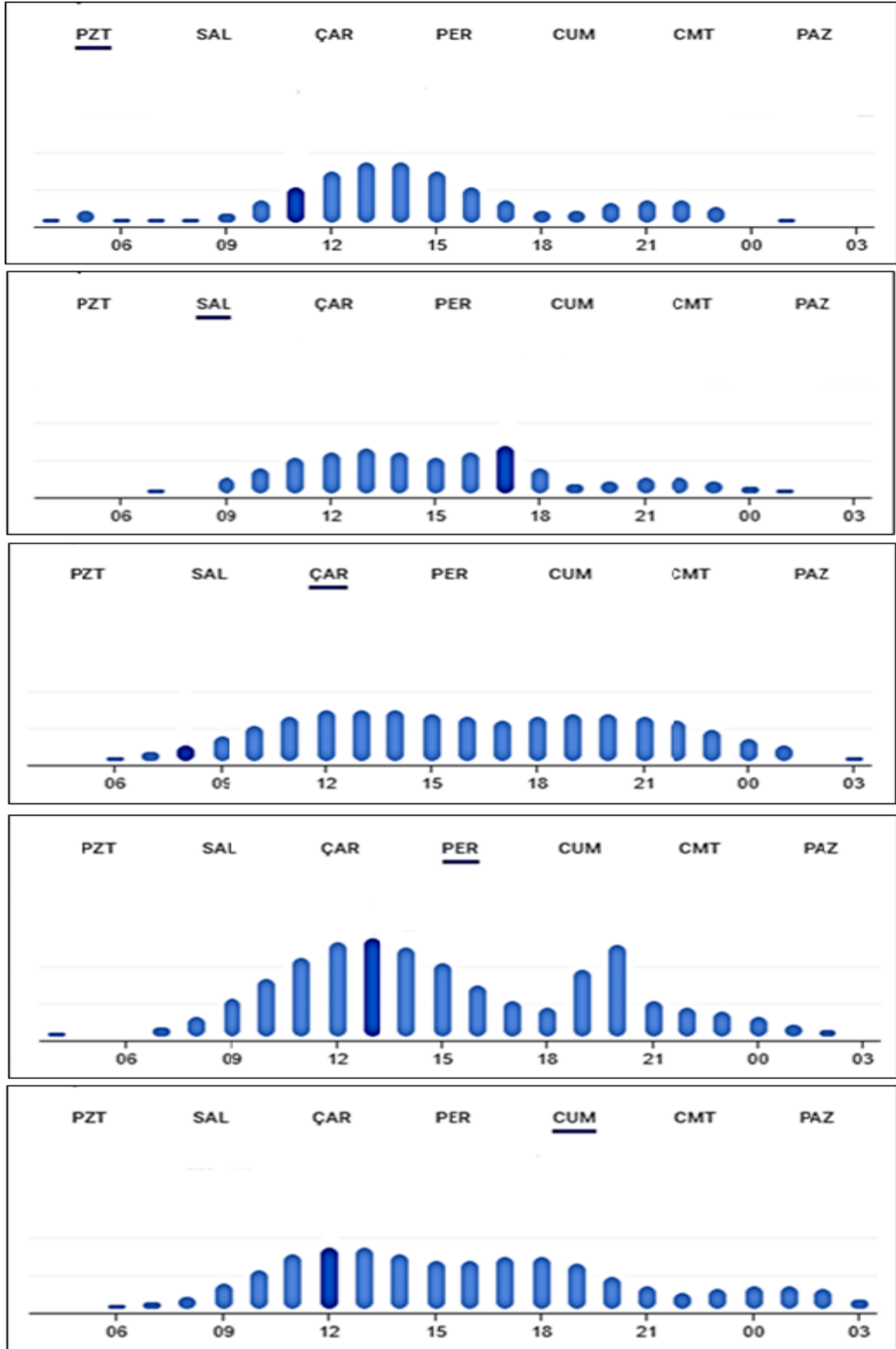
Şarj istasyonunun genel özellikleri ile çalışma konusunda optimizasyon yapılacak araç batarya gücü seçiminin ardından şarj istasyonunu günün hangi saat dilimlerinde kullanıldığı ve bu saat dilimleri içerisinde istasyonu kullanan araç sayısının bilinmesi önemlidir.

Şarj istasyonlarının kullanımı için Türkiye’deki şarj ağı işletmeleri ile yapılan görüşmelerde herhangi bir veri paylaşımı yapılmamıştır. Bu konu da yapılan araştırmalar sonucu şarj istasyonlarının kullanımı olasılıksal olarak değiştiği görülmüştür. Şarj istasyonu için günlük, hafta içi ve hafta sonu olarak kullanım grafiğine ulaşmak için olasılık hesabının yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

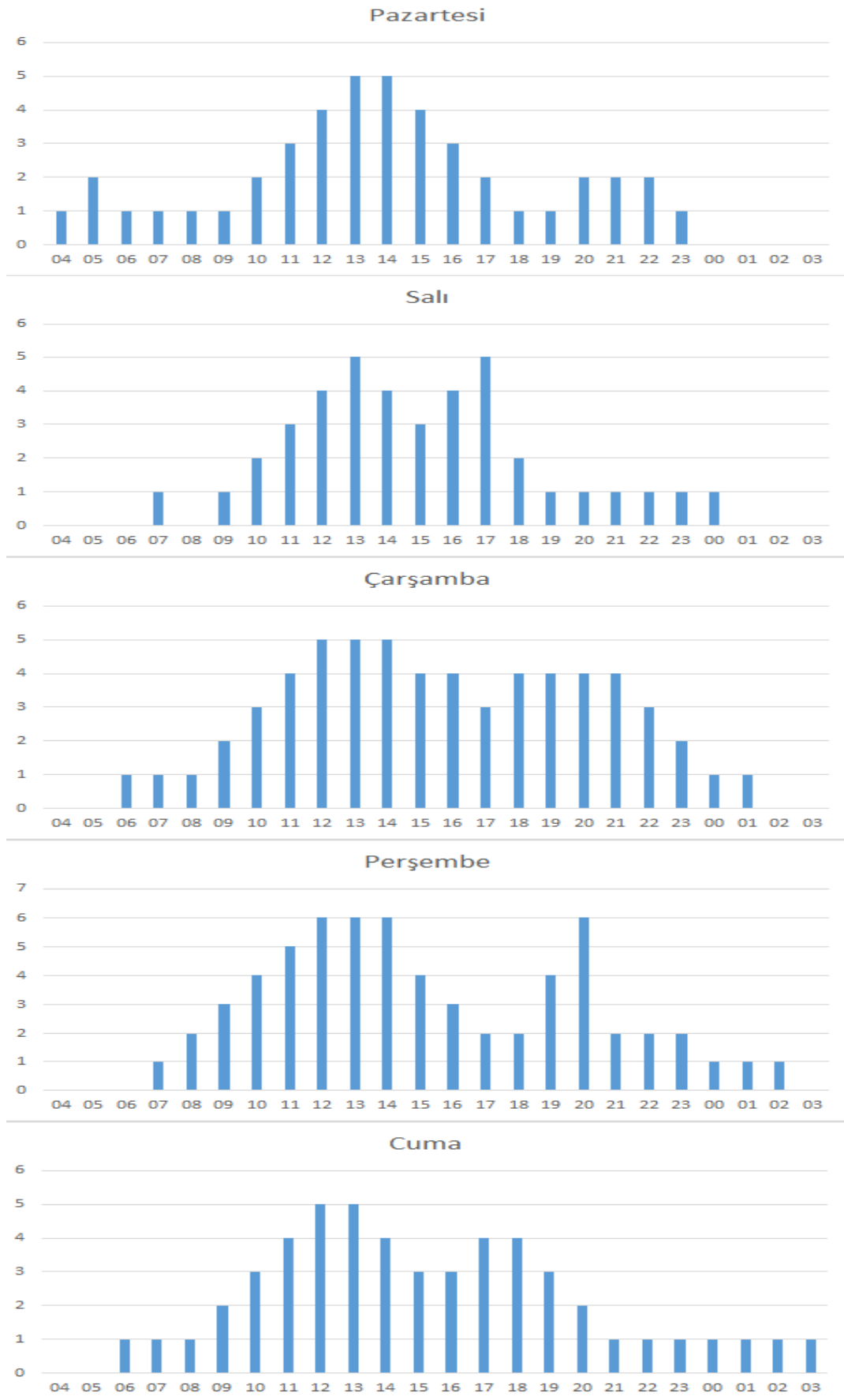
Türkiye için en fazla elektrikli aracın İstanbul ilinde olduğu bilgisi üzerinden hareket ile İstanbul ili için Google popüler saatler grafiği üzerinden bir şarj istasyonu kullanma grafiğinin oluşturulabileceği görülmüştür. Bu nedenle İstanbul ilinde bir elektrikli araç şarj istasyonu popüler saatler grafiğine erişim sağlanmıştır. Popüler saatler grafiği alınarak hafta içi ve hafta sonu olarak kullanım miktarları grafiği modellenmiştir.



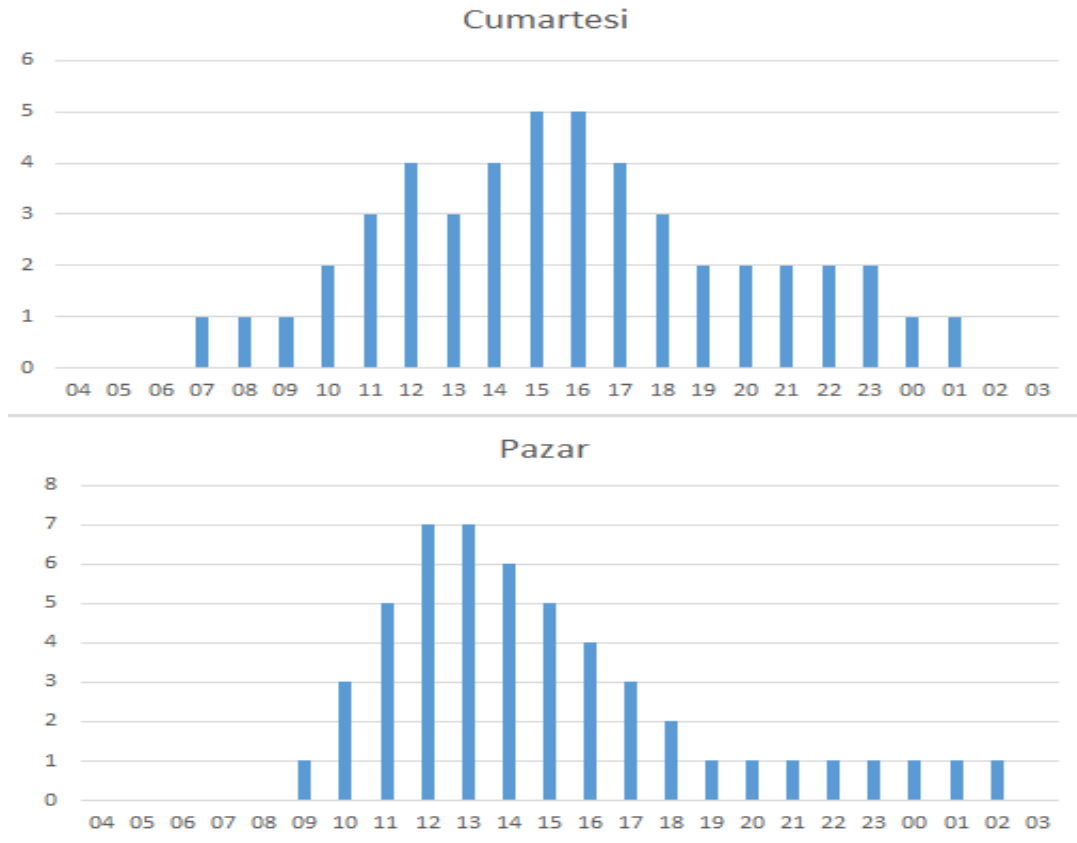
Şekil 5.4. Hafta sonu popülerlik grafiği (Google, 2022)



Şekil 5.5. Hafta içi popülerlik grafiği (Google, 2022)



Şekil 5.6. Hafta içi popülerlik grafiğinin modellenmesi



Şekil 5.7. Hafta sonu popülerlik grafiğinin modellenmesi

Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de görülen bir istasyondan alınan veriler ile modelleme sonucundaki veriler hafta içi sabah 07:00 ve 08:00 saatleri ile şarj işlemlerinin başladığı öğle saatlerinde şarj işleminin en tepe noktaya ulaştığı ve azalarak gece saatlerinde şarj işlemlerinin yapıldığı görülmüştür.

Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de görüldüğü gibi hafta sonu ise şarj işlemi daha geç saatlerde olduğu ve tepe noktanın 13:00 ile 14:00 gibi olduğu gece saatlerinde azalsa da şarj işleminin yapıldığı görülmüştür.

