

**T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İKİ YÖNLÜ ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ
İSTASYONLARININ GÜÇ SİSTEMLERİNE
OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI KULLANILARAK
YERLEŞTİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Ömer SARIDAĞ**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DOĞAN**

**Haziran 2022
KAYSERİ**

**T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**İKİ YÖNLÜ ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ
İSTASYONLARININ GÜÇ SİSTEMLERİNE
OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI KULLANILARAK
YERLEŞTİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Ömer SARIDAĞ**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DOĞAN**

**Haziran 2022
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.



Ömer SARIDAĞ
İmza

YÖNERGEYE UYGUNLUK

İki Yönlü Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Güç Sistemlerine Optimizasyon Algoritmaları Kullanılarak Yerleştirilmesi adlı Yüksek Lisans tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan
Ömer SARIDAĞ
İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DOĞAN
İmza

YÜKSEK LİSANS BİTİRME TEZİ KABUL VE ONAY SAYFASI

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DOĞAN danışmanlığında Ömer SARIDAĞ tarafından hazırlanan “İki Yönlü Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Güç Sistemlerine Optimizasyon Algoritmaları Kullanılarak Yerleştirilmesi” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

15/06/2022

JÜRİ:

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DOĞAN

Üye : Doç. Dr. Mehmet BİLİM

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Serkan BAHÇECİ

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... /...../

Prof. Dr. Serhan YAMAÇLI

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

“İki Yönlü Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Güç Sistemlerine Optimizasyon Algoritmaları Kullanılarak Yerleştirilmesi” konulu tez çalışmasının seçiminde, yürütülmesinde, sonuçlandırılmasında desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DOĞAN’a teşekkürlerimi sunuyorum.

Hayatımın her döneminde olduğu gibi yüksek lisans döneminde de maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Ömer SARIDAĞ

Kayseri, Haziran 2022

İKİ YÖNLÜ ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ GÜÇ SİSTEMLERİNE OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI KULLANILARAK YERLEŞTİRİLMESİ

Ömer SARIDAĞ

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DOĞAN

ÖZET

Fosil yakıtlara olan bağımlılık neticesinde kaynakların azalması ve fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının doğaya verdiği zarar, elektrikli araçlara geçişte önemli rol oynamıştır. Elektrikli araçların yaygınlaşması ve şarj ihtiyacı ile birlikte artan enerji talebi ve puant yükler gibi güç sistemlerini olumsuz etkileyecek sonuçlara neden olmaktadır. Diğer taraftan, iki yönlü elektrikli araç şarj istasyonları (İYŞİ) teknolojisi ise elektrikli araç bataryasında bulunan elektrik enerjisini çift yönlü aktarım ile şebekeye ileterek elektrik şebekesine destek olabilmektedir. Çift yönlü aktarım sayesinde elektrikli araç bataryalarında bulunan elektrik enerjisini şebekenin yoğun saatlerinde şebekeye aktararak katkı sağlayabilmektedir. Bu konseptte, elektrikli araçlar bir dağıtık üretim sistemi olarak düşünüldüğünden şebekeye bağlantı konumu ve kapasitesi önemli bir problem haline gelmektedir.

Bu tez çalışmasında, İYŞİ teknolojisine sahip şarj istasyonlarının elektrik şebekesindeki en uygun konum ve kapasitesini belirlemek için Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (GKO), Sinüs Kosinüs Algoritması (SKA) ve Şempanze Optimizasyon Algoritması (ŞOA) algoritmaları kullanılmıştır. Hatta bulunan aktif güç kayıplarını azaltmak için tanımlanan hedef fonksiyon minimize edilmiştir. Optimizasyon yapılırken algoritmalar 34 baralı ve 85 baralı test sistemlerine ayrı ayrı uygulanmış ve GKO, SKA, ŞOA algoritmalarının sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan benzetimler karşılaştırıldığında da şarj istasyonlarının optimum konum ve kapasitelerine ulaşması için GKO, hem aktif hem de reaktif güç kayıpları açısından diğer algoritmalara göre daha iyi performans göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araç, İki Yönlü Elektrikli Araç Şarj İstasyonları, Optimizasyon, Gri Kurt Optimizasyon Algoritması.

PLACEMENT OF BIDIRECTIONAL ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS IN POWER SYSTEMS USING OPTIMIZATION ALGORITHMS

Ömer SARIDAĞ

Nuh Naci Yazgan University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master of Science Thesis, June 2022

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ahmet DOĞAN

ABSTRACT

As a result of the dependence on fossil fuels, the reduction of resources and the damage caused to nature by greenhouse gas emissions from fossil fuels have played an important role in the transition to electric vehicles. The widespread use of electric vehicles and requirement for charging power cause consequences that will negatively affect power systems such as increase in energy demand and peak loads. On the other hand, bidirectional electric vehicle charging stations (BEVCS) technology can support the electricity grid by transmitting the electrical energy stored in the electric vehicle battery to the grid with bidirectional transmission. Thanks to the bidirectional transmission, it can contribute to the grid by transferring the electrical energy contained in the electric vehicle batteries to the grid during peak hours. In this concept, since electric vehicles are considered as a distributed generation system, the location and capacity of charging stations becomes an important problem.

In this thesis, Grey Wolf Optimization Algorithm (GWO), Sine Cosine Algorithm (SCA) and Chimpanzee Optimization Algorithm (COA) algorithms were employed to decide the most appropriate capacity and location of the BEVCS into the electrical grid. In order to reduce the active power losses, the objective function has been determined and minimized. The algorithms were applied separately to IEEE 34-bus and 85-bus test systems, and the results of GWO, SCA and COA algorithms were compared with each other. As comparison GWO performed better than other algorithms in terms of both active and reactive power losses.

Keywords: Electric Vehicle, Bidirectional Electric Vehicle Charging Stations, Optimization, Grey Wolf Optimization Algorithm.

İÇİNDEKİLER

İKİ YÖNLÜ ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ GÜÇ
SİSTEMLERİNE OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI
KULLANILARAK YERLEŞTİRİLMESİ

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR.....	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv

1. BÖLÜM: GİRİŞ

1.1 Giriş.....	1
----------------	---

2. BÖLÜM: LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Literatür Taraması	5
------------------------------	---

3. BÖLÜM: ELEKTRİKLİ ARAÇLAR ve ŞEBEKE BAĞLANTISI

3.1 Elektrikli Araçların Tarihçesi	12
3.2 Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG)	15
3.3 Elektrikli Araçların Şebekeye Bağlanması.....	17
3.4 Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri.....	19
3.4.1 Kablolu Şarj Etme Yöntemi.....	20
3.4.1.1 Dahili Şarj Yöntemi.....	20
3.4.1.2 Harici Şarj Yöntemi.....	23
3.4.2 Kablosuz Şarj Etme Yöntemi	25

3.4.2.1 Statik Şarj Yöntemi	26
3.4.2.2 Dinamik Şarj Yöntemi.....	26
3.4.3 Batarya Değişirme Yöntemi	27
3.5 Elektrik Sinyaline Göre Elektrikli Araç Şarj Türleri	28
3.5.1 Sabit Gerilim	28
3.5.2 Sabit Akım	28
3.5.3 Darbe Şarjı	28
3.5.4 Negatif Darbe Şarjı	28
3.6 Şarj İstasyonları Konumları.....	29
3.6.1 Konut Şarj İstasyonları.....	29
3.6.2 İşyeri Şarj İstasyonları	29
3.6.3 Filo Şarj İstasyonları	29
3.6.4 Ticari Şarj İstasyonları	29
4. BÖLÜM: İKİ YÖNLÜ ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI (İYŞİ)	
4.1 İki Yönlü Elektrikli Araç İstasyonları (İYŞİ)	31
4.2 İYŞİ'nin Avantajları.....	33
4.3 İYŞİ'nin Dezavantajları	34
4.4 İYŞİ Teknolojisi ve Bileşenleri	36
4.5 Teknoloji Ortamı	38
4.5.1 Batarya Yönetim Sistemi.....	38
4.5.2 Şarj Cihazı	38
4.5.3 Yazılım	39
4.5.4 Ölçüm	39
4.5.5 Piyasalar	39
4.5.6 İş Modelleri.....	40
4.6 Dağıtım Ağı Kısıtlamaları	40
4.6.1 Termal Kısıtlamalar	40
4.6.2 Kararlı Durum Gerilim Kısıtlamaları	40
4.6.3 Gerilim Dalgalanmaları	41
4.6.4 Esneklik Kısıtlamaları.....	41
4.6.5 Arıza Akımı Kısıtlamaları.....	41

4.6.6 Harmonikler	42
4.6.7 Dengesiz Güç Akışı Kısıtlamaları.....	42
4.7 İYŞİ ile Dağıtım Ağı Kısıtlamalarına Çözümler.....	42
4.7.1 Termal Kısıtlamaları için İYŞİ Kullanılması.....	42
4.7.2 Kararlı Durum Gerilim Kısıtlamaları için İYŞİ Kullanılması.....	43
4.7.3 Gerilim Dalgalanmaları için İYŞİ Kullanılması	43
4.7.4 Esneklik Kısıtlamaları için İYŞİ Kullanılması	43
4.7.5 Arıza Akımı Kısıtlamaları ve Harmonikleri için İYŞİ Kullanılması..	44
4.7.6 Dengesiz Güç Akışı Kısıtlamaları için İYŞİ Kullanılması	44
4.8 Dünyadaki İYŞİ Projeleri	44

5. BÖLÜM: OPTİMİZASYON KAVRAMI

5.1 Optimizasyon.....	48
5.2 Sezgisel Algoritmalar.....	52
5.2.1 Evrimsel Algoritmalar.....	53
5.2.1.1 Genetik Algoritma	53
5.2.1.2 Diferansiyel Değerlendirme	53
5.2.1.3 Evrimsel Programlama	54
5.2.2 Sürü Tabanlı Algoritmalar	54
5.2.2.1 Karınca Kolonisi Optimizasyonu	54
5.2.2.2 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu	55
5.2.2.3 Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu	55
5.2.2.4 Ateş Böceği Optimizasyonu.....	56
5.2.2.5 Guguk Kuşu Arama Algoritması	56
5.2.3 Fizik Tabanlı Algoritmalar	57
5.2.3.1 Büyük Patlama-Büyük Kriz Algoritması	57
5.2.3.2 Kara Delik Algoritması	57
5.2.3.3 Henry Gazı Çözünürlük Optimizasyonu	58
5.2.3.4 Yerçekimi Arama Algoritması	58
5.3 İYŞİ Yer Seçimi için Kullanılan Algoritmalar.....	59
5.3.1 Gri Kurt Optimizasyonu (GKO).....	59
5.3.2 Sinüs Kosinüs Algoritması (SKA)	61

5.3.3 Şempanze Optimizasyon Algoritması (ŞOA)	63
6. BÖLÜM: İKİ YÖNLÜ ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ GÜÇ SİSTEMLERİNE OPTİMUM YERLEŞİMİ	
6.1. Amaç Fonksiyonu	65
6.2. Benzetim Sonuçları	66
6.2.1 34-Baralı Test Sistemi.....	67
6.2.2 85-Baralı Test Sistemi.....	71
7. BÖLÜM: SONUÇ ve ÖNERİLER	
7. Sonuç ve Öneriler.....	75
KAYNAKÇA	78
ÖZGEÇMİŞ	92

KISALTMALAR

EV: Elektrikli Araçlar

İYŞİ: İki Yönlü Elektrikli Araç Şarj İstasyonları

GKO: Gri Kurt Optimizasyonu

SKA: Sinüs Kosinüs Algoritması

ŞOA: Şempanze Optimizasyonu Algoritması

TOGG: Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu

ÇOA: Çekirge Optimizasyon Algoritması

P : Aktif Güç

Q : Reaktif Güç

GA: Genetik Algoritma

PSO: Parçacık Sürü Optimizasyonu

IEEE: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü

ŞHA: Şarjedilebilir Hibrit Araçlar

HHA: Hafif Hibrit Araçlar

DC: Doğru Akım

AC: Alternatif Akım

A : Akım

V : Volt

CHAdEMO: Charge de Move

KŞS: Kombine Şarj Sistemi

EPDK: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

TYŞ: Tek Yönlü Şarj

REVS: Elektrikli Araçtan Şebekeye Servis Hizmetlerinin Gerçekleştirilmesi

NEM: Avustralya Ulusal Elektrik Piyasası

ABA: Ateş Böceği Algoritması

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1. Elektrikli araç bilgileri.....	16
Tablo 3.2. Şarj güç seviyeleri.....	23
Tablo 3.3. Elektrikli araç şarj standartları.....	25
Tablo 6.1. GKO, ŞOA ve SKA algoritmaları kullanılarak 34-baralı test sisteminde elde edilen benzetim sonuçları.	68
Tablo 6.2. GKO, ŞOA ve SKA algoritmaları kullanılarak 85-baralı test sisteminde elde edilen benzetim sonuçları.....	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Thomas Edison ve bir Detroit elektrikli arabası, 1913	12
Şekil 3.2. ŞHA'nın yapısı	13
Şekil 3.3. Farklı ülkelerdeki elektrikli araç alımlarının yıllara göre değişimi.	14
Şekil 3.4. Türkiye'nin yerli elektrikli aracı.....	15
Şekil 3.5. Son 12 ayda oluşturulan elektrikli araç şarj noktalarının sayısı ve en çok kullanılan 20 ülke (2017).	17
Şekil 3.6. Çift yönlü güç alışverişi.....	18
Şekil 3.7. Elektrikli araç şarj yöntemleri	20
Şekil 3.8. Seviye 1 şarj istasyonu.	21
Şekil 3.9. Seviye 2 şarj istasyonu	22
Şekil 3.10. CHAdeMO konektörü..	24
Şekil 3.11. Tipik kombine şarj sistemi araç girişi.....	24
Şekil 3.12. Statik şarj sistemi.....	26
Şekil 3.13. Dinamik şarj sistemi.	27
Şekil 3.14. Türkiye'de kurulu şarj istasyonları haritası	30
Şekil 4.1. İYŞİ sisteminin blok diyagramı.....	31
Şekil 4.2. İYŞİ sisteminin bileşenleri ve güç akışı	37
Şekil 4.3. Dünya genelindeki İYŞİ projelerinin yerlerini gösteren harita (2022).	45
Şekil 4.4. İYŞİ özelliğine sahip şarj cihazı	46
Şekil 5.1. Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması.	50
Şekil 5.2. Optimizasyon tekniklerinin sınıflandırılması	50
Şekil 5.3. Sezgisel algoritmaların sınıflandırılması.	53
Şekil 5.4. Gri kurt hiyerarşisi.....	59
Şekil 5.5. $[-2\pi$ ve $2\pi]$ aralığında sinüs ve kosinüs fonksiyonları.....	61
Şekil 6.1. GKO, ŞOA ve SKA algoritmaları ile şarj istasyonlarının 34-baralı test sisteminde optimum konumları.....	69
Şekil 6.2. 34-baralı test sistemi bara gerilimleri	71
Şekil 6.3. GKO, ŞOA ve SKA algoritmaları ile şarj istasyonlarının 85-baralı test sisteminde optimum konumları.....	72
Şekil 6.4. 85-baralı test sistemi bara gerilimleri.	74

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1 Giriş

Günümüzde kullanılan araçların çoğu fosil yakıtlı araçlardır. Elektrikli araçlar (EV) ise enerjinin çeşitlendirilerek hava kirliliğini azaltmak ve sera gazı emisyonlarını azaltma hedeflerine katkıda bulunmak için umut vadeden bir teknolojidir. Özellikle ulaşım sektöründe fosil yakıtların geniş kullanımıyla artan sera gazı emisyonları, geleneksel enerji kaynaklarının giderek tükenmesi, son yıllarda lityum iyon bataryalarının ve hızlı şarj teknolojisinin sürekli gelişmesi ve ucuzlaması, EV'lere yönelimin artmasını sağlamıştır. EV satışları 2019 yılında bir önceki yıla göre %40 artarak küresel araç satışlarının %2,6'sını ve küresel otomobil stoğunun yaklaşık %1'ini oluşturmaktadır. 2010 yılında dünya yollarında yalnızca yaklaşık 17.000 elektrikli otomobil varken 2019 itibariyle bu sayı 7,2 milyona yükselmiştir. Bu tarihte yollardaki EV'lerin %47'si Çin'de bulunmaktadır [1]. Elektrikli otomobil satışları, küresel otomobil pazarında pandemi kaynaklı dünya çapındaki düşüşe rağmen 2020'de %41 artmıştır. On yıllık hızlı büyümenin ardından 2020'nin sonunda dünya yollarında 10 milyon elektrikli otomobil vardır [2]. Birçok ülke, yollardaki EV sayısını artırmak adına teşvik politikaları uygulamaktadır. Dünya genelindeki hükümetler elektrikli otomobil satışlarını desteklemek için teşvik miktarlarını 2019'a göre %25 artarak 14 milyar dolar harcamıştır. Uluslararası enerji ajansının elektrikli araç araştırma raporunda, yollardaki toplam EV sayısının 2030'a kadar 245 milyon araca ulaşması öngörülmüştür [3].

Fosil yakıtlı araçlar yerine EV'lerin kullanımının ulaşım sektöründe de yaygınlaşması, yakıt maliyetleri ve gaz emisyon oranlarını minimum seviyelere indirmeyi amaçlar. EV'ler sadece gaz emisyonunu düşürmekle kalmaz, güneş ve rüzgâr enerjisi gibi değişken yenilenebilir enerjilerle uyum sağlayarak ilgili güç sisteminin ekonomisini ve güvenliğini geliştirebilmektedir. Elektrik gücü fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerjiden elde edilirse hem araçlardan emisyon salınımı engellenir hem de elektrik enerjisi temiz bir şekilde elde edilir. EV bataryalarının şarj edilebilmesi için elektrik şebekelerine bağlanma gerekliliği vardır. Dolayısıyla, ulaşım sektörü ile elektrik sistemleri arasında karşılıklı bağımlılıklar oluşturan bir “sektör bağlantısı” söz konusudur. EV batarya şarj işleminin yüksek güç gereksinimleri, toplumsal elektrik tüketim modellerini değiştirecek ve iyi yönetilmezse şebeke üzerinde önemli bir yük oluşturacaktır. Çalışmalar, EV şarj yüklerinin iyi koordine edilmediği takdirde, yaklaşık dörtte bir oranında puant yük talebini artırmaya başlayabileceğini göstermiştir. Ancak altyapısı oluşturulan iki yönlü elektrikli araç şarj istasyonları (İYŞİ) sistemi ile EV'ler hem enerji hem de ulaşım hizmetleri sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, EV bataryalarının geniş depolama kapasitesi, özellikle çoğu aracın park halinde geçirdiği uzun süreler göz önüne alındığında, daha iyi şebeke yönetimi için fırsatlar sunmaktadır.

Elektrikli araçlar şebeke için bir depolama elemanı olarak değerlendirilebilir ve İYŞİ puant yük durumlarında şebekenin katkı sağlamak içinde kullanılabilmektedir. Elektrik sisteminin ötesinde İYŞİ bir bütün olarak topluma fayda sağlayabilmektedir. İYŞİ elektrik fiyatlarını azaltabilir ve esnek depolama imkânları, temiz enerjiye geçişin gerekli bir unsuru olan yenilenebilir üretim entegrasyonunu destekleyebilir. Benzer şekilde İYŞİ, EV'lerin şarj maliyetini azaltarak sayısını artırabilir ve ek çevresel faydalar yaratabilir. Diğer taraftan, İYŞİ aracılığıyla elektrik piyasasına katılım, enerji sisteminde arz güvenliğinin sağlanmasına destek vererek güven açığını tersine çevirmeye yardımcı olabilir.

İYŞİ şebekeye enerji veren sistemler olarak da kullanılabileceği için bir dağıtık üretim sistemi gibi düşünülebilir. Yani, şarj istasyonuna bağlı elektrikli araçların bataryalarındaki mevcut gücün ve enerjinin toplamı bağlı oldukları baradan şebekeye enerji veren dağıtık enerji kaynağı olarak değerlendirilebilir. Dağıtık enerji kaynaklarının ise hangi noktadan şebekeye bağlı olduğu güç sistemlerinde kayıplar, kontrol ve güç akışı

açısından önem arz etmektedir. Bundan dolayı bu çalışmada İYŞİ şebekenin en uygun noktasına en uygun kapasite ile yerleştirilmesi optimizasyon algoritmaları ile sağlanmıştır. Bu çalışmada, İYŞİ'nin optimum konum ve kapasite belirlenmesi Gri Kurt Optimizasyon (GKO) algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın gerçekçi olması açısından üç farklı şarj/deşarj gücüne sahip EV modeli göz önünde bulundurulmuştur. Senaryolar 34-baralı ve 85-baralı olmak üzere iki farklı test sistemine uygulanmıştır ve sonuçlar Sinüs Kosinüs Algoritması (SKA) ve Şempanze Optimizasyon Algoritması (ŞOA) ile karşılaştırılmıştır. İstatistiki sonuçlar, 1000 iterasyonlu algoritmaların 100'er kez koşturulması sonucu elde edilmiştir.

Tez çalışmasının birinci bölümünde, teze ilgili giriş bölümü verilmiş olup, ikinci bölümde literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir. İYŞİ'nin dağıtım sistemine yerleşiminin güç sistemi açısından öneminden bahsedilerek, İYŞİ şebeke yerleşiminde kısıtlar, hedef fonksiyonlar ve optimizasyon yöntemleri tartışılmıştır.

Üçüncü bölümde, ilk olarak elektrikli araçların tarihinden, araçların elektrik sağlama şekillerine göre türlerinden ve elektrikli araçların fosil yakıtlı araçlar ile avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Dünya da kullanılan, popüler olan elektrikli araçların konnektör tipleri, batarya tipi ve kapasitesi, menzil durumu gibi teknik özellikler incelenmiştir. Elektrikli araçların, kablolu şarj, kablosuz şarj ve batarya değiştirme gibi şarj yöntemleri açıklanmış ve ardından bu yöntemlerin elektrik sinyallerine göre farklı türlerinden bahsedilmiştir. Elektrikli araçların elektrikli şebekesine bağlanması sonucunda şebekede oluşabilecek durumlar açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, İYŞİ sisteminde bulunan bileşenler açıklanmış, bu sistemlerin kullanılmasıyla oluşan avantajlar ve dezavantajlar verilmiştir. Bunu yanında, elektrik şebekesinde oluşan dağıtım ağı kısıtlamalarından bahsedilmiş ve bu kısıtlamalara İYŞİ teknolojisi ile çözümler bu bölümde açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, optimizasyon kavramı açıklanmıştır. Geleneksel ve geleneksel olmayan optimizasyon teknikleri incelenmiştir. Sezgisel algoritmalar olan ve İYŞİ yer seçimi için kullanılan GKO, SKA ve ŞOA algoritmaları incelenmiştir.

Altıncı bölümde, çalışmada yapılan yük akışı belirlenmiş, hat kayıplarını minimize etmek için amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. GKO, SKA ve ŞOA algoritmaları şarj

istasyonlarının optimum konum ve kapasitelerini belirlenmek için 34-baralı ve 85-baralı test sistemleri kullanılmış, bu test sistemlerinde en iyi sonucu almak için algoritmalar birbirleriyle kıyaslanmıştır. Algoritmalar arasında adil bir karşılaştırma yapmak adına, her algoritmada iterasyon sayılar 1000, popülasyon sayıları ise 40 alınarak 100'er kez koşturulmuştur. Test sistemlerinin yük değerleri puant değerler olarak varsayılmış, elektrikli araç deşarjları yoğun zamanda gerçekleştiği varsayılmıştır.

Yedinci bölümde ise tezden çıkarılan sonuçlar ve değerlendirme verilmiştir.



2. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Literatür Taraması

Ulaştırma sektöründe tüketilen enerji, dünya genelinde tüketilen toplam enerjinin %25'ini oluşturmaktadır [4]. Bu nedenle ulaşımda fosil yakıt tüketimi çevre kirliliğine ve yüksek enerji maliyetine yol açmaktadır. Bununla birlikte, enerji verimliliği ve çevre konusunda artan bir hassasiyet var. Elektrikli Araçlar, hem yakıt maliyetini hem de yeşil gaz emisyonlarını azaltmak için önemli seçeneklerdir. Bu nedenle birçok ülke, insanları EV satın almaya teşvik etmekte ve bunun sonucunda yollardaki EV sayısı her geçen gün artmaktadır. Orta senaryoya göre, ABD'de 2050 yılına kadar toplam araçların %62'sinin hibrit veya elektrikli formda olacağı tahmin edilmektedir [5].

EV'de fosil yakıtlı araçlar gibi bataryalarında bulunan elektrik enerjileri tükendiği zaman dolum olmak zorundadır. EV sayıları hızla yükseliş göstermekte ve araçların yeniden şarj edilmesi için sadece özel yerlerde değil halka açık şarj istasyonlarının arttırılması gerekmektedir.

EV şarj istasyonları, dinlenme tesisleri, otopark alanları, mevcut dolum istasyonları ve alışveriş merkezlerinde bulunabilmektedir [6]. 2016 yılında dünya genelinde açık erişim şarj noktalarının sayısı 2015'e göre %72 artarak 320.000'e ulaşmıştır [7]. Bu tür tahminler ve istatistikler, EV için umut verici bir gelecek vaat etmektedir. Yeni nesil elektrik şebekesi olarak kabul edilen akıllı şebeke, dağıtılmış enerji kaynakları, akıllı kontrol ve gelişmiş iletişim teknolojilerini içermektedir. Geniş çapta dağıtılmış otomatikleştirilmiş bir enerji dağıtım ağı oluşturmak için iki yönlü güç ve bilgi akışlarını kullanılır [8]. EV'lerin, zorlukları kadar fırsatlarıyla da geleceğin akıllı şebekesinin önemli bir parçası olması beklenmektedir. EV'lerin

entegrasyonundaki temel zorluk, birçok EV sahibinin işten eve talep yoğun saatlerde evlerine gelmesi nedeniyle EV şarjından kaynaklanan büyük yüklerdir [9, 10]. Araçlar, konuta gelir gelmez şarj olmaya başlarsa puant yükte artış, trafoların aşırı yüklenmesi, gerilimin düşmesi vb. sorunlar ortaya çıkmaktadır [11, 12]. EV'ler ile şarj istasyonlarının teknik özelliklerine göre, EV'lerin tam dolmaları on dakika ile birkaç saat arasında değişmektedir. EV'lerin şebeke olan şarj yükü, dağıtım sistemlerine baskı oluşturarak elektrik şebekesinin olumsuz etkilenmesine neden olur. Özellikle yüksek güç çeken hızlı şarj istasyonlarının şebekeye etkisi hızlı olmayan şarj istasyonlarına göre daha fazladır. EV şarj istasyonlarının mevcut güç sistemine uygun olmayan konum ve kapasitede yerleştirilmesi, şebeke kayıplarında önemli artışlara neden olurken aynı zamanda bara gerilim profilinde bozulmalara neden olabilmektedir.

EV'ler, gerekli altyapı kurulduğunda çift yönlü güç aktarım özelliği sayesinde akıllı şebekede bir yükten fazlasını gerçekleştirebilmektedir [13]. EV'lerin şebekeye güç enjekte etme kabiliyetine iki yönlü elektrikli araç şarj istasyonları (İYŞİ) teknolojisi denir [14]. Bunun yanında, İYŞİ kavramı, güç sisteminin çalışmasını iyileştirmek için EV'lerin depolama özelliklerinden faydalanan akıllı şebeke teknolojilerinden biridir. İYŞİ kavramı, elektrik şebekesine birçok açıdan destek sağlama potansiyeline sahip olan EV ile elektrik şebekesi arasında enerji alışverişine izin vermektedir. S. G. Wirasingha vd. araçların günün büyük bir bölümünde park halinde bulunduğunu ve araçların en az %90'ı teorik olarak İYŞİ için kullanılabilir durumda olduğunu ifade etmiştir [15]. Bir EV bataryası şebeke ölçeğinde oldukça küçük bir enerji depolama kapasitesine sahiptir ancak birçok EV batarya kapasitesi bir araya geldiğinde ise önemli bir enerji depolama kapasitesi ve güç değerine sahip olmaktadır. K. C. Nyks vd.'e göre elektrik şebeke hizmetlerinin sağlanabilmesi adına gün içerisinde park halindeki taşıtların şebekeye bağlı olması için EV sahipleri teşvik edilmelidir [16]. İYŞİ teknolojisinin mevcut durumu, dağıtım ağı üzerindeki etkisi, zorluklar ve fırsatlar [13, 17]'de incelenmiştir. İYŞİ sistemi 6 ana alt sistemden oluşmaktadır. Bu yapıda Enerji sağlayıcısı, dağıtım sistemi aracılığıyla müşterilere enerji sağlar. Bağımsız sistem operatörü/bölgesel iletim organizasyonu, güç sisteminin çalışmasını ve kontrolünü sağlar. Toplayıcı, EV'lerin şarj/deşarj durumunu belirler. EV, enerji sağlayıcısı ve bağımsız sistem operatörü/bölgesel iletim organizasyonu arasında bir ara yüz sağlar. Şarj altyapısı, iki yönlü elektrik gücü ve haberleşme, akıllı ölçüm ve kontrol ise İYŞİ'nin diğer alt sistemleridir. EV'lerin entegrasyonu arttıkça frekans regülasyonu, yük

tıraşlama, dönüş rezervi ve gerilim desteği gibi yardımcı hizmetler EV'ler tarafından sağlanabilir [18, 19].