Modelleme üzerindeki veriler kullanılarak şarj istasyonu için talep miktarını ve dağılımları tespit etmek için beş farklı yöntem uygulanmıştır. Uygulanan yöntemler Monte Carlo simülasyonu ile zaman serisi analiz yöntemlerinden hareketli ortalama yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi, üstel düzeltme yöntemi ve trend analizi yöntemi elde edilen verilere uygulanmıştır.

5.3.1. Monte Carlo simülasyonu

Hazırlanan veriler Çizelge 5.2’de verilmiştir. Burada hafta içi ve hafta sonu olarak kullanılan yöntemler ayrı ayrı olarak uygulanmıştır.

Çizelge 5.2. Modelleme verileri

GÜN/ SAAT	HAFTA İÇİ					HAFTA SONU	
	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
04:00	1	0	0	0	0	0	0
05:00	2	0	0	0	0	0	0
06:00	1	0	1	0	1	0	0
07:00	1	1	1	1	1	1	0
08:00	1	0	1	2	1	1	0
09:00	1	1	2	3	2	1	1
10:00	2	2	3	4	3	2	3
11:00	3	3	4	5	4	3	5
12:00	4	4	5	6	5	4	7
13:00	5	5	5	6	5	3	7
14:00	5	4	5	6	4	4	6
15:00	4	3	4	4	3	5	5
16:00	3	4	4	3	3	5	4
17:00	2	5	3	2	4	4	3
18:00	1	2	4	2	4	3	2
19:00	1	1	4	4	3	2	1
20:00	2	1	4	6	2	2	1
21:00	2	1	4	2	1	2	1
22:00	2	1	3	2	1	2	1
23:00	1	1	2	2	1	2	1
00:00	0	1	1	1	1	1	1
01:00	0	0	1	1	1	1	1
02:00	0	0	0	1	1	0	1
03:00	0	0	0	0	1	0	0

İlk olarak Microsoft Excel programı üzerinden Monte Carlo simülasyonu uygulanmıştır. Hafta içi için ilk önce veriler içerisinde talep miktarı olan gelen araç sayılarını tablo içerisinde araştırarak kaç kez tekrarlandığı bulunulmuştur. Gelen araç sayı verileri sıklıkları yani frekansları bulunulması ardından simülasyonun yapılabilmesi için araç sayılarına göre

olasılıkları hesaplanmıştır. Olasılıklarının hesaplanmış sonucunda kümülatif toplamlarının yapılarak simülasyon için verilecek olan rastgele sayı aralıkları tespit edilmiştir. Hazırlanan tablo Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Monte Carlo simülasyonu için değer aralığı tablosu

GELEN ARAÇ SAYISI	FREKANS	OLASILIK	KÜMÜLATİF TOPLAM	RASTGELE SAYI ARALIĞI
0	21	0,17500	0,17500	0-17
1	35	0,29167	0,46667	18-46
2	18	0,15000	0,61667	47-61
3	13	0,10833	0,72500	62-72
4	19	0,15833	0,88333	73-88
5	10	0,08333	0,96667	89-96
6	4	0,03333	1,0000	97-100

Tablonun hazırlanmasından sonra bir gün içerisindeki saat sayısı kadar 24 adet rastgele sayılar üretilmiştir. Rastgele üretilen sayılar hafta içi olan günler içinde tekrarlanmıştır. Çizelge 5.4’de oluşturulmuş olan hafta içindeki günler için üretilen rastgele sayılar gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Hafta içi günleri ve saatleri için üretilmiş olan rastgele sayılar tablosu

SAAT ARALIĞI	PAZARTESİ	SALI	ÇARŞAMBA	PERŞEMBE	CUMA
04:00	0,54636	0,55406	0,51431	0,95338	0,31092
05:00	0,60363	0,75430	0,20437	0,49915	0,18680
06:00	0,82898	0,14413	0,22470	0,52536	0,93443
07:00	0,95692	0,35758	0,48846	0,98790	0,08179
08:00	0,16228	0,62001	0,91199	0,78921	0,85215
09:00	0,56524	0,41782	0,36126	0,69600	0,88938
10:00	0,89287	0,95990	0,42003	0,35550	0,14002
11:00	0,71188	0,29012	0,64064	0,03751	0,75833
12:00	0,13234	0,17053	0,19935	0,19619	0,93145
13:00	0,46444	0,03056	0,35904	0,08075	0,85483
14:00	0,63421	0,38265	0,12753	0,46760	0,28394
15:00	0,01273	0,26778	0,03522	0,04159	0,41656
16:00	0,55344	0,37995	0,50632	0,87941	0,56855
17:00	0,71139	0,72496	0,51319	0,85572	0,86402
18:00	0,26578	0,05119	0,74462	0,95596	0,96511
19:00	0,52551	0,56350	0,92831	0,64276	0,04767
20:00	0,93650	0,90953	0,39225	0,40135	0,89396
21:00	0,13031	0,49186	0,79350	0,17766	0,98579
22:00	0,92204	0,43223	0,87255	0,23212	0,77591
23:00	0,05398	0,88878	0,16092	0,57181	0,63383
00:00	0,92779	0,88731	0,47814	0,22655	0,67155
01:00	0,08101	0,11348	0,35745	0,69392	0,57083
02:00	0,03605	0,69351	0,40935	0,43175	0,12222
03:00	0,15797	0,57080	0,77577	0,04764	0,49729

Bu adımın ardından Çizelge 5.4 üzerindeki rastgele sayılara karşılık gelen değerler çağırılmıştır. Çağrılan değerlerin karşılığına gelen değer hafta içi günlerine ve saatlere dağıtılmış olarak Çizelge 5.5 oluşturulmuştur.

Çizelge 5.5. Rastgele sayı karşılıklarına gelen değerler tablosu

SAAT ARALIĞI	PAZARTESİ	SALI	ÇARŞAMBA	PERŞEMBE	CUMA
04:00	2	2	2	5	1
05:00	2	4	1	2	1
06:00	4	0	1	2	5
07:00	5	1	2	6	0
08:00	0	3	5	4	4
09:00	2	1	1	3	4
10:00	5	5	1	1	0
11:00	3	1	3	0	4
12:00	0	0	1	1	5
13:00	1	0	1	0	4
14:00	3	1	0	1	1
15:00	0	1	0	0	1
16:00	2	1	2	4	2
17:00	3	3	2	4	4
18:00	1	0	4	5	5
19:00	2	2	5	3	0
20:00	5	5	1	1	5
21:00	0	2	4	1	6
22:00	5	1	4	1	4
23:00	0	4	0	2	3
00:00	5	4	2	1	3
01:00	0	0	1	3	2
02:00	0	3	1	1	0
03:00	0	2	4	0	2

Değerlerin çağırılmasının ardından elde edilen sayıların ortalaması alınarak istediğimiz hafta içi simülasyon sonucu olarak gelen araç sayısı elde edilmiştir. Elde edilen nihai tablo Çizelge 5.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Monte Carlo simülasyonu sonuç tablosu

SAAT ARALIĞI	PAZARTESİ	SALI	ÇARŞAMBA	PERŞEMBE	CUMA	ORTALAMA
04:00	2	2	2	5	1	2
05:00	2	4	1	2	1	2
06:00	4	0	1	2	5	2
07:00	5	1	2	6	0	3
08:00	0	3	5	4	4	3
09:00	2	1	1	3	4	2
10:00	5	5	1	1	0	2
11:00	3	1	3	0	4	2
12:00	0	0	1	1	5	1
13:00	1	0	1	0	4	1
14:00	3	1	0	1	1	1
15:00	0	1	0	0	1	0
16:00	2	1	2	4	2	2
17:00	3	3	2	4	4	3
18:00	1	0	4	5	5	3
19:00	2	2	5	3	0	2
20:00	5	5	1	1	5	3
21:00	0	2	4	1	6	3
22:00	5	1	4	1	4	3
23:00	0	4	0	2	3	2
00:00	5	4	2	1	3	3
01:00	0	0	1	3	2	1
02:00	0	3	1	1	0	1
03:00	0	2	4	0	2	2

Hafta sonu için yukarıdaki izlenen adımlar uygulanmıştır. Hafta sonu için Monte Carlo simülasyonu adımları ve sonuçları Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Hafta sonu için Monte Carlo simülasyonu adımları ve sonuçları

GELEN ARAÇ SAYISI	FREKANS	OLASILIK	RASTGELE SAYI ARALIKLARI		DEĞER	SAAT ARALIĞI	CUMARTESİ	PAZAR	CUMARTESİ	PAZAR	ORTALAMA
0	9	0,19565	0,000	0,196	0	04:00	0,31065	0,21089	1	1	1
1	14	0,30435	0,197	0,501	1	05:00	0,05374	0,81070	0	4	2
2	7	0,15217	0,502	0,654	2	06:00	0,02872	0,60448	0	2	1
3	5	0,10870	0,655	0,763	3	07:00	0,10082	0,35363	0	1	1
4	4	0,08696	0,764	0,851	4	08:00	0,35810	0,48320	1	2	2
5	4	0,08696	0,852	0,939	5	09:00	0,19398	0,76209	1	4	3
6	1	0,02174	0,940	0,961	6	10:00	0,68506	0,66724	3	3	3
7	2	0,04348	0,962	1,000	7	11:00	0,89383	0,10470	5	0	3
						12:00	0,83696	0,57437	4	2	3
						13:00	0,58967	0,63343	2	3	3
						14:00	0,05329	0,15492	0	0	0
						15:00	0,59144	0,43629	2	1	2
						16:00	0,69821	0,92482	3	5	4
						17:00	0,45070	0,01734	1	0	1
						18:00	0,25784	0,08847	1	0	1
						19:00	0,15196	0,69979	0	3	2
						20:00	0,71630	0,19905	3	1	2
						21:00	0,46695	0,09542	1	0	1
						22:00	0,42572	0,46264	1	1	1
						23:00	0,16194	0,93215	0	5	3
						00:00	0,46476	0,62669	1	3	2
						01:00	0,13350	0,20179	0	1	1
						02:00	0,81744	0,26795	4	1	3
						03:00	0,37687	0,75983	1	4	3

5.3.2. Hareketli ortalama yöntemi

Hareketli ortalama yönteminde tespit edilecek saatin öncesindeki dört saat için ortalamaları alınıp Eşitlik 5.1 kullanılarak oluşturulmuştur.

$$Hareketli\ Ortalama = \frac{\text{Önceki } n \text{ Saatte Bulanan } \sum \text{Araç Sayısı}}{n} \quad (5.1)$$

Bu kısımdaki kullanılacak veriler modelleme sonucu oluşturulan Çizelge 5.2 ortalaması alınarak hafta içi ve hafta sonu için değerler elde edilmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8. Zaman serisi analiz yöntemi için kullanılacak veriler tablosu

GÜN/ SAAT	HAFTA İÇİ						HAFTA SONU		
	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Ortalama	Cumartesi	Pazar	Ortalama
04:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00	1	0	1	0	1	1	0	0	1
07:00	1	1	1	1	1	1	1	0	1
08:00	1	0	1	2	1	1	1	0	1
09:00	1	1	2	3	2	2	1	1	2
10:00	2	2	3	4	3	3	2	3	3
11:00	3	3	4	5	4	4	3	5	4
12:00	4	4	5	6	5	5	4	7	5
13:00	5	5	5	6	5	5	3	7	4
14:00	5	4	5	6	4	5	4	6	5
15:00	4	3	4	4	3	4	5	5	5
16:00	3	4	4	3	3	3	5	4	4
17:00	2	5	3	2	4	3	4	3	4
18:00	1	2	4	2	4	3	3	2	3
19:00	1	1	4	4	3	3	2	1	3
20:00	2	1	4	6	2	3	2	1	3
21:00	2	1	4	2	1	2	2	1	2
22:00	2	1	3	2	1	2	2	1	2
23:00	1	1	2	2	1	1	2	1	2
00:00	0	1	1	1	1	1	1	1	1
01:00	0	0	1	1	1	1	1	1	1
02:00	0	0	0	1	1	0	0	1	0
03:00	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Eşitlik 5.1 ve Çizelge 5.8'deki veriler kullanılarak hafta içi ve hafta sonu olarak hazırlanmış olan hareketli ortalama sonuçları Çizelge 5.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.9. Hareketli ortalama yöntemi sonuçları

GÜN/ SAAT	HAFTA İÇİ		HAFTA SONU	
	Gelen Araç Sayısı	Hareketli Ortalama Yöntemi	Gelen Araç Sayısı	Hareketli Ortalama Yöntemi
04:00	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0
06:00	1	0	1	0
07:00	1	0	1	0
08:00	1	1	1	0
09:00	2	1	2	1
10:00	3	1	3	1
11:00	4	2	4	2
12:00	5	3	5	3
13:00	5	4	4	4
14:00	5	4	5	4
15:00	4	5	5	5
16:00	3	5	4	5
17:00	3	4	4	5
18:00	3	4	3	5
19:00	3	3	3	4
20:00	3	3	3	4
21:00	2	3	2	3
22:00	2	3	2	3
23:00	1	3	2	3
00:00	1	2	1	2
01:00	1	2	1	2
02:00	0	1	0	2
03:00	0	1	0	1

5.3.3. Ağırlıklı hareketli ortalama yöntemi

Çizelge 5.8'deki veriler kullanılarak ağırlık ortalama yöntemi tahmini yapılacak saat için kendin önceki üç saat için en yakın değerde olandan başlayarak ağırlıklar verilerek toplanması ilkesine dayanmaktadır ve hesaplama formülü Eşitlik 5.2'de gösterilmiştir.

$$\text{Ağırlıklı Hareketli Ortalama} = \frac{\sum \left(\frac{n \text{ Saatin Ağırlığı}}{n \text{ Saatteki Gelen Araç Sayısı}} \right)}{\sum (\text{Ağırlıklar})} \quad (5.2)$$

Ağırlıklı hareketli ortalama hesabı için tahmin edilecek araç sayısına en yakın veriye %70 verilmiştir. Sonraki saat dilimlerine de sırasıyla %20 ve %10 verilerek Çizelge 5.10 oluşturulmuştur.

Çizelge 5.10. Ağırlıklı hareketli ortalama yöntemi sonuçları

GÜN/ SAAT	HAFTA İÇİ		HAFTA SONU	
	Gelen Araç Sayısı	Ağırlıklı Hareketli Ortalama Yöntemi	Gelen Araç Sayısı	Ağırlıklı Hareketli Ortalama Yöntemi
04:00	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0
06:00	1	0	1	0
07:00	1	1	1	1
08:00	1	1	1	1
09:00	2	1	2	1
10:00	3	2	3	2
11:00	4	3	4	3
12:00	5	4	5	4
13:00	5	5	4	5
14:00	5	5	5	5
15:00	4	5	5	5
16:00	3	4	4	4
17:00	3	3	4	4
18:00	3	3	3	4
19:00	3	3	3	3
20:00	3	3	3	3
21:00	2	3	2	3
22:00	2	2	2	2
23:00	1	2	2	2
00:00	1	1	1	2
01:00	1	1	1	1
02:00	0	1	0	1
03:00	0	0	0	0

5.3.4. Üstel düzeltme yöntemi

Bu yöntemde Çizelge 5.8'deki veriler kullanılarak aşağıda verilen Eşitlik 5.3 kullanılarak analiz yapılmıştır.

$$\text{saat tahmini} = \text{son saat tahmini} + \alpha(\text{son saat gerçek değeri} - \text{son saat tahmini}) \quad (5.3)$$

Formülde kullanılan olan düzeltme sabiti α 0 ile 1 arasında olmalıdır. Yapılan hesaplamalarda sabit 0,1 olarak alınmıştır. Verilere göre hesaplamalar sonucu üstel düzeltme yöntemi sonuçları izelge 5.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. Üstel düzeltme yöntemi sonuçları

GÜN/ SAAT	HAFTA İÇİ		HAFTA SONU	
	Gelen Araç Sayısı	�stel Düzeltme Yöntemi	Gelen Araç Sayısı	�stel Düzeltme Yöntemi
04:00	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0
06:00	1	0	1	0
07:00	1	0	1	0
08:00	1	0	1	0
09:00	2	0	2	0
10:00	3	0	3	0
11:00	4	1	4	1
12:00	5	1	5	1
13:00	5	1	4	1
14:00	5	2	5	2
15:00	4	2	5	2
16:00	3	2	4	2
17:00	3	2	4	2
18:00	3	2	3	3
19:00	3	2	3	3
20:00	3	3	3	3
21:00	2	3	2	3
22:00	2	3	2	3
23:00	1	2	2	3
00:00	1	2	1	3
01:00	1	2	1	2
02:00	0	2	0	2
03:00	0	2	0	2

5.3.5. Trend analiz yöntemi

Trend analiz yöntemi için Eşitlik 5.4 kullanılacaktır. Eşitlik 5.4 oluşturmak içinde Eşitlik 5.5 ve Eşitlik 5.6’daki denklemler ile a ve b değerleri hesaplanacaktır.

$$T_i = a + bY_i \quad (5.4)$$

$$a = (\sum Y_i / n - b(\sum T_i / n)) \quad (5.5)$$

$$b = (n \sum T_i Y_i - \sum Y_i \times \sum T_i) / n \sum T_i^2 - (\sum T_i)^2 \quad (5.6)$$

Bu eşitliklerde;

T_i = saatleri ifade eden dönemini

Y_i = hafta içi ve hafta sonu modelleme sonucu gelen elektrikli araç sayısını ifade etmektedir.

Çizelge 5.12. Trend analiz yöntemi hesap tablosu

SAAT	Dönem T_i	HAFTA İÇİ			HAFTA SONU		
		Gerçekleşen (Y_i)	$T_i Y_i$	T_i^2	Gerçekleşen (Y_i)	$T_i Y_i$	T_i^2
04:00	1	0	0	1	0	0	1
05:00	2	0	0	4	0	0	4
06:00	3	1	3	9	1	3	9
07:00	4	1	4	16	1	4	16
08:00	5	1	5	25	1	5	25
09:00	6	2	12	36	2	12	36
10:00	7	3	21	49	3	21	49
11:00	8	4	32	64	4	32	64
12:00	9	5	45	81	5	45	81
13:00	10	5	50	100	4	40	100
14:00	11	5	55	121	5	55	121
15:00	12	4	48	144	5	60	144
16:00	13	3	39	169	4	52	169
17:00	14	3	42	196	4	56	196
18:00	15	3	45	225	3	45	225
19:00	16	3	48	256	3	48	256
20:00	17	3	51	289	3	51	289
21:00	18	2	36	324	2	36	324
22:00	19	2	38	361	2	38	361
23:00	20	1	20	400	2	40	400
00:00	21	1	21	441	1	21	441
01:00	22	1	22	484	1	22	484
02:00	23	0	0	529	0	0	529
03:00	24	0	0	576	0	0	576
n=24	$\sum T_i=300$	$\sum Y_i=53$	$\sum T_i Y_i=637$	$\sum T_i^2=4900$	$\sum Y_i=56$	$\sum T_i Y_i=668$	$\sum T_i^2=4900$

Çizelge 5.12 ve Eşitlik 5.4-6 kullanılarak hafta içi için a değeri 2,3409125 ve b değeri 0,013913 bulunmuştur. Hafta sonu için a değeri 2,15942 ve b değeri 0,003913 bulunmuştur. Hesaplanan değerlerin ardından tahmin edilen değerler Çizelge 5.13 gösterilmiştir.

Çizelge 5.13. Trend analiz yöntemi sonuçları

SAAT	HAFTA İÇİ		HAFTA SONU	
	Gelen Araç Sayısı	Trend Analiz Yöntemi	Gelen Araç Sayısı	Trend Analiz Yöntemi
04:00	0	2	0	2
05:00	0	2	0	2
06:00	1	2	1	2
07:00	1	2	1	2
08:00	1	2	1	2
09:00	2	2	2	2
10:00	3	2	3	2
11:00	4	2	4	2
12:00	5	2	5	2
13:00	5	2	4	2
14:00	5	2	5	2
15:00	4	2	5	2
16:00	3	2	4	2
17:00	3	2	4	2
18:00	3	2	3	2
19:00	3	2	3	2
20:00	3	2	3	2
21:00	2	2	2	2
22:00	2	2	2	2
23:00	1	2	2	2
00:00	1	2	1	2
01:00	1	2	1	2
02:00	0	2	0	2
03:00	0	2	0	2

5.3.6. Yapılan analiz yöntemlerinin hata oranı tespiti

Yapılan analiz yöntemlerinin ardından tüm yapılmış olan analizlerde doğruya en yakın olanın seçilmesi için uygulanmış her yönetime hata oranları tespit edilecektir. Hata oranı en

az olan şarj istasyonlarının kullanımı için veri olarak kullanılacak ve daha sonraki aşamalar için kullanılacaktır.

Hata denetiminin yapılması için ortalama mutlak hata, ortalama kareler hatası, ortalama mutlak hata yüzdesi (OMHY) ve ortalama hata karelerinin karekökü (OHKK) formülleri kullanılacaktır.

$$\text{Ortalama Mutlak Hata} = \frac{\sum | \text{Gelen Araç sayısı} - \text{Analiz sonucu} |}{n} \quad (5.7)$$

$$\text{Ortalama Kareler Hatası} = \frac{\sum (\text{Gelen Araç Sayısı} - \text{Analiz sonucu})^2}{n} \quad (5.8)$$

$$\text{OMHY} = \frac{\sum | \text{Gelen Araç Sayısı} - \text{Analiz Sonucu} | \text{ Gelen Araç Sayısı}}{n} \quad (5.9)$$

$$\text{OHKK} = \sqrt{\frac{\sum (\text{Gelen Araç Sayısı} - \text{Analiz sonucu})^2}{n}} \quad (5.10)$$

Hafta içi ve hafta sonu gelen araç sayıları ve analizler sonucunda elde edilen verilere yukarıdaki denklemler uygulanarak Çizelge 5.14 oluşturulmuştur.

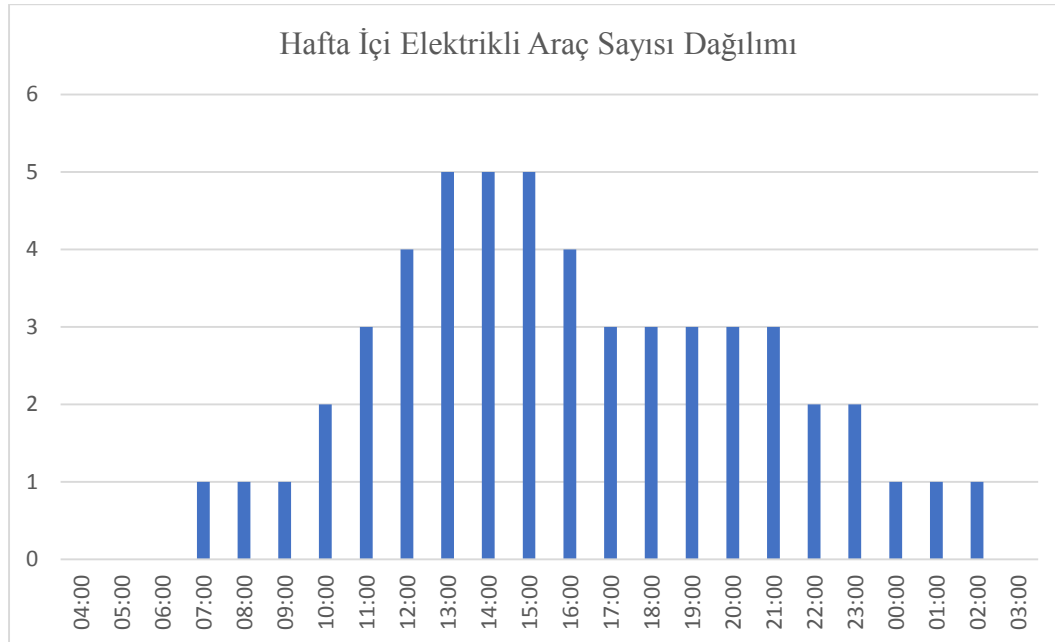
Çizelge 5.14. Yapılan analizlerin hata sonuçları

HATA/ TAHMİNLER		Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Kareler Hatası	Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi	Ortalama Hata Karelerinin Karekökü
HAFTA İÇİ	Monte Carlo Simülasyon	1,58333	4,16667	0,5375	2,04124
	Hareketli Ortalama	1	1,41667	0,41875	1,19024
	Ağırlıklı Hareketli Ortalama	0,41667	0,41667	0,14028	0,6455
	Üstel Düzeltme	1,54167	3,625	0,53264	1,90394
	Trend Analiz	1,375	2,625	0,40833	1,62019

Çizelge 5.14. Yapılan analizlerin hata sonuçları (devam)

	HATA/ TAHMİNLER	Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Kareler Hatası	Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi	Ortalama Hata Karelerinin Karekökü
HAFTA SONU	Monte Carlo Simülasyon	1,416667	3,5	0,315972	1,870829
	Hareketli Ortalama	1,041667	1,458333	0,316667	1,207615
	Ağırlıklı Hareketli Ortalama	0,416667	0,416667	0,140278	0,645497
	Üstel Düzeltme	1,583333	3,833333	0,458333	1,95789
	Trend Analiz	1,416667	2,833333	0,297222	1,683251

Yapılan analizlerin sonucundaki hataların en az olan yöntem ve modellemeye daha yakın olan ağırlıklı hareketli ortalama yöntemi sonucu elde edilen veriler elektrikli araç şarj istasyonu günlük şarj etme sıklığı için kullanılacaktır. Hafta içi ve hafta sonu şarj istasyonuna gelen araç sayılarının dağılımı Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Hafta içi şarj istasyonuna gelen elektrikli araç dağılımı