M. Nurmammed ve T. Karadağ çalışmalarında, şarj istasyonlarının yüksek güç talebinin elektrik şebekesinde ani yük artışına neden olacağı, dolayısıyla trafo kapasitelerinin yükseltilmesi ihtiyacı ve trafo ömürlerinin kısılması gibi önemli miktarda maliyet oluşturma potansiyeline sahip olacağını öngörmektedir [20]. Yazarlar, kurulacak olan şarj istasyonlarının en uygun noktalara yerleştirilmesinin oluşabilecek ekstra maliyetleri azaltmaya yardımcı olacağını ve İYŞİ konumlarının optimize edilerek EV'lerin trafoların aşırı yüklenmesi engellenebileceğini, enerji şebekesine yapılacak yatırım maliyetleri azaltılabileceğini ve enerji şebekesine etkilerinin minimize edilebileceğini vurgulamıştır.

M. H. Amini vd. EV'lerin şarj davranışının olasılıksal bir modelini elde etmiş ve EV park alanlarının güvenlik kısıtlamalı olarak optimum yerleşimi önermiştir [21]. EV şarj istasyonlarının konum belirlenmesi, bir güvenilirlik endeksine dayalı olarak araştırılmış ve bir amaç fonksiyonuna dayalı olarak optimum konumun belirlenmesi için genetik algoritma kullanılmıştır. Çalışmaya göre, EV şarj yerlerinin belirlenmesinde, şarj istasyonunun toplam EV kapasitesi ve şarj gücü önemli etkenlerdir.

A. El-Zonkoly ve L. S. Coelho, EV park alanlarının büyüklüğü ve konumunu enerji maliyetlerini en aza indirmek amacıyla optimize etmiştir [22]. Bir dağıtım sisteminde tahsis edilecek park yeri sayısını optimal olarak belirlemek için çok amaçlı bir algoritma sunulmuştur. Önerilen algoritma, aynı zamanda sistem kaynaklarının karşılık gelen enerji planlamasını da belirler. Algoritmanın amacı, sistemin toplam enerji maliyetini minimize etmektir. Problem, güç sistemi ve EV'lerin operasyonel kısıtlamaları dikkate alınarak yapay arı kolonisi algoritması kullanılarak çözülmüştür.

P. Sadeghi-Barzani vd. çalışmalarında, hızlı şarj istasyonlarının optimum konumlandırılması ve boyutlandırılması için doğrusal olmayan optimizasyon yaklaşımını kullanmıştır [23]. Önerilen yaklaşım, şehir içi yollar için geçerli olmakla beraber şarj istasyonu konumlandırmanın toplam maliyetini en aza indirmek için şarj istasyonlarının en uygun konumunu ve boyutunu bulmaktadır. Toplam maliyet, arazi, şarj tesisi ve elektrifikasyon maliyetinin yanı sıra şarjdan kaynaklanan elektrik şebekesi kaybı ve EV batarya aşınmasını içermektedir. Önerilen yaklaşım, farklı senaryolar için uygulanmıştır. Sonuçlar, toplam maliyetin ana kalemleri EV kaybı ve şarj istasyonu

geliştirme maliyeti olduğunu göstermiştir. Elektrik şebekesi kaybı, toplam maliyette bir sonraki önemli paya sahiptir. EV kaybının problemin baskın bileşeni olduğu ve bu bileşenin probleme dâhil edilmemesi durumunda sonuçların önemli ölçüde değişebileceği de gözlemlenmiştir. Şebeke kaybı probleme dâhil edilmezse istasyonların yeri ve boyutu değişebilir. Bu nedenle, coğrafi bilgi ve kentsel yolları kullanarak önerilen yaklaşımda olduğu gibi, EV kaybını ve şebeke kaybını doğru bir şekilde probleme dâhil etmek önemlidir.

S. R. Gampa vd. elektrikli araç istasyonlarının kapasitelerini ve konumlarının optimum olması için çekirge optimizasyon algoritmasını (ÇOA) kullanılırken, diğer çalışmalardan farklı gerilim profili için şönt kapasitörlerde kullanmıştır [24]. EV şarj istasyonlarının yerleştirilmesi için dağıtık jeneratörler ve şönt kapasitörler ile entegre aktif dağıtım sistemi göz önünde bulundurulmuştur. P-Q yük modelleri, yük akışı analizi için lityum iyon batarya şarj karakteristik eğrileri kullanılarak EV batarya şarj yükü için geliştirilmiştir. EV şarj istasyonlarının optimum boyutlandırılması ve yerleştirilmesi, dağıtım sisteminin gerilim ve akım kısıtlamalarını karşılayarak ve gerçek güç kayıplarını belirli bir maksimum değerle sınırlayarak ve bulanık tabanlı ÇOA algoritması kullanılarak elde edilmiştir. EV yükündeki artışla bile, dağıtık jeneratörler ve şönt kapasitörler desteğiyle gerilim seviyeleri tatmin edici seviyede tutulabilir.

A. Awasthi vd. şarj istasyonu kurulumu için istasyon ekipmanı, işletme, bakım ve arazi maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan bir hedef fonksiyonu oluşturmuştur [25]. İstasyon için kullanılacak ekipman maliyeti, güç ve çıkış sayısına bağlı olarak değişmiştir. Maliyetin optimize edilmesi için yazarlar, hibrit bir optimizasyon yöntemi önermiştir. Hem Genetik Algoritma (GA) hem de ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)'nun en iyi özelliklerini kullanan bir hibrit algoritma, amaç fonksiyonunda başka bir parametre olarak ilk yatırım maliyeti ve dağıtım şebekesi güç kalitesi dikkate alınarak kullanılmıştır. Şarj istasyonu sayısı, dağıtım sistemi üzerinde minimum stres yaratırken gerekli kriterleri karşılanmıştır.

C. Su vd. bir dağıtım sisteminde EV'leri şarj istasyonlarına optimum biçimde yerleştirmek için bir algoritma sunmuştur [6]. Çalışmada, başlangıç zamanı süresi, günlük zamanla değişen yükler ve güç dâhil olmak üzere rastgele EV şarj modelleri ile birlikte göz önünde bulundurulmuştur. Problem, sistem kayıplarının kapasite ve sistem işletme kısıtlarına bağlı olarak en aza indirildiği diferansiyel olmayan kombinasyonel

bir optimizasyon problemi olarak formüle edilmiştir. Dikkate alınan yerleştirme alternatifleri yavaş şarj cihazları için düşünülmüştür.

S. Faddel vd. iki tabakalı çok amaçlı optimizasyonu ticari bir EV park alanının optimum boyutlandırılması için uygulamıştır [26]. Problemin tanımlanmasında, farklı özelliklere (maksimum şarj oranları ve batarya kapasiteleri) ve müşteri tercihlerine sahip birden fazla EV göz önünde bulundurulmuştur. Hem dağıtım sistemindeki kayıpları ve gerilim sapmalarını en aza indirmeye çalışan teknik yönler hem de kâr maksimizasyonu sağlayan ekonomik yönler dikkate alınmıştır. Ayrıca, farklı amaçların gerçekleştirilmesi için hassasiyet analizi de gerçekleştirilmiştir.

Y. Zheng vd., GA ve PSO'dan oluşan hibrit bir algoritma sunmuştur [27]. Çalışmada, EV şarj istasyonlarının yatırım maliyeti ile birlikte şebekenin güvenliğinin göz önünde bulundurulduğu bir hedef fonksiyon tanımlanmıştır. Batarya yaşam döngüsü maliyetine dayalı dağıtım sistemlerinde batarya şarj/deşarj istasyonlarının optimum tasarımı için bir çerçeve sunulmaktadır. Şarj süresi boyunca sağlanan artan gücün gereksinimlerini karşılamak için dağıtım ağı güçlendirilmelidir. Bu donatı maliyetini kontrol altına almak için istasyonlar uygun yerlere yerleştirilmeli ve doğru ölçeklendirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Optimum maliyet-fayda analizi ve güvenlik operasyonu için, projeyi değerlendirmek için yaşam döngüsü kriteri kullanılmış ve sorunu çözmek için değiştirilmiş bir diferansiyel evrim algoritması kullanılmıştır.

J. A. Domínguez-Navarro vd. hızlı şarj istasyonlarının, şebekeden talep edilen yüksek enerjiyi azaltmak ve kârlılığı arttırmak için yenilenebilir üretim kaynakları ve depolama sistemi ile koordinasyonunu incelemiştir [28]. Teknik ve ekonomik faktörleri kullanan GA, EV hızlı şarj istasyonlarının tasarımını optimize etmiştir. Olasılık dağılımları, elektrikli araç talebini ve yenileme üretimini daha gerçekçi bir şekilde modellenmesini sağlamıştır. Spesifik olarak, varış süresi, EV batarya kapasitesi, şarj durumu ve gün içindeki EV dağılımı eklenerek EV talep modeli geliştirilmiştir. Hızlı şarj istasyonlarını yatırım maliyeti yüksek olmakla birlikte, teknolojinin gelişimi, hem depolama sistemlerinde hem de EV'ler için batarya söz konusu olduğunda maliyetlerde azalmaya doğru bir eğilim göstermektedir. Bu gerçek, daha sürdürülebilir enerji yönetimi elde etmek için İYŞİ'lerin de dâhil olduğu dağıtılmış üretimi desteklemektedir.

S. Habib vd. İYŞİ uygulama kabiliyetine sahip bir EV için, reaktif güç desteği, aktif güç regülasyonu, harmonik filtreleme, yük dengeleme vb. gibi çeşitli özellikler sunmuştur [29]. Şebeke frekansı dışındaki sinüzoidal dalgalar harmonikler olarak tanımlanır ve ciddi enerji kalitesi problemlerine neden olacağından filtrelenmesi gerekir. Çalışmada, EV'lerin entegrasyon seviyelerine ve şarj profillerine göre etkileri detaylı olarak tartışılmış ve bir dağıtım ağında koordine edilmiş/koordine edilmemiş şarj, gecikmeli şarj, yoğun olmayan ücretlendirme ve akıllı planlama hakkında kapsamlı bir analiz de sunulmuştur. Aynı zamanda, bir İYŞİ teknolojisinin ekonomik faydalarının büyük ölçüde EV şarj gücü birleştirme stratejilerine bağlı olduğunu gösterilmektedir.

A. Dogan vd. İYŞİ'deki şarj/deşarj koordinasyonunu optimize etmek için bazı popüler sezgisel algoritmalar kullanmıştır [18]. Optimizasyon algoritmaları, EV kısıtlarını ve şebekeyi dikkate alarak koordinasyon maliyetini en aza indirmek için her bir EV'nin şarj/deşarj durumunu belirlemiştir.

A. Dogan ve M. Alci, İYŞİ uygulamalarında batarya aşınmasını da göz önünde bulundurarak şarj/deşarj optimizasyonu gerçekleştirmiştir [30]. Bu çalışma, batarya aşınmasının yanı sıra değişken elektrik maliyetleri ve teşviklerin maliyetlerini de hesaba katan sezgisel algoritmalar kullanarak kullanıcı kârını en üst düzeye çıkarmak için bir çözüm sunmaktadır. Çalışmada batarya aşınma maliyet modeli, elektrikli araçların optimum şarj planlamasına entegre edilmiştir. Şarj programı, EV'lerin kalkışta tam olarak şarj edilmesini garanti eder. Ek olarak, şarj programları, gerilim ve yük sınırlarını hesaba katarak operasyonel kısıtlamaları karşılamaktadır. Sayısal sonuçlar, optimizasyon algoritmalarının hem sistem gereksinimlerine hem de EV sahibinin beklentilerine yanıt verdiğini göstermektedir.

J. Prasomthong vd. bir dağıtım sisteminde İYŞİ zamanla değişen katsayılı Parçacık Sürü Optimizasyonu kullanarak en uygun şekilde yerleştirilmesini önermektedir [31]. Çalışmada puant değerleri dikkate alınmıştır. EV'ler dağıtım sistemine ek yük olacak olsa da, kamu hizmetleri, maksimum güç sağlama, güvenilirlik iyileştirme ve sistem işletim kısıtlamaları dahilinde güç kaybı azaltma dahil olmak üzere toplam faydayı en üst düzeye çıkarmak için İYŞİ'i kullanılmıştır. Şarj istasyonları, EV'leri şarj ederken yük olarak ve şebekeyedeşarj olurken dağıtılmış üretim olarak benzetimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, en yüksek güç sağlama, güvenilirlik iyileştirme ve güç kaybı azaltma dahil olmak üzere toplam maksimum faydayı elde etmek için optimum şarj istasyonu ve boyutu verimli bir şekilde belirlenmiştir.

A. Aljanad vd. güç kaybını, gerilim sapmasını ve hat yüklenmesini en aza indirmek için, İYŞİ teknolojisi ile çok amaçlı bir hedef fonksiyonu tanımlamıştır [32]. Optimizasyon işlemi, kuantum ikili yıldırım arama algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, önerilen algoritma, gelecekte herhangi bir tepe yükü uyarlamak için gereken güç miktarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma, hiçbir ihlalin IEEE izin verilen limitleri aşmamasını garanti edecek şekilde EV tarafından alınan gücü boyutlandırarak gerilim sapmasına da odaklanmıştır. Optimizasyon problemi formülasyonu esas olarak hat yükleme etkilerine (termal etkiler), gerilim sapmasına ve devre kayıplarına dayanmaktadır.

İYŞİ şebekeye enerji veren sistemler olarak da kullanılabileceği için bir dağıtık üretim sistemi gibi düşünülebilir. Şarj istasyonuna bağlı elektrikli araçların bataryalarındaki mevcut gücün ve enerjinin toplamı bağlı oldukları baradan şebekeye enerji veren dağıtık enerji kaynağı olarak değerlendirilebilir. Dolayısıyla dağıtık enerji kaynaklarının hangi noktadan şebekeye bağlı olduğu güç sistemlerinde kayıplar, kontrol ve güç akışı açısından önem arz etmektedir. Bundan dolayı bu çalışmada İYŞİ'nin şebekenin en uygun noktasına en uygun kapasite ile yerleştirilmesi optimizasyon algoritmaları ile sağlanmıştır. Bu çalışmada İYŞİ optimum konum ve kapasite belirlenmesi GKO algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın gerçekçi olması açısından üç farklı şarj/deşarj gücüne sahip EV modeli göz önünde bulundurulmuştur. Senaryolar 34-baralı ve 85-baralı olmak üzere iki farklı test sistemine uygulanmıştır ve sonuçlar SKA ve ŞOA ile karşılaştırılmıştır. İstatistiki sonuçlar, 1000 iterasyonlu algoritmaların 100'er kez koşturulması sonucu elde edilmiştir.

3. BÖLÜM

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR ve ŞEBEKE BAĞLANTISI

3.1 Elektrikli Araçların Tarihçesi

Herhangi bir fosil yakıt kullanmadan ve çevreye karbon salınımı yapmadan elektrik enerjisi ile çalışan taşıtlar elektrikli araçlar olarak adlandırılır. Tarihte bilinen ilk elektrikli araç 1835 yılında bir batarya ve iki elektromıknatıs kullanılarak Thomas Davenport tarafından icat edilmiştir. 1900’lerde elektrikli araçlar altın çağını yaşamaya başlamıştır. 1913’de üretilen bir elektrikli araç Şekil 3.1’de gösterilmiştir. O tarihlerde Amerika Birleşik Devletleri’nde üretilen otomobillerin %28’i elektrikli araçlardan oluşuyordu. Daha fazla menzil isteği ve dolunda yaşanan zaman kayıpları gibi faktörler ilerleyen yıllarda elektrikli araçların tercih edilme oranlarını düşürmüştür [33].

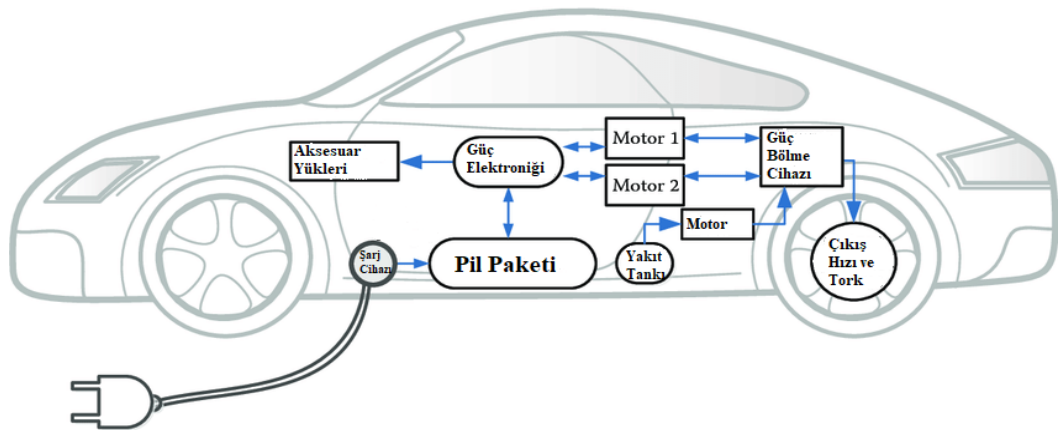


Şekil 3.1. Thomas Edison ve bir Detroit elektrik arabası, 1913.

1977 yılında Toyota firması seri üretilen hibrit otomobilini dünyaya tanıttı ve elektrikli araçların büyük devrimi tekrar başlamış oldu. Birbirini takip eden yıllarda Honda, Ford, Nissan gibi büyük otomobil firmaları ürettikleri yeni elektrikli araçları otomobil dünyasına sundular. 2006 yılına gelindiğinde ise Tesla üretimi başladı. Üretilen diğer otomobillerden farklı olarak tam dolum ile 200 km menzil ile dünyaya adını duyurmayı başardı [33].

Elektrikli araçların elektrik sağlama şekillerine göre farklı türleri vardır [34].

- a) **Tamamen Elektrikli Araçlar:** Bir ya da daha fazla elektrik motorunu bir batarya ile birleştiren bir araba türüdür. Benzin ve dizel motorlar ile kullanılan elektrikli araçlara göre fazladan batarya ömrü sağlar.
- b) **Hibrit Araçlar:** İçten yanmalı bir motoru bulunmasına rağmen bir elektrikli motoruyla çalışabilen, kendini şarj edebilen otomobillerdir. Bataryaları küçük olduğundan düşük hızlara kadar elektrik gücünü kullanır. Bünyesinde bulunan içten yanmalı motor sayesinde frenleme esnasında oluşan kinetik enerji elektrik enerjisine dönüşebilir ve bu sayede kendi kendini şarj edebilmektedir.
- c) **Şarj edilebilir Hibrit Araçlar (ŞHA):** Tam hibrit otomobillere göre elektrik kısımları biraz daha genişletilmiş otomobillere ŞHA denir. Tam hibrit araçların bataryalarına kıyasla daha büyük bataryalara sahip olan ŞHA'lar dolayısıyla daha fazla menzil şansı verir. Şekil 3.2'de ŞHA otomobillerin yapısı gösterilmektedir. Hibrit araçlardan farklı olarak şebekeden de şarj edilebilirler.



Şekil 3.2. ŞHA'nın yapısı [35].

- d) Hafif Hibrit Araçlar (HHA): Diğer otomobil türlerine göre daha az elektrik sağlayan türdür. Elektrik motoru doğrudan içten yanmalı motora ya da şanzımana bağlanır ve turbo şarja benzer şekilde çalışır. HHA'nın amacı kalkış ve hızlanmada kullanıldığı gibi, düşük yakıt ve ideal emisyon için üretilmiştir.

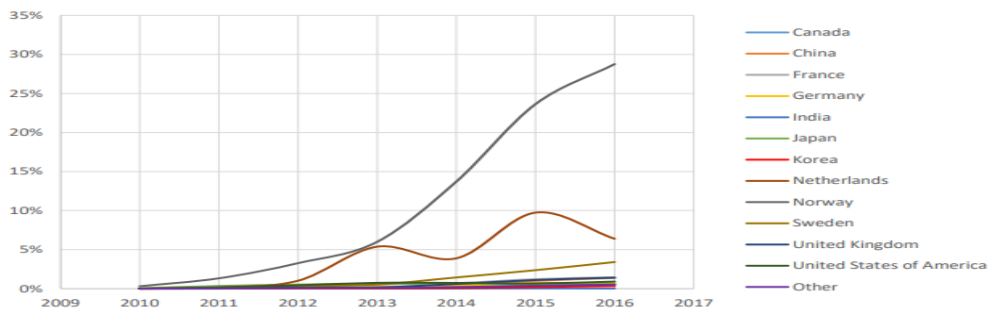
Elektrikli araçların içten yanmalı araçlara göre avantajları:

- Emisyon değerinin düşük olması.
- Yakıt maliyetinin fosil yakıtların yüksek fiyatlı olmasından dolayı içten yanmalı araçlara göre daha düşük olması.
- Elektrik enerjisinin yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilmesi.
- Hareket ve çalışma sırasında yok denecek kadar az ses üretmesi.
- Motor elemanlarının ve aktarma organlarının uzun ömürlü olması.
- İçten yanmalı motorlara göre yüksek performans değerleri.

Elektrikli araçların içten yanmalı araçlara göre dezavantajları [34]:

- Üretim maliyetlerinden dolayı, satış oranlarının düşük olması.
- Depolama için yüksek altyapı maliyetleri.
- İçten yanmalı araçlara göre dolum/şarj süresinin çok daha fazla olması.
- Servis ve şarj istasyonlarının yaygın olmaması.

Elektrikli araçların kullanımı ve şarj altyapıları ile ilgili çeşitli problemler olsa da dünya üzerinde elektrikli araç sahipleri artmaktadır. Bu da elektrikli araçların teknolojilerinin iyileştirildiği, sorunların süreç içerisinde azaldığını göstermektedir. Şekil 3.3'de de görüldüğü gibi elektrikli araç alımları bir önceki seneye göre sürekli artış göstermektedir.



Şekil 3.3. Farklı ülkelerdeki EV alımlarının yıllara göre değişimi [36].

3.2 Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG)

Dünyada elektrikli araç sayıları her geçen güne göre artmaktadır. Elektrikli araçlara olan ilgi sebebiyle elektrikli araç çeşitleri ve üreticileride artmaktadır. Ülkemizde artan ve gelişen elektrikli araç teknolojisine kayıtsız kalmamış ve ülkemizde üretilecek TOGG otomobilini dünyaya duyurmuştur. TOGG'un ortaya çıkışı ve teknik özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

Haziran 2018'de Türkiye'de yerli otomobil üretmek için birlikte çalışma kararı alan altı şirket Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu Sanayi ve Ticaret AŞ'yi kurmuştur. 2019 yılında Gebze Bilişim Vadisi'nde gerçekleştirilen toplantıda 2022 yılında üretimine başlanacak beş farklı elektrikli araç modeli tanıtılmıştır [37].

Üretilecek ilk TOGG modeli C sınıfı SUV olacaktır. Bu araç Şekil 3.4'de verilmiştir. Lityum iyon pillerden üretilecek batarya, araç platformuna entegre olacak, böylece dünyaca ünlü güvenlik testlerinden de başarı ile geçebilecektir. Tam dolu batarya ile 300 km ve 500 km menzile sahip iki farklı güç değerinde batarya seçeneğı sunulacaktır. TOGG bataryaları hızlı şarj sistemlerini desteklemektedir. Hızlı şarj sayesinde bataryanın %80'lik kısmını 30 dakikada gibi kısa bir sürede dolduracaktır. İki farklı batarya gücü seçeneğı olacağı gibi iki farklı motor gücü ile üretilmesi planlanmaktadır. İlk motor seçeneğı arkadan itiş 200 beygirdir ve bu motor gücüne sahip aracın 0-100 km/sa ulaşması 7,6 saniyede tamamlanacağı, ikinci motor seçeneğine sahip araç ise dört tekerden çekişli 400 beygir gücünde olacak olan model 0-100 km/sa hızlanmayı 4,8 saniyede tamamlayacağı açıklanmıştır [38].



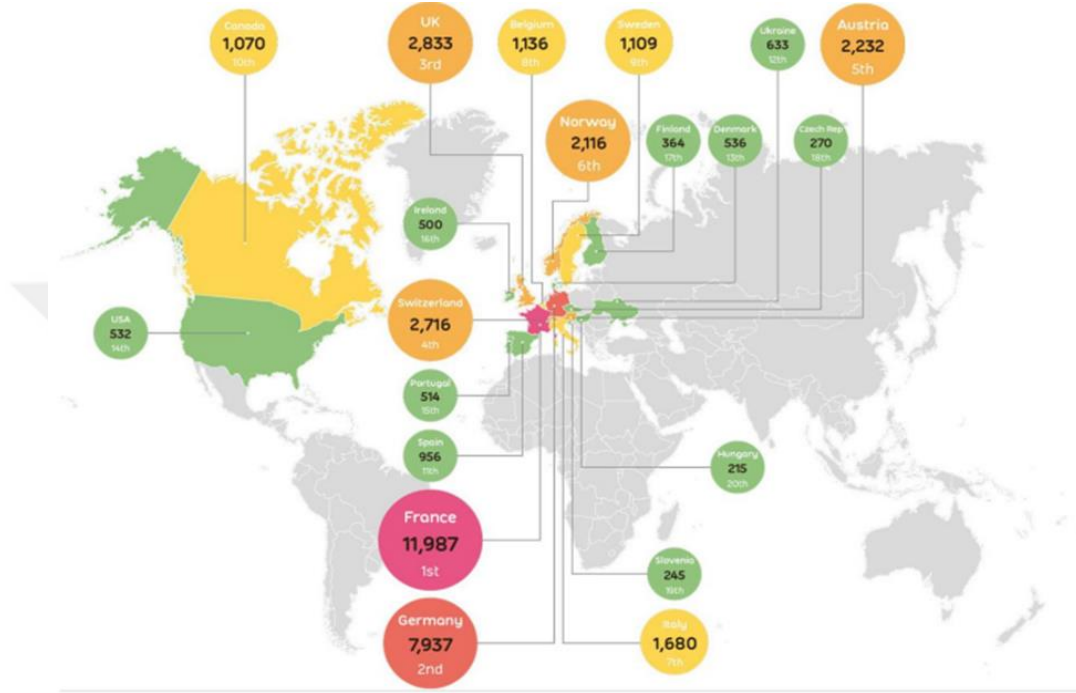
Şekil 3.4. Türkiye'nin yerli elektrikli aracı [39].

Tablo 3.1’de piyasada bulunan bazı elektrikli araçların teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Elektrikli araç bilgileri.

Marka	Max Menzil	Batarya Tipi ve Kapasitesi	Batarya Konnektör Tipi	Normal Şarj		Hızlı Şarj		Kaynak
				Güç	Süre	Güç	Süre	
Jaguar I-Pace EV 400	470 km	Li-Ion 90 kW/s	CCS konnektör mod-2 ve hızlı şarj	11 kW	9 saat 15 dk	DC 104 kW	44 dk	[40]
Audi e-Tron S	374 km	Li-Ion 95 kW/s	CHAdEMO	11-22 kW	9 saat 15 dk	DC 150 kW	26 dk	[41]
Mercedes- Benz EQC 400 4 MATIC	462 km	Li-Ion 80 kW/s	CCS konnektör	11 kW	8 saat 45 dakika	DC 112 kW	35 dk	[42]
BMW i3	260 km	Li-Ion 37.9 kW/s	CHAdEMO	11 kW	%80 3 saat	DC 125 A 50 kW	%80 42 dk	[43]
Hyundai Kona	305 km	Li-Ion 39 kW/s	J1772 ve CCS Combo	11 kW	4 saat 20 dk	DC 100 kW	47 dk	[44], [45]
Tesla Model Y	435 km	Li-Ion 80 kW/s	Tesla supercharger	11 kW	8 saat 15 dk	DC 250 kW	31 dk	[46]
Porsche Taycan Turbo S	416 km	Li-Ion 93.6 kW/s	J1772 AC	11 kW	9 saat	DC 262 kW	19 dk	[47]
TOGG SUV	300-500 km	Li-Ion 120 Ah Hücre 85,2 kW/s Li-Ion 150 Ah Hücre 106,5 kW/s	IEC 62196-2 CHAdEMO	Test aşamasında	%80 30 dk’dan az	DC 125 A 50 kW	Test aşama sında	[48]

Bataryaları elektrik bağlantısı ile doldurulan bütün elektrikli araçlar şarj istasyonlarına bağlanmak zorundadır. Bağlantı elemanları şarj istasyonlarının türüne ve yerine göre farklı tasarlanmıştır. Şekil 3.5’de 2017 yılında dünya üzerine kurulan elektrikli araç şarj istasyonlarının sayısı ve kullanan 20 ülke görülmektedir.



Şekil 3.5. Son 12 ayda oluşturulan EV şarj noktalarının sayısı ve en çok kullanılan 20 ülke (2017) [36].