Şekil 5.9. Hafta sonu şarj istasyonuna gelen elektrikli araç dağılımı

5.4. Güneş Enerjili Şarj İstasyonu Üzerinden Çekilen Güç

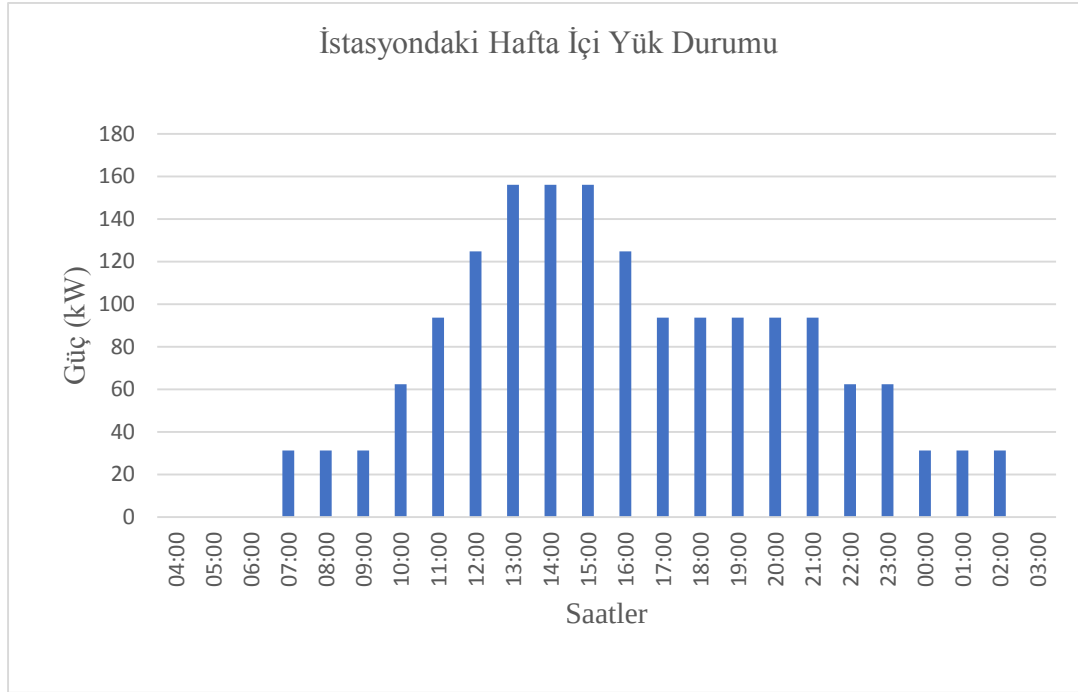
Güneş enerjili elektrik araç şarj istasyonunda hafta içi ve hafta sonu gelebilecek olan elektrikli araç sayısının belirlendikten sonra çekilecek olan güç hesaplanacaktır.

Şarj istasyonu üzerinden çekilecek olan güç sayesinde elektrikli araç şarj istasyonu için kullanılması gereken güneş enerjisi panel sayısı ve istasyonda kullanılacak batarya sayısı belirlenebilecektir.

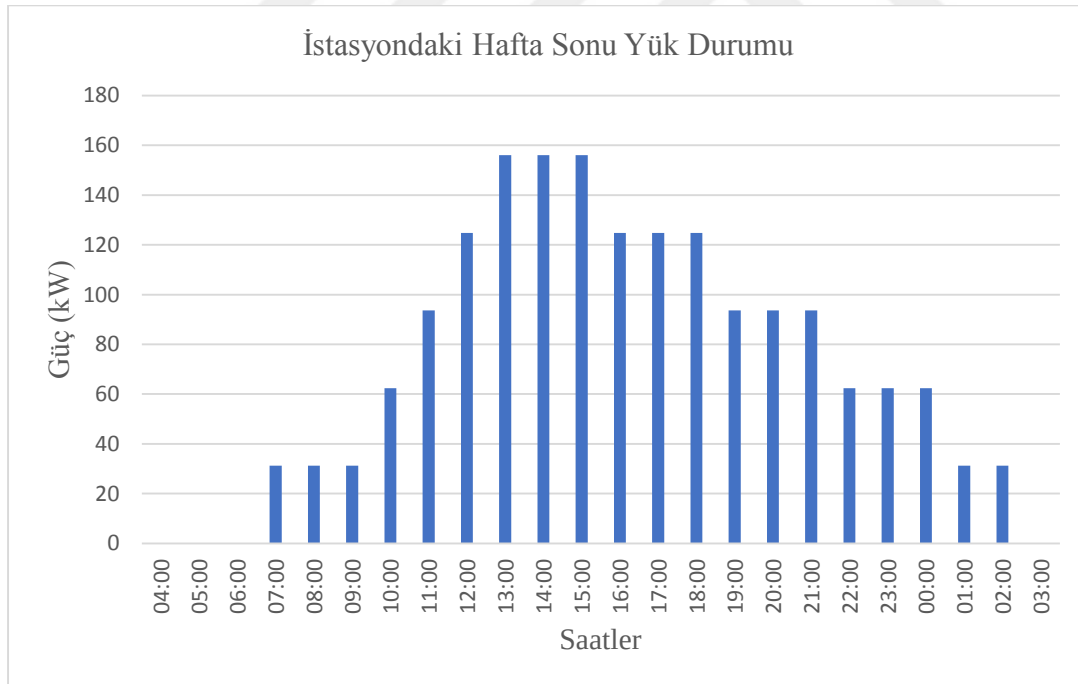
Hafta içinde günlük olarak gelen araç sayısı toplam 53 elektrikli araç olarak tespit edilmiştir. Gelen elektrikli araçların bataryaları %20 ile %80 arasında şarj işlemini gerçekleştireceği varsayılmıştır.

Hafta sonu ise günlük olarak gelen araç sayısı toplam 56 elektrikli araç olarak tespit edilmiştir. Hafta içerisinde olduğu gibi araç bataryaları %20 ile %80 arasında şarj işlemini gerçekleştireceği varsayılmıştır.

Şarj işlemi için gelecek olan elektrikli araçların hafta içi ve hafta sonu yük durumu Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.10. İstasyondaki hafta içi yük durumu



Şekil 5.11. İstasyondaki hafta sonu yük durumu

Elektrikli araç şarj istasyonu için yük durumu belirlenmesi ile istasyon için kullanılacak olan PV panel sayısı ve batarya grubunun optimizasyon işlemi gerçekleştirilecektir.

5.5. Elektrikli Araç Şarj İstasyonunun Optimizasyonu

Elektrikli araç şarj istasyonunun için kullanılması gereken optimum PV panel ve batarya sayısının tespit edilmesi için kullanılacak olan PV panel ve batarya enerji depolama sistemi (BEDS) özelliklerini belirtilmesi gerekmektedir.

Çizelge 5.15. Elektrikli araç şarj istasyonu için kullanılacak PV panel özellikleri (Kalyonpv, 2022)

PV Panel Özellikleri	
Hücre Tipi	Mono-C Silicon Bifacial PERC
Hücre Sayısı	144 Adet Yarım Hücre
Maksimum Güç (W)	540
Açık Devre Gerilimi (V)	49,50
Kısa Devre Akımı (A)	13,85
Ebatları (UxGxK) (mm)	2279 x 1134 x 40 ± 2
Fiyat (\$)	243
Ömür (Yıl)	30

Çizelge 5.16. Elektrikli araç şarj istasyonu için kullanılacak BEDS özellikleri (Atlascopco, 2023)

Batarya Enerji Depolama Sistemi Özellikleri	
Nominal Enerji Depolama Kapasitesi (kWh)	50
Nominal Anma Gücü (kVA)	45
Batarya Adedi	12
Hücre Tipi	LiFePO4
Kendi Kendine Deşarj Oranı	0.002
Depth of Discharge (DOD) (%)	90
Çevrimi	6000
Fiyat (\$)	100.000

Güneş enerjili elektrikli araç şarj istasyonu çalışma prensibinde şebeke destekli olması nedeniyle güneş enerjisinin olmadığı zaman aralıklarında sistem BEDS üzerinden beslenecektir. BEDS'nin yetersiz olması durumunda şebeke üzerinden beslenecektir.

Optimizasyon çalışmasında iki durum üzerinde çalışma yapılacaktır. Birinci durum; istasyon hiçbir şekilde şebeke üzerinden elektrik almadan PV panel ve BEDS üzerinden beslenecektir. İkinci durum; PV panel ve BEDS yetersiz olması göz önüne alınarak gerekli olan enerjiyi şebeke üzerinden alacaktır.

Şebeke üzerinden elektrik alınması durumunda maliyet açısından tarifelerinde bilinmesi gerekmektedir. Çizelge 5.17'de güncel olarak elektrik enerjisi birim maliyetleri verilmektedir.

Çizelge 5.17. Türkiye elektrik piyasası fiyat tarife çizelgesi (Epdk, 2023)

Tarife Adı	Tek Zamanlı (\$/kWh)	Gündüz (06-17) (\$/kWh)	Puant (17-22) (\$/kWh)	Gece (22-06) (\$/kWh)
Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün ve altı)	0,117	0,156	0,228	0,099
Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün ve üstü)	0,155	0,156	0,228	0,099

Şebeke destekli elektrikli araç şarj istasyonunun başlangıç olarak mevcut olan akaryakıt istasyonları ile birlikte kullanılacağı ilerleyen zaman içerisinde elektrikli araçların yaygınlaşması ile beraber mevcut olan akaryakıt istasyonlarının yerini alacağı öngörülmektedir.

Günümüzde de örneklerine rastladığımız gibi artık akaryakıt istasyonlarının pompa alanları yani kanopiler üzerine PV panel montajı yapılmaktadır. Tasarımı yapılan elektrikli araç şarj istasyonu da aynı düşünce üzerinden kanopi alanları kullanılacak. Yetersiz olması durumunda idari binalar hatta istasyonun kurulum alanın yeterli olması durumunda uygun alanlara montajları da yapılacaktır.

Türkiye için “Karayolları kenarında yapılacak ve açılacak tesisler hakkında yönetmelik” gereğince kurulacak olan istasyon cephe genişlikleri asgari olarak belirlenmiştir. Yapılacak olan elektrikli araç şarj istasyonu kanopi cephe genişliğinin 50 metre olarak tasarlanmıştır. Toplam kanopi alanı ise 2000 metrekare olarak belirlenmiştir (Mevzuat, 2022)

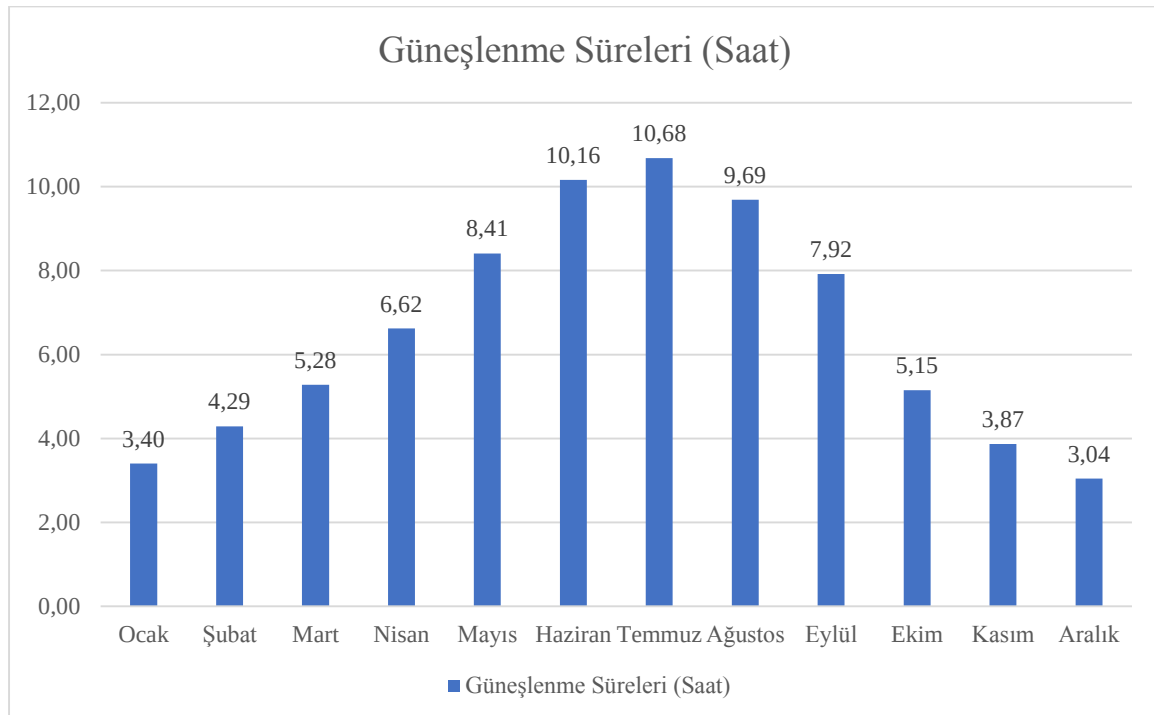
Kanopi üzerine kurulması tasarlanan şarj istasyonu için bir panel boyutu yaklaşık olarak 2 metrekare olması göz önüne alınarak PV panel dizileri arasında mesafelerde göz önüne alındığında maksimum 800 adet panel kurulumu yapılacaktır. S_{PV} kurulumu yapılacak PV panel sayısı denilirse Eşitlik 5.11’deki kısıt elde edilmektedir.

$$S_{PV} \leq 800 \quad (5.11)$$

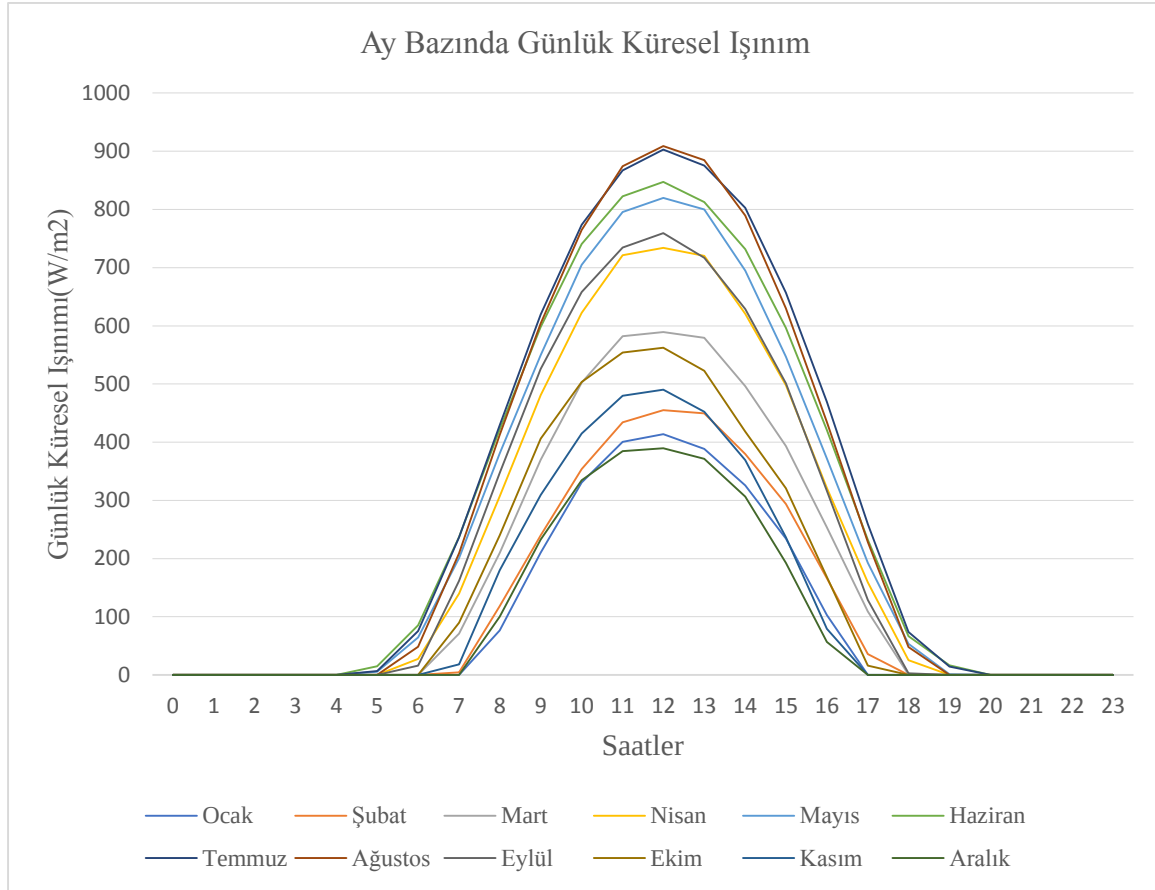
İstasyon kurulumu için belirlenen noktanın güneş enerjisi potansiyel atlası üzerinden ay bazında güneşlenme süreleri Çizelge 5.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.18. Aylara güneşlenme süreleri (Enerji işleri genel müdürlüğü, 2022)

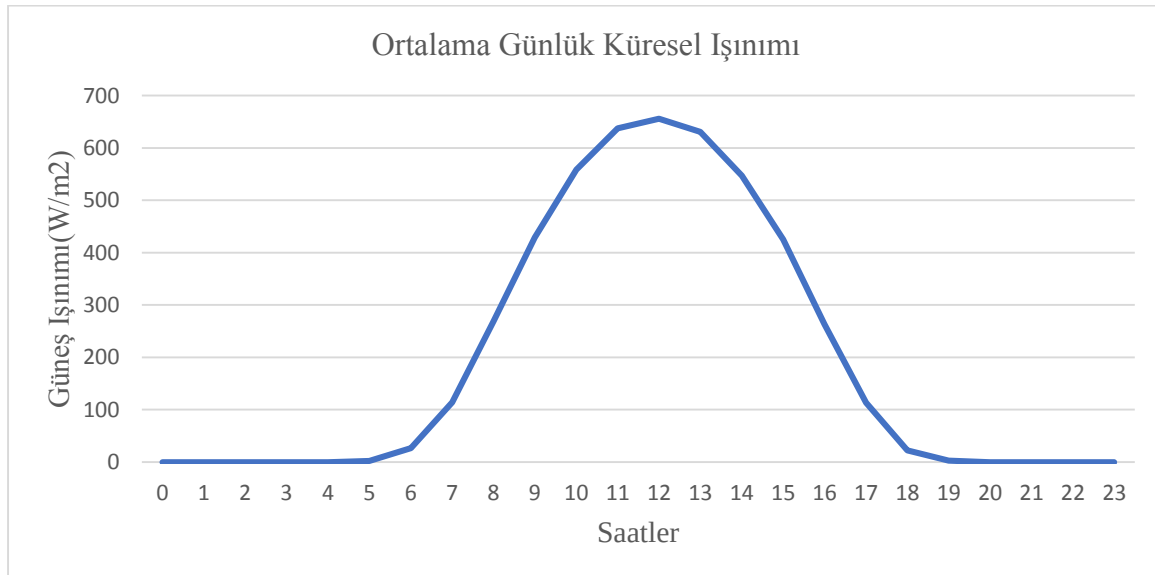
Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Güneşlenme Süreleri	3.40	4.29	5.28	6.62	8.41	10.16	10.68	9.69	7.92	5.15	3.87	3.04



Şekil 5.12. İstasyon konumunun yıllık güneşlenme süreleri



Şekil 5.13. İstasyon konumunun ay bazında günlük küresel ışıını



Şekil 5.14. İstasyon konumunun günlük ortalama küresel ışıını

PV panelin güç hesabının t anında yapılması için Eşitlik 5.12 kullanılmaktadır.

$$P_{PV\text{-}\text{çıkış}}(t) = P_{Nom} \chi(G(t)/G_{stk}) \chi[1 + K_T(T_c(t) - T_{stk})] \quad (5.12)$$

Eşitlik 5.12’de P_{Nom} panelin referans olarak verilen standart test koşullarındaki gücü, $G(t)$ t anındaki PV panel üzerinde ölçülen küresel güneş radyasyonunu, G_{stk} standart test koşullarındaki küresel güneş radyasyonunu ($G_{stk} = 1000 \text{ W/m}^2$), K_T panelin özelliğine göre değişen sıcaklık katsayısını, $T_c(t)$ t anındaki panelin sıcaklığını ve T_{stk} standart test koşullarındaki sıcaklığını ($T_{stk} = 25^0 \text{ C}$) tanımlamaktadır.

Optimizasyon çalışması için sıcaklık üzerinde inceleme yapılmayacağı için $T_c(t) = 25^0 \text{ C}$ olarak alınmıştır. Sonuç olarak; Eşitlik 5.13 elde edilmiştir.

$$P_{PV\text{-}\text{çıkış}}(t) = P_{Nom} \chi(G(t)/1000) \quad (5.13)$$

Elektrikli araç şarj istasyonu için toplam t anındaki panellerden elde edilecek güç Eşitlik 5.14 elde edilmektedir.

$$P_{PV}(t) = S_{PV} \chi P_{Nom} \chi(G(t)/1000) \quad (5.14)$$

BEDS için t anındaki şarj ve deşarj yapılırken matematiksel modeli Eşitlik 5.15’de gösterilmektedir [33].

$$E_{BEDS}(t) = E_{BEDS}(t-1) \cdot (1 - \sigma) + [P_{BEDS}^{şarj}(t) \cdot \eta_{BEDS}^{şarj} \cdot \alpha_1(t) - P_{BEDS}^{deşarj}(t) \cdot \eta_{BEDS}^{deşarj} \cdot \alpha_2(t)] \cdot \Delta t \quad (5.15)$$

Eşitlik 5.15’de $E_{BEDS}(t)$ t anında BEDS’nin enerjisini, σ batarya sisteminin kendi kendine boşalma oranını, $P_{BEDS}^{şarj}(t)$ t anındaki şarj gücünü, $P_{BEDS}^{deşarj}(t)$ t anındaki deşarj gücünü, $\eta_{BEDS}^{şarj}$ ve $\eta_{BEDS}^{deşarj}$ şarj ve deşarj sırasındaki verimliliği ve Δt ise dikkate alınan zaman aralığını belirtmektedir.

Eşitlik 5.15’de kullanılmış olan $\alpha_1(t)$ ve $\alpha_2(t)$ ifadeleri BEDS’nin aynı anda şarj ve deşarj işleminin gerçekleşmeyeceğini belirlemek için kullanılmaktadır.

$$\alpha_1(t) + \alpha_2(t) = 1 \quad (5.16)$$

Şarj işlemi esnasında Eşitlik 5.17 değerlerini alırken deşarj işlemi esnasında ise Eşitlik 5.18 değerlerini alacaktır.

$$\alpha_1(t)=1, \alpha_2(t)=0 \quad (5.17)$$

$$\alpha_1(t)=0, \alpha_2(t)=1 \quad (5.18)$$

BEDS için eşitlik 5.19-21 bazı kısıtlamaların belirlenmesi gerekmektedir.

$$P_{BEDS}^{deşarj}(t) < P_{max}^{deşarj} \quad (5.19)$$

$$P_{BEDS}^{şarj}(t) < P_{max}^{şarj} \quad (5.20)$$

$$E_{BEDS}^{min} \leq E_{BEDS}(t) \leq E_{BEDS}^{max} \quad (5.21)$$

Eşitlik 5.21’de belirtilen BEDS enerjisinin maksimum ve minimum değerleri kullanılan bataryanın derin deşarj (DOD) yüzdesi ile ilgilidir. Eşitlik 5.22’de bu ilişki gösterilmiştir.

$$E_{BEDS}^{min} = (1-DOD).E_{BEDS}^{max} \quad (5.22)$$

5.5.1. Optimizasyon için maliyet fonksiyonu

Optimizasyon yapılması için denklem belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda yapılacak olan genetik algoritma optimizasyonu için güneş enerjili elektrikli araç şarj istasyonlarının kurulumu için kullanılacak olan güneş enerji panelleri ve BEDS’lerin sayısının belirlenmesi ve sonucunda en az maliyet olacak şekilde hesaplanması amaçlanmaktadır.

Bu amaç ile istasyon kurulum maliyetini toplam maliyet (TM) olarak adlandırılacaktır. TM formülü içerisinde kurulacak PV panel ve BEDS kurulum maliyeti (KM) KM_i ve S_i PV panel ile BEDS sayılarını belirtmektedir. Optimizasyon denklemi Eşitlik 5.23 şeklinde olacaktır.

$$TM = \sum_{i=1}^n KM_i \times S_i \quad (5.23)$$

Toplam maliyet için sene içerisindeki oluşabilecek değişim bakım gibi kalem göz önüne alınmamıştır. PV panel için ömrü istasyon ömrüne yakındır. BEDS ise batarya sistemlerinin gelişmesiyle istasyon ömrüne yaklaşması düşünülmektedir.

Elektrik maliyeti Eşitlik 5.24 üzerinden hesaplanacaktır.

$$M_{\text{şebeke}} = \sum_{t=1}^T (P_{\text{şebeke}}(t) \cdot E_{\text{tarife}}(t)) \quad (5.24)$$

Eşitlik içerisinde E_{tarife} t anında şebeke tarife fiyatını anlatmaktadır.

5.5.2. Çevresel fonksiyonu

Çevresel olarak kirliliğin azaltılması için yenilebilir enerji kaynakları büyük önem kazanmaktadır. Yenilenebilir enerjinin yetersiz kalması durumunda şebeke üzerinden elektrik alınmak zorunda kalınmaktadır. Şebeke üzerinden elektrik enerjisi alınması nedeniyle CO₂ ve CO₂ eşdeğerleri olan CH₄ ile N₂O gazları nedeniyle atmosfer zarar görmektedir. Kullanılacak olan sera gazlarında CO₂ eşdeğeri adı altında tüm diğer gazları içerecek şekilde tanımlama yapılacaktır.