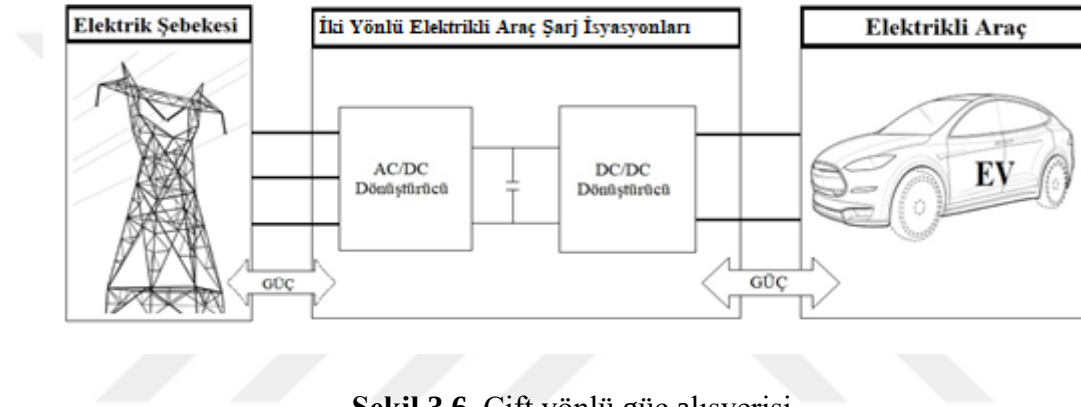
3.3 Elektrikli Araçların Şebekeye Bağlanması

Elektrikli araçlar tıpkı fosil yakıtlı araçlar gibi dolum tesisine ihtiyaç duyarlar ve şarj edilmeleri gerekir. Elektrikli araç bataryaları doğru akım (DC) kullanılarak şarj/deşarj edilir. Ancak çoğunlukla şarj istasyonları ve evlerde genellikle alternatif akım (AC) kullanılır. Bu sebepten, elektrikli aracı şarj etmek için şarj cihazına gelen AC gücü DC güce,deşarj esnasında ise DC gücü AC gücüne dönüştürmemiz gerekir. Bu dönüşümler bir invertör aracılığı ile yapılır [49]. Bu işlemin basit hali Şekil 3.6’de verilmiştir.

- Şebekeden Aracı Beslemek: Sadece elektrikli ve hibrit araçlar üzerinde batarya bulundurulur. Şebekeden güç aktarımı yaparak üzerinde bulunan bataryalarını elektrik enerjisi ile depolarlar. Elektrikli araçlar üzerinde bulunan bataryalar şebeke

üzerinden gelen besleme için AC/DC dönüştürücü kullanıp, daha sonra DC/DC dönüştürücüler ile gerilim değerleri uygun seviyeye indirilerek elektrik gücünü batarya üzerine optimum şekilde depolanır. Bu yöntem şebekeden araç üzerindeki depolama alanı olan bataryalara tek yönlü aktarım yapmaktadır.

- b) Araçtan Şebekeyi Beslemek: Elektrikli araçlar, elektrik şebekesinden beslenen bir yük olmanın yanında güç sistemlerine entegre edilebilir şekilde tasarlanırsa, şebekeyi besleyen, dinamik enerji depolama sistemleri gibi kullanılabilir. İYŞİ, elektrikli araçların şebekeye çift yönlü güç alışverişi yapılmasını sağlayan sistemlerdir.



Şekil 3.6. Çift yönlü güç alışverişi.

Kısa ve uzun süreli yük değişimleri, gerilim dalgalanmaları, frekans değişimleri, sinüsoidal formdaki bozulmalar, harmonikler, gürültü gibi bozucu etkiler güç kalitesini düşürebilir. Bu durumlar zamanında tespit edilmez ve tedbir alınmaz ise güç kalitesini düşürdüğü gibi hem tedarikçileri hem de tüketiciler için önemli kayıplar ortaya çıkmaktadır [50].

Kaliteyi olumsuz etkileme durumları içerisinde üzerinde en çok durulan konu harmonik yüklerdir. Elektrikli araçların depolama sistemleri için şebekeye bağlanmaları neticesinde şebekeye harmonik yükler bindirmektedir. Harmoniklerin oluşması şebekeyi olumsuz etkileyeceği gibi şarj sistemlerini de etkilemektedir. Harmonikler sonucunda açığa çıkan kayıplar şarj edilebilecek araç sayısını kısıtlamaktadır. Geliştirilen her aracın batarya kapasiteleri farklı olduğu gibi şarj sistemleri de farklı biçimde tasarlanmıştır. Farklı tasarımlardan dolayı araçların şebekeye vereceği harmonik etkilerde birbirinden farklı olmaktadır [51].

Harmonik etkilerden kaynaklanan durumlar:

- Enerji kayıpları,
- Gerilim düşümünün artması,
- İzolasyonda kullanılan malzemelerin zarar görmesi,
- Elektrik şebekesine bağlı cihazların gürültülü çalışması ve ısınması,
- Elektrik şebekesinde rezonans olayları ve bu olaylara bağlı olarak aşırı gerilim ve akımlar,

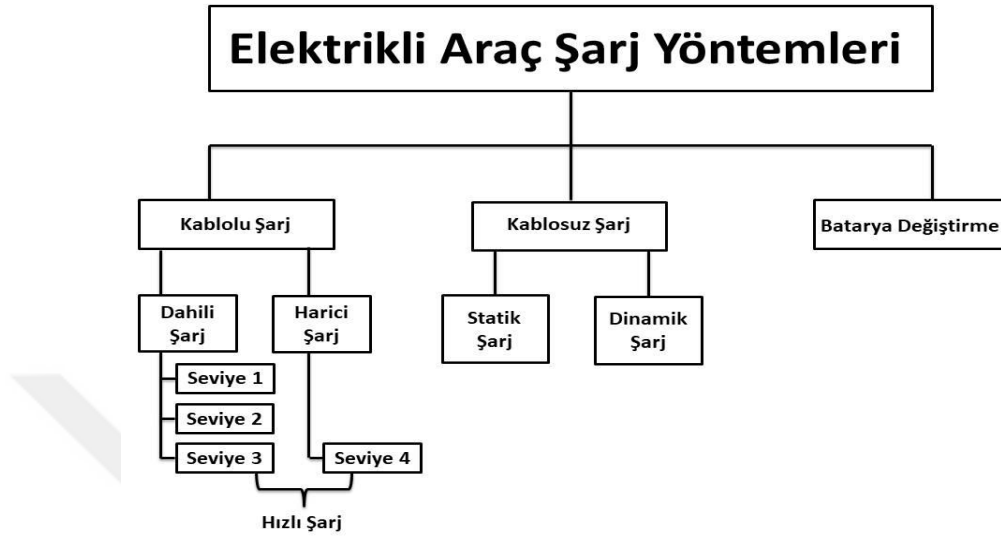
harmonik etkilerden dolayı tüketici ve tedarikçilerin karşılaşacağı zararlardandır [50].

Elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlara sahip araçlara nazaran çevreyi koruması ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı ortadan kaldırdığı için en popüler taşıma aracı olma yolunda hızla ilerlemektedir. Elde edilen başarının artması ve daha fazla yaygınlaşabilmesi için daha verimli ve daha hızlı şarj istasyonlarına sahip olması gerekmektedir. Düşük verimle şarj olması ve şarj sürelerinin fosil yakıtlı araçlarla kıyaslanamayacak kadar uzun olması sebebi ile şehir içi ya da yakın şehirlerarası yolculuk ile kullanıcılarını sınırlamaktadır. Hızlı şarj istasyonlarının kurulması için hem kullanıcı hemde üretici kısmında doğru bir tasarım yapmak en önemli kriterlerden biri olmaktadır. Hızlı şarj istasyonlarının amacı, şarj sürelerini kısaltarak zaman kazanmak ve kısa sürede şarj ettiği elektrikli aracın bataryasını verimli bir şekilde doldurmaktır. Tipik bir elektrikli aracı yaklaşık bir saatte şarj edebilen 50 kW'lık hızlı şarj cihazları şuanda mevcuttur. Dünyada gelişmeler ve çalışmalar devam ettiği için tipik bir elektrikli aracı 10 dakikada şarj edebilen 240 kW'lık ultra hızlı şarj cihazları tasarlanmıştır. Tasarlanan ultra hızlı şarj cihazları kontroller ve iyileştirmelerden sonra tüketici ile buluşturulması beklenmektedir [52].

3.4 Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri

Fosil yakıtlı araçlar gibi elektrikli araçlarda yol alabilmek için motorlarına gerekli enerjiyi sağlamalıdır. Elektrikli araçların şarj davranışları; bağlantı türü, konumu, çevrede şarj cihazına bağlı elektrikli araç sayısı, şarj gerilimi seviyesi, şarj akımı seviyesi, elektrikli aracın batarya durumu ve kapasitesi gibi farklı faktörlerden etkilenir [17].

Kablolu şarj, kablosuz şarj ve batarya değişimi olmak üzere elektrikli araçları şarj etmek için üç farklı şarj yöntemi bulunmaktadır [53]. Elektrikli araç şarj yöntemleri Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Elektrikli araç şarj yöntemleri [48].

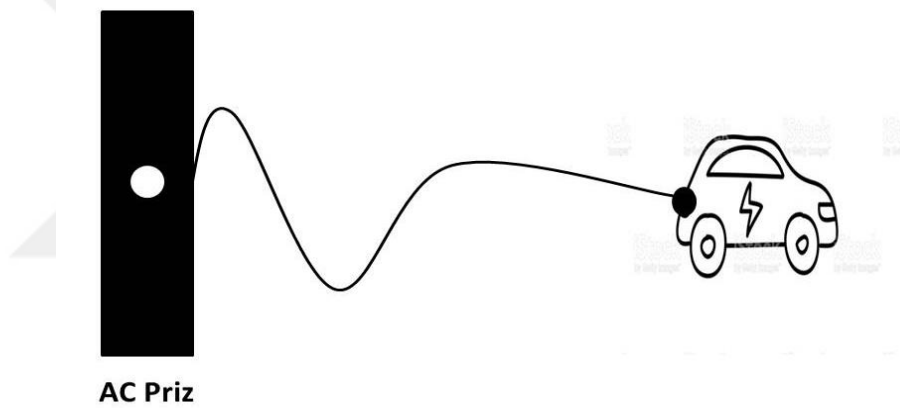
3.4.1 Kablolu Şarj Etme Yöntemi

Araç ile güç kaynağı (şarj cihazı) arasında kablo ile doğrudan temas ile şarj edilen sistemdir. İletken şarj olarak da bilinmektedir. Bu şarj sistemi, güç faktörü düzeltmeli doğrultucu ve konektörden oluşur [53]. Kablolu şarj etme yöntemlerini dahili ve harici şarj yöntemleri olarak ikiye ayırabiliriz.

3.4.1.1 Dahili Şarj Yöntemi

Şarj cihazını araç dışında bulunduran, doğrultucu ve akü regülasyonu araç içinde bulunduran bir şarj etme yöntemidir. Dahili şarj yönteminde şarj seviyesi elektrikli aracı şarj etmek için kullanılan şarj cihazının güç seviyesi olarak ifade edilirken, güç seviyesi ise elektrikli aracın tam dolum zamanının uzunluğunu belirler. Dahili sistemde Seviye-1, Seviye-2, Seviye-3 olmak üzere üç şarj seviyesi vardır. Seviye-4, harici şarj sistemi olarak kullanılmaktadır. Şarj seviyelerine ek olarak kablolu şarj yönteminde şarj modu/seviyesi dikkate alınır, Şarj modu/seviyesi elektrikli araç ve şarj cihazları arasındaki güvenlik iletişim protokolünü tanımlar.

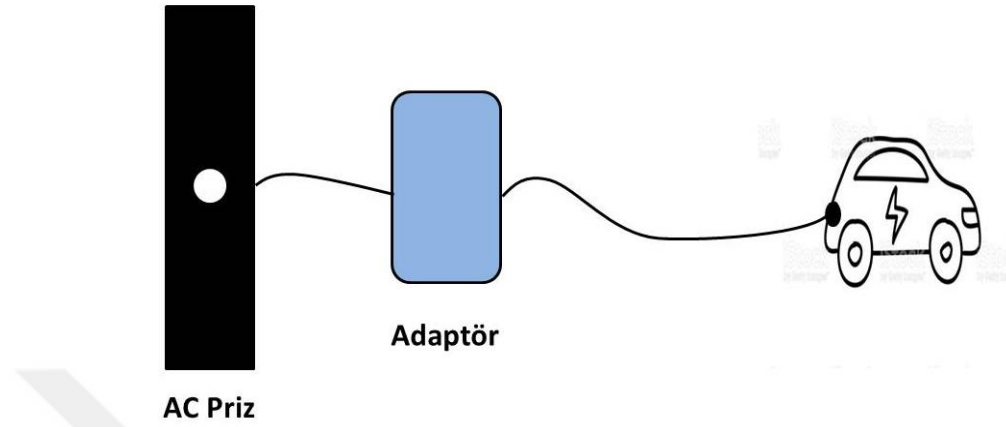
Seviye-1: Elektrikli araçlar şarj yöntemlerinin en temel seviyesidir. Kullanıcıların çoğunun evinde ya da işinde kullandıkları için kolay erişim sağlanmaktadır [54]. Herhangi bir güvenlik önlemi olmaksızın basit olarak nitelendirilebilecek uzatma kablosu ile standart bir prizden kablo aracılığıyla elektrikli araç bataryasını depolamaktadır. Bu seviyede 16 A'ı aşamayan ve 250 V tek fazlı AC veya 450 V üç fazlı AC aşamayan standart bir soket kullanan bir AC güç kaynağına bağlanarak elektrikli araçları şarj etmektedir [53]. Evlerde ve iş yerlerinde uzun süren park etme sırasında kullanılan şarj yöntemi Seviye-1 şarj yöntemidir. Bu şarj seviyesinde sadece AC güç kullanılır ve batarya kapasitelerine bağlı olarak tam dolum için 8 saat ile 10 saat arası zaman gerekmektedir [48]. Koruyucu cihazların yetersiz olması veya eksik olması, prizlerde topraklama olmaması gibi sebeplerden dolayı güvenlik sorunlarını iyileştirerek Seviye-2 şarj sistemi geliştirilmiştir. Seviye-1 şarj sistemi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Seviye 1 şarj istasyonu.

Seviye-2: Elektrikli araç kullanıcılarının özel ve kamu tesisleri için tercih ettikleri yöntemdir. Seviye-1 istasyonuna göre daha iyi değerlere sahip olduğu için daha hızlı şarj süresi sağlar [54]. Elektrikli aracı şarj etme işlemi tek ya da üç fazlı ağ ve topraklama kablosu ile gerçekleştirilir. Bu seviyedeki bir şarj kablosu orta düzeyde güvenlik sağlamakta ve elektrikli araç şarjı için minimum standart sağlamaktadır. Kullanıcıların şarjı kontrol etmesine izin veren uygulamalara uyumlu olduğundan dolayı hem elektrikli araçları şarj etmede kullanılır hem de İYŞİ için tercih edilen yöntemlerden biri olması beklenmektedir. AC güç kaynağı ağına elektrikli araç bağlantısı tek fazda 32 A 250V veya üç fazda ise 480 V'u aşamaz [53]. Seviye-2 sistemi, Seviye-1 sistemi ile şarj olan elektrikli araçlara kıyasla tam dolum süresi

Seviye-1'in yarısından daha azdır [48]. Seviye-2 sistemlerde kablo üzerinde haberleşme adaptörü bulunmaktadır. Bu adaptör prizde topraklama var ise enerjiyi iletmektedir [55]. Sistem Şekil 3.9'de gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Seviye 2 şarj istasyonu.

Seviye-3: Bu seviyede ise yine Seviye-2'de olduğu gibi halka açık yerlerde yani ev, işyeri gibi konumlarda şarj imkânı sağlar. Fakat Seviye-2'den farkı ise aynı konumlarda daha yüksek güç seviyesi ve AC akım sağlayan bir şarj seviyesidir. Güvenlik imkânları Seviye-2 ile aynı olan bu seviyede sisteme bağlı araçları kontrol etmek için başka bir sistem kullanılır ve bu sistemde elektrikli araçların AC kaynağa bağlantı kontrolü gerçekleştirir [53].

Elektrikli araç şarj istasyonlarının şarj gücü seviyeleri Tablo 3.2'de özetlenmiştir.

Tablo 3.2. Şarj güç seviyeleri [56].

Güç Seviyesi Türleri	Şarj Yeri	Tipik Kullanım	Enerji Kaynağı Arayüzü	Beklenen Güç Seviyesi	Şarj Süresi	Araç Teknolojisi
Seviye 1 (Yavaş Şarj) 120V AC (US) 230V AC (EU)	Dahili 1-faz	Evde veya ofiste şarj	Kolaylaştırılmış Çıkış	1.4 kW (12A) 1.9 kW (20A)	4-11 saat 11-36 saat	ŞHA (5-15 kW/s) EV (16-50 kW/s)
Seviye 2 (Normal Şarj) 240V AC (US) 400V AC (EU)	Dahili 1 veya 3 faz	Özel veya kamuda şarj	Elektrikli araç ekipmanları	4 kW (17A) 8 kW (32A) 19.2 kW (80A)	1-4 saat 2-6 saat 2-3 saat	ŞHA (5-15 kW/s) EV (16-30 kW/s) EV (3-50 kW/s)
Seviye 3 (Hızlı Şarj) 240V AC (US) 400V AC (EU)	Harici 3 faz	Ticari	Elektrikli araç ekipmanları	50 kW 100 kW	0.4-1 saat 0.2-0.5 saat	EV (20-50 kW/s)

3.4.1.2 Harici Şarj Yöntemi

Bu seviyenin diğer seviyelerden farkı dışarıdan bir şarj cihazı aracılığıyla ana elektrik şebekesine bağlanmasıdır. Kontrol, koruma fonksiyonları ve elektrikli araç şarjları için şarj kabloları bu seviyede bulunan şarj cihazı kurulumunda kalıcı olarak bulunur. Bir DC şarj istasyonunda, şarj cihazı elektrikli aracın bir parçası değil bulunduğu şarj istasyonunun bir parçasıdır [53]. Bu seviyede şebekeden çekilen AC güç Seviye-4 şarj istasyonunda bulunan invertör üzerinden DC güce çevrilir ve aracın redresörüne girmeden direk batarya grubuna girmesini sağlar. Bu durum 400 A'e kadar olan şarj akımı ile hızlı şarja imkân veren bir sistem oluşturur [55]. Bu şarj cihazları genellikle ticari amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. Bu seviye şarj sistemlerinde dünya üzerinde genel olarak iki farklı tip soket bulunmaktadır.

CHAdEMO (Charge de Move): Japon otomobil üreticileri Nissan, Mitsubishi, Toyota, Fuki ve Tokyo Electric Power Company tarafından kurulmuş hızlı şarj sistemidir [57]. Uzakdoğu'da ortaya çıkan şarj standardında Seviye-3 şarj ile birlikte DC soketi de bulunmaktadır. Özel bir elektrik konnektörü aracılığı ile 62.5 kW 500 V, 125 A DC

akım sağlayan elektrikli araçlar için tasarlanmış hızlı şarj yöntemine CHAdeMO denir [58]. şekil 3.10’da CHAdeMO konnektörü gösterilmektedir.



şekil 3.10. CHAdeMO konnektörü [59].

Kombine şarj Sistemi (KşS): Kombine şarj sistemi, Amerika ve Avrupa’lı araç üreticileri tarafından özel soket tasarlayarak geliştirdikleri sistemdir. 350 kW’a kadar g sağlayan Combo 1 ve Combo 2 konektörlerini kullanan elektrikli araçların şarj edilmesini sağlayan bir standarttır [60]. Combo 2 konektörü kullanarak şarj edilebilen elektikli araç girişi şekil 3.11’de gösterilmiştir.



şekil 3.11. Tipik kombine şarj sistemi araç girişi [60].

Elektrikli araçların üretildiği bölgelere göre farklılık gösteren şarj standartları vardır. Farklı üreticiler tarafından benimsenen standartlar gelişen teknoloji sistemlerinden dolayı sürekli değişmektedir. Dünyada kullanılan şarj standartları Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Elektrikli araç şarj standartları [61].

İsim	Standart	Doğrultucu Yeri	İYŞİ'yi Destekliyor Mu ?
Tip 1	SAE J1772-2009	Dahili	Hayır
CCS Combo 1	SAE J1772-2009	Dahili ve Harici	Hayır
Tip 2, Mennekes	IEC 62196/SAE J3068	Dahili	Hayır
CCS Combo 2	IEC 62196	Dahili ve Harici	Hayır- Planlanıyor
CHAdeMO	C601, IEC 62196	Harici	Evet
Guobiao	GB/T 20234	Dahili ve Harici	Hayır
Tesla	N/A	Dahili ve Harici	Hayır

Eğer dönüştürücü/doğrultucu araca yerleşik bir halde ise buna dahili sistem denir. Eğer doğrultucu şarj istasyonunda yer alıyor ise harici sistem denir. Tablo 3.3'te verilen bilgilere göre dahili durumda, AC güç üzerinden elektrikli araç şarjı gerçekleştirilirken avrupa için IEC 62196, ABD için ise SAE J1772 standartları kullanılmaktadır. Harici durumda ise DC güç üzerinden elektrikli araç şarjını gerçekleştirilirken Uzak Doğu ve Japonya için CHAdeMO, Avrupa için IEC 62196 standartları kullanılmaktadır [62].

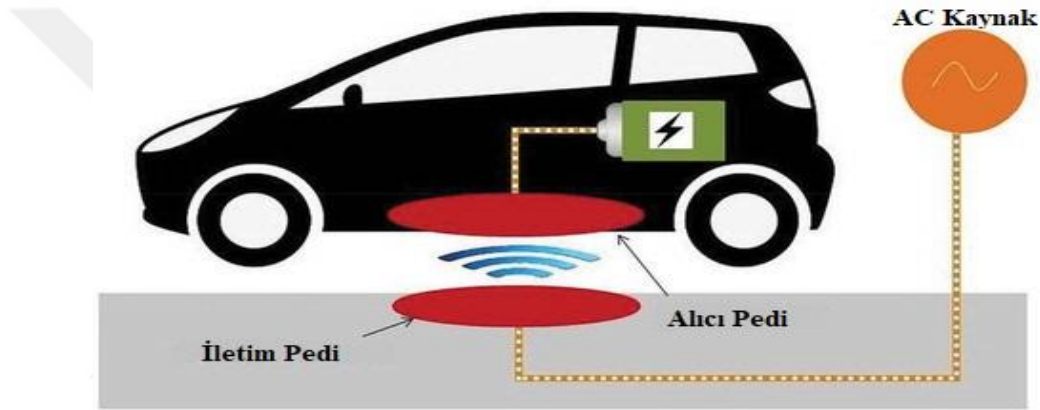
3.4.2 Kablosuz Şarj Etme Yöntemi

Kablosuz şarj, elektrikli araçların bataryalarını doldurmak için bir kablo kullanmak yerine elektromanyetik dalgalar sayesinde bataryaya enerji depolama şeklidir. Kablosuz şarjda, galvanik bağlantı olmadan ana topraklama bobini ile araçta olan ikinci bobin arasında bulunan hava boşluğundan güç aktarmak için değişen manyetik alanların kullanılması ile şarj edilir [53]. Bu şarj türünde diğer türlere göre şarj etme işlemi biraz basitleştirilmiştir ve kablosuz olması neticesinde kablolu şarja göre oluşabilecek riskleri azaltmıştır. Kablosuz şarj işlemi, pil ömrünü artıran ve depolama sistemlerinin boyutunu azaltan pil deşarj derinliğini azaltmaktadır [56]. Bu teknoloji hala gelişim aşamasındadır. Kablosuz şarj etme yöntemi için yapılan

çalışmalarda elde edilen sonuçlar, bu teknoloji ile birlikte elektrikli araçların tercih edilme oranlarının büyük ölçüde arttıracasını öngörmektedir [63].

3.4.2.1 Statik şarj Yöntemi

Mevcut elektrikli araç teknolojisi için kablosuz şarj sisteminin en çok tercih edilen şekli olarak statik şarj yöntemi diğeri adıyla sabit şarj yönetimi en çok tercih edilen yöntemdir. Bir elektrikli araç bataryasını srs içerisinde yokken kablosuz şarj eden bu sistem garajlar, ticari binalar gibi konumlarda kullanılabilir. Teknik ve maliyetli kablolardan ve elektrik çarpması gibi güvenliğı tehdit eden sorunlardan uzak, kolaylıkla şarj imkânı sağlayan statik şarj yöntemi şekil 3.12’de gösterilmektedir [64].



şekil 3.12. Statik şarj sistemi [64].

Ağ gücünden elektrikli araç batarya girişine kadar ölçüm yapılan statik şarj cihazlarının sistem üzerindeki verimlilikleri %85-93 arası değişmektedir. Dönüştürücüler kullanılıp bataryaya aktarılan gücün kontrol ve yönetim sistemlerinde sorunla karşılaşmamak ve geri bildirim alabilmek adına kablosuz iletişim ağına sahiptir [48]. Statik şarj yöntemi, batarya takip durumuna kıyasla %5 yıllık maliyeti azaltmıştır. Yöntem sabit kapasiteli konvertör kasası ile karşılaştırıldığında ise %6’ya varan maliyet düşüşleri gözlemlenmiştir [65].

3.4.2.2 Dinamik şarj Yöntemi

Dinamik kablosuz elektrikli araç pil şarj tekniğı, güç aktarımı için yalnızca endüktif yöntemi benimser. Dinamik şarj yöntemi şekil 3.13’te görüldüğü gibi araç hareket halinde iken şarj edilir. Sistemde batarya şarj yönetiminde, indüktörün birinci tarafı yol ile kaplamasının altına yerleştirilir. Birleştirilmiş indüktörün ikinci tarafı ise

elektrikli aracın alt kısmına yerleştirilir. Elektrikli araç bu sistemi içeren yola doğru hareket ettiği zaman hem birinci hem de ikinci bobinler ortak manyetik alan ile birbirlerine bağlanır. Endüktif (kablosuz) olarak birleştirilmiş manyetik alan herhangi bir kablo ya da fiş bağlantısı olmadan iki bobin arasında güç aktarımını sağlar [66].

Dinamik şarj yöntemi yollarda kullanılacağından dolayı çevrede bulunan canlıların radyasyondan etkilenme oranları, ilk kurulum maliyeti gibi dikkat edilmesi gereken dezavantajları da vardır [66].



Şekil 3.13. Dinamik şarj yöntemi [66].

3.4.3 Batarya Değişirme Yöntemi

Batarya değişirme yönteminde, enerjisi biten elektrikli araç bataryasının, tam dolu batarya ile değiştirebileceği bir şarj istasyonunun olduğu bir sistemdir. Elektrikli araç bataryaları, hızlı şarj olsa dahi fosil yakıtlı araçlara nazaran çok daha uzun sürede dolduğundan dolayı bu sistem geliştirilmektedir. İşlem, tipik olarak yaklaşık 3 dakikada tamamlanan takaslarla, geleneksel bir fosil yakıtlı araçla karşılaştırılabilir bir yakıt ikmali süresi elde etmeyi amaçlamaktadır [67]. Bu sistem dağıtım trafoları, AC/DC dönüştürücüler, şarj cihazları, robotik kollar, bakım sistemleri, takas ve şarj ile ilgili diğer ekipmanlardan oluşmaktadır. Batarya değişirme yönteminde, elektrikli araç bataryalarının toplanıp yönetildiği, uzun pil ömrü, düşük kullanım süresi gibi avantajlar sağlamaktadır. Bu yöntemin elektrikli araçlar üzerindeki faydalarının yanı sıra şebeke ile entegrasyonu gerçekleştirip sistemin yoğun saatinde elektrikli araç bataryaları ile sisteme destek olmaktadır. Yani bu sisteme sahip istasyonlar da İYŞİ özelliğini içermektedir [53].

Hızlı şarj cihazları yaklaşık 50 kW'lık güç verir. Bu güç sayesinde elektrikli araçları, yavaş ve normal şarj cihazlarına kıyasla minimum bir sürede şarj eder. Elektrikli araç üreticilerinin çoğu belirli bir aralık için en iyi batarya boyutunu göz önüne aldığından dolayı yüksek şarj akımı ile şarj olabilen ve bu sayede hızlı şarj olanağı gerektiren bataryayı tercih etmektedirler [68].

3.5 Elektrik Sinyaline Göre Elektrikli Araç Şarj Türleri

Elektrikli araç bataryalarının şarj sırasında yaygın kullanılan türleri/durumları aşağıda açıklanmıştır.

3.5.1 Sabit Gerilim

Sabit gerilim yönteminde elektrikli araç şarj gerilimi sabit tutulur. Başlangıçta yüksek akım çeken batarya tam doluma yaklaştıkça akımı azalır. Bu tasarımlar genellikle ucuz şarj cihazlarında bulunur. Kurşun asitli hücreler tipik olarak sabit gerilimli şarj cihazları kullanır [68].