Çevresel fonksiyon ikinci amaç fonksiyonu olup

$$E_{\text{çevre}} = \sum_{t=1}^T (E_{\text{CO}_2-\text{eş}}(t))$$

$$= \begin{cases} 0, & P_{\text{şebeke}}(t) = 0 \\ P_{\text{şebeke}}(t)(e_{\text{CO}_2-\text{eş}}), & P_{\text{şebeke}}(t) \neq 0 \end{cases} \quad (5.25)$$

Bu eşitlik de $E_{\text{çevre}}$ toplam gazların emisyonunu, $E_{\text{CO}_2-\text{eş}}(t)$ CO₂, CH₄ ve N₂O, gazlarının t anındaki CO₂ eşdeğeri emisyonlarını ve son olarak $e_{\text{CO}_2-\text{eş}}$ ifadesi de seçilen enerji türüne göre ayarlanacak olan CO₂, CH₄ ve N₂O gazlarının CO₂ eşdeğeri olarak salınım faktörleridir.

5.5.3. Optimizasyon için kısıtlamalar

Eşitlik kısıtlaması; İstasyondaki şarj için t anındaki şarj yükü PV panel, BEDS ve şebeke üzerinden sağlanan toplam güç ile eşit olmalıdır.

$$\frac{P_{EV}(t)}{\eta_{şarj}} - P_{PV}(t) + P_{BEDS}^{şarj}(t) \cdot \eta_{BEDS}^{şarj} \cdot \alpha_1(t) - \frac{P_{BEDS}^{deşarj}(t)}{\eta_{BEDS}^{deşarj}} \cdot \alpha_2(t) = P_{şebeke}(t) \quad (5.26)$$

Eşitlik 5.25’de daha önce Eşitlik 5.16’da bahsedildiği gibi şarj vedeşarj işleminin aynı anda yapılamayacağı bilinmektedir. Karar değişkenleri S_{PV} ve S_{BEDS} pozitif değerler olarak seçilmelidir.

Eşitsizlik kısıtlaması; Bu eşitsizlik kısıtlamasında daha önce Eşitlik 5.19-21’de BEDS için tanımlamalar verilmiştir. Buna ek olarak Eşitlik 5.26’da gösterildiği gibi istasyon için gerekli gücü yalnızca şebekeden alacaktır.

$$P_{şebeke}(t) \geq 0 \quad (5.27)$$

6. SONUÇLAR

Şebeke destekli güneş enerjili elektrikli araç şarj istasyonu yapılan optimizasyon iki durum üzerinde incelenmiştir. İlk durumda BEDS sadece PV paneller üzerinden üretilen elektrik enerji ile şarj işlemi yapılacaktır. Hiçbir şekilde şebeke üzerinden enerji alınmayacaktır.

İkinci durumda ise şebeke üzerinden elektrik enerjisi alınabilecek olup şebekeden alınan enerjinin en ucuz olduğu gece tarifesini yani 22:00-06:00 saatleri arasına kadar bataryanın depolanan enerjisi kullanılarak bu saatler içerisinde gelen elektrikli araçların yük talebine şebeke üzerinden karşılanacaktır.

6.1. Şebeke Üzerinden Elektrik Enerjisinin Alınmaması Durumu

Tasarımı yapılan şebeke destekli elektrikli araç şarj istasyonu bu durum içerisinde şebeke üzerinden enerji alınmadan ve tekrar eden günlerde batarya için gerekli olan enerji ve yük talebi PV paneller üzerinden üretilen elektrik enerji ile sağlanmıştır.

Yapılan genetik algoritma optimizasyonu için program elli kez çalıştırılmıştır. Optimizasyon sonucunda çıkan veriler kayıt altına alınarak en optimum PV panel sayısı ve BEDS sayısı ortalamaları alınarak en minimum maliyet ortaya çıkmıştır.

Şebeke üzerinden elektrik enerjisi alınmaması nedeniyle PV panel sayısının maksimum olarak belirlenen 800 adet PV panel sayısına yakın olması beklenen bir durumdur ve sonuç olarak 720 adet PV panel kurulumunun yapılması sistem için en optimum sonuç olmuştur.

PV panel sayısının maksimum seviyesine yakın sonuçlar çıkmasının bir sebebi de BEDS için sağlanması gereken enerji miktarıdır.

Durum için şebeke üzerinden elektrik enerjisi alınmadığı için batarya üzerinden depo edilecek enerjinin Şekil 5.14’de görüldüğü üzere saat 18:00 ile güneşin doğmaya başladığı 05:00 saatlerine kadar yük talebine karşılık verilmesi gerekmektedir. Optimizasyon sonucunda elde edilen sonuçlarda gerekli olan enerji kapasitesi 896,22 kWh olduğu ve 18 adet BEDS istasyon için en optimum sayı olduğu tespit edilmiştir.

Optimizasyon sonucu çıkan veriler ve optimum değerler Çizelge 6.1’ de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1. Optimizasyon sonuçları ve optimum değerler durum-1

DENEME SAYISI	PANEL SAYISI	BEDS KAPASİTESİ (kWh)	BEDS SAYISI	MALİYET
1	726	894,24	18	\$ 1.976.418,00
2	715	897,71	18	\$ 1.973.745,00
3	720	896,13	18	\$ 1.974.960,00
4	727	893,92	18	\$ 1.976.661,00
5	718	896,76	18	\$ 1.974.474,00
6	727	893,93	18	\$ 1.976.661,00
7	727	893,92	18	\$ 1.976.661,00
8	720	896,13	18	\$ 1.974.960,00
9	721	895,81	18	\$ 1.975.203,00
10	717	897,08	18	\$ 1.974.231,00
11	717	897,08	18	\$ 1.974.231,00
12	714	898,02	18	\$ 1.973.502,00
13	722	895,50	18	\$ 1.975.446,00
14	724	894,87	18	\$ 1.975.932,00
15	724	894,87	18	\$ 1.975.932,00
16	722	895,50	18	\$ 1.975.446,00
17	714	898,02	18	\$ 1.973.502,00
18	720	896,13	18	\$ 1.974.960,00
19	718	896,76	18	\$ 1.974.474,00
20	715	897,71	18	\$ 1.973.745,00
21	712	898,65	18	\$ 1.973.016,00
22	718	896,76	18	\$ 1.974.474,00
23	714	898,02	18	\$ 1.973.502,00
24	721	895,81	18	\$ 1.975.203,00
25	717	897,08	18	\$ 1.974.231,00
26	712	898,65	18	\$ 1.973.016,00
27	717	897,08	18	\$ 1.974.231,00
28	716	897,39	18	\$ 1.973.988,00
29	716	897,39	18	\$ 1.973.988,00
30	721	895,81	18	\$ 1.975.203,00
31	724	894,87	18	\$ 1.975.932,00
32	725	894,55	18	\$ 1.976.175,00
33	724	894,87	18	\$ 1.975.932,00
34	715	897,71	18	\$ 1.973.745,00
35	723	895,18	18	\$ 1.975.689,00
36	716	897,39	18	\$ 1.973.988,00
37	720	896,13	18	\$ 1.974.960,00
38	720	896,13	18	\$ 1.974.960,00
39	718	896,76	18	\$ 1.974.474,00
40	714	898,02	18	\$ 1.973.502,00
41	729	893,29	18	\$ 1.977.147,00
42	717	897,08	18	\$ 1.974.231,00
43	718	896,76	18	\$ 1.974.474,00
44	715	897,71	18	\$ 1.973.745,00
45	727	893,92	18	\$ 1.976.661,00
46	724	894,87	18	\$ 1.975.932,00
47	730	892,98	18	\$ 1.977.390,00
48	717	897,08	18	\$ 1.974.231,00
49	717	897,08	18	\$ 1.974.231,00
50	721	895,81	18	\$ 1.975.203,00
	OPTİMUM PANEL SAYISI	OPTİMUM BEDS KAPASİTESİ (kWh)	OPTİMUM BEDS SAYISI	MİNİMUM MALİYET
OPTİMUM SONUÇLAR	720	896,22	18	\$ 1.974.960,00

Optimizasyon sonucunda elde edilen optimum PV panel ve BEDS sayısı sonucunda minimum maliyet Çizelge 6.1’de belirtilmiştir. Şebeke üzerinden elektrik enerjisi alınmadığı için elektrik enerjisi için bedel ödenmeyecektir.

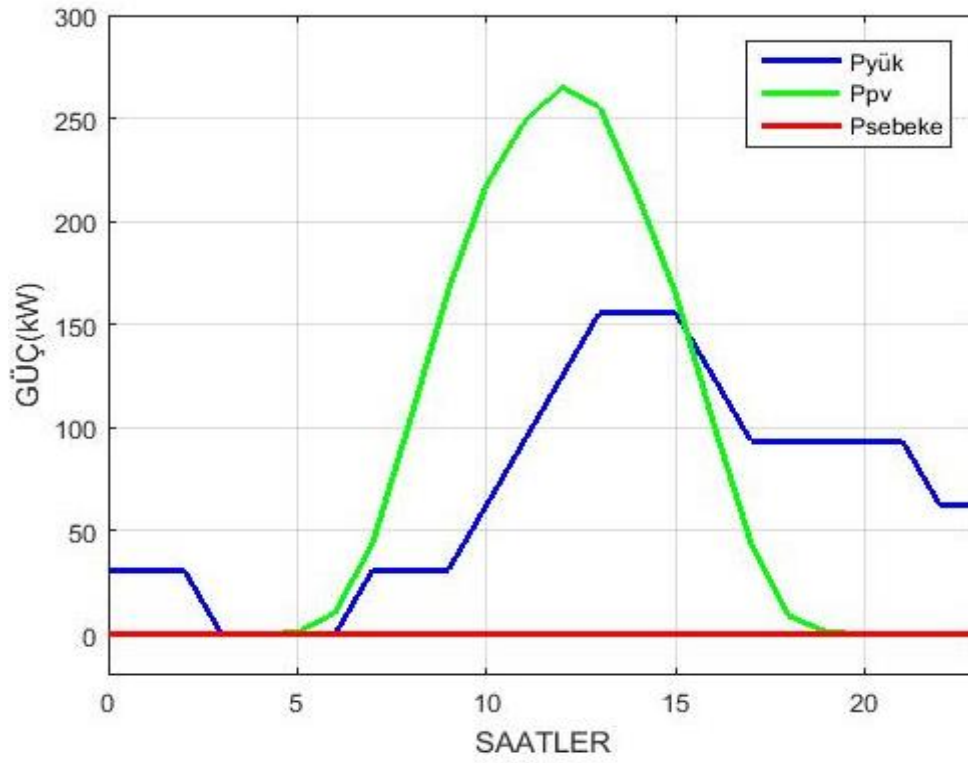
Şebeke üzerinden elektrik enerjisi kullanılmadığı için çevresel olarak emisyon üretimi yapılmamıştır.

Optimizasyon sonucunda çıkan kurulum maliyeti için yapılan yatırımın geri dönüş süresinin de hesaplanması gerekmektedir. İstasyonumuzun elektrik satış bedeli 0,27 \$/kWh olarak belirlenmiştir. Yıllık olarak elektrik maliyetlerinin %10 oranında artacağı göz önüne alındığında kurulum maliyetinin geri dönüşü Çizelge 6.2’de belirtildiği gibi sekizinci sene sonu itibariyle yapılan yatırımların karşılığı alınacaktır.

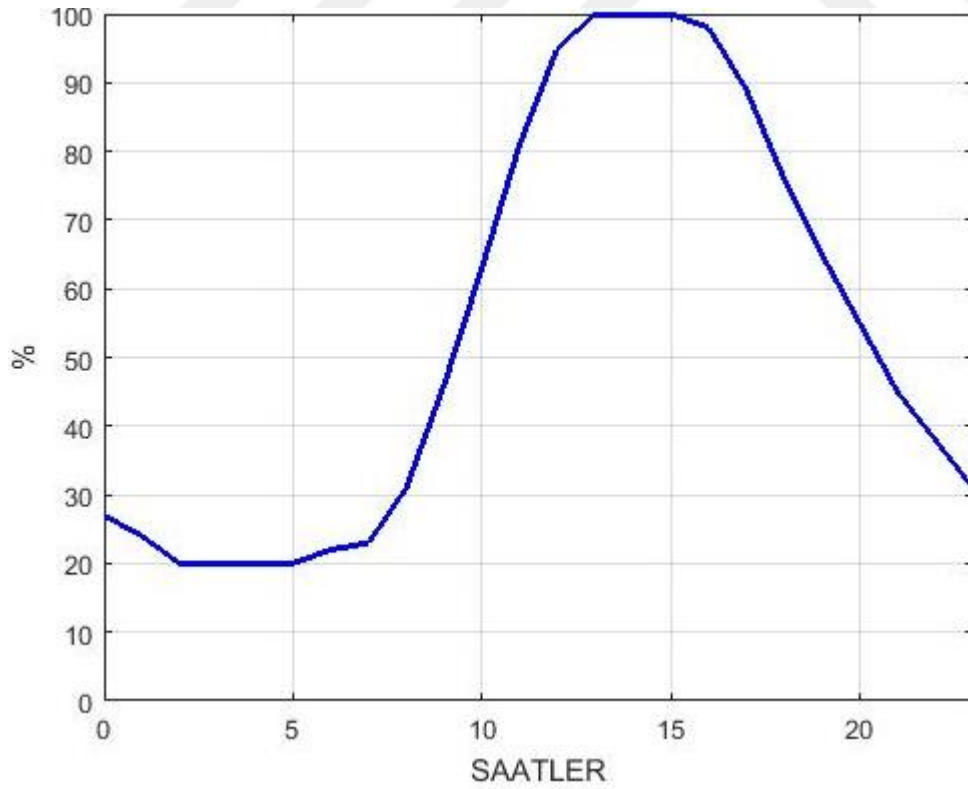
Çizelge 6.2. Kurulum maliyetinin geri dönüş süresi durum-1