3.5.2 Sabit Akım

Sabit akım yönteminde ise şarj sırasında akım korunur, dolum sırasında gerilimin kademeli olarak artmasına izin verilir. Elektrikli araç bataryası tam şarj gerilimine ulaştığı zaman şarj cihazı kapatılır [68].

3.5.3 Darbe Şarjı

Hızlı şarj yöntemlerinden biri olan darbe şarj yöntemi, elektrikli araç bataryası tamamen şarj olana kadar belirli darbe genişliğinde sürekli sabit akım darbesi uygular. Şarj hızı darbe genişliğini değiştirerek kontrol edilebilir. Darbe şarj sistemi, şarj süresini ve hücrenin kapasite kaybını azaltır [69].

3.5.4 Negatif Darbe Şarjı

Negatif darbe şarjı, refleks şarjı olarak da bilinmektedir. Hücreyi depolarize etmek için şarj dinlenme süresi sırasında 5 ms için şarj akımının 2-3 katı olan kısa bir deşarj darbesinin uygulandığı bir yöntemdir. Bu darbeler, hızlı şarj sırasında ortaya çıkan elektrotlar üzerinde oluşan gaz kabarcıklarını yerinden çıkarması, stabilizasyon sürecini ve genel şarj süresini hızlandırmayı amaçlamaktadır [70].

3.6 Şarj İstasyonları Konumları

Elektrikli araç sahiplerinin ya da elektrikli araç almak isteyen kullanıcıların akıllarında soru işareti oluşturan en önemli sorunlardan biri de şarj istasyonlarıdır. Araç sahiplerinin elektrikli araçlarını sabit olarak şarj edebilecekleri dört yer vardır.

3.6.1 Konut Şarj İstasyonları

Kullanıcıların evlerine yaptırdığı şarj türüdür. Genellikle AC seviye şarj türü kullanılır. Bu seviyenin kullanılmasının sebebi ise Seviye-1 sistemlere göre daha hızlı olması ve gerekli iletişim modülleri eklendiğinde sistemi kullanıcının kontrol edebilmesidir [54].

3.6.2 İşyeri Şarj İstasyonları

Kullanıcıların genellikle araçlarıyla yaptıkları yolculuk işe gidip gelmek şeklindedir. Ev şarjı kadar iş yeri şarjının da önemli olduğu düşünülmektedir. İş yerinde İYŞİ teknolojisine sahip istasyonların bulunması hem elektrikli araç sahiplerini daha güvende hissettir hem de şebekeye enerji aktarılması için önemlidir. Çünkü araç sahipleri günün uzun bölümünü iş yerinde geçirdiğinden dolayı araç sahiplerinin iş yerinde bulundukları sürede oluşacak puant yükte araçlar şebekeye önemli katkı sağlayacaktır [54].

3.6.3 Filo Şarj İstasyonları

Şirketler, filolarında bulunan elektrikli araçlar için şarj istasyonu yaptırmaktadır. Bir filo sahibinin iş araçlarını iş bitimi zamanında şarj cihazlarına takması, şebekenin puant saatlerinde İYŞİ servisleri için olumlu bir durumdur [54]. İYŞİ teknolojisinin, mümkünse iş operasyonunu yoğun talep zamanlarının dışına taşımayı düşünmek için sisteme katılmaya teşvik eden çalışmalar olduğunda bu değişiklik durumu yapılabilir.

3.6.4 Ticari Şarj İstasyonları

Benzin istasyonları gibi kurgulanan bu sistem hem kullanıcılar hem de istasyonlar için olumlu bir süreçtir. Kurulacak istasyonların seviye çeşitlilikleri önemlidir. Alışveriş merkezleri, tiyatrolar, restoranlar gibi yerlere istasyonlar kurmak elektrikli araç alacak kişiler için şarj etme kaygısını engeller. Türkiye’de de elektrikli araç kullanımının yaygınlaşması için ticari şarj istasyonlarının sayısı her geçen gün artmaktadır. Türkiye’de bulunan şarj istasyonları haritası Şekil 3.14’te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Türkiye’de kurulu şarj istasyonları haritası [71].

Elektrikli araca yönelimin artması için ülkeler hem elektrikli araç alımı için hem de ticari şarj istasyonları için çalışmalar yapmaktadır. Türkiye ise şarj istasyonları kurulumu ve işletilmesine ilişkin rapor yayınlamıştır. Bu rapor aşağıda açıklanmıştır.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), elektrikli araç şarj ünite ve istasyonlarının kurulması, şarj ağı ve ağa bağlı istasyonların işletilmesine ilişkin hususları belirlemek için 2 Nisan 2022 tarihli 31797 sayılı Resmî Gazete’de “Şarj Hizmeti Yönetmeliği”ni yayımlamıştır.

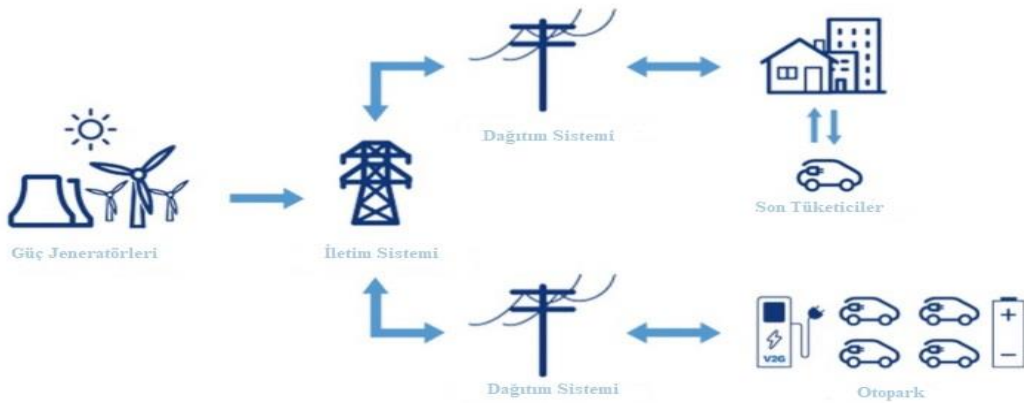
Şarj istasyonu kurulumları EPDK’nın belirlediği usul ve esaslar uyarınca lisans alabilecek ve lisans alan şirketler lisanslarını hiçbir şekilde başka şirketlere devredemeyeceklerdir. Lisans alan kullanıcıların lisansının yürürlüğe girdiği tarihten itibaren altı ay içinde en az 50 adet şarj ünitesi kuracak ve en az beş farklı ilçedeki şarj istasyonlarından oluşacak şekilde şarj ağı oluşturması gerekmektedir. Şarj ağında bulunan şarj cihazlarının en az %5’i Karayolları Genel Müdürlüğü’nün sorumluluğu altında bulunan otoyollar ve devlet yollarında bulunması gerekirken bu ünitelerin en az %50’si DC 50 kW ve üzeri şarj gücünde olması gerekmektedir. Şarj istasyonlarının iletim ve dağıtım sistemine bağlantısı bu yönetmeliğe göre yapılacaktır. Şarj hizmeti sunan şirketlerin halka açık şarj istasyonlarında, tüm kullanıcıların şarj hizmeti alabilmesini sağlayacak ödeme sistemlerinden en az bir tanesini bulundurulması zorunludur. Halka açık şarj istasyonlarında lisans sahibinden kaynaklanmayan haklı sebepler ve mücbir sebepler hariç şarj hizmetinin sürekli ve kesintisiz olarak sunulması zorunludur [72].

4. BÖLÜM

İKİ YÖNLÜ ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI (İYŞİ)

4.1 İki Yönlü Elektrikli Araç Şarj İstasyonları (İYŞİ)

Dünyadaki önemli problemlerden biri olan hava kirliliği ve bu problemin ana sebeplerinden fosil yakıtlı araçlar için bilim insanları çözüm önerileri bulmak adına çalışmalar yapmaktadır. Yapılan çalışmalar çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltmaya yönelik yeni ulaşım sistemlerini de içermektedir. Elektrikli araç bataryalarında depolanan enerjinin belirlenen seviyeden yüksek olması durumunda araçtan şebekeye veya bataryada depolanan enerjinin belirlenen seviyeden düşük olması durumunda şebekeden araca olmak üzere iki yönlü enerji akışı sağlayan sisteme iki yönlü elektrikli araç şarj istasyonları sistemi denir. Bu sistem şebekeye enerji sağlamanın yanı sıra şebekenin güvenilirliğini ve verimliliğini de artırır [73]. İYŞİ sistemin şeması Şekil 4.1’de verilmiştir. İYŞİ teknolojisinin ilerleyen süreçte hem müşteriye ekonomik değer sağlayan hem de enerji sistemine çevresel faydalar sağlayan önemli bir mekanizma olması beklenmektedir [74].



Şekil 4.1. İYŞİ sisteminin blok diyagramı.

İYŞİ teknolojisi ile ilgili en eski akademik çalışma 1997 yılında Delaware Üniversitesi tarafından yapılmıştır. Ancak çalışmada İYŞİ terimi kullanılmamıştır. Enerji talebinde oluşan dalgalanmayı yönetmek için elektrikli araç bataryalarının sisteme entegre olmasının önemi ve entegre olması durumunda elektrik şebekesine kaynak sağlanabileceği varsayılmıştır [75]. İYŞİ teknolojisi, bir elektrikli aracın bataryasında depolanan enerjinin şarj cihazı aracılığı ile şebekeye deşarjını sağladığı gibi bu teknoloji ile elektrikli araç sahiplerine de finansal faydalar sağlayacaktır. Elde edilecek finansal faydalar diğer elektrikli araç sahiplerinin de İYŞİ sistemine katılımını arttıracaktır [61].

İYŞİ sisteminde, elektrik şebekesi elektrikli araçların enerjisini kullanır. Bu yalnızca İYŞİ ile sağlanabilir. İYŞİ'nin temel amacı, şebekenin puant zamanlarını düzenleme ve yük dengeleme ile şebekedeki yük profilinin iyileştirilmesidir. Puant durumlar genellikle bir gün içinde kısa bir süre zarfında meydana gelir. Puant yük anında, elektrikli araçlarda enerji aktarımı daha ekonomik olabilir. Bu yöntemi uygulayarak güç sistemi bileşenlerinin üzerindeki yük en aza indirilebilir. Doğru ayarlamalarla, güç şebekesinde kesinti olduğu durumlarda elektrikli araçlar bağlı olduğu konut, bina, şebeke vs. ortamlara güç akışı sağlayabilir. İYŞİ'ye katkı sağlayacak araçların aşağıdaki özellikleri sağlaması sistemin faydasını, etkisini ve şebeke uyumluluğunu artırır. Bu özellikler;

- Elektrikli araçların kullanım süresinin az olması,
- Elektrikli araç uzun süre park edilmiş olması,
- Araçlar öngörülebilir şekilde kullanılması,
- Ağ yüklemesinde tamamlayıcı kaynaklar olması,
- Şarj istasyonları yüksek kullanılabilirlik oranına sahip olması,
- Fiyatlandırma değişikliklerine hızlı tepki vermesidir.

[76]'da yapılan bir araştırmaya göre, ABD'de bulunan elektrikli araçlar gün içerisindeki zamanın sadece %5'inde yolda ve seyahat etmekte kullanılırken, %90'ında park halinde otoparklarda bulunmakta ve gün içinde kullanılmamaktadır. Bu yüzden İYŞİ teknolojisi için kullanılmayan elektrikli araçlar şebekeyi desteklemek adına iyi bir potansiyel olarak düşünülebilir. İYŞİ teknolojisi için talep ve arz arasında iyi bir denge

kurulur ise elektrikli araç sahipleri, dağıtım şirketleri ve elektrik şebekesi üçgeninde bilgi, enerji ve para akışı meydana gelir.

İlk İYŞİ teknolojisi ile donatılmış şarj ünitesi 2015 yılında İngiltere’de kurulmuştur. Normal şarj istasyonuna göre büyük bir alan kaplayan ve isteğe göre üretilen bir şarj ünitesidir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte 2021 yılında İngiltere’de farklı üretici firmalarında seri olarak üretilen dört model mevcuttur [77]. Elektrikli araçların kullanılmasının doğa ve ülke ekonomileri için olumlu sonuçları olduğu gibi olumsuz sonuçlar da doğurmaktadır. Çok miktarda elektrikli aracın trafiğe çıkmasını sağlamak elektrik şebekesinde birçok soruna ve sorunlardan kaynaklı sınırlamaya neden olabilir. Elektrikli araçların ideal düzeyden fazla olması daha fazla elektrik gücüne ihtiyaç duyar ve gerilim dalgalanmalarına neden olabilir [77]. Puant zamanlarda sistemin verimliliği, gerilim ve frekansta sık dalgalanmalar yaşanmaması adına şebekeye ek güç gerekmektedir. Puant zamanlarda kullanılması için tahsis edilen güç yeterli talebin olmadığı zamanlarda, ekonomiye ve sisteme zarar verecektir.

Enerjisi sisteminin üç temel unsuru üretim, iletim ve dağıtım önemli çalışma alanları olmakla birlikte, sistemdeki yük eğiliminin değişmesini sağlayan talep tarafı yüklerinin modellenmesi ve kontrolü son zamanlarda oldukça önem kazanmıştır. Dağıtım sistemi analizi alanında yapılan son çalışmalarda, geleneksel anlık yük kullanılarak yapılan analiz yönteminin, gelişmekte olan dağıtım sistemi teknolojilerinin değerlendirilmesi için yeterli olmadığı görülmektedir. Enerji depolaması, talep tarafı katılımı, günlük, mevsimsel ve yıllık değişkenliğe sahip yükler bu durum için örnek olarak verilebilir. Elektrikli araç dolumu gibi gelişen teknolojiler, enerji tüketimini etkileyen kontrol işaretleri ile talep yanıt oluşturma potansiyeline sahiptir.

4.2 İYŞİ’nin Avantajları

İYŞİ’nin şebeke, kullanıcı ve operatör açısından faydaları aşağıda verilmiştir:

- İYŞİ teknolojisi güç kayıplarını azaltır.
- Puant zamanlarda güç dengelenmesi için sisteme ekstra güç kaynağı gerekir. İYŞİ sisteminin uygulanması puant zamanlarda güç kaynağına ihtiyaç kalmadan sisteme yardımcı bir hizmet sağlar.
- Sistemin puant zamanlarındaki ihtiyacı karşılamak için devreye giren jeneratör gibi ekstra güç kaynakları vardır. Bu güç kaynaklarının işletme ve bakım maliyetleri

oldukça yüksektir. İYŞİ sisteminde kullanılan elektrikli araçların bataryalarında depolanan enerjinin yoğun zamanlarda devreye alınması fazladan kullanılacak enerji ekipmanlarına ihtiyacı ortadan kaldırır.

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretiminde payının artırılması durumunda karbon emisyon oranında ciddi azalmalar gerçekleşir.
- Elektrikli araçlardan gelecek güç ile birlikte elektrik şebekesi desteklenir ve şebeke aşırı yüklenme tehlikesi altına girmez [49].
- İYŞİ teknolojisi akıllı şebeke ve mikro şebeke uygulamaları ile uyumludur.

Dağıtım ağındaki sıcaklık ve gerilim sınırlarını korumak için elektrikli araç bataryasından deşarj olması, farklı elektrikli araçların aşırı gerilim veya düşük gerilim gibi farklı dağıtım ağı kısıtlamalarını desteklenmesi de gerekmektedir [78]. Elektrikli araçlar, dağıtım ağını desteklemesinin yanı sıra, frekans tepkisini iyileştirmesine katkıda bulunarak sistem operatörlerini destekleyebilir.

4.3 İYŞİ'nin Dezavantajları

İYŞİ'nin şebeke, kullanıcı ve operatör açısından dezavantajları aşağıda verilmiştir:

- İYŞİ teknolojisine sahip elektrikli araç satın almak fosil yakıtlı araçlara göre çok daha pahalı olacağından, başlangıç maliyetleri yüksek olacaktır.
- Alışılmış şebeke sistemlerinden çift yönlü aktarımı kabul eden şebeke sistemlerine geçerken yapılacak koordinasyon ve donanım uyumu zordur.
- Sistemin kullanılması için en önemli sorunlardan biri sistemde kullanılacak ekipmanların tek yönlü sistemlere göre daha pahalı olması ve bu yüzden İYŞİ teknolojisi için oluşturulacak sistemin büyük bir yatırım gerektiriyor olması en büyük engellerdendir.
- İYŞİ cihazları DC enerji ile çalışırken, AC kullanılan standart elektrikli araç şarjlarına kıyasla yüksek maliyetlere sahiptir [79].
- Elektrikli araçların en önemli parçalarından biri bataryalardır. İYŞİ sistemlerinde bataryalar şarj/deşarj hızı, gerilim değişimi ve sıcaklık farklarından etkilenecektir. Şarj/deşarj işlemi bataryanın kullanılabilirliğini azaltır. Sık şarj/deşarjdan

kaynaklanan batarya bozulma maliyetleri İYŞİ teknolojisinin hayata geçirilmesi üzerinde önemli etkiye sahiptir [80].

İYŞİ teknolojisinin pek çok faydası olmasına rağmen en uygun konuma yerleştirilmez ve sistemsel etkileri uygun şekilde yönetilmez ise çözme planladığı enerji problemlerini artırabilir. Bu riskler İYŞİ teknolojisinin kullanımını azaltır ve müşterilerin İYŞİ hizmetlerini sunmaktan vazgeçmesine sebep olabilir [10]. Kullanıcıların kaygıları sosyal engel olarak İYŞİ sistemi için ciddi zorluktandır. Elektrikli araç kullanıcıları, acil durumlarda kullanmak için bir miktar enerji depolama ihtiyacı hissedecektir. Enerjinin şebeke sistemi tarafından paylaşılması, menzil kaygısı yaratır [81].

Elektrikli araçlar ve şebeke arasında enerji yükü olarak kullanılacak elektrikli araç bataryalarının, yoğun olmayan zamanlarda elektrik şebekesinden kendini şarj edebileceği, puant zamanlarda da bataryasında bulunan enerjiyi şebekeye aktarabileceği karşılıklı bir enerji akışı sistemi oluşturulurken, çift yönlü sistemin daha karmaşık alt yapılara ihtiyacı vardır ve bu sebepten yüksek yatırım gerektirmektedir. Yüksek yatırım maliyeti İYŞİ'nin uygulamasındaki en büyük zorluklardan biri olduğu yukarıdaki maddelerde bahsedildi. İYŞİ'nin geliştirilmiş bir güç sistemine ihtiyacı vardır. İYŞİ sistemi için donanım ve yazılım altyapısı geliştirilmelidir. Sisteme katılan her elektrikli araç için çift yönlü bir batarya şarj cihazına ihtiyaç duyulacaktır. Çift yönlü şarj cihazının karmaşık bir yüksek gerilim hattı vardır. Yüksek gerilim kablo bulunması halinde, güvenlik sorunları da ortaya çıkmaktadır. Şarj ve deşarj döngülerinde, güç sisteminde enerji kayıplarına neden olan enerji dönüşümü gerçekleşir [81].

İYŞİ sisteminde kullanılacak araç sahiplerini, şarj/deşarj sistemine katmaya teşvik etmek için talebin yoğun olmadığı zamanlarda sisteme katılmayan kullanıcılardan daha uygun fiyatlandırma sunulmalıdır. Dahası pik durumlarda bataryalarından aktarılan fazla gücü depolama gücünden fazla ücretlerle deşarj edebilirler. Böyle çözüm önerileri ile elektrikli araç sahiplerinin İYŞİ sistemine dâhil edilmesi mümkün olur. İYŞİ sistemi yeni bir teknolojidir. Bu yüzden İYŞİ ile ilgi araştırmalar başlangıç aşamasındadır. İYŞİ teknolojisi üzerinde yapılan araştırmalar enerji sisteminde kullanılacak bütün ekipmanın yapısını, uygulanabilirliği ve çalışması incelenmelidir.

İYŞİ teknolojisinin zorlukları olduğundan bahsettik fakat İYŞİ teknolojisi ile dağıtım sisteminde oluşan sorunları ek maliyet olmadan çözebilmesi sistemin en büyük

faydalarındandır. Örneğin dağıtım ağındaki düşük gerilim sınırlamaları, elektrikli araçlardan sisteme güç aktarılarak düzenlenebilir ve aşırı gerilim sınırlamaları ise elektrikli araçlarda bulunan bataryayı şarj etmek için fazla gücün kullanılması ile iyileştirilebilir.

4.4 İYŞİ Teknolojisi ve Bileşenleri

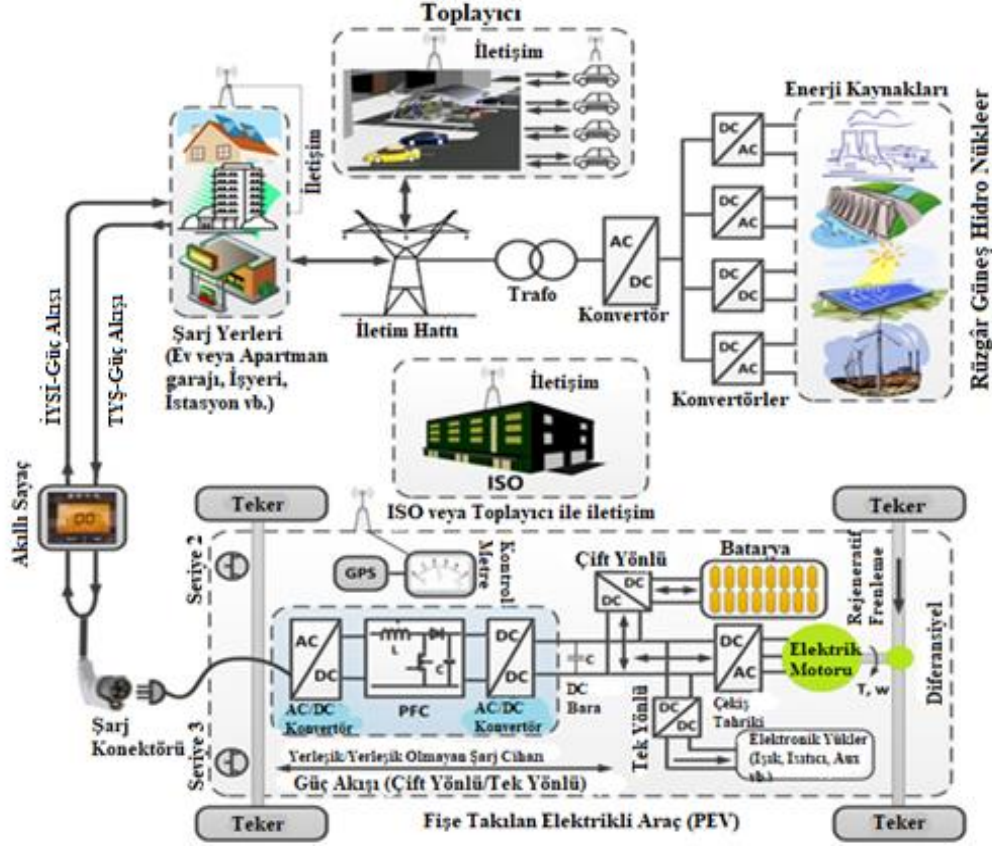
İYŞİ teknolojisi altı ana sistemden oluşur [17]. Bunlar;

- Sistem için enerji kaynakları ve elektrik şirketi,
- Bağımsız sistem operatörü ve toplayıcı,
- Şarj cihazları için alt yapı ve alt yapıya uygun şarj yerleri,
- Elektrikli araçlar ve toplayıcı arasında çift yönlü elektrik akışını sağlayan iletişim ağı,
- Dahili ve harici sistemlerin akıllı ölçüm ve kontrolleri,
- Şarj cihazı yönetimi ve elektrikli araç.

İYŞİ sistemi için öncelikle güneş enerjisi, hidroelektrik santrali, rüzgâr türbini gibi sistemlerden enerji üretilmesi ve üretilen enerjinin gerekli dönüşümler ile enerji dağıtım şirketlerine iletilmesi gerekmektedir. Dağıtım şirketleri, uygun alt yapı ve şarj türlerine göre yerleştirilen şarj istasyonlarına sistemlerin seviyelerine göre enerjiyi iletir. Batarya kapasitesi azalmış olan elektrikli araç şarj olmak için gittiği şarj cihazının türü ve seviyesine göre cihaz içinde ya da araç içinde olan AC/DC dönüştürücüler sayesinde bataryasını şarj eder. Bu durum tek yönlü şarj (TYŞ) olarak adlandırılır. İYŞİ sistemlerde iste bataryasında enerji bulunan elektrikli araç İYŞİ’ni destekleyen istasyondan şebekeye enerji aktarımı gerçekleştirir. İYŞİ sisteminin bileşenleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Bir elektrikli aracın şebekeye geri gönderdiği enerji, şebeke için ihmal edilebilir seviyededir. Fakat birçok elektrikli araç bataryasında depolanan enerjiyi toplayıp şebekeye iletmek, koordinasyon ve güvenilirlik için uygun depolama sağlar. Toplayıcı, İYŞİ sistemlerinin denetleyicisi olarak gösterilir. Bu durum elektrikli araç sahipleri, dağıtım ve iletim sistemi operatörleri arasında önemli bir rol oynayan toplayıcı şebeke kararlılığını, şebeke ve İYŞİ teknolojisine sahip şarj cihazı arasında iki yönlü enerji akışı ve iletişimini kontrol eder. Toplayıcı, enerji ve düzenleme rezervi ticaretinden elde ettiği kârı maksimize etmeyi amaçlar. Toplayıcının, elektrikli araçlarda olduğu gibi

kendine ait bir bataryası olmadığı için ulaşım esnasında ek döngüler nedeni ile bataryaların bozulması durumunda araç sahiplerine ödeme yapması beklenmektedir [82].



Şekil 4.2. İYŞİ sisteminin bileşenleri ve güç akışı [17].

Genel olarak İYŞİ sistemi elektrikli araç şarj cihazına bağlandığında şebekeye enerji aktarımı yapar ya da şebekeden enerji çekerek sistem gerçekleşir. İYŞİ kavramı şebekeye güç bağlantısı, operatör ile iletişim, uygun ölçüm işlemlerini gerçekleştirerek verimli bir güç işlemini gerçekleştirmek için çalışır. Sistemin çift yönlü olmasından dolayı batarya kapasitesi ve şarj durumlarına göre hareket edebilen bu sistem dahili ve harici sistemlerin yöntemlerini desteklemektedir. Akıllı ölçüm sistemleri, elektrikli araçları kontrol edilebilen bir yük haline getirir ve elektrikli araçlardan gelen enerjiyi yenilenebilir enerji sistemleri ile birleştirebilir. Şarj istasyonlarında bulunan sensörler ve akıllı sayaçlar sayesinde kontrol merkezi ile bilgi alışverişi sağlanır [17].

İYŞİ teknolojisi tamamiyle uygulamaya geçmesi durumunda elektrik şebekesinin yoğun saatlerinde sistemden fazladan yük çekmeye gerek kalmayacaktır.

İYŞİ'nin uygulanması, dört ana tema etrafında düzenlenmektedir. Aşağıda ana temalar ve ana temaların temelini oluşturan bölümler hakkında bilgi verilmiştir.

4.5 Teknoloji ortamı

İYŞİ teknolojisinde, elektrikli araçlar, şarj cihazları ve sistemi, kontrol sistemleri gibi sorunsuz şekilde birleştirilmiş teknik sistemler olmadan hayata geçirilmesi imkânsızdır. Elektrikli araçları şebekeye entegre etmek için teknik ortam hazırlanmalı ve bu ortamın kusursuz çalışması için çift yönlü şarj durumları iyileştirilmedir [83]. Maliyetli ve karmaşık olan sistem donanımları şuanda sınırlı sayıda üründe mevcuttur.

4.5.1 Batarya Yönetim Sistemi

Batarya yönetim sistemi, İYŞİ teknolojisine sahip araçları bu sisteme uygun olmayan araçlardan ayırdığı gibi şarj/deşarj için akım kontrolü sağlar. Elektrikli araçların batarya yönetim sistemlerinin ana amaçları şunlardır;

- Belirlenen aralığın dışında şarj/deşarj işlemlerini yapmayarak, koruma sağlar.
- Sürüş esnasında batarya içinde bulunan enerjinin yönetiminden sorumludur.
- Batarya dolusunda şarj hızlarını ve sıcaklıklarını belirleyerek batarya optimizasyonu sağlar.

Kullanılan her cihazın ilk günlük ömrünün azaldığı gibi elektrikli araç bataryalarında kullanımça içinde depo edebilecekleri enerji miktarı da zamanla azalmaktadır. Bu durum elektrikli araç kullanıcıları için endişe oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalarda elde edilen optimum değerleri koruyarak çalışmalar yapmak batarya bozulmasını geciktirmektedir. Fakat optimum değerler dışında şarj/deşarj yapmak, ortam sıcaklığı gibi önemli değerleri görmezden gelmek batarya bozulmasını hızlandırmaktadır [61].

4.5.2 Şarj Cihazı

AC/DC dönüştürücülerinin elektrikli araç içinde ve dışında olma durumlarına ve güç türlerine göre ayrılan şarj cihazları elektrikli araç bataryalarında boşalan enerjinin dolması için tasarlanmıştır. Elektrikli araç şarj cihazları hâlihazırda kullanılan istasyonlara ya da yeni tesislere kurulabilir. Kurulum öncesinde fiziksel mesafe, güç gereksinimleri gibi önemli kriterler titizlikle yapılmalıdır. İYŞİ, çift yönlü iletişim içinde olacağından, şebeke hizmetleri vereceğinden dolayı normal şarj cihazlarına göre

farklı değerlendirilmelidir. Çünkü İYŞİ yapısında araç bataryaları hem jeneratör hem de şebekeye bir yüküdür [61].

4.5.3 Yazılım

Şarj cihazları alt yapısının oluşturulmasında önemli olan yazılım sistemleri, şarj cihazlarının hareketlerini kontrol ve koordine eder. Yazılım sistemleri kullanıcının şarj cihazı bilgilerini görmesini, araç şarj durumunu ve şarj etme-durdurma gibi komutları yapmasını sağlar. Optimizasyon algoritmaları ile hem şebekeye hem de müşterilere hizmet sağlanır. Elektrikli araçların bataryalarında bulunan enerjiyi görmek için sensörlerden yararlanılır ve elektrikli araç sahiplerinin İYŞİ sistemine dahil olması dolayısıyla sistem verimliliğini arttırmak için yazılım tarafında yapılacak çalışmalar çok önemlidir [84].

4.5.4 Ölçüm

Bu kısımda ise şarj işlemleri gerçekleştikten sonra akıllı sayaçlar devreye girmektedir. Elektrikli araçlar için ücretlendirme davranışını kullanan sayaçlar, talep yanıt aralığını yapan sayaçlar ile tüketimi ölçmeyi ve diğer zamanlarda oluşan talep ile karşılaştırma yapmaktadır. Akıllı ölçüm sistemleri ile elektrikli araçların şarj durumunu kurmak, sürdürmek ve sonlandırmak için iletişim arayüzü önemlidir. Ölçüm sistemlerinin iyi çalışması kullanıcıların yeniden anlaşma olasılıklarını arttıracaktır [85]. Kullanıcının şebekeye sağladıkları enerjinin ödemelerini ölçümlerin sonuçlarına göre alacağından dolayı sayaç sisteminin doğru ölçüm verileri aktarması gerekir.

4.5.5 Piyasalar

İYŞİ bir talep yanıtı biçimi olduğundan, İYŞİ uyumlu istasyonlarından şebekeye elektrik enerjisinin kolayca alınması, satılması için dinamik ücretlendirme ile şarj istasyonu sahiplerine geri dönüşünün rahat olması gibi önemli kararlar verilmektedir. Günümüzde elektrikli araçların şebeke aktarımı hem şebeke hemde ticari amaçlar için önemli bir durumdur. Henüz tam aktarım sağlanamadığı halde İYŞİ önemli gelir kaynağı sağlamaktadır. Tam ticarileşme olduğunda 2020-2030 yılları arasında önemli gelir öngörülmektedir [86].

4.5.6 İş Modelleri

İş modelleri müşteriler ve sistemleri birleştirerek sınırları aşan ve birbirlerine bağlı faydalar sistemi olarak düşünülebilir. Dünyada gelişen teknolojinin de etkisiyle, elektrikli araç sayısının artması elektrik şebekesine daha çok güç aktarımı sağlaması yapılabileceğini öngörmektedir. Birçok küçük kaynağı şebekeye hizmet sağlaması için bir grupta birleştirmek, hem müşteri hemde şebeke tarafında oluşabilecek belirsizlikler ve riskleri çözmek için yardımcı olacaktır. Toplayıcılar adı verilen gruplar ile yapılması şebeke ve kullanıcı tarafları içinde yenilikçi çözümler üretirken, şebeke aktarımının ticari boyutu ortaya çıkacaktır. Yalnızca tek bir firmaya odaklanmak yerine, birden fazla firma ve ilişkili tedarikçi, şebeke ve müşteri ağları arasındaki karşılıklı bağımlılıkları ve etkileşimleri değerlendirir. Toplayıcıların ticari boyutunun ötesinde elektrik şebekesine de pazar gücünden kaynaklanan riskleri azaltmasına da yardımcı olma gibi faydaları vardır [87].

4.6 Dağıtım Ağı Kısıtlamaları

Dağıtım ağı kısıtlamaları coğrafi konuma özgüdür, bu kısıtlamaların çözümü için kaynağa iyileştirmeler yapılarak çözülebilir. Dağıtım ağlarında bulunan temel sorunlar aşağıda açıklanmıştır.

4.6.1 Termal Kısıtlamalar

Kullanılan her malzemede olduğu gibi elektrik hatlarında kullanılan ekipmanlarında bir sınır değeri vardır. Ekipman direnci ve taşıdığı akım miktarı, harcanan enerjiyi belirler. Gereken enerji, ısı olarak dağılır. Bu sınır değerlerine göre sistemlerde kullanılacak kablo, trafo vb. araçların verimlerinde düşüş olmaması, belirlenen sınır değerlerini aşp hat ve insan sağlığına zarar gelmemesi için termal kısıt sınırları önemlidir [88]. Termal kısıtlamalar, ekipmanların en yüksek yükü taşıdığı durumlarda ve sistemin yüksek oranda yüklendiği zaman dilimlerinde endişe kaynağı oluşturmaktadır. Termal sınır değerlerinin aşılması durumunda elektrik şebekesinde güç kaybı yaşanabilir.

4.6.2 Kararlı Durum Gerilim Kısıtlamaları

Kararlı durum gerilim kısıtlamalarının, yasal gerilim sınırının üstüne çıktığı veya altına düştüğü durumlar ve yük veya üretimde gerçekleşecek ani değişikliklerin neden olduğu gerilim dalgalanmaları olarak iki özelliği vardır [78].

Dağıtım ağları, puant yükü desteklemek ve besleyicinin sonunda bulunan gerilimi yasal sınırdan daha düşük olmasını önlemek için tasarlanmıştır. Trafo merkezlerinde bulunan besleyiciler gerilim düşüşüne izin vermemek için nominal değerden daha yükseğe ayarlanır. Herhangi bir müdahale ya da çözüm önerileri olmadan üretimi sisteme eklemek, şebeke gerilimini yasal sınırı aşmasını önlemek için aktif yönetilmesi gerekmektedir [78].

4.6.3 Gerilim Dalgalanmaları

Elektrik şebekesinde bulunan yükün, akım değişim hızının ve ağ empadansının belirli bozulma kaynakları ile hızla değişmesi elektrik şebekesinde gerilim dalgalanması oluşumuna neden olur. Gerilim dalgalanmaları şebekede kullanılan cihazların arızalanmasına, bozulmasına neden olur [89]. Ani artış gösteren gerilim değerleri kablo yalıtımlarının sınır değerlerini aşmasına, bu nedenle elektrik şebekesinin kısa devre hatası ile karşılaşmasına sebep olabilir.

4.6.4 Esneklik Kısıtlamaları

Güç sistemleri diğer sistemlere kıyasla daha hızlı tepkime verirler. Normal hava olaylarına kıyasla aşırı hava olaylarında sistemler daha savunmasızdır. Enerji hatları, trafolar gibi bileşenler aşırı hava olaylarında ya da enerji kesikliğinde birbirlerini beslemek istediklerinde sistem kararsızlıkları ortaya çıkabilir [90]. Sistem kararsızlıkları ve ek beslemelerde elemanların kapasitelerini kontrol edip, sonuçlarına göre aktarım yapmak cihazlar ve elektrik şebekesi sağlığı için önemlidir.

4.6.5 Arıza Akımı Kısıtlamaları

Son yıllarda güç talebinin artması neticesinde de elektrik sistemleri hızla genişlemiştir. Bu gelişme ile birlikte sistem arızaları da artmıştır. Sonuç olarak, arıza akımlarının seviyesi artmıştır. Bu nedenle arıza akım seviyesi, özellikle sistemde en yüksek kapasitedeki devre kesiciler kullanıldığında güç sisteminde kritik bir durum oluşturabilir. Dağıtım ağında kullanılan ekipmanlar fazın toprak ya da nötr iletkenine temas etmesi sebebinden dolayı kısa devre durumu açığa çıkar. Kısa devre esnasında arıza akımı olarak adlandırılan büyük bir akımın akmasına neden olur. Arıza akım sınırlayıcıları, yüksek arıza akım seviyelerinin üstesinden gelmek için etkin cihazlar olarak kullanılmaktadır [91]. Arıza akımlarının azaltılmaması enerjisiz kalma sürelerini uzatabilmektedir. Senkron olmayan jeneratörler, daha az arıza akımı sağlar.

4.6.6 Harmonikler

Elektrik şebekesinde akım ve gerilim dalgalarının şekilleri sinüzoidal biçimde olmalıdır. Fakat elektrik şebekesine lineer olmayan güç elektroniği yüklerin bağlanması sonucunda kare dalga üretilir ve bu dalgalar sinüzoidal dalgaların bozulmasına neden olur ve harmonik adı verilen doğrusal olmayan yükler ortaya çıkar. Sistemde harmonik bozulmaların artması ekipmanları hatalı çalışmasına ya da ekipman ömürlerinin kısalması gibi etkiler ortaya çıkarır [92]. Sistemin etkilenmemesi ve zarar görmemesi için harmonik gerilimleri sistemler için oluşturulmuş sınırlar içerisinde tutmak gerekmektedir.

4.6.7 Dengesiz Güç Akışı Kısıtlamaları

Genellikle konutlarda yaşayan insanların elektrik şebeke sistemi alçak gerilim seviyesinde olup üç fazlı ve bir nötr bağlantısı bulunan bir sistem olarak tasarlanmıştır. Alçak gerilim sistemleri bağlanırken üç fazın her fazında farklı akım ve gerilim değerleri olma olasılığı vardır. Dahası her fazla bağlanan müşteri sayısında da farklılık gösterebilmektedir. Bu fazlar arası dengesizlik ve farklılıklar sistemi termal sınıra taşıyabilir [78].

4.7 İYŞİ ile Dağıtım Ağı Kısıtlamalarına Çözümler

İYŞİ teknolojisine sahip şarj sistemleri elektrik şebekesinden çift yönlü aktarım ile hem elektrikli araç bataryasını şarj edebilir hemde şebekenin yoğun zamanında elektrikli araç bataryasında bulunan elektrik enerjisini şebekeye deşarj ederek puant durumda oluşacak ekstra enerji ihtiyacı yerine kullanılabilir.

Elektrikli araçların şebekeye bağlanması, verimli bir batarya sistemi yönetimi sağlayarak ek güçlerin maliyetlerini de çözümler [93]. İYŞİ teknolojisine sahip şarj istasyonlarının belirli sistemler ile kontrolü elektrik şebekesine entegre edilmesine ve bu entegre sonucu dağıtım ağı kısıtlamalarını iyileştirebilmesine neden olur. Dağıtım ağı kısıtlamalarına İYŞİ ile çözüm önerileri aşağıda açıklanmıştır.

4.7.1 Termal Kısıtların için İYŞİ Kullanılması

İYŞİ elektrik şebekesiyle doğru konumlandırıp dışa aktarımı sağlanır ise termal kısıtlama sorunlarına destek sağlayabilir. Trafuyu desteklemek için İYŞİ kullanılmak istenirse, İYŞİ'den gelen enerji dışa aktarıldığında trafo üzerindeki yükü azaltacağı

şekilde trafoya ikinci bir elektrik bağlantısı yapılmalıdır. Bir dağıtım trafosu (11 kV/0.4 kV) için İYŞİ sistemi alçak gerilim şebekesine bağlanmalıdır. Ana trafo (132 kV/11 kV) merkezini sistem ile desteklemek istenir ise İYŞİ doğrudan 11 kV şebekesine bağlanmalıdır. Bu bağlantı yöntemleriyle elektrik şebekesinin yükü azalacağından dolayı aşırı ekipman ısınmaları azalacak ve İYŞİ termal kısıtlamalara katkı sağlayacaktır.

4.7.2 Kararlı Durum Gerilim Kısıtlamaları için İYŞİ Kullanılması

Kararlı durum gerilim kısıtlamalarını azaltmak ya da ortadan kaldırmak için, elektrikli araçları kullanmak sisteme göre belirlenen gerilim sınır değerlerini aşmasını önleyecektir. Bir fiderde fazla üretim varsa, aynı fidere bağlı mevcut elektrikli araçları şarj etmek, elektrikli araçlardan gelecek yük artışlarına bağlı yasal değeri aşmasını önleyecektir. Yüklenme sırasında dışa aktarım için İYŞİ kullanmak ise, enerjinin dışa aktarıma bağlı olarak gerilim değerinin yasal sınır değerinin altına düşmesini engelleyecektir [78].

4.7.3 Gerilim Dalgalanmaları için İYŞİ Kullanılması

Alçak gerilim tesislerine birden fazla İYŞİ sistemi bağlanır veya aynı fider üzerinden yüksek gerilim tesislerine ise toplayıcılar, büyük filolar bağlanırsa gerilim dalgalanmaları için destek olabilir. İYŞİ ile dalgalanmaları kontrol etmek için hızlı geri bildirim sağlayabilen kontrol sistemleri gereklidir. Ani bir gerilim artışı ya da gerilimin %3 sınırına yakın düşüşü olduğu zaman İYŞİ ile gerilim dalgalanmalarının etkisini azaltmak için çalışmalar yapılabilir [94].

4.7.4 Esneklik Kısıtlamaları için İYŞİ Kullanılması

Belirli sınır değerlerine göre üretilen ağ ekipmanları olası bir arıza halinde şebeke koruması çalıştırıldıktan sonra yüksek gerilim şebekesi tarafından yeniden yapılandırılır. Arıza halinden sonra ekipmanların sınır değerlerinin korunması beklenir ve kullanıcılara enerji verilir. Fakat alternatif bir besleme düzenlemesi olmaz ise bütün kullanıcılara enerji gitmeyeceğinden dolayı İYŞİ, enerjinin dışa aktararak ağa destek olmak için kullanılabilir [95].

4.7.5 Arıza Akımı Kısıtlamaları ve Harmonikler için İYŞİ Kullanılması

Elektrikli araç şarj istasyonlarında ya da şarj olacak elektrikli araç üzerinde dönüştürücüler bulunduğu için ve bu dönüştürücülerin tasarımı gerçek arıza akımı sağlama durumları olmadığı için arıza akımı seviyelerini artırmaz.

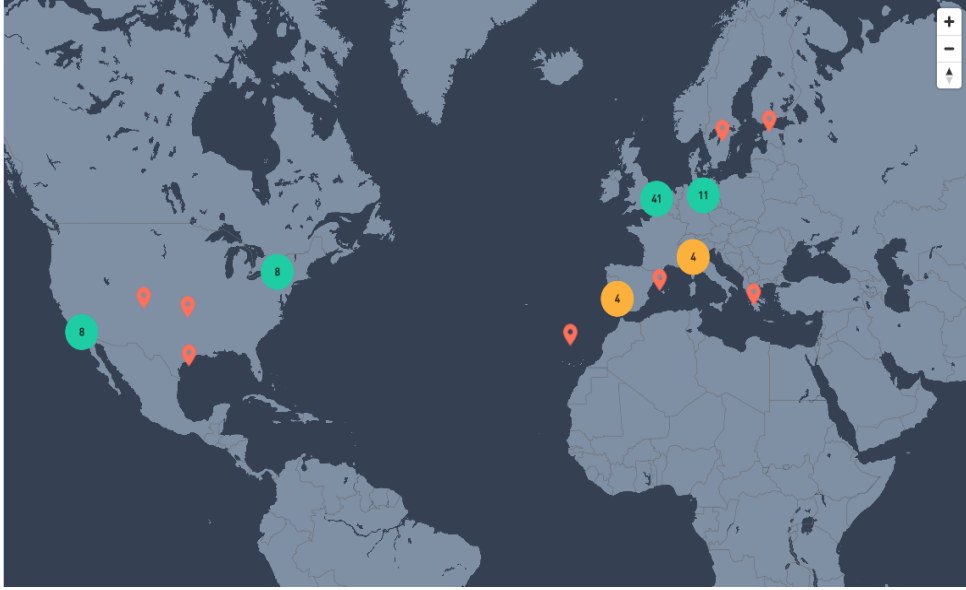
İYŞİ'nin harmonikler üzerindeki etkisi, elektrikli araç ile ağ arasında kullanılan güç elektroniğinin tasarımına ve kontrolüne bağlıdır. İYŞİ teknolojisi ile uyumlu istasyonlar, sisteminde bulunan dönüştürücüleri aktif filtre olarak kullanarak harmonik kompanzasyon sağlayacak şekilde tasarlanabilir. Elektrikli araç şarj istasyonuna harmonik kompanzasyon tasarlanırsa, harmoniklerin etkisi azaltılabilir [96].

4.7.6 Dengesiz Güç Akışı Kısıtlamaları için İYŞİ Kullanılması

İYŞİ sistemi konut sayacı üzerinden tek fazlı alçak gerilim kaynağına bağlanır. Bu durum, ayrı fazlar için fazların kontrol edilmesini ve farklı İYŞİ sisteminin ayrı fazların her birini iyileştirmesini sağlar. Sistemin bağlı olduğu bölgede farklı fazlar arasında eşit olarak dağıtılırsa ya da kısıtlı fazla birden çok İYŞİ sistemi bağlanırsa, şebeke beslemesindeki dengesizlikler İYŞİ sistemi sayesinde şarj veya deşarjın yeniden dengelenmesiyle potansiyel olarak telafi edilebilir [97].

4.8 Dünyadaki İYŞİ Projeleri

İYŞİ'yi daha geniş alanlara yaymak, bu teknolojiye ait şarj istasyonlarını kullanmak için İYŞİ donanımının maliyetlerinin düşürülmesi ve kullanıcıların menzille ilgili endişelerinin üstesinden gelinmesi için çeşitli çalışmalar yapılmalıdır. İYŞİ her ne kadar yeni bir teknolojiye sahip bir sistem olsa da dünya da önemli çalışmalar yaptıran, ülke ekonomileri ve şebeke sistemleri için oldukça büyük faydalar sağlayacak bir sistemdir. Şekil 4.3'de dünya üzerinde İYŞİ projelerini görülmektedir.



Şekil 4.3. Dünya genelindeki İYŞİ projelerinin yerilerini gösteren harita (2022) [49].

İYŞİ teknolojisine uyumlu şarj istasyonlarının denemeleri dünya genelinde başlamıştır. Dünya genelinde 25'i Avrupa'da, 18'i Kuzey Amerika'da ve 7'si Asya'da olmak üzere İYŞİ teknolojisine sahip şarj istasyonlarını projelenemeye başlamıştır. Şu anda denenmekte olan proje sayısına Avrupa ve Kuzey Amerika önderlik etmektedir [78]. İYŞİ'nin teknoloji pazarında 2027 yılına kadar dünya üzerinde toplam 17.27 milyar dolara ulaşacağı söylenmektedir. Bu araştırmalar dünyadaki elektrikli araç şarj istasyonlarının artacağına ve dolayısıyla İYŞİ'nin büyük gelir payına sahip olacağına işaretir [98].

2030 yılında Avustralya'da satılan araçların %50'si ve 2040'a kadar satılan araçların %100'ü elektrikli araçlarda oluşacağı öngörülmektedir. Bu araçların şarj olması için üretimin büyümesi gerekmektedir. Bu durum elektrik şebekesi için zorluklar yaratırken, doğru konumlandırılması, üretimi ve dağıtım şebekesinin puant zamanlarda ki enerji ihtiyacını büyük oranda hafifleteceği öngörülmüştür [61]. Avustralya Ulusal Üniversitesi'nin Elektrikli Araçtan Şebekeye Servis Hizmetlerinin Gerçekleştirilmesi (REVS) projesi için temel bir çalışma olmuştur. REVS projesi, elektrikli araçların Avustralya Ulusal Elektrik Piyasası (NEM) aracılığıyla güç sistemine frekans desteği sağlayabileceğini amaçlayan 51 araçlık elektrikli araç filosu kullanan bir İYŞİ sistemi denenmiştir. Aynı zamanda bu proje NEM'de İYŞİ teknolojisinin daha hızlı benimsenmesinin yolunu açmak için çalışılmıştır.

[77]'a göre 2050 yılına kadar yıllık 80 TWh'nin üzerinde ek bir elektrik talebi olacağı öngörülmektedir. Elektrik şebekesini ve üretim kapasitesini arttırmak büyük maliyet oluşturacağından dolayı akıllı kordinasyon ile elektrikli araçların şarj edilmesi ve elektrikli araçların şebeke için güç kaynağı olması eklenecek ek maliyeti düşürecektir. [77]'da Project Sciurus şarj cihazını kullanan müşterilerin %70'inden fazlası bir sonraki elektrikli araçlarının İYŞİ özellikliğine sahip olmasını istediğini belirtmiştir. Bu anket sonucunda İYŞİ teknolojisi için müşteriler tarafında oluşan önyargıyı yıkma yolunda başarılı adımlar atıldığını göstermektedir. Şekil 4.4'de ise İYŞİ teknolojisine sahip şarj cihazı verilmiştir.



Şekil 4.4. İYŞİ özelliğine sahip şarj cihazı [98].

[81]'de Elektrikli araçlar için önerilen İYŞİ şarj yapısı ile birlikte akıllı şarj stratejilerini de sunar. Her bölgenin farklı güç özellikleri ve bölgelere göre farklı elektrikli araç sayıları vardır. Bu nedenle dağınık elektrikli araçlar için aynı yöntem kullanılmamalıdır.

[78]'de TransPower İYŞİ projesi adı altında, sistem ağını güçlenmek için İYŞİ sisteminin akıllı bir seçim olacağından bahsedilmiştir. TransPower'ın amacı çeşitli elektrikli araçların farklı yük profillerine sahip ticari ve konut şebekelerine

bağlanmalarını göz önünde bulundurularak, dağıtım ağı kısıtlamalarını İYŞİ teknolojisi varlıklarıyla optimum şekilde eşleştirmek için kurulan projedir.

[99]'daki raporda elektrikli araçların güç sistemini destekleme potansiyelini anlamının temelini oluşturan Edison ve Nikola projelerini temel almıştır. Raporda geçen Parker projesi araç şebeke entegrasyonuna odaklanan tanıtım projesidir. Projenin amacı İYŞİ sisteminin gelişmiş akıllı şebeke hizmetlerine katılacağını göstermektir.



5. BÖLÜM

OPTİMİZASYON KAVRAMI

Güç sistemi problemlerin de problem çözümünün global olarak optimum olması arzu edilir, fakat matematiksel optimizasyon ile istenilen çözüm genelde yerel optimumdur. Bu gerçekler, matematiksel formülasyon yoluyla birçok güç sistemi problemini tek başına etkili bir şekilde başa çıkmasını zorlaştırmaktadır. Bu global yakınsama sorununun üstesinden gelmek için, gelişmiş optimizasyon ve kontrol mekanizmalarını içermesi gerekir.

5.1 Optimizasyon

Bir problemi (fonksiyonu) sistemde bulunan kaynaklar ile en iyi şekilde minimize veya maksimize etmek amacıyla, oluşturulan sisteme yerleştirerek var olan problemi çözmek işlemlerine optimizasyon denir. Optimizasyon, belirli kısıtlamalar altında bazı mevcut alternatif çözüm kümelerinden en iyi çözümü bulma sürecidir. Bu, problemin amaç fonksiyonunu en aza indirerek ederek başarılabılır. Optimizasyon sürecindeki ilk adım, amacın matematiksel terimlerini, değişkenleri ve problemin kısıtlarını belirlemektir.

Optimizasyonlarda iki önemli bileşenden biri olan modelleme, gerçek yaşamda karşılaşılan problemin matematiksel olarak yansıtılması; ikinci bileşen olan çözümleme ise ifade edilen modeli sağlayan en iyi çözümün sağlanmasını kapsamaktadır.

Modeller, temel bilimlerde ve mühendislikte yoğun olarak kullanılan, büyük kapsamlı bir sistemin tüm özelliklerini yansıtacak daha küçük boyutlardaki yapılardır. Modeller, genelde sistemin temel özelliklerini yansıtacak ve modelin kullanım amaçlarını gerçekçi olarak içerecek detaylar bulunur [100]. Optimizasyon modelleri sistemin işleyişini, özelliklerini yansıtan, sistem içinde ve çevresinde bulunan diğer

sistemler ile bağlantısını kapsayan matematiksel ifadelerden oluşmaktadır [101]. Denklem 5.1’de optimizasyon da kullanılan genel terimler verilmiştir [102].

$$\text{Min. } f(x) \text{ bağılı } \begin{cases} g(x, u) = 0 \\ h(x, u) \leq 0 \end{cases} \quad (5.1)$$

Denklem (5.1)’de verilen $f(x)$ amaç fonksiyonu, optimizasyonda yapılacak minimize veya maksimizasyonlar sonucunda ulaşmak istediğimiz en iyi çözüm olan sistemin performansının nicel bir ölçüsüdür. Bir güç sisteminde bulunabilecek ortak hedefler teknik kayıplar, sistemin maliyeti, kullanıcıların konforu, karbon emisyon oranları vb. gibi sistemi iyileştirmek adına yapılacak çalışmalar olabilir.

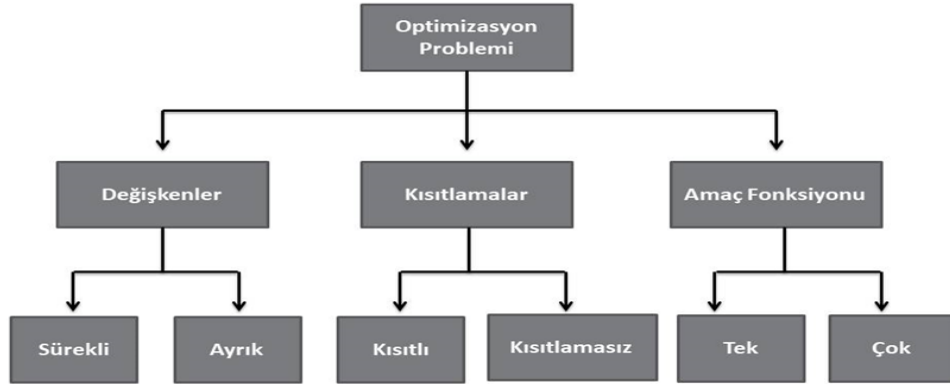
Değişkenler ise, ulaşılması istenilen değerleri bulmak için oluşturduğumuz sistemin bileşenleridir. Güç sistemlerinde olası değişkenler, şebekeye bağlanabilecek elektrikli araç sayısı, sistemin güç çıkışları, kapasite ve üretim yeri, depolama sistemleri gibi oluşturulacak sistemin değişkenleridir.

$h(x) = 0$ ve $g(x) \leq 0$ eşitsizlik kısıtlamaları ise oluşturulacak sistem içinde izin verilecek değerleri bulmak için aralıkların tanımladığı fonksiyonlardır. Güç sistemlerinde kısıtlar, güç isteminin hat ve trafo limitleri, ünitenin güç çıkışı, talep-üretim dengesi gibi durumlar olabilir.

Optimizasyonlarda kullanılacak modelin Şekil 5.1’de görüldüğü gibi değişkenler, kısıtlamalar ve amaç fonksiyonu olarak sınıflandırabiliriz.

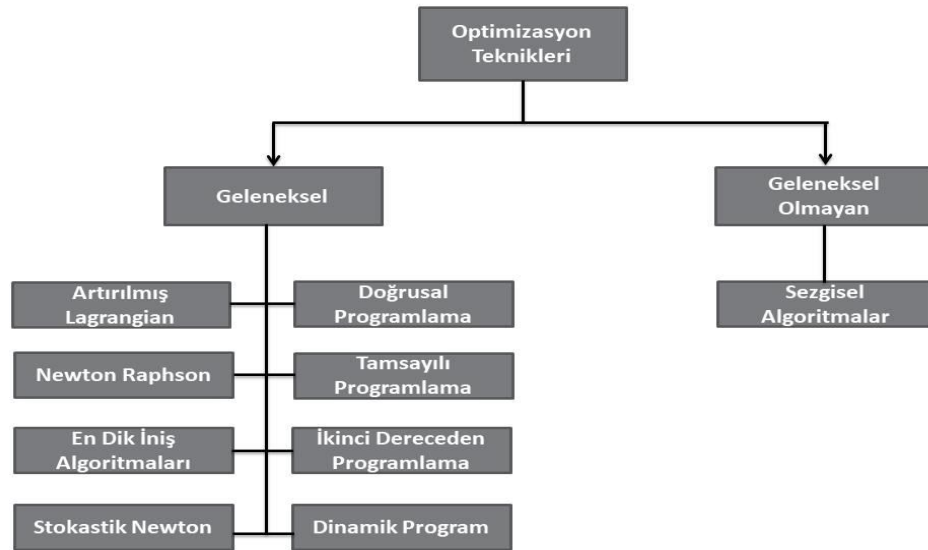
Değişkenler sürekli veya ayrık olabilir. Bazı optimizasyon modelleri, yalnızca değişkenler ayrı bir kümeden değerler alıyorsa anlamlıdır. Sürekli optimizasyon problemlerinin çözülmesi, ayrık optimizasyon problemlerinden daha kolay olma eğilimindedir.