Yıllar	Günlük Gelen Araç Sayısı	Araç Başına Verilen Enerji (kWh)	Senelik Verilen Enerji (kWh)	Satış Bedeli (\$/kWh)	Senelik Kazanç	Toplam Kazanç
1	56	31,2	637728	\$ 0,27	\$ 172.186,56	\$ 172.186,56
2	56	31,2	637728	\$ 0,30	\$ 189.405,22	\$ 361.591,78
3	56	31,2	637728	\$ 0,33	\$ 208.345,74	\$ 569.937,51
4	56	31,2	637728	\$ 0,36	\$ 229.180,31	\$ 799.117,82
5	56	31,2	637728	\$ 0,40	\$ 252.098,34	\$ 1.051.216,17
6	56	31,2	637728	\$ 0,43	\$ 277.308,18	\$ 1.328.524,34
7	56	31,2	637728	\$ 0,48	\$ 305.038,99	\$ 1.633.563,34
8	56	31,2	637728	\$ 0,53	\$ 335.542,89	\$ 1.969.106,23
9	56	31,2	637728	\$ 0,58	\$ 369.097,18	\$ 2.338.203,42
10	56	31,2	637728	\$ 0,64	\$ 406.006,90	\$ 2.744.210,32

Optimizasyon sonucu istasyondaki güç grafiği ve kullanılacak olan BEDS’nin kapasite oranı Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. İstasyon üzerindeki PV panel, yük ve şebeke güçleri durum-1



Şekil 6.2. BEDS kapasite oranı durum-1

6.2. Şebeke Üzerinden Elektrik Enerjisi Alınması Durumu

Şarj istasyonu için gelen yük talebine güneş ışınlarının yeterli olduğu sürelerde PV paneller üzerinden üretilen elektrik enerjisi direk olarak elektrikli araç şarjı için verilecektir. Güneş enerjisinin yeterli olduğu gün içerisinde BEDS için gerekli olan enerjide PV panellerin ürettiği elektrik enerjisi ile karşılanacaktır. Elektrikli araçlar için gelen şarj yükünü PV panellerin karşılayamadığı zaman dilimde gerekli olan elektrik enerjisi BEDS üzerinden sağlanacaktır. Elektrik tarifesinin en ucuz olduğu gece zamanında yani 22:00-06:00 saatleri içinde sistemde elektrikli araç şarj yükü şebeke tarafından karşılanacaktır.

Yapılan genetik algoritma optimizasyonu için program elli kez çalıştırılmıştır. Optimizasyon sonucunda çıkan veriler kayıt altına alınarak en optimum PV panel sayısı ve BEDS sayısı ortalamaları alınarak en minimum maliyet ortaya çıkmıştır.

Optimizasyon sonuçlarına göre en optimum PV panel sayısı 653 olarak tespit edilmiştir. BEDS için gerekli olan enerji kapasitesi 623,93 kWh olduğu ve 13 adet BEDS istasyon için en optimum sayı olduğu tespit edilmiştir.

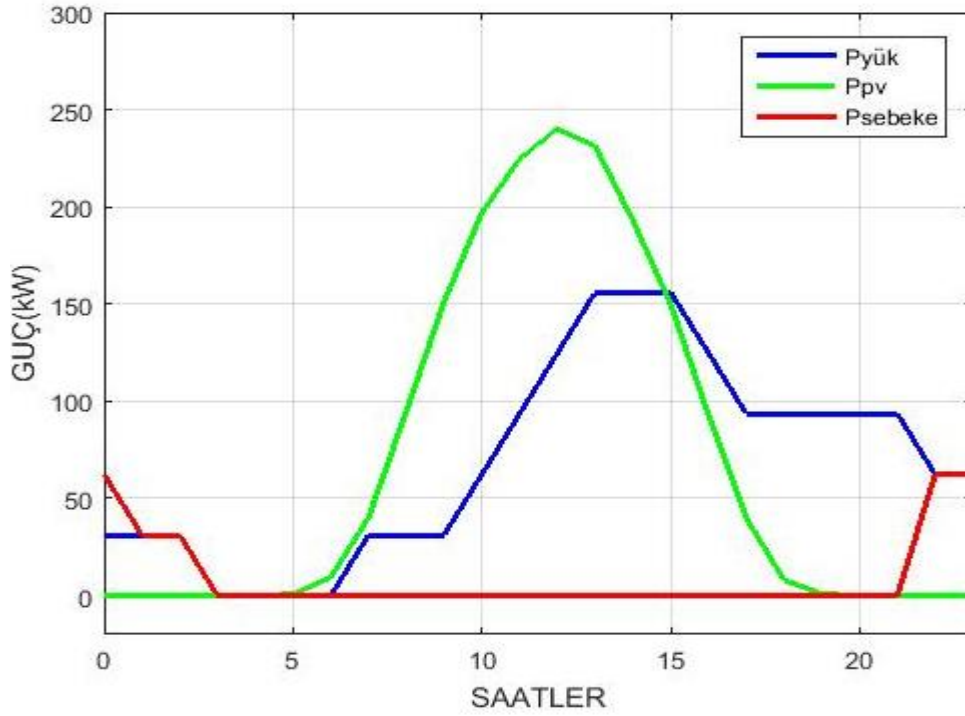
Optimizasyon sonucu çıkan veriler ve optimum değerler Çizelge 6.3' de gösterilmektedir.

Çizelge 6.3. Optimizasyon sonuçları ve optimum değerler durum-2

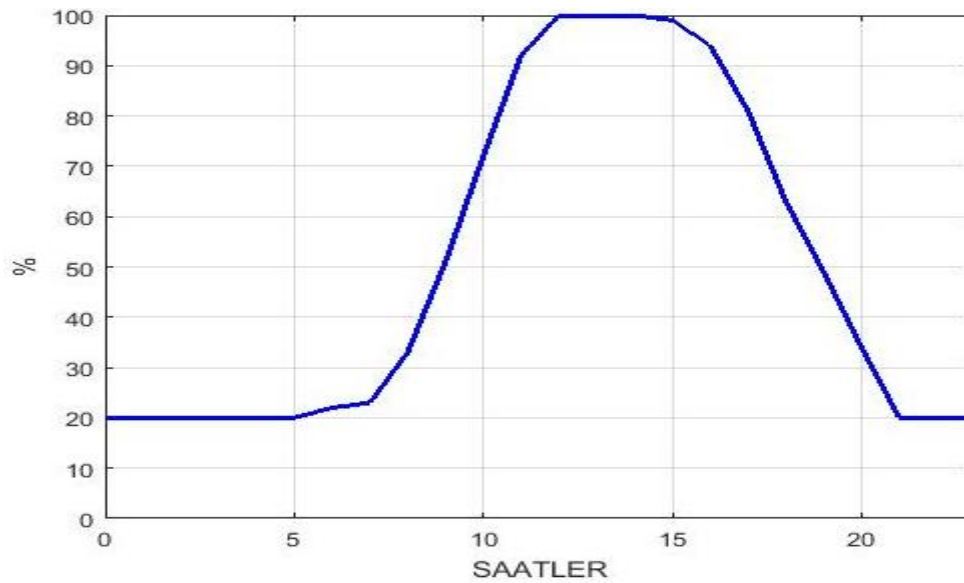
DENEME SAYISI	PANEL SAYISI	BEDS KAPASİTESİ (kWh)	BEDS SAYISI	MALİYET
1	637	632,652	13	\$ 1.454.791,00
2	659	620,883	13	\$ 1.460.137,00
3	645	628,372	13	\$ 1.456.735,00
4	644	628,907	13	\$ 1.456.492,00
5	662	619,277	13	\$ 1.460.866,00
6	659	620,883	13	\$ 1.460.137,00
7	675	612,323	13	\$ 1.464.025,00
8	654	623,557	13	\$ 1.458.922,00
9	648	626,767	13	\$ 1.457.464,00
10	655	623,023	13	\$ 1.459.165,00
11	649	626,232	13	\$ 1.457.707,00
12	655	623,023	13	\$ 1.459.165,00
13	661	619,813	13	\$ 1.460.623,00
14	662	619,277	13	\$ 1.460.866,00
15	668	616,067	13	\$ 1.462.324,00
16	642	629,977	13	\$ 1.456.006,00
17	656	622,488	13	\$ 1.459.408,00
18	650	625,697	13	\$ 1.457.950,00
19	661	619,813	13	\$ 1.460.623,00
20	652	624,628	13	\$ 1.458.436,00
21	637	632,652	13	\$ 1.454.791,00
22	640	631,047	13	\$ 1.455.520,00
23	649	626,232	13	\$ 1.457.707,00
24	659	620,883	13	\$ 1.460.137,00
25	654	623,558	13	\$ 1.458.922,00
26	665	617,673	13	\$ 1.461.595,00
27	650	625,697	13	\$ 1.457.950,00
28	660	620,347	13	\$ 1.460.380,00
29	647	627,302	13	\$ 1.457.221,00
30	659	620,883	13	\$ 1.460.137,00
31	662	619,278	13	\$ 1.460.866,00
32	655	623,023	13	\$ 1.459.165,00
33	648	626,767	13	\$ 1.457.464,00
34	659	620,883	13	\$ 1.460.137,00
35	665	617,673	13	\$ 1.461.595,00
36	652	624,628	13	\$ 1.458.436,00
37	664	618,208	13	\$ 1.461.352,00
38	647	627,302	13	\$ 1.457.221,00
39	642	629,977	13	\$ 1.456.006,00
40	661	619,813	13	\$ 1.460.623,00
41	648	626,767	13	\$ 1.457.464,00
42	653	624,093	13	\$ 1.458.679,00
43	643	629,442	13	\$ 1.456.249,00
44	650	625,697	13	\$ 1.457.950,00
45	649	626,232	13	\$ 1.457.707,00
46	652	624,628	13	\$ 1.458.436,00
47	647	627,302	13	\$ 1.457.221,00
48	651	625,163	13	\$ 1.458.193,00
49	649	626,232	13	\$ 1.457.707,00
50	654	623,558	13	\$ 1.458.922,00
	OPTİMUM PANEL SAYISI	OPTİMUM BEDS KAPASİTESİ (kWh)	OPTİMUM BEDS SAYISI	MİNİMUM MALİYET
OPTİMUM SONUÇLAR	653	623,93	13	\$ 1.451.615,47

Optimizasyon sonucunda elde edilen optimum PV panel ve BEDS sayısı sonucunda minimum maliyet Çizelge 6.3’de belirtilmiştir.

Optimizasyon sonucu istasyondaki güç grafiği ve kullanılacak olan BEDS’nin kapasite oranı Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. İstasyon üzerindeki PV panel, yük ve şebeke güçleri durum-2



Şekil 6.4. BEDS kapasite oranı durum-2

Şebeke üzerinden alınan elektrik enerjisi kurulum maliyeti içerisine eklenmemiştir. Şebeke üzerinden alınan elektrik enerjisi maliyeti işletme maliyetidir. Fakat şebeke üzerinden alınan elektrik enerjisi miktarı karbon emisyonuna neden olmaktadır. Şebeke üzerinden günlük olarak 218,4 kWh elektrik enerjisi alınacak olup senelik olarak 79 716 kWh elektrik enerjisi kullanılacağı tespit edilmiştir. Senelik olarak 7 891,88 \$ elektrik enerjisi için ödeme yapılacaktır.

Optimizasyon sonucunda çıkan kurulum maliyeti için yapılan yatırımın geri dönüş süresinin de hesaplanması gerekmektedir. İstasyonumuzun elektrik satış bedeli 0,27 \$/kWh olarak belirlenmiştir. Yıllık olarak elektrik maliyetlerinin %10 oranında artacağı göz önüne alındığında kurulum maliyetinin geri dönüşü Çizelge 6.4’de belirtildiği gibi yedinci sene içerisinde yapılan yatırımların karşılığı alınacaktır.