Optimizasyon problemi kısıtlanmış veya kısıtlanmamış olabilir. Kısıtlanmamış optimizasyon problemleri, birçok pratik uygulamada ortaya çıkmaktadır. Kısıtlı optimizasyon problemleri ise değişkenler üzerinde açık kısıtlamaların olduğu uygulamalardan kaynaklanır. Kısıtlı optimizasyon problemleri, kısıtlamaların doğasına göre de sınıflandırılabilir. Doğrusal, doğrusal olmadan, dışbükey gibi sınıflandırmalar yapılabilir.



Şekil 5.1. Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması.

Optimizasyondaki problemin amaç fonksiyonu tekli ya da çoklu amaçlar içeren fonksiyonlar olabilir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde, aynı anda iki veya daha fazla hedef karşılanmaktadır. Uygulama kısmında ise, çok amaçlı problemler genellikle ya farklı hedeflerin ağırlıklı kombinasyonu oluşturur ya da bazı hedefleri belirlenen kısıtlamalar ile değiştirerek tek amaçlı problemler olarak yeniden formüle edilirler.



Şekil 5.2. Optimizasyon tekniklerinin sınıflandırılması.

Güç sistemleri, farklı optimizasyon zorluklarından oluşur. Genel olarak, güç sistemlerinin optimizasyon problemleri doğrusal olmayan, dışbükey olmayan ve büyük ölçeklidir. Dünyadaki teknolojinin ilerlemesi güç sistemi teknolojilerinde de gelişmeler, farklılıklar oluşturmuştur. Bu gelişmeler sebebi ile sistemlerin karmaşıklığının

önümüzdeki yıllarda artması beklenmektedir. Farklı güç sistemi problemlerini iyi bir şekilde incelemek için probleme göre doğru optimizasyon algoritmaları uygulanmalıdır. Her problem için sistemin durumuna, soruna ve elde edilmek istenen çözüme göre en verimli optimizasyon yöntemlerini kullanmak gerekmektedir.

Optimizasyon teknikleri geleneksel ve geleneksel olmayan olarak iki ana kategoriye ayrılırlar. Bu kategoriler alt başlıkları ile birlikte Şekil 5.2’de verilmiştir. Geleneksel algoritmalar, çözüme ulaşabildiği takdirde en uygun çözümü bulmayı garanti eder. Ancak optimum çözüme ulaştığı çözümlerde, üstel hesaplama da zamana ihtiyaç duyarlar. Geleneksel olmayan yöntemler ise en iyi çözüme ulaşamada iyi bir zamanda optimuma yakın bir çözüm bulurlar.

Geleneksel yöntemlerin karışık optimizasyon problemlerini çözmek için uygun olmamaları gibi önemli bir dezavantajı vardır. Optimizasyon problemlerinde belirsizlikler çoğaldıkça yani sistem karmaşıklığı arttığından dolayı, geleneksel yaklaşıkların sınırlarını aşan daha karmaşık optimizasyon teknikleri kullanmak gerekmektedir. Geleneksel olmayan yöntemlerden sezgisel algoritmalar bu önemli engel karşısında geliştirilmiştir.

Geleneksel yöntemlerin üstünlükleri [103];

- 1-) Sonuca ulaşan algoritma çözümlerinin en iyi çözüm olması,
- 2-) Problem çözümü bulunurken, sınırlar çözüme giderken oluşturulur,
- 3-) En iyi çözüme ulaşılmadığı durumlarda, eleme yöntemi kullanılabilir.

Geleneksel yöntemlerin yetersizlikleri [103];

- 1-) Küçük boyutlu problemler, büyük boyutlu problemlere göre iyi sonuç vermesi,
 - 2-) Problem girdilerinin çok olması, hafıza kullanımını arttırması sebebiyle optimizasyonların erken sonlanması,
 - 3-) Algoritmaların genel formülasyonlarında değişikliklere uygun olmaması,
 - 4-) Üzerinde çalıştığı problemin ulaştığı çözümünde genelde lokal optimumda kalması,
- geleneksel yöntemlerin yetersizliklerindendir.

5.2 Sezgisel Algoritmalar

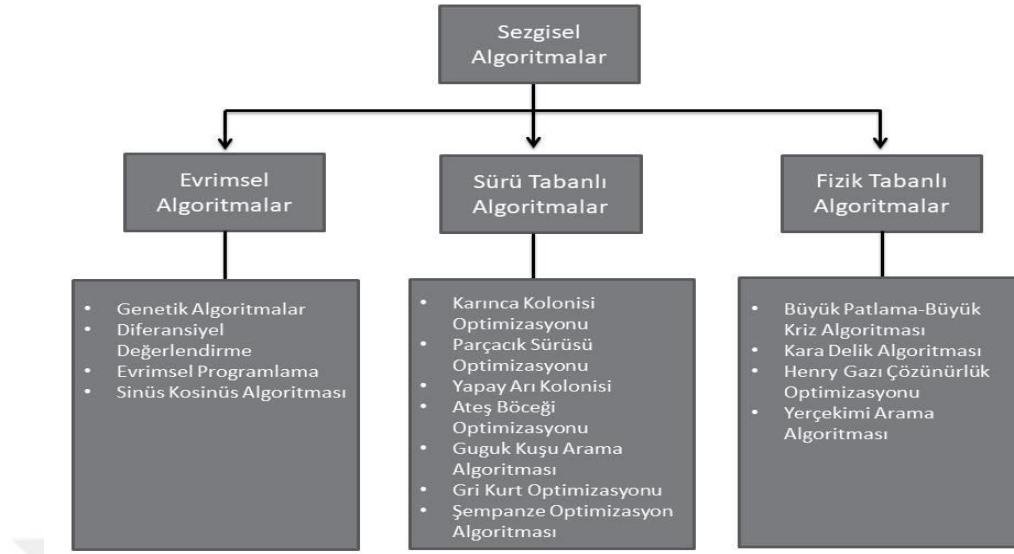
Bu algoritmalar, genellikle en iyiye yakın bir çözüm bulurlar. Yani sezgisel algoritmalar yakınsama özelliğine sahiptirler ama kesin çözümü garanti etmezler. Doğruluğu kesin olmayan fakat geleneksel yöntemlerle çözümlere göre daha verimli ve daha hızlı çözüm yollarıyla problemleri çözmek için oluşturulmuş algoritmalar. Sezgisel algoritmalar, belirlenen verilere göre problemin çözümüne optimum derecede yaklaşmaktadır. Bu algoritmalar, problemi çözmek ya da optimuma ulaşmak için doğal olaylardan esinlenen algoritmalar. Sezgisel kelimesinin dilimizde karşılığı tahmini, deneye dayalı veya yaklaşık demektir. Bu sezgisel algoritmalar problem için uygulayacağı çözümün sonuçlarının kesin olacağını garanti etmemektedir. Bu algoritmaların, istenilen problemi yeterli ve tatmin edici bir sonuçla en kısa sürede çözebilmeyi amaçlamaktadır [104].

Analitik yöntemlere göre daha hızlı çözüm üreten sezgisel algoritmalar, optimum çözümü üretmeyi garanti etmemektedir. Probleme özgü çözüm üreten sezgisel algoritmalar belirlenen algoritmayı takip ederler. Sezgisel algoritmalar zamanı daha verimli hale getirmek için en iyi çözümü aramaktan vazgeçer bu sebepten problemin çözülmesi için geçen süre azdır. Bu algoritmalar, en iyi sonuca ulaşmayı garanti etmezler ama makul bir zamanda optimuma yakın bir çözüm elde edeceklerini garanti ederler. Sezgisel algoritmalar da genellikle en iyiye yakın olan çözüm yoluna, diğer algoritmalarla göre daha hızlı ve basit bir şekilde ulaşırlar.

Sezgisel algoritmalar, problemin çözüm zamanının hızlı olacağı fakat problemi çözümlemesinin kesin olmadığı ya da problemin optimum bir sürede çözülüp her zaman aynı hızda çözemeyeceği gibi iki durumdan biri seçilerek sonuçlandırılır [104].

Sezgisel algoritmalar, var olan problemin matematiksel modelini tam olarak bilmediği durumlarda, problemin amaç fonksiyonuna göre ilgili değişkenlerin türetilmesini sağlamaktadır [105]. Bu durum problemin çözümüne sezgisel bir yaklaşım uygulamaktadır.

Diğer optimizasyon problemlerine göre daha büyük boyutlu problemleri inceleyen sezgisel algoritmalar bu problemleri daha iyi sürede en iyi çözüme yakın değerler veren algoritmalar. Evrimsel, sürü tabanlı ve fizik tabanlı olarak üç farklı grupta değerlendirilen sezgisel algoritmalar Şekil 5.3’de verilmiştir [106].



Şekil 5.3. Sezgisel algoritmaların sınıflandırılması.

5.2.1 Evrimsel Algoritmalar

Genel popülasyon tabanlı sezgisel optimizasyon algoritmalarıdır. Mutasyon, rekombinasyon, ve seleksiyon gibi biyolojik evrimden ilham alan mekanizmalar evrimsel algoritmalarda kullanılır.

5.2.1.1 Genetik Algoritma

Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek oluşturulan bir buluşsal arama yöntemi olan genetik algoritmalar, üreme için en uygun bireylerin seçildiği doğal seçim sürecini yansıtır [107]. Karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek ve problemlerde bulunan belirsizlikleri yönetmek için genetik algoritmalar kullanılmaktadır. Mühendislik tasarımında optimizasyon bir araç olarak kabul edildiği için son yıllarda mühendislik alanında yapılan çalışmalarda genetik algoritmaların kullanımı artmıştır [108].

5.2.1.2 Diferansiyel Değerlendirme

Diferansiyel değerlendirme, evrimsel bir sürece bağlı adım çözümü tekrarlamalı olarak geliştirerek problemi optimize eden evrimsel bir algoritmadır. Optimizasyon problemleri hakkında ya çok az hipotezde bulunur ya da hiç hipotezde bulunmaz. Bu sebepten diferansiyel değerlendirmeler tasarım alanlarını hızla keşfedebilir ve çok çeşitli problemlere çok yönlü ve kararlı çözümler üreten popülasyon tabanlı arama algoritmalarındandır [109].

5.2.1.3 Evrimsel Programlama

Dört evrimsel algoritma modelinden biri olan evrimsel programlama, genetik aloritmaya benzer ancak evrimsel programlama da optimize edilecek programın yapısı farklıdır. Evrimsel programlamada model, genotipten ziyade davranışsal evrim üzerindedir. Genotip evrimleşmediği için ebeveynler arasında çaprazlama kullanılmaz, evrimsel programlamada sadece mutasyon kullanılır [110]. Bireyler yalnızca ebeveyni mutasyona uğratarak oluşturulur, evrimsel programlama da mutasyon miktarı davranış olarak bilinir [110].

5.2.2 Sürü Tabanlı Algoritmalar

Sürü tabanlı algoritmalar, hayvan sürülerinin sosyal davranışlarını taklit ederek oluşturulmuş sezgisel algoritmalarlardır. Çevreleriyle etkileşime giren elemanların toplu davranışlarının işlevsel modelini ortaya çıkaran algoritmalarlardır. Sürü tabanlı algoritmaların, problem çözme teknikleri geleneksel çözüm tekniklerine göre daha optimum sonuçlar vermektedir. Bu algoritmaların tercih edilme sebepleri, geleneksel yöntemlerden daha basit, sağlam ve evrensel model oluşturdukları içindir [111].

Esneklik ve çok yönlülük sürü tabanlı algoritmaların popülaritesini artırmaktadır. Kendi kendine öğrenme yeteneği ve diğer varyasyonlara uyum sağlaması bu algoritmaların temel özelliklerini oluşturmaktadır [112].

Sürü tabanlı algoritmalar, verilen özelliklere göre iş planlamaya, endüstriyel uygulamalar da, veri madenciliğinden optimizasyona kadar mühendisliğin, bilimin ve endüstrilerin büyük bölümlerinde kullanılıyor ve fayda sağlamaktadır [112].

5.2.2.1 Karınca Kolonisi Optimizasyonu

Margo Derigo ve arkadaşları tarafından 2006 yılında oluşturulan karınca kolonisi optimizasyonu, zor optimizasyon problemlerine yaklaşık çözümler bulmak için kullanılan sezgisel algoritmalarlardır. Bu optimizasyon da bazı karınca türlerinin yiyecek arama davranışını ilham alırlar. Karıncalar, koloninin diğer üyelerinin izlemesi gereken yolu işaretlemek için yere feromon bırakırlar. Karınca kolonisi optimizasyonu, karıncaların arama yapmasının bir işlevi olan feromon izlerinin yinelemeli modifikasyonları tarafından uygulanan pozitif bir geri dönüş döngüsünün kullanılması bu optimizasyonun önemli tercih edilme sebeplerindendir [113].

5.2.2.2 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

Parçacık sürüsü optimizasyonu Kennedy ve Eberhart tarafından önerilmiştir. Bu optimizasyon sürü halinde hareket eden kuşlar ve balıklar tarafından ilham alınarak geliştirilmiştir [114]. Hayvanların yiyecek arama ve güvenlik durumlarında gelişigüzel sergiledikleri hareketleri, istedikleri amaca daha kolay ulaşmalarını sağladığı görülmüştür. Parçacık sürüsü optimizasyonunda bireyler arası bilgi alışverişi optimizasyonu oluşturur. Optimizasyonda bulunan her ferde parçacık, parçacıklardan oluşan popülasyona da sürü denir. Her parçacık, önceki davranışlarından elde ettiği tecrübesinden yararlanarak en iyi pozisyona doğru kendi pozisyonunu ayarlar. Parçacık sürüsü optimizasyonunda, sürünün içinde bulunan fertler oluşturdukları yeni hareketleriyle önceki konumlarından daha iyi konuma gelirler. Bu durum optimuma ulaşmaya kadar devam eder.

5.2.2.3 Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu

Yapay arı kolonisi optimizasyonu, 2005 yılında Derviş KARABOĞA tarafından bal arılarının besin arama davranışlarını kullanarak sürü zekâsı temelli olarak geliştirilmiştir [115]. Sistemde işçi arı, kâşif arı ve gözcü arı olmak üzere üç tip arı bulunmaktadır. Sistemde yapay arılar çok boyutlu arama uzayında kendilerinin ve arkadaşlarının deneyimlerine göre yiyeceklerini ve ulaşacakları konumlarını ayarlarlar. Bazı arılar ise yiyeceklerini deneyimsiz bir şekilde rastgele seçer. Yeni bulunan kaynak önceki kaynaktan fazla ise yeni kaynağı/pozisyonu ezberler ve önceki pozisyonu unuturlar. Bu şekilde oluşturulan yapay arı kolonisi optimizasyonunda işçi ve gözcü arılar tarafından gerçekleştirilen yerel arama yöntemlerini, gözcüler ve izciler tarafından yönetilen küresel arama yöntemleriyle birleştirerek arama ve işletme sürecini dengelemeye çalışır. Yapay arı kolonisi optimizasyonu çözülürken 4 adımdan oluşur. Aşağıda bu adımlar matematiksel formülleri ile verilmiştir [116].

1-) Yapay arı kolonisi optimizasyonunun başlaması; besin kaynaklarının çevrede bulunanlardan rastgele seçilip üretilmesi aşamasıdır. Parametrenin sınır değerleri arasında gelişigüzel başlangıç değeri Denklem 5.2 ile üretilir.

$$x_{ij} = x_j^{min} + rand(0,1)(x_j^{max} - x_j^{min}) \quad (5.2)$$

2-) Elde edilen yeni kaynakların belirlenmesi; arıların komşuluk ilkesine göre belirlenmektedir. Elde edilen besin kaynağını belirleyen işçi arı komşuluk ilkesine bağlı belirler.

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (5.3)$$

3-) Elde edilen kaynaklardan kaynak kalitesini belirlerken; v_i parametresi yeni kaynağı simgeler ve parametre vektörleri için uygunluk değeri atar. i. çözümden üretilen hata değeri f_i çözüme ait kalite değerini hesaplamak için kullanır. Bu işlem, önceki kaynak sonraki kaynaktan daha iyi oluncaya kadar hafızadan silinip devam eder. En iyi kaynak hafızada yer alır. Bu döngü Denklem 5.4 ile ifade edilmiştir.

$$fitness_i = \begin{cases} 1/(1 + f_i) & f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i) & f_i < 0 \end{cases} \quad (5.4)$$

4-) Kaynak seçiminde ise; dans yolu ile gözcü arılara kaynağın kalitesini işçi arılar aktarır. Aktarılar kaynak kalitelerine göre gözcü arılar kendilerine kaliteli kaynağı seçer. Seçilme olasılığı yüksek olan kaynaklar uygunluk değeri yüksek olan kaynaklardır. Kaynak seçilme olasılığı Denklem 5.5’de gösterilmektedir.

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{l=1}^{SN} fitness_l} \quad (5.5)$$

5.2.2.4 Ateş Böceği Optimizasyonu

Ateş böceği algoritması (ABA), Yang tarafından ateş böceklerinin yanıp sönen davranışından esinlenen sezgisel bir algoritma olarak tanıtılmıştır. Bir ateş böceğinin parlamasının birinci amacı, diğer ateş böceklerini çekmek için bir sinyal sistemi oluşturmaktır. Yang ateş böceği optimizasyonunu aşağıdaki üç maddeye göre formüle etmiştir [117].

1. Tüm ateş böceklerinin üniseks olduğunu varsayarak ABA 'yı formüle etmiştir, böylece bir ateş böceği diğer tüm ateş böceklerine çekici gelecektir.
2. Bir ateş böceğinin çekicilik derecesi, parlaklıklarıyla orantılıdır. Herhangi bir ateş böceği iki ateş böceği arasında kaldığı zaman daha parlak olanı az parlak olana tercih edecektir. Mesafe arttıkça çekicilik azalacaktır. Belirli bir ateş böceğinden daha parlak bir ateş böceği yoksa rastgele seçim yapılacaktır.
3. Belirli bir ateş böceğinden daha parlak ateş böceği yoksa ateş böceği rastgele hareket edecektir. Parlaklık objektif fonksiyon ile ilişkilendirilmelidir.

5.2.2.5 Guguk Kuşu Arama Algoritması

Guguk kuşu arama algoritması, 2009 yılında Xin-She Yang ve Suash Deb tarafından sürü tabanlı optimizasyon algoritması olarak geliştirilmiştir. Guguk

kuşlarının kuluçka asalaklığı gibi ilginç üreme davranışlarından üretilen algorithmada kuşların göç sürelerinin gözlemlenerek tüketicinin isteğine bağlı olarak rassal yürüyüş veya Levy uçuşu adlı yöntemler ile geliştirilmiştir [118].

Guguk kuşu arama algoritmalarını diğer sezgisel yöntemler ile karşılaştırılması yapıldığında, arama yöntemi için tek bir veriye ihtiyaç duyması algoritmayı basit tanımlanabilir yapar ve bu özelliği sayesinde diğer algoritmaların önüne çıkar. Optimizasyona yakın çözümler üreten guguk kuşu arama algoritması, çok kritere sahip optimizasyon problemlerine kolay adepte olması yönüyle tercih edilme sebebidir [119].

5.2.3 Fizik Tabanlı Algoritmalar

Uzay ve dünyadaki fizik kanunlarından etkilenilerek oluşturulan ve geliştirilen sezgisel algoritmalara fizik tabanlı algoritmalar denir. Fizik tabanlı algoritmalar, zor ve yüksek boyutlu problemlerin çözümlenmesinde iyi sonuçlar elde etmektedir [120].

5.2.3.1 Büyük Patlama-Büyük Kriz Algoritması

2005 yılında evren evriminin büyük patlama-büyük krizin teorilerine dayanarak geliştirilmiş bir algoritmadır. Büyük patlama ve büyük kriz olarak iki aşamadan oluşan algoritma, büyük patlama aşamasında büyük kriz aşamasında kullanılan başlangıç rastgele popülasyonunu oluştururken, büyük kriz aşamasında ise nüfusu tekilliğe doğru küçülür. Bu, kütle merkezi tarafından belirtilen tek kaliteli bir çözümdür [120]. Büyük patlama-büyük kriz algoritmasının temel adımları aşağıda gösterilmiştir.

Adım 1. İlk nesil N adaydan rastgele bir şekilde arama alanının sınırlarını gösterin.

Adım 2. Tüm aday çözümlerin uygunluk fonksiyonu değerlerini hesaplayın.

Adım 3. Kütle merkezini bulun.

Adım 4. Yineleme süresi geçtikçe değerleri azalan normal bir rastgele sayı ekleyerek veya çıkararak kütle merkezi çevresinde yeni adayları hesaplayın.

5.2.3.2 Kara Delik Algoritması

A.Hatamlou tarafından kara delik fenomeninden esinlenerek yeni bir optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir. Kara delik, içinde çok fazla kütleye sahip ve yanındaki bir nesnenin çekim kuvvetinden kaçmasının hiçbir yolu olmayan bir uzay

bölgesidir. Işık dâhil olmak üzere, kara deliğe düşen her şey sonsuza kadar kara deliğin içinde kalmaktadır.

Kara delik algoritmasında, optimizasyon problemine aday çözümlerin başlangıç popülasyonu ve onlar için hesaplanan bir amaç fonksiyonu ile başlar. Kara delikler sabit konumlu fonksiyonun optimum noktalarıdır. Kara deliğin her yinelenmesinde, en iyi aday kara delik olarak seçilir. Geriye kalan sonuçlar ise normal yıldızları oluşturur. İşleme başladıktan sonra kara delik etrafındaki yıldızları çekmeye başlar ve kara deliğe yaklaşan yıldız kara delik tarafından yutulup, sonsuza kadar yok olur. Kara delikten daha optimum değer sahip olan bir değer elde edilir ise kara delik yenilenir. Yok olan yıldız yerine yeni bir yıldız (aday çözüm) oluşturulur ve arama uzayına yerleştirilir. Böylece yeni bir arama başlamış olur [121]. Optimum değere ulaşıldığında ise kara delik bulunur ve algoritma tamamlanır.

5.2.3.3 Henry Gazı Çözünürlük Optimizasyonu

Henry yasasının davranışını örnek alarak 2019 yılında Hashim ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş olan optimizasyon algoritmasıdır. Henry yasası, gazın belirli bir türde ve hacimde, sabit bir sıcaklıkta, çözünen miktarını inceleyen bir gaz yasasıdır [122]. Bu önemli iki özelliği kullanan henry gazı çözünürlük optimizasyonu sekiz adımdan oluşmaktadır.

Henry gazı çözünürlük optimizasyonu algoritmasında, arama alanındaki sömürü ve keşfi dengelemek, yerel optimumdan kaçınmak için gazın toplanma davranışını taklit eder. Henry gazı çözünürlük optimizasyonunun performansı, oluşturulan 47 kıyaslama işlevi, 3 mühendislik tasarım problemi vb. gibi çeşitli problemler üzerinde kıyaslama yapılmıştır. Yapılan deneysel sonuçlar, Henry gazı çözünürlük optimizasyonunun rekabetçi algoritmalara karşı önemli bir üstünlük sağladığını ortaya koymuştur [122].

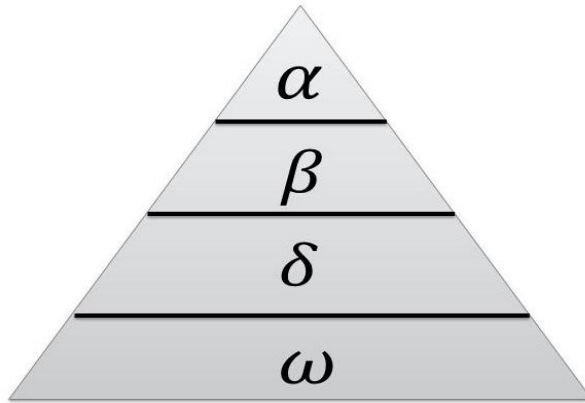
5.2.3.4 Yerçekimi Arama Algoritması

Nezamabadi-pour vd. tarafından yerçekimi ve hareket yasasına göre yerçekimi arama algoritması geliştirilmiştir. Yerçekimi yasasına göre evrende bulunun bir kuvvet ile birbirini çeker. Bu kuvvet parçaların kütleleriyle doğru orantılı fakat uzaklıkları ile ters orantılıdır. Yerçekimi arama algoritmasında ise her faktör nesne olarak kabul edilir, performanslarını kütleleri belirler ve en ağır kütleye sahip olan cisim konumunun global çözüm göstermesi beklenir [123].

5.3 İYŞİ Yer Seçimi için Kullanılan Algoritmalar

5.3.1 Gri Kurt Optimizasyonu (GKO)

Bu kısımda Gri Kurt Optimizasyonu (GKO)'nun ilham kaynağından bahsedilerek matematiksel modeli gösterilmiştir. GKO, 2014 yılında önerilen gri kurtların avlanma stratejisini ve sosyal liderliğini taklit eden bir optimizasyon algoritmasıdır [124]. Sürülerinin ana özelliği olan sosyal hiyerarşi, yaklaşık sayıları 5-11 arasında değişen gruplar halinde dolaşan gri kurtların önemli özelliklerindendir. Avlama yapmak ve kurt sürüsü içindeki disiplini korumak için gri kurt grupları dört tür kurt olarak sınıflandırılır. İlk tür, erkek ya da dişi olabilen sürünün önemli kararlarını veren, lider kurt olan alfa (α) kurttan oluşur. İkinci tür ise, alfa kurttan aldığı mesajları grubun diğer üyelerine iletmekle görevli olan beta (β) kurttur. Beta kurtlar alfa kurdun avlanma ve barınma yerlerini seçerken yardımcı olan kurt türüdür. Üçüncü kurt türü olan delta (δ) kurtlar alfa ve beta kurt türlerinden gelen emirlere uymak zorunda olan kurt türüdür. Grubun gözcü, avcı, bekçi gibi önemli kurtları bu türde bulunur. Gri kurt gruplarında ki son kurt türü omega (ω) kurtlarıdır. Sadece yemek yemek için bulunduğu düşünülse de grup içinde çıkabilecek sorun ve iç çatışmaları engelleyen kurt türüdür [125]. Baskınlığı yukarıdan aşağı doğru azalan gri kurt hiyerarşisi Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Gri kurt hiyerarşisi [124].

Grup avcılığı gri kurt sürüsünün önemli özellikleri arasında yer aldığı için avlanma süreci üç adımda gerçekleşir. Gri kurt sürüsü alfa kurdun liderliğinde ava yaklaşır, avı kuşatır ve son olarak uygun zamanda ava saldırır. Kurtların avlanma taktiklerinin matematiksel modelinde alfa (α) kurdu, beta (β) kurdu ve delta (δ) kurdu avlanma zamanında daha iyi yer bilgisi sağlamaktadır. Bu nedenle GKO

algoritmasında, kurdun konumunu güncelleştirmek, en iyi çözümü bulmak için sırasıyla alfa, beta, delta kurtlarının çözümleri kullanılır. Bu çözümlere ulaşmak için kullanılan matematiksel modeller aşağıda yer almaktadır [124].

$$\vec{D}_a = |\vec{C}_a \cdot \vec{X}_a - \vec{X}_i| \quad (5.6)$$

$$\vec{D}_\beta = |\vec{C}_\beta \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}_i| \quad (5.7)$$

$$\vec{D}_\delta = |\vec{C}_\delta \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}_i| \quad (5.8)$$

$$\vec{U}_a = \vec{X}_a - \vec{A}_a \vec{D}_a \quad (5.9)$$

$$\vec{U}_\beta = \vec{X}_\beta - \vec{A}_\beta \vec{D}_\beta \quad (5.10)$$

$$\vec{U}_\delta = \vec{X}_\delta - \vec{A}_\delta \vec{D}_\delta \quad (5.11)$$

$$\vec{X}_i = \frac{(\vec{U}_a + \vec{U}_\beta + \vec{U}_\delta)}{3} \quad (5.12)$$

Gri kurtların yakalamak istedikleri avlar ile arasında olan vektör mesafesini $\vec{D}_a, \vec{D}_\beta, \vec{D}_\delta$ denklemleri ile gösterilir. Deneme vektörleri ise $\vec{U}_a, \vec{U}_\beta, \vec{U}_\delta$ ile gösterilir. Alfa, beta ve delta kurtlarının avlamak istediği avın konum vektörünü ise $\vec{X}_a, \vec{X}_\beta, \vec{X}_\delta$ denklemleri ile gösterilir. Kurtların i'ninci iterasyon zamanında pozisyon vektörü ise $\vec{X}_i$ ile gösterilirken, aşağıdaki gibi hesaplanan katsayı vektörleri alfa, beta ve delta kurtları için $\vec{C}_a, \vec{C}_\beta, \vec{C}_\delta, \vec{A}_a, \vec{A}_\beta, \vec{A}_\delta$ denklemleri ile gösterilmektedir.

$$\vec{A}_a = 2\vec{a}\vec{r}_{a1} - \vec{a} \quad (5.13)$$

$$\vec{C}_a = 2\vec{r}_{a2} \quad (5.14)$$

$$\vec{A}_\beta = 2\vec{a}\vec{r}_{\beta1} - \vec{a} \quad (5.15)$$

$$\vec{C}_\beta = 2\vec{r}_{\beta2} \quad (5.16)$$

$$\vec{A}_\delta = 2\vec{a}\vec{r}_{\delta1} - \vec{a} \quad (5.17)$$

$$\vec{C}_\delta = 2\vec{r}_{\delta2} \quad (5.18)$$

Vektörün Optimizasyon sırasında doğrusal bir biçimde 2'den 0'a düştüğünü $\vec{a}$ ile gösterilirken, $\vec{r}_{a1}, \vec{r}_{\beta1}, \vec{r}_{\delta1}$ ifadeleri $[0, 1]$ de ilk rastgele vektörleri, $\vec{r}_{a2}, \vec{r}_{\beta2}, \vec{r}_{\delta2}$ ise

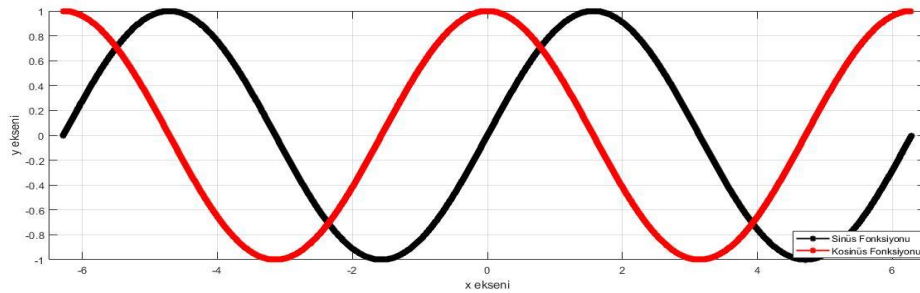
[0, 1] değer aralığında bulunan ikinci rastgele vektörleri göstermektedir. Avın hareketi durduğunda gri kurtlar konumlarını günceller ve avlarını yakalayarak avlanma süreçlerini tamamlar.