Çizelge 6.4. Kurulum maliyetinin geri dönüş süresi durum-2

Yıllar	Günlük Gelen Araç Sayısı	Senelik Verilen Enerji (kWh)	Satış Bedeli (\$/kWh)	Senelik Satın Alınan Elektrik (kWh)	Satın Alınan Elektrik Birim Fiyatı	Elektrik Maliyeti	Senelik Kazanç	Toplam Kazanç
1	56	637728	\$ 0,27	79716	\$ 0,099	\$ 7.891,88	\$ 164.294,68	\$ 164.294,68
2	56	637728	\$ 0,30	79716	\$ 0,109	\$ 8.681,07	\$ 180.724,14	\$ 345.018,82
3	56	637728	\$ 0,33	79716	\$ 0,120	\$ 9.549,18	\$ 198.796,56	\$ 543.815,38
4	56	637728	\$ 0,36	79716	\$ 0,132	\$ 10.504,10	\$ 218.676,21	\$ 762.491,59
5	56	637728	\$ 0,40	79716	\$ 0,145	\$ 11.554,51	\$ 240.543,84	\$ 1.003.035,43
6	56	637728	\$ 0,43	79716	\$ 0,159	\$ 12.709,96	\$ 264.598,22	\$ 1.267.633,65
7	56	637728	\$ 0,48	79716	\$ 0,175	\$ 13.980,95	\$ 291.058,04	\$ 1.558.691,69
8	56	637728	\$ 0,53	79716	\$ 0,193	\$ 15.379,05	\$ 320.163,84	\$ 1.878.855,53
9	56	637728	\$ 0,58	79716	\$ 0,212	\$ 16.916,95	\$ 352.180,23	\$ 2.231.035,76
10	56	637728	\$ 0,64	79716	\$ 0,233	\$ 18.608,65	\$ 387.398,25	\$ 2.618.434,01

Kullanılan elektrik enerjisinden kaynaklı olarak karbon emisyonu Türkiye için T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hesaplanan dağıtım noktalarındaki tüketim için 1MWh başına 0,484 ton CO₂ eşdeğer parametresi kullanılacaktır (Enerji ve tabii kaynaklar bakanlığı, 2023)

Şebeke üzerinden alınan elektrik enerjisi sonucunda senelik karbon emisyon miktarı 38 582,544 kg CO₂-eş/kWh olarak tespit edilmiştir.

BEDS sisteminin 6 000 çevrimi olduğu göz önüne alındığında BEDS ömrünün 16 yıl olduğu görülmektedir. Senelik olarak elektrik fiyat artışının senelik olarak %10 olduğu kabul edildiğinde istasyon için şebekeden alınan elektrik enerjisi toplam 1 275 456 kWh enerji alınacağı, 283 711,10 \$ ödeme yapılacağı ve bunun karşılığında yaklaşık olarak 618 ton CO₂-eş/kWh emisyon üretiminin sebep olacağı tespit edilmiştir.

6.3. Sonuç

Şebeke destekli güneş enerjili araç şarj istasyonları için tasarım ve optimizasyon çalışması yapılmıştır. Şarj istasyonu için iki durum üzerinde durularak çalışma durumları için kurulum maliyetleri ve karbon emisyon oranları araştırılmıştır.

İstasyon için yük profilini gerçek bir nokta belirlenerek gelen araç sayısının tespit etmek için modelleme verileri üzerinden analiz yöntemleri uygulanarak yük profili ortaya konulmuştur.

Optimizasyon çalışması literatür taraması yapılarak genetik algoritmaya karar verilmiştir ve her iki durum içinde optimizasyon yapılarak en optimum kurulum maliyet hesaplanmıştır.

Yapılan optimizasyon sonucunda BEDS ve elektrikli araçların enerji ihtiyaçları sadece PV paneller üzerinden enerji sağlanması durumunda iklim değişikliği anlaşmaları ve sıfır emisyon hedefine uygun olduğu görülmüştür. İkinci durumdaki sadece en ucuz gece tarifesinde şebeke üzerinden elektrik enerjisi satın alınması durumda ise ciddi şekilde karbon emisyonuna sebep olduğu görülmüştür. Kurulum maliyetleri karşılaştırıldığında ikinci durumun sanki daha avantajlı gibi görünse dahi istasyon ömrünün en az BEDS ömrü kadar düşünüldüğünde daha sonrasında şebeke üzerinden sağlanacak olan elektrik enerjisiyle beraber aynı değerlere ulaştığı değerlendirilmiştir.

Karbon emisyon salınımının azaltılması ve Paris İklim Anlaşması'nın sıfır karbon emisyonu hedefi doğrultusunda ulaşımda kullanılan mevcut benzin ve dizel araçlar yerine emisyon salınımı olmayan çevreci elektrikli araçların kullanılması ve yaygınlaştırılması tavsiye olmaktan çıkmış zorunluluk haline gelmiştir.

Küresel olarak hedef doğrultusunda birçok ülke dev adımlar atarak elektrikli araçlara teşvik vermekte ve gerekli olan şarj altyapısı için girişimlerde bulunmaktadır.

Elektrikli araçların yaygınlaşması için kesinlikle şarj istasyonlarının kurulumlarının artırılması ve yaygınlaştırılması gerekmektedir. Şarj istasyonlarının kurulumu yapılırken de bunun paralelinde şebeke altyapısının da geliştirilmesi gerekmektedir.

Elektrikli araçlar temiz çevre dostu olarak adlandırılmış olsa dahi elektrikli araçları şarj etmek için kullanılan enerjinin konvansiyonel yakıtlardan elde edilen elektrik ile yapılması çevreci anlayışın ve sıfır emisyon hedefinden uzaklaşmasına sebep olmaktadır.

Elektrikli araçların şarjı için kullanılacak olan elektriğin mutlak olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmesi gerekmektedir. Bu bakımdan yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde elektrikli araçların şarj işlemi için güneş enerjisinin kullanılması diğer enerji kaynaklarına göre bir adım öndedir.

Ülkemiz için elektrikli araçların şarj edilmesi konusunda adımlar atılmaya başlanmış olsa da şarj işlemi için kullanılan elektrik şebeke üzerinden kullanılmaktadır. Maalesef ki ülkemizde üretilen elektriğin büyük bir kısmını konvansiyonel kaynaklardan üretilmektedir. Bu sebeple elektrik araçların şarj işlemleri için yapılacak olan yatırımlarda güneş enerjisi başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen elektrik ile elektrikli araçların şarj edilmesine önem verilmesi gerekmektedir.

Karbon emisyonun azaltılması ve belirlenen hedeflere ulaşılması yolunda Türkiye elektrikli araçlar ve şarj istasyonları konusunda daha başlangıç evresinde kabul edebiliriz. Hedeflere ulaşabilmek için tasarımı ve optimizasyonu yapılan güneş enerjili şarj istasyonlarının hızlı bir şekilde yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bunun sebebi emisyon sonuçları çok açık bir şekilde göstermektedir ki temiz enerji kaynaklarının kullanılarak yapılan her adım sıfır karbon emisyon hedefine bizi bir adım daha yaklaştıracaktır.

Yapılan çalışmanın ülkemiz için bir örnek teşkil etmesi ve atılacak olan temiz enerji adımlarında farkındalık oluşturmaya amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Altaş İ. H. (1998). *Fotovoltaik Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri* (Birinci Baskı). İstanbul: Bileşim yayıncılık A.Ş., 66-71.
- Boujun, S. (2020). A multi-objective optimization model for fast electric vehicle charging stations with wind, PV power and energy storage. *Journal of Cleaner Production*, 288(288), 125564.
- Çobanoğlu, A. (2020). *Elektrikli Kara Araçları İçin Güneş Enerjisi Destekli Bir Şarj İstasyonunun Tasarımı*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Dai, Q., Liu, J. and Wei, Q. (2019). Optimal photovoltaic/battery energy storage/electric vehicle charging station design based on multi-agent particle swarm optimization algorithm. *Sustainability*, 11(7), 1973.
- İnternet: Global Solar Atlas, (2018). URL: <https://globalsolaratlas.info/download?c=0.35156,-45,2>. Son Erişim Tarihi: 06.06.2022
- İnternet: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, (2023). URL: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>. Son Erişim Tarihi: 06.06.2022
- İnternet: Resmi Gazete, (2022). URL: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/04/20220402-2.htm>. Son Erişim Tarihi: 21.06.2022
- İnternet: IEA, (2023). URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>. Son Erişim Tarihi: 05.05.2023
- İnternet: IEA, (2022). URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>. Son Erişim Tarihi: 05.05.2023
- İnternet: TÜİK, (2023). URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Mart-2023-49425>. Son Erişim Tarihi: 05.05.2023
- İnternet: Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, (2022). URL: <https://www.sanayi.gov.tr/plan-program-raporlar-ve-yayinlar/strateji-belgeleri/mu0906011618>. Son Erişim Tarihi: 19.06.2022
- İnternet: Tehad, (2022). URL: <https://www.tehad.org/2022/05/22/devlet-destegi-ile-sarj-istasyonu-kurulu-gucumuz-230mwa-cikiyor/>. Son Erişim Tarihi: 19.06.2022
- İnternet: Guyad, (2022). URL: <http://www.guyad.org/TR,142/guyad-tarafindan-bir-ilk-daha.html>. Son Erişim Tarihi: 20.06.2022
- İnternet: Kalyon EV, (2022). URL: <https://mobile.twitter.com/kalyonev>. Son Erişim Tarihi: 20.06.2022

- İnternet: G-Charge, (2022). URL: <http://g-charge.com.tr/page/solar---batarya-destekli-elektrikli-arac-sarj-istasyonutesisi>. Son Erişim Tarihi: 20.06.2022
- İnternet: Tehad, (2021). URL: <https://www.tehad.org/2021/10/13/kalyon-sarj-uniteleri-ilk-kez-goruntulendi>. Son Erişim Tarihi: 20.06.2022
- İnternet: Anadolu Ajansı, (2023). URL: <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiyede-her-iki-elektrikli-araca-bir-sarj-istasyonu-dusuyor/2458329>. Son Erişim Tarihi: 17.01.2023
- İnternet: Tehad, (2023). URL: <https://www.tehad.org/2023/01/10/2022-yili-elektrikli-ve-hibrid-otomobil-satis-rakamlari-belli-oldu>. Son Erişim Tarihi: 11.05.2023
- İnternet: Renault, (2023). URL: <https://www.renault.com.tr/elektrikli-araclar/yeni-zoe/sarj-batarya.html>. Son Erişim Tarihi: 17.01.2023
- İnternet: Google, (2022). URL: <https://goo.gl/maps/6CpABY6i1htZSGE2A>. Son Erişim Tarihi: 04.11.2022
- İnternet: Kalyon PV, (2022). URL: <https://kalyonpv.com/Products/tr/m10-144-transperant-backsheet.html>. Son Erişim Tarihi: 12.12.2022
- İnternet: Atlas Copco, (2023). URL: <https://www.atlascopco.com/tr-tr/construction-equipment/products/energy-storage-systems/medium>. Son Erişim Tarihi: 17.01.2023
- İnternet: EPDK, (2023). URL: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>. Son Erişim Tarihi: 29.05.2023
- İnternet: Mevzuat, (2022). URL: <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=4702&mevzuatTur=Kuru mVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5>. Son Erişim Tarihi: 16.12.2022
- İnternet: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, (2022). URL: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/34.aspx>. Son Erişim Tarihi: 20.12.2022
- İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2023). URL: <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri>. Son Erişim Tarihi: 29.05.2023
- İnternet: Tehad, (2022). URL: <https://www.tehad.org/2022/02/18/markalarin-elektrikli-otomobil-yol-haritasi-kim-hangi-asamada/>. Son Erişim Tarihi: 21.06.2022
- İnternet: TÜİK, (2023). URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672>. Son Erişim Tarihi: 24.05.2023
- İnternet: Irena, (2023). URL: <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>. Son Erişim Tarihi: 27.04.2023
- İnternet: TEİAŞ, (2023). URL: https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf. Son Erişim Tarihi: 27.04.2023

- Kocabey, S. (2018). Elektrikli Otomobillerin Dünü, Bugünü ve Geleceği. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1(1), 16-23.
- Li, T., Zhang, J., Yuanxing Z. and Jiang, L. (2018, 21-23 October). *An Optimal Design and Analysis of a Hybrid Power Charging Station for Electric Vehicles Considering Uncertainties*. IECON 2018-44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Washington.
- Leone, C., Longo, M., Fernández-Ramírez, L. M. and García-Triviño, P. (2022). Multi-Objective Optimization of PV and Energy Storage Systems for Ultra-Fast Charging Stations. *IEEE Access*, 10, 14208-14224.
- Moradzadeh, M. and Abdelaziz, M. M. A. (2020). A new MILP formulation for renewables and energy storage integration in fast charging stations. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 6(1), 181-198.
- Mumcu, İ. (2019). *Elektrikli Araçlar İçin Güneş Enerjisi İle Çalışan Şarj İstasyonu Ağı Kurma*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Perdahçı C. (2005, 19-22 Ekim). *Güneş Pillerinin Çatı Dizaynında Kullanılması*. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 2005, Mersin.
- Singh, G., Baredar, P., Singh, A. and Kurup, D. (2017). Optimal sizing and location of PV, wind and battery storage for electrification to an island: A case study of Kavaratti, Lakshadweep. *Journal of Energy Storage*, 12(12), 78-86.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Muhammet Ali ŞAHİN

Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti

Eğitim Derecesi

Okul/Program

Mezuniyet

Lisans

Karadeniz Teknik Üniversitesi

2012

İş Deneyim/Yıl

Çalıştığı Yer

Görevi

2013-2014

Vezirağaç Orman Ürünleri A.Ş.

Elektrik Bakım Müh.

2014-

Hava Kuvvetleri Komutanlığı

Elektrik Mühendisi

Yabancı Dili

İngilizce