Bu algoritma tasarlanırken, alfa (α) kurdu, kurtların sosyal hiyerarşisini matematiksel olarak modellemek için en uygun çözüm olarak kabul edilmiştir. Beta (β) kurdu ikinci en uygun çözüm, delta (δ) kurdu ise üçüncü en uygun çözüm olarak kabul edilmiştir. GWO’da en önemli bu kurtlar olduğundan dolayı, diğer kurtlar bu kurtları takip eder.

Kurtların saldırı durumunda a değerindeki azalma, $\vec{A}$ değerinin değişim aralığında da azalma meydana gelmektedir. Alfa, beta ve delta konumlarına bakarak arama yapan gri kurtlar, sadece av aramak ve avlanmak için birbirlerinden ayrılırlar. Bu uzaklaşma durumunu matematiksel olarak anlatmak için $\vec{A}$ ifadesinin 1’den büyük, -1’den ise küçük değerlerinden faydalanılmalıdır.

5.3.2 Sinüs Kosinüs Algoritması (SKA)

Bu kısımda Sinüs Kosinüs Algoritması (SKA)’nın ilham kaynağından bahsedilerek matematiksel modeli gösterilmiştir. Popölasyon arama yöntemlerinden biri olan SKA algoritması, optimizasyon sürecini bir dizi rastgele başlangıç çözümü ile başlatır [126].



Şekil 5.5. [-2*pi ve 2*pi] aralığında sinüs ve kosinüs fonksiyonları.

SKA algoritması temelinde iki matematiksel formül vardır, Bu formüller üzerinden çözüm üretilir ve geliştirilir. Sinüs kosinüs fonksiyonları grafiği Şekil 5.5’de verilmiştir [127].

Stokastik popölasyon tabanlı teknikler alanında bulunan optimizasyonlar aralarında farklılıklar bulunmasına rağmen optimizasyon süreçlerini iki ana aşamaya

ayırır. Küresel arama işlevlerini çeşitlendirmek için keşif aşaması, yerel bir arama yaparak yoğunlaşma için ise sömürü aşaması SKA'nın iki ana aşamasıdır. İlk aşama olan keşif aşamasında mevcut arama uzayının değerlendirilecek alanlarını elde etmek adına yüksek derecede rastgelelik oranıyla çözüm kümelerini birleştirir. Keşif aşamasından sonraki aşama olan sömürü aşamasında, rastgele çözümlere daha kademeli ilerleme sağlar. Bu aşamada rastgele değişiklikler keşif aşamasından daha azdır [126]. Olumlu sonuçların olma ihtimalini değerlendirmek için arama alanı dışında da arama yapılmaktadır. SKA'da kullanılan iki ana aşama için konum güncelleme Denklem (5.19) ve Denklem (5.20)'de verilmiştir.

$$X_i^{t+1} = x_i^t + r_1 \times \sin(r_2) \times |r_3 P_i^t - X_i^t| \quad (5.19)$$

$$X_i^{t+1} = x_i^t + r_1 \times \cos(r_2) \times |r_3 P_i^t - X_i^t| \quad (5.20)$$

Bu denklemlerde X_i^t i . boyuttaki mevcut çözümün t . yinelemesinde bulunan konumlarını gösterir. Rastgele denklemler her algoritmada farklılık gösterir. SKA algoritmasında ise r_1 bir sonraki pozisyonun alanını belirlerken, r_2 optimumu elde etmek için hedefe doğru ya da hedeften dışı doğru olmasını gerektiğini davranışları belirler. r_3 ise ulaşılması istenilen amacın algoritmaya vereceği katkıyı tahmini hesaplar, r_4 [0,1] değerleri arasında algoritmanın sinüs ve kosinüs ögeleri arasında eşit olasılıkla geçiş yapmasını sağlamaktadır. P_i ise i . boyutta ulaşılacak istenen noktanın konumunu belirtir. Denklem (5.19) ve Denklem (5.20)'de verilen eşitlikler Denklem (5.21)'de ki gibi birlikte kullanılır [128].

$$X_i^{t+1} = \begin{cases} x_i^t + r_1 \times \sin(r_2) \times |r_3 P_i^t - X_i^t|, & r_4 < 0.5 \\ x_i^t + r_1 \times \cos(r_2) \times |r_3 P_i^t - X_i^t|, & r_4 \geq 0.5 \end{cases} \quad (5.21)$$

Değerlenebilecek alanları belirlemek ve optimum konuma ulaşmak ya da küresel optimuma yakınsamak için keşif ve sömürü arasında denge kurulacak şekilde ayarlanmalıdır. İki aşamayı da dengelemek adına Denklem (5.22) kullanır ve Denklem (5.19) – (5.21)'de bulunan sinüs ve kosinüs aralığı adapte edilip değiştirilir.

$$r_1 = a - t \frac{a}{T} \quad (5.22)$$

Yukarıda bulunan Denklem (5.22)'de t geçerli yineleme sayısı, a ise sabittir. T ifadesi ise maksimum yineleme sayısıdır. SKA'nın optimizasyon prosedürlerin de ilk rastgele çözümle başladığını gösterir. Algoritma daha sonra o zamana kadar elde edilen en iyi çözümleri ön belleğe alır, onu hedef nokta olarak belirler ve seçilen en iyi çözümü

dikkate alarak diğer çözümleri günceller. Yineleme sayısı arttıkça arama alanından yararlanmayı sürdürmek için sinüs ve kosinüs işlevlerinin aralıkları yenilenir. SKA, yineleme sayısı maksimum yineleme sayısına ulaştığında optimizasyon çalışmalarını durdurur. Ancak, maksimum fonksiyon geliştirme sayısı veya elde edilen global optimumun kesinliği gibi diğer durdurma koşulları alınabilir.

Yeni çözümler ortaya çıktığında arama alanı kullanımları artacağından arama alanlarının kullanımları güncellenir. Arama uzayının dışına çıkmak için 1'den büyük ya da -1'den küçük değerler arasında işlem yapılmalıdır.

SKA, belirli bir optimizasyon problemi rastgele başlangıç çözümü üretir ve geliştirir; bu nedenle, esas olarak, bireysel tabanlı optimizasyon algoritmalarıyla eşleşen güçlü keşif ve yerel optimum şemadan yararlanır [126]. Bu algoritma, sinüs ve kosinüs fonksiyonlarına uyarlanarak aralık değişimini kullanır. SKA algoritmasının iki ana aşamaları arasında sorunsuz geçiş sağlar. Çözümler ise elde edilen optimum çözüm etrafında güncellendiğinden dolayı optimizasyon esnasında arama alanlarının en iyi bölgelerine doğru eğilim vardır.

5.3.3 Şempanze Optimizasyon Algoritması (ŞOA)

Bu kısımda Şempanze Optimizasyon Algoritması (ŞOA)'nın ilham kaynağından bahsedilerek matematiksel modeli gösterilmiştir. M. Khishe, & M. R. Mosavi tarafından sunulan nispeten yeni bir sürü zekâsına dayalı stokastik tekniktir. COA algoritmasında diğer hayvanlardan farklı şempanzelerin grup avlarında cinsel ve zekâ motivasyonlarından ilham almıştır. ŞOA algoritmasında yalnızca birkaç operatörün ayarlanması gerekir. Bu ayarlama sonucunda ŞOA algoritması kolayca uygulanabilir. Şempanzeler avına anında ve kolay erişim sağlamak için büyük ve farklı sorumluluklar üstlenirler. Bir şempanze grubunda dört ana tür vardır. Sürücülerin görevi avı yakalamadan sadece peşinden gitmektir. Bariyerler ise, av çevresinde bir baraj oluşturarak avın ilerlemesini engeller. Avcılar ise avı yakalamaktan sorumludur. Ava ulaşmak için hızlı hareket ederler. Son olarak saldırganlar ise avın kaçış yolunu tahmin ederek avı yakalamak için avcılara doğru çekilmesini sağlarlar [129].

Denklem (5.23) ve Denklem (5.24)'da şempanzelerin pozisyonlarını güncellemek için kullanılacak matematiksel ifadeler yer almaktadır.

$$X_1(t+1) = X_{saldırgan}(t) - a_1 \cdot d_{saldırgan}$$

$$X_2(t+1) = X_{bariyer}(t) - a_2 \cdot d_{bariyer} \quad (5.23)$$

$$X_3(t+1) = X_{avcı}(t) - a_3 \cdot d_{avcı}$$

$$X_4(t+1) = X_{sürücü}(t) - a_4 \cdot d_{sürücü}$$

$$X_{şempanze} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{4} \quad (5.24)$$

Vektör d ile dinamik katsayı ise a ile gösterilir. Geçerli yineleme sayısı t ile gösterilirken, bu yenilemeler algoritmada kullanılan şempanzelerin pozisyonlarına göre güncellenir.

$$a_1 = 2 \cdot f_1 \cdot r_1 - f_1, d_{saldırgan} = |c \cdot X_{saldırgan}(t) - m \cdot X(t)| \quad (5.25)$$

$$a_2 = 2 \cdot f_2 \cdot r_1 - f_2, d_{bariyer} = |c \cdot X_{bariyer}(t) - m \cdot X(t)| \quad (5.26)$$

$$a_3 = 2 \cdot f_3 \cdot r_1 - f_3, d_{avcı} = |c \cdot X_{avcı}(t) - m \cdot X(t)| \quad (5.27)$$

$$a_4 = 2 \cdot f_4 \cdot r_1 - f_4, d_{sürücü} = |c \cdot X_{sürücü}(t) - m \cdot X(t)| \quad (5.28)$$

Doğrusal olmayan şekilde 2,5'den 0'a f katsayısı, yinelemenin geçmesi ile düşer. $[0,1]$ değer aralığında bulunan c ve r_2 , rastgele sayıları $c = 2r_2 \cdot r_1$ şeklinde açıklanabilir. Denklem (5.25) – (5.28) de bulunan m ise kaotik bir vektördür [130].

μ olasılığı ise Denklem (5.29)'de gösterilen kaotik model için kullanır ve $[0,1]$ arasında rastgele sayı için $\mu \geq 0,5$ değerini alır. $\mu < 0,5$ değerini korur ise Denklem (5.24)'u kullanmaya devam eder.

$$X_{şempanze}(t+1) = \text{kaotik_değer} \quad (5.29)$$

Avlanma bittikten sonra, saldırganlar sonraki hareketleri tahmin ettiği ve bu yüzden avın yakalanmasında daha fazla uğraş gösterdiğinden dolayı diğer grup üyelerinden fazla bir et ile ödüllendirilir. ŞOA algoritmasının önemli özelliklerinden biri ise her şey yolunda gidiyorsa avlanma bitene grup üyeleri arasında görev değişikliği olmaz fakat optimum avlanma için olası durumlarda grup üyeleri avlanma sırasında görev değişikliği yapabilir.

6. BÖLÜM

İKİ YÖNLÜ ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ GÜÇ SİSTEMLERİNE OPTİMUM YERLEŞİMİ

Bu bölümde, çalışmada yapılan güç akışı aşağıdaki denklemler ile belirlenmiştir. Bu çalışmada amaç fonksiyonu, toplam hat kayıplarının minimize edilmesi şeklinde belirlenmiştir [131]. Toplam hat kayıpların hesaplanabilmesi için hat akımlarının ve bara gerilim değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için ileri geri süpürme yöntemi kullanılmıştır [132]. Bu yöntem, öncelikle hat akımlarını hat sonundan hat başına doğru hesaplarken, hat başından hat sonuna doğru ise bara gerilim değerlerini hesaplamaktadır. Mevcut iterasyonda bulunan gerilim değerleri ile bir önceki iterasyondaki gerilim değeri arasındaki fark, belirlenen hassasiyet değerinden küçük olması durumunda iterasyon yakınsamaktadır.

6.1 Amaç Fonksiyonu

Bara akımlarının hesaplanması: j barasından k 'ıncı iterasyonda çekilen akım Denklem (6.1)'de hesaplanır. S_j j barasındaki yükün görünür güç değeri iken $V_j^{(k-1)}$ $k - 1$ iterasyonundaki gerilim değeridir.

$$I_j^{(k)} = \left(\frac{S_j}{V_j^{(k-1)}} \right)^* \quad (6.1)$$

Hat akımlarının hesaplanması: Baranın çektiği akım ve baraya bağlı sonraki hatların çektiği akımların toplamı mevcut baranın öncesinde bağlı olduğu hattın toplam akımını verir. Son baradan ilk baraya doğru hat akımları hesaplanır. S_m mevcut baradan sonra

gelen hattın çektiği güç değerini göstermektedir. Her bir hat akımı Denklem (6.2) ile hesaplanmaktadır.

$$I_L^{(k)} = I_j^{(k)} + \sum_{m=1}^M \left(\frac{S_m}{V_j^{(k)}} \right)^* \quad (6.2)$$

Bara gerilimlerinin hesaplanması: Hat akımları hesaplandıktan sonra ilk baradan son baraya doğru bara gerilimleri hesaplanır. Bir önceki bara geriliminden hatta meydana gelen gerilim düşümü çıkarılarak bir sonraki baranın gerilimi hesaplanır. Bu işlem bütün baralar için gerçekleştirilir. Bara gerilimlerinin hesaplanması Denklem (6.3)'te verilmiştir.

$$V_j^{(k)} = V_i^{(k)} - Z_n * J_n^{(k)} \quad (6.3)$$

Hassasiyetin kontrol edilmesi: Bu işlemler sonunda elde edilen gerilim değerleri bir önceki iterasyonda elde edilen gerilim değerinden çıkarılır aradaki fark hesaplanır. Bu değer belli bir değerin altında olduğunda iterasyon yakınsamıştır.

$$\Delta V_j^{(k)} = \left| \left| V_j^{(k)} \right| - \left| V_j^{(k-1)} \right| \right| \quad (6.4)$$

Bir hattaki kayıplar $I_L^2 R_L$ şeklinde hesaplanırken, bir güç sistemindeki toplam aktif güç kayıpları Denklem (6.5)'te formüle edilir. I_L hat akımı Denklem (6.2)'de gösterilmiştir ve R_L ise hat direncini ifade etmektedir.

$$P_{kayıplar} = \sum_{L=1}^{hatsayısı} I_L^2 R_L \quad (6.5)$$

Amaç fonksiyonu toplam hat kayıplarının minimize edilmesi şeklinde Denklem (6.6)'da tanımlanmıştır.

$$f = \min(P_{kayıplar}) \quad (6.6)$$

6.2 Benzetim Sonuçları

Dünyada şarj sistemleri konusundaki araştırmalar elektrikli araç teknolojisinin geliştiğini göstermiştir. Bu gelişme elektrikli araçların yaygınlaşmasına neden olmuştur. Elektrikli araçların yaygınlaşması ve bataryalarını yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen güç ile şarj etmeleri fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır. Son zamanlarda elektrikli araçların güç sistemine entegrasyon oranı hızla artmakta ve bu artış ile sistemden çekilen elektrik enerjisinin güç sistemine olumsuz etki yapacağına inanılmaktadır. Öte yandan,

İYŞİ teknolojisi, elektrikli araç bataryalarından çift yönlü enerji aktarımı yoluyla şebekeyi destekleyebilir. Elektrikli araç bataryalarında bulunan enerjinin elektrik şebekesinin yoğun saatlerinde şebekeye güç vermesi sağlanabilir. İYŞİ teknolojisine sahip istasyonlar ile bağlantı kurulduğunda depolanan enerjinin hangi baraya, nasıl bir kapasite ile bağlanacağı elektrik şebekesi için oldukça önemlidir.

Bu tez çalışmasında ise, İYŞİ teknolojisi ile elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye göre yerleşimi GKO, SKA ve ŞOA algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Algoritmalar ile elde edilen sonuçlar, test sistemlerinde algoritmaların etkin olmadığı ve algoritmaların dâhil olması ile ulaşılan sonuçları karşılaştırılmıştır. 34-baralı ve 85-baralı test sistemleri benzetimler için kullanılmıştır. Optimum sonuç için şarj istasyonlarının konumları üç farklı baraya yerleştirilerek çalışmalar sağlanmıştır. Şebekeye aktarılacak toplam enerji verme yeteneği barada bulunan elektrikli araç şarj istasyonunun toplam kapasitesini belirtir. Bu çalışmada problem değişkenleri, elektrikli araç şarj istasyonlarının kapasite değeri ve bağlı bulundukları bara numarasıdır. Çalışmada aktarım sistemine dâhil şarj istasyonlarının aralarında minimum iki bara mesafe bırakılmıştır. Böyle yapılmasındaki neden şarj istasyonlarının birbirlerine çok yakın mesafede konumlanmalarını engellemektir. Amaç fonksiyonu ile belirlenmiş kriterler algoritmalarla çalıştırılmış ve şarj istasyonlarının optimum kapasiteleri ve konumları üç algoritma ile belirlenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan algoritmalar arasında sağlıklı karşılaştırma yapılması için ayrı ayrı her algoritmanın iterasyon sayısı 1000, popülasyon sayısı 40 olarak belirlenmiş ve bu hususlar ile algoritmalar 100'er defa koşturulmuştur. “iterasyon sayısı x popülasyon sayısı” olarak ifade edilen maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı her algoritma için 40.000'dir ve çalışmada kullanılan üç algoritma için de değerlendirme sayısı eşittir. Bu tezden elde edilen sonuçlar [133]'te makale olarak yayınlanmıştır. Test sistemlerinin yük değerleri puant değerler olarak göz önünde bulundurulmuş ve elektrikli araç deşarjlarının puant yük zamanında gerçekleştiği varsayılmıştır.

6.2.1 34-Baralı Test Sistemi

D.B Prakash & C.Lakshminaraya'nın çalışmasında yer alan 34-baralı test sistemi Şekil 6.1'de verilmiş ve sistem temel durumda 65.0740 kVAR'lık reaktif güç kaybına sahipken, 221.5748 kW'lık aktif güç kaybına sahiptir [134]. Şarj istasyonu bağlı olmadan

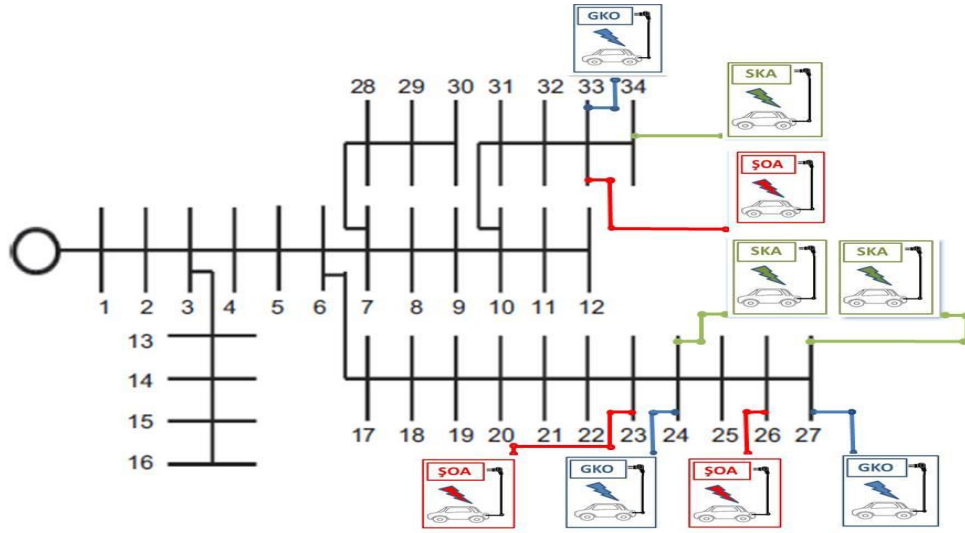
27 numaralı barada 0.9423 p.u değeri ile en küçük bara gerilimi görülmüştür. 34-baralı test sisteminin temel bara gerilimi ise 0.9660 p.u'dur. Bağlantı olmadığı durumda sistem 0.065 saniyede benzetim sonuçlarını elde etmiştir.

Şarj/deşarj güçlerinin farklı olduğu üç elektrikli araç modeli seçilerek çalışmada benzetim çeşitliliği olması sağlanmıştır. Kullanılacak şarj istasyonlarının farklı elektrikli araç modellerini şarj edebilecek güçte ve kapasitede olduğu varsayılmış ve kapasiteleri 3.6 kW, 6.6 kW ve 7.2 kW'lık olan, sırasıyla Model-1, Model-2 ve Model-3 olarak farklı elektrikli araçlar tanımlanmıştır. Elektrikli araçlar elektrik şebekesine toplam yük değeri olan 4636.5 kW'lık değerın %25'ini anlık güç değeri olarak aktaracak şekilde sistem ayarlanmıştır. Elektrikli araç şarj noktalarında her güçten en az 13 araç bulunacağı seçilmiş ve bu durum ise çekilen yükün %4.8'ine karşılık gelmektedir. Hat kayıpları, belirlenen hedef fonksiyonu ile minimize olmayı hedefler, bu durumda sisteme yerleştirilecek üç İYŞ'nin kapasite ve konum değerleri ŞOA, SKA ve GKO algoritmaları kullanılarak belirlenmiştir. Tablo 6.1'de 1000 iterasyonlu SKA, ŞOA ve GKO algoritmalarının 100'er defa koşturulmasının sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 6.1. GKO, ŞOA ve SKA algoritmaları kullanılarak 34-baralı test sisteminde elde edilen benzetim sonuçları.

34-baralı test sistemi						
		İLK DURUM	RASTGELE	GKO	ŞOA	SKA
Aktif Güç Kayıpları (kW)	(Ortalama)			129.0430	129.6945	129.0564
	(En İyi)	221.5748	171.0	129.0126	129.0322	129.0127
	(En Kötü)			129.0902	141.6539	129.0996
	(Standart Sapma)	-	-	0.0244	2.6870	0.0238
Ortalama Benzetim Zamanı (sn)		-	-	40.73	42.99	41.23
Minimum Gerilim (p.u)		0.9423	0.9491	0.9659	0.9657	0.9660
Ortalama Gerilim (p.u)		0.9660	0.971	0.976	0.975	0.976
Reaktif Güç Kayıpları (kVAR)		65.0740	49.7230	38.8480	38.8595	38.8517
En İyi Sonuç İçin İYŞİ Bara Numaraları/ Güçleri (kW)			2/483.0	24/519.0	23/226.2	24/480.0
			9/395.4	27/420.6	26/713.4	27/459.6
			20/287.4	33/226.2	33/226.2	34/226.2

Çalışmaya algoritmaları dâhil etmeden, algoritmaların yaptığı iyileştirmeleri daha iyi görmek ve daha iyi karşılaştırma yapmak için rastgele şekilde 20, 9 ve 2 numaralı baralara sırasıyla 287.4 kW, 395.3 kW ve 483.0 kW'lık puant güç kapasiteli şarj istasyonları konumlandırılmıştır. Bu konumlandırma sonucunda 49.7230 kVAR değerinde reaktif güç kaybı elde edilirken, 171.0 kW'lık aktif güç kaybı değerine ulaşılmıştır. Rastgele yerleştiren algoritmasız bu durumda şebeke yine de iyileştirme etkisi görmüş fakat bu etki sınırlı kalmıştır.



Şekil 6.1. GKO, ŞOA ve SKA algoritmaları ile şarj istasyonlarının 34- baralı test sisteminde optimum konumları.

ŞOA algoritması ile benzetim yapıldığında 33,26 ve 23 baralara şarj istasyonları yerleştirilmiş ve bu baralara bağlanan İYŞİ teknolojisine sahip şarj istasyonunun güç kapasiteleri sırayla 226.2 kW, 713.4 kW ve 226.2 kW olarak elde edilmiştir. SKA algoritması ile elde edilen şarj istasyonları ise 34, 27 ve 24. baralara yerleştirilmiş ve şarj/deşarj kapasiteleri sırasıyla 226.2 kW, 459.6 kW ve 480.0 kW değerleri elde edilmiştir. Son olarak GKO algoritması ile benzetim yapılmış 226.2 kW, 420.6 kW ve 519.0 kW şarj istasyonları güç kapasiteleri 33,27 ve 24. baralarda konumlandırılmıştır. GKO algoritması ile yapılan çalışmalarda daha iyi sonuç çıkmasının nedeni, şarj istasyonlarının güç dağılımı baralara daha iyi yapılmıştır. Son baraya yaklaştıkça kayıp artar ve bu artış elektrik şebekesini olumsuz etkiler. Elektrikli araç şarj istasyonlarının uygun konumlara uygun

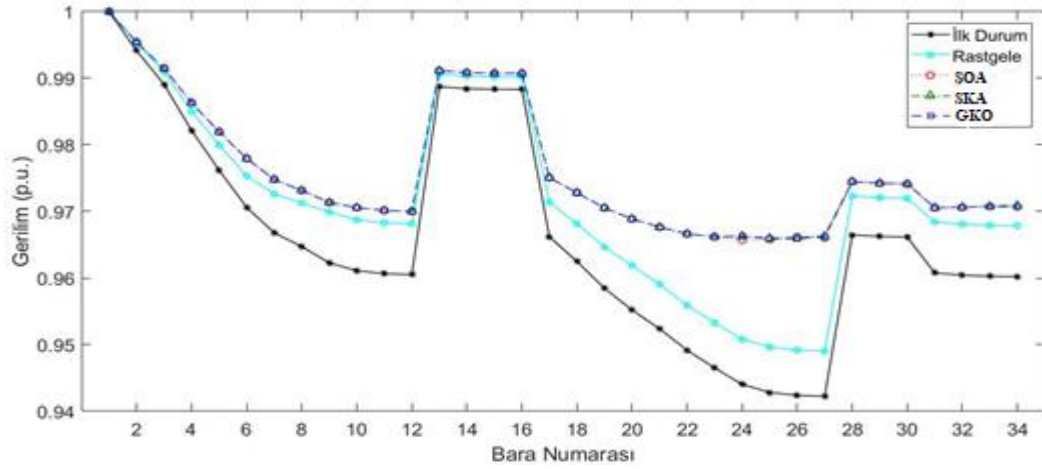
kapasiteler ile yerleştirilmesi güç değerlerinde etkili olmaktadır. Çalışmada kullanılan algoritmalar ile benzetimler yapılmış ve yerleştirilen şarj istasyonlarının konumları Şekil 6.1’de gösterilmiştir.

Standart sapmanın yüksek olması, algoritmanın her çalışmasında ortalamaya yaklaşmak yerine uzaklaşmasıdır. Ortalamadan uzaklaşmak da algoritmanın değerlerinin optimum olmadığını gösterir. Çalışmamızda ortalamaya yakın değerler verilmesi için standart sapmanın düşük olması beklenmektedir. ŞOA algoritması 2.6870 değeriyle yapılan çalışmalar arasında en yüksek standart sapmaya sahiptir. ŞOA algoritmasını 0.0244 değeri ile GKO algoritması takip eder. Yapılan benzetimler sonucunda 0.0238 değeri ile SKA algoritması en düşük standart sapma değerine sahip algoritma olmuştur. Standart sapma değeri en yüksek olan ŞOA algoritması 1000 iterasyonlu çalışmayı 42.99 saniye ile en geç tamamlayan algoritma olmuştur. Çalışmayı standart sapmaları gibi yakın zaman dilimlerinde tamamlayan SKA ve GKO algoritmaları sırasıyla 41.23 saniye ve 40.73 saniyede tamamlamışlardır.

Algoritma tamamlama hızında olduğu gibi en iyi ve en kötü değerler üzerinde karşılaştırma yapıldığında ŞOA algoritması 129.0322 kW ve 141.6539 kW’lık değerleriyle en kötü sonucu veren algoritma olmuştur. En iyi değerlere SKA ve GKO algoritmaları için baktığımızda 129.0126 kW’lık değeriyle GKO algoritması en iyi sonucu vermiştir. Reaktif güç kayıplarına baktığımızda ise ŞOA algoritması 38.8595 kVAR’lık değeriyle diğer algoritmalara göre daha fazla güç kaybına neden olmaktadır. ŞOA’yı 38.8517 KVAR’lık değeri ile SKA algoritması takip etmiş ve 38.8480 kVAR ‘lık değeriyle GKO algoritması karşılaştırma yapılan algoritmalar arasında en az güç kaybına sahip algoritma olmuştur. Aktif güç kaybı penceresinden baktığımızda yine GKO algoritması 129.0430 kW değer elde etmiş ve karşılaştırma yapılan diğer algoritmalar içinde en düşük ortalama aktif güç kaybı değerine sahip olmuştur.

Tablo 6.1’de GKO, ŞOA ve SKA algoritmalarının değeriyle birlikte sistemin temel durumdaki ve rastgele atama ile elde edilen sonuçları bulunmaktadır. Temel durumda 0.9423 p.u gerilim değerine sahip olan 34-baralı test sistemi rastgele atama ile 0.9491 p.u değerine ulaşmıştır. 34-baralı test sistemine İYŞİ teknolojisine sahip istasyonları belirlenen algoritmalar ile yerleştirildikten sonra temel duruma göre minimum bara gerilimlerinde bir

artış olmuştur. Algoritmaların bara gerilimleri birbirine yakındır fakat 0.9660 p.u'luk değeriyle en iyi bara gerilimi SKA algoritması ile elde edilmiştir. Kayıp değerlerinin artmasını ya da azalmasını bara gerilimlerinin düşüklüğü etkilemektedir. Belirlenen algoritmalar ile yapılan çalışma sonuçlarında Tablo 6.1'den de görüldüğü gibi ŞOA algoritmasında 0.9657 p.u'luk değerle en fazla gerilimin düşümü gerçekleşmektedir. Şekil 6.2'de 34-baralı test sisteminin şarj istasyonlarının algoritmalar tarafından optimum kapasitelerinden optimum konuma yerleştirildiklerinde oluşan gerilim profili verilmiştir.



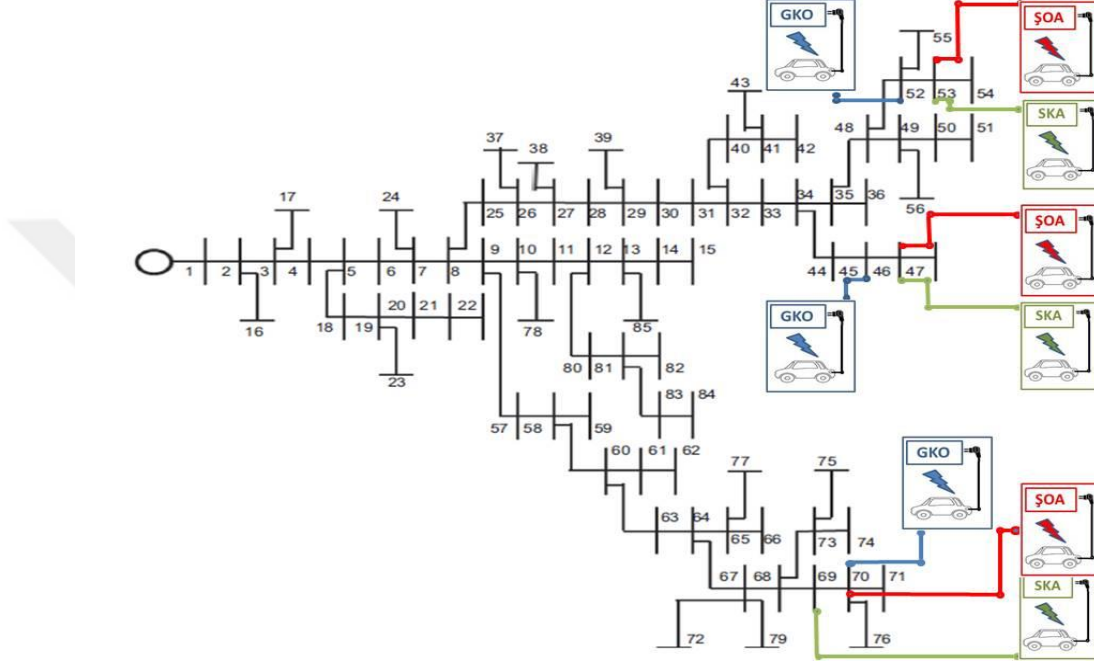
Şekil 6.2. 34-baralı test sistemi bara gerilimleri.

6.2.2 85-Baralı Test Sistemi

Bu çalışmada 34-baralı test sisteminden sonra yine D. B. Praskash & C. Lakshminarayana'nın çalışmasında yer alan 85-baralı test sisteminde şarj istasyonlarının optimum konum ve yerleşimi yapılmıştır [134]. Öncelikle 85-baralı test sisteminde algoritmalar olmadan temel durumda 197.6246 kVAR'lık reaktif, 314.5378 kW'lıkta aktif güç kayıp değerleri elde edilmiştir. Temel durumda minimum gerilim 0.8743 p.u. ölçülmüş ve temel durum çalışması 0.076 saniyede tamamlanmıştır.

34-baralı test sisteminde olduğu gibi 85-baralı test sisteminde de modeller arası şarj güçleri farklı elektrikli araçlar kullanılmıştır. 85-baralı sistemin güç değeri toplam 2570.28 kW'tır. 85-baralı sisteme aktarılan güç toplam güç %25 ile sınırlandırılmış ve 643.8 kW olarak belirlenmiştir. Şarj istasyonlarında Model-1, Model-2 ve Model-3 araç türlerinin her birinden maksimum 37 şarj noktası bulunabilmektedir. Bu değer

$37 \times (3.6 + 6.6 + 7.2) = 643.8 \text{ kW}$ şeklinde hesaplanmıştır. Bu test sisteminde de İYŞİ teknolojisi ile uyumlu şarj istasyonları SKA, ŞOA ve GKO algoritmaları ile yine üç farklı baraya yerleştirilmiştir. Her algoritma için farklı sonuçlar ve konumlar elde edilmiş, 85-baralı test sistemine yerleştirilen şarj istasyonları Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3. GKO, ŞOA ve SKA algoritmaları ile şarj istasyonlarının 85-baralı test sisteminde optimum konumları.

85-baralı test sisteminde temel durum sonuçlarından yukarıda bahsedilmiştir. Optimizasyon algoritmalarına geçmeden belirtilen kısıtlamalar dâhilinde şarj istasyonları rastgele 53, 25 ve 16. baralara yerleştirilmiş ve sırasıyla 157.8 kW, 187.8 kW ve 298.2 kW'lık maksimum deşarj kapasiteleri elde edilmiştir. Rastgele durumda 164.0092 kVAR'lık reaktif güç ve 260.8991 kW'lık aktif güç kaybı değerleri elde edilmiştir. Bu test sisteminde de üç farklı optimizasyon algoritması ile optimum konum ve kapasite belirlenmesi için çalışma yapılmıştır. ŞOA algoritması ile yapılan optimum konum ve yerleştirme sonuçlarında en iyi 216.0001 kW'lık aktif güç kaybı ve 137.3510 kVAR'lık reaktif güç kaybı ile bu test sisteminde de güç kaybı konusunda en kötü sonuçları vermiştir. ŞOA algoritmasını takiben SKA algoritması 215.9644 kW'lık aktif güç kaybı ve 137.3440 kVAR'lık reaktif güç kaybı ile ikinci iyi sonucu vermiştir. En iyi aktif güç kaybı ve reaktif

güç kaybı değerleri sırasıyla 215.9577 kW ve 137.2693 kVAR olan GKO algoritması 85-baralı test sisteminin kayıplar bölümünde en iyi sonuçları yani minimum güç kayıplarını elde etmiştir.

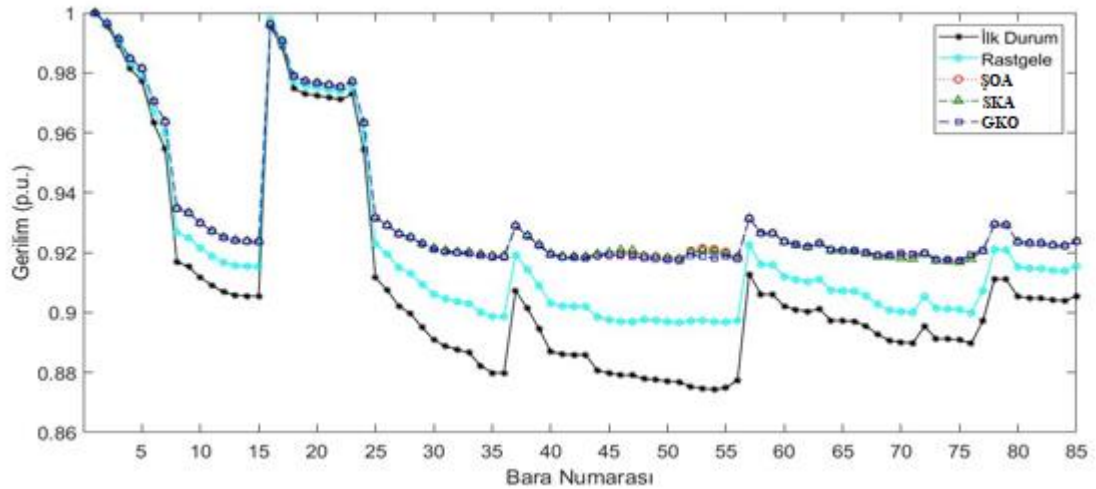
Şekil 6.3'te 85-baralı test sistemi çalışmasında, kullanılan algoritmalar ile oluşturulan şarj istasyonları ilgili baralara yerleştirilmiştir. ŞOA algoritması kullanılarak elde edilen şarj istasyonları 70, 53 ve 46. baralara yerleştirilmiş ve sırasıyla 201.0 kW, 321.0 kW ve 121.8 kW'lık değerleri elde edilmiştir. SKA algoritması kullanılarak yerleştirelen şarj istasyonlarının bara numaraları 69, 53 ve 46'dır. Bu baralara bağlanan şarj istasyonlarının şarj/deşarj güçleri sırası ile 194.4 kW, 288.0 kW ve 161.4 kW olarak sonuçlanmıştır. Son olarak aktif ve reaktif güç kayıplarında diğer algoritmalarından daha iyi sonuç alan GKO algoritması ile 161.4 kW, 273.6 kW ve 208.8 kW'lık değerler elde edilmiş ve şarj istasyonları 45, 52 ve 70. baralara yerleştirilmiştir. Hattın sonuna yaklaştıkla şebeke kayıpları artar bundan dolayı şarj istasyonlarının uygun kapasiteler ile uygun konumlara yerleştirilmesi elektrik şebekesi için önemlidir. Tablo 6.2'de 85-baralı test sistemi çalışmalarında elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 6.2. GKO, ŞOA ve SKA algoritmaları kullanılarak 85-baralı test sisteminde elde edilen benzetim sonuçları.

85-baralı test sistemi						
		İLK DURUM	RASTGELE	GKO	ŞOA	SKA
(Ortalama)				215.9717	216.3664	216.2304
Aktif Güç	(En İyi)	314.5378	260.8991	215.9577	216.0001	215.9644
Kayıpları	(En Kötü)			216.1805	216.6996	216.6365
(kW)	(Standart Sapma)	-	-	0.0305	0.2107	0.1330
Ortalama Benzetim Zamanı (sn.)		-	-	173.63	176.10	172.63
Minimum Gerilim (p.u)		0.8743	0.8967	0.9171	0.9172	0.9169
Ortalama Gerilim (p.u)		0.9102	0.9213	0.9332	0.9334	0.9334
Reaktif Güç Kaybı (kVAR)		197.6246	164.0092	137.2693	137.3510	137.3440
En İyi Sonuç İçin İYŞİ Bara Numaraları/ Güçleri (kW)		-	16/298.2 25/187.8 53/157.8	45/161.4 52/273.6 70/208.8	46/121.8 53/321.0 70/201.0	46/161.4 53/288.0 69/194.4

85-baralı test sisteminde de en yüksek standart sapma oranı 0.2107 ile ŞOA algoritmasının sonuçlanmıştır. 85-baralı test sistemi standart sapma oranları 34-baralı test sistemine göre kıyaslandığında bu test sisteminde SKA algoritması GKO algoritmasından daha büyük oran elde etmiştir. Bu algoritmaların standart sapmaları sırasıyla 0.1330 ve 0.0305'dir. Son olarak 85-baralı test sisteminde uygulanmış olan algoritmaları 1000 iterasyonu tamamlama zamanlarını incelediğimizde SKA algoritması 172.63 saniye ile bu sistemi en hızlı bitirmiştir. SKA'yı 173.63 saniye ile GKO algoritması takip ederken, 176.10 saniye ile ŞOA algoritması 85-baralı test sisteminde benzetimi en geç bitiren algoritma olmuştur.

85-baralı test sisteminde minimum bara gerilimi temel durum için 0.8743 p.u., rastgele için ise 0.8967 p.u değerleri elde edilmiştir. Test sistemine algoritmalar dahil edilip çalıştırıldığında SKA, ŞOA ve GKO için sırasıyla 0.9169 p.u., 0.9172 p.u., 0.9171 p.u. minimum bara gerilimleri elde edilmiştir. 85-baralı test sistemine entegre edilen algoritmaların İYŞİ yerleştirdikten sonra ortalama bara gerilimleri SKA ve ŞOA için 0.9334 p.u., GKO için 0.9332 p.u. değerleri elde edilmiştir. Şekil 6.4'te 85-baralı test sistemin şarj istasyonlarının algoritmalar tarafından optimum kapasitelerinde optimum konuma yerleştirildiklerinde oluşan gerilim profili verilmiştir.



Şekil 6.4. 85-baralı test sistemi bara gerilimleri.

7. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

Dünya üzerinde artan nüfus ile ulaşım aracı sayısı da artmıştır. Çoğu fosil yakıtlar ile çalışan ulaşım araçlarının oluşturduğu sera gazı emisyonlarını azaltmak, giderek tükenen fosil yakıtlara olan bağımlılıktan kurtulmak için elektrikli araçların tercih oranı da artmıştır. Elektrikli araçlara yönelimin artmasının önemli sebeplerinden biri olan sıfır emisyon oranı doğanın korunması ve çevre kirliliğini minimize etmek için çok önemlidir. Ayrıca elektrikli araçların yakıt ve bakım maliyetleri fosil yakıtlı araçlara göre çok düşüktür. Fakat elektrikli araçların yüksek piyasa fiyatı ve fosil yakıtlı araçlara kıyasla yakıt alma sürelerine göre batarya dolum zamanı çok yüksektir.

Elektrikli araçların kullanımı yıllara göre artış göstermiş ve bu artış ile birlikte şarj istasyonu ihtiyacı her geçen gün artmıştır. Alışveriş merkezlerinde, işyerlerinde, tiyatrolarda, otoyollar gibi insanların sıklıkla bulunduğu yerlerde şarj istasyonları bulunabilmektedir. Hatta çoğu elektrikli araç sahibinin evinde özel şarj istasyonu bulunmaktadır. Şarj istasyonlarında elektrikli araçlar ile gelişim göstermiş, değişim gösteren elektrikli araç batarya dolum süreleri model ve kapasiteye göre değişen, gelişen şarj istasyonları sayesinde bir saat altına kadar inmiştir. Şarj sürelerinin bu kadar kısalması elektrikli araç satın almak isteyen kullanıcı sayısını her geçen gün arttırmaktadır.

Şarj istasyonlarının yaygınlaşması kullanıcılar için olumlu bir durum olsada kurulan her şarj istasyonu elektrik şebekesi için ek yük oluşturmaktadır. Elektrik şebekesinin yük dengesini bozabildiği gibi tam aksine iki yönlü elektrikli araç şarj istasyonları sistemleri (İYŞİ) ile şebeke desteği de sunabilmektedir. İYŞİ teknolojisi, elektrik şebekesinin yoğun

saatlerinde şebekeden fazla yük çekmek yerine elektrikli araçları sisteme dâhil etme teknolojisidir. İYŞİ sistemi şarj istasyonları aracılığı ile şebekenin normal zamanında elektrikli araç bataryasını şarj edip, puant durumda ise elektrikli araç bataryasında bulunan elektrik enerjisini elektrik şebekesine göndererek deşarj etmektedir. Bu sistem sayesinde elektrikli araçlar, elektrik şebekesi için güç kaynağı olarak kullanılabilir. Ayrıca İYŞİ sistemi dağıtım hattındaki kayıpları azaltır ve gerilim dengesizliklerini de düzenler. Fakat şebekeye vereceği enerji desteğinin maksimum olabilmesi için toplu şarj istasyonlarının, elektrik şebekesine göre en uygun konuma en uygun kapasite ile yerleştirilmelidir. Elektrikli araçların sayılarındaki hızlı artış, elektrikli araçların şebekeye vereceği desteğin azımsanmayacak şekilde olacağını göstermektedir. Bu desteği en iyi şekilde kullanmak için enerjinin şebekeye aktarıldığı konum ve kapasite çok önemlidir.

Büyük boyutlu optimizasyon problemlerine sezgisel algoritmalar geleneksel metotlara göre daha iyi sonuç verdiği literatürde yer almaktadır. Sezgisel algoritmalar en iyi sonucu vereceğini garanti etmez fakat en kısa sürede en iyi sonuca yakın sonuç vererek problemleri hızlı çözümlerine ulaştırmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı bu çalışmada da sezgisel algoritmalar kullanılmıştır.

Bu çalışmada, İYŞİ teknolojisi ile uyumlu elektrikli araç şarj istasyonlarının optimum konumlandırılması ve yerleştirilmesi için Gri Kurt, Sinüs Kosinüs ve Şempanze Optimizasyon Algoritmaları kullanarak çalışmalar yapılmıştır. Hattaki aktif güç kayıplarını azaltmayı amaçlayan bir hedef fonksiyonu belirlenmiş ve bu hedef fonksiyonu algoritmalar ile optimize edilmiştir. Benzetimler için 34-baralı ve 85-baralı test sistemleri kullanılmıştır. Algoritmalar arasında adil bir karşılaştırma yapılması için her algoritmada popülasyon sayıları 40, iterasyon sayıları ise 1000 olarak belirlenmiş ve belirlenen limitler ile algoritmalar 100'er defa çalıştırılarak istatistiki sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmalar belirlenen durumlarda en iyi değeri tespit etmek için üç optimizasyon algoritması karşılaştırılmış ve karşılaştırmalar sonucunda en iyi konum ve kapasite sonuçlarına ulaşılmıştır.

Hem 34-baralı hemde 85-baralı test sistemlerinde en başarılı sonuçlar Gri Kurt Optimizasyon Algoritması ile elde edilmiştir. Bu algoritma aktif ve reaktif kayıplar açısından diğer algoritmalara göre önemli üstünlük göstermiş, İYŞİ teknolojisine sahip şarj

istasyonlarının konum ve kapasite belirlenmesi için çözüme en hızlı ulaşan algoritma olmuştur.

İYŞİ teknolojisine sahip şarj istasyonlarının yaygınlaşıp uygulanması, elektrik şebekelerine olumlu sonuçlar sağlayacaktır. Fakat sistemin uygulanması için önünde bulunan engeller vardır. Örneğin, İYŞİ sistemler için çift yönlü bir aktarım gerçekleşeceğinden dolayı yeni alt yapı sistemleri gerekecektir. Elektrikli araç sahipleri için menzil ve şarj olma önemli bir özellik olduğu için İYŞİ teşvik etme adına önemli adımlar atılmalıdır. Bu iyileştirmeler yapıldığı takdirde sera gazı emisyonunun olmaması, yoğun zamanlarda şebekeye ekstra yük gerektirmemesi gibi sayılarının her geçen gün arttığı elektrikli araçların doğaya önemli katkıları olacaktır. Bu tezde de ele alındığı gibi elektrikli araçların şarj istasyonları da, İYŞİ altyapısı ile doğru bir şekilde şebekede konumlandırıldığı takdirde şebeke açısından önemli katkıları olacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] International Energy Agency, Global EV Outlook., 2020. (Web sayfası: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>), (Erişim tarihi: Şubat 2021).
- [2] International Energy Agency, Global EV Outlook., 2021. (Web sayfası: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>), (Erişim tarihi: Şubat 2022).
- [3] International Energy Agency, Global EV Outlook., 2019. (Web sayfası: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>), (Erişim tarihi: Şubat 2022).
- [4] Enerji İ., 2016. Uluslararası enerjiye bakış açısı. (Web sayfası: [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)), (Erişim tarihi: Şubat 2022).
- [5] Electric power research institute., 2007. Environmental assessment of plug-in hybrid electric vehicles. Vol:1 Nationwide greenhouse gas emissions. California, USA.
- [6] Su, C., L., Leou, R.-C., Yang, J.-C., Lu, C., N., 2013. Optimal electric vehicle charging stations placement in distribution systems. *IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 10-13 Nov. 2013, Vienna, Austria.
- [7] International Energy Agency, Global EV Outlook Two million and counting., 2017. (Web sayfası: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2017>), (Erişim tarihi: Şubat 2022).
- [8] Fang, X., Misra, S., Xue, G., Yang, D., 2011. Smart grid — the new and improved power grid: a survey. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, **14** (4): 944-980.
- [9] Xie, S., Zhong, W., Xie, K., Yu, R., Zang, Y., 2016. Fair energy scheduling for vehicle-to-grid networks using adaptive dynamic programming . **IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems**, **27**(8): 1697-1707.
- [10] Leemput, N., 2015. Grid-supportive Charging Infrastructure for Plug-in Electric Vehicles. K.U.Leuven, Faculty of Engineering, Thesis for PhD, Leuven, 181 s.
- [11] Taylor, J., Maitra, A., Alexander, M., Brooks, D., Duvall, M., 2009. Evaluation of the impact of plug-in electric vehicle loading on distribution system operations. *2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting*. 26-30 July 2009, Calgary, AB, Canada.

- [12] Doğan, A., Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., Rahman, S., Yalcinoz, T., 2015. Impact of EV charging strategies on peak demand reduction and load factor improvement. *2015 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 26-28 Nov. 2015, Bursa, Turkey.
- [13] Guille, C., Gross, G., 2009. A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation. **Energy Policy**, **37**(11): 4379-4390.
- [14] Altúnez, C., S., Franco, J., F., Rider, M., J., Romero, R., 2016. A new methodology for the optimal charging coordination of electric vehicles considering vehicle-to-grid technology. **IEEE Transactions on Sustainable Energy**, **7** (2): 596-607.
- [15] Wirasingha, S., G., Schofield, N., Emadi, A., 2008. Plug-in hybrid electric vehicle developments in the US: Trends, barriers, and economic feasibility. *2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 3-5 Sept. 2008, Harbin, China.
- [16] Clement-Nyns, K., Heasen, E., Driesen, J., 2011. The impact of vehicle-to-grid on the distribution grid. **Electric Power Systems Research**, **81** (1): 185-192.
- [17] Yilmaz, M., Krein, P., T., 2012. Review of the impact of vehicle-to-grid technologies on distribution systems and utility interfaces. **IEEE Transactions on Power Electronics**, **28** (12): 5673-5689.
- [18] Dogan, A., Bahceci, S., Daldaban, F., Alci, M., 2018. Optimization of charge/discharge coordination to satisfy network requirements using heuristic algorithms in vehicle-to-grid concept. **Advances in Electrical and Computer Engineering**, **18** (1): 121-130.
- [19] Kesler, M., Kisacikoglu, M., C., Tolbert, L., M., 2014. Vehicle-to-grid reactive power operation using plug-in electric vehicle bidirectional offboard charger. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, **61** (12): 6778-6784.
- [20] Nurmhammed, M., Karadag, T., 2021. Elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması ve enerji şebekesi üzerine etkisi konulu derleme çalışması. **Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation**, **8** (2): 218-233.

- [21] Amini, M., H., Islam, A., 2014. Allocation of electric vehicles' parking lots in distribution network. *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 19-22 Feb. 2014, Washington, DC, USA.
- [22] El-Zonkoly, A., Coelho, L., S., 2015. Optimal allocation, sizing of PHEV parking lots in distribution system. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, **67**: 472-477.
- [23] Sadeghi-Barzani, P., Rajabi-Ghahnavieh, A., Kazemi-Karegar, H., 2014. Optimal fast charging station placing and sizing. **Applied Energy**, **125**: 289-299.
- [24] Gampa, S., R., Jasthi, K., Goli, P., Das, D., Bansal, R., C., 2020. Grasshopper optimization algorithm based two stage fuzzy multiobjective approach for optimum sizing and placement of distributed generations, shunt capacitors and electric vehicle charging stations. **Journal of Energy Storage**, **27**, 101117.
- [25] Awasthi, A., Venkitusamy, K., Padmanaban, S., Selvamuthukumaran, R., Blaabjerg, F., Singh, A., K., 2017. Optimal planning of electric vehicle charging station at the distribution system using hybrid optimization algorithm. **Energy**, **133**: 70-78.
- [26] Faddel, S., Elsayed, A., T., Mohammed, O., A., 2018. Bilayer multi-objective optimal allocation and sizing of electric vehicle parking garage. **IEEE Transactions on Industry Applications**, **54** (3): 1992-2001.
- [27] Zeng, Y., Dong, Y., Z., Xu, Y., Meng, K., Zhao, J., H., Qiu, J., 2014. Electric vehicle battery charging/swap stations in distribution systems: comparison study and optimal planning. **IEEE Transactions on Power Systems**, **29** (1): 221-229.
- [28] Domínguez-Navarro, J., A., Dufo-López, R., Yusta-Loyo, J., M., Artal-Sevil, J., S., Bernal-Agustín, J., L., 2019. Design of an electric vehicle fast-charging station with integration of renewable energy and storage systems. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems** **105**: 46-58.
- [29] Habib, S., Kamran, M., Rashid, U., 2015. Impact analysis of vehicle-to-grid technology and charging strategies of electric vehicles on distribution networks – A review. **Journal of Power Sources**, **277**: 205-214.

- [30] Dogan, A., Alci, M., 2018. Heuristic optimization of EV charging schedule considering battery degradation cost. **Elektronika ir Elektrotechnika**, **24** (6): 15-20.
- [31] Prasomthong, J., Ongsakul, W., Meyer, J., 2014. Optimal placement of vehicle-to-grid charging station in distribution system using Particle Swarm Optimization with time varying acceleration coefficient. *2014 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE)*, 19-21 March 2014, Pattaya, Thailand.
- [32] Aljanad, A., Mohamed, A., Shareef, H., Khatib, T., 2018. A novel method for optimal placement of vehicle-to-grid charging stations in distribution power system using a quantum binary lightning search algorithm. **Sustainable Cities and Society**, **38**: 174-183.
- [33] 2022. Elektrikli araçların tarihçesi. (Web sayfası: <https://ev.hedef filo.com/elektrikli-arac-tarihcesi>), (Erişim tarihi: Mart 2022).
- [34] 2020. Elektrikli araba almanın avantajları ve dezavantajları. (Web sayfası: <https://www.arabam.com/blog/genel/elektrikli-araba-avantajlari/>), (Erişim tarihi: Mart 2022).
- [35] Yang, Y., Jiang, W., Suntharalingam, P., 2014. Plug-in hybrid electric, 465-490. *In: Vehicles Advanced Electric Drive Vehicles*. CRC press.
- [36] Cenex, 2018. **V2G Market Study - Answering the preliminary questions for V2G: What, where and how much?**, 68 s.
- [37] Yilmaz, A., 2020. Reklam mecrası Instagram: TOGG ve GÜNSEL elektrikli otomobil markaları üzerine ampirik bir araştırma. **Erciyes İletişim Dergisi**, **7** (2): 895-915.
- [38] 2019. TOGG yerli otomobil. (Web sayfası: https://tr.wikipedia.org/wiki/TOGG_Yerli_Otomobil#Teknik_%C3%96zellikler), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
- [39] 2020. TOGG. (Web sayfası: <https://tr.motor1.com>). (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
- [40] Electric vehicle database. (Web sayfası: <https://ev-database.org/car/1287/Jaguar-I-Pace-EV400>), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
- [41] Dolu batarya. (Web sayfası: <https://www.dolubatarya.com/audi-e-tron-s-sportback-55-quattro-ozellikler>), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).

- [42] Electric vehicle database. (Web sayfası: <https://ev-database.org/car/1337/Mercedes-EQC-400-4MATIC>), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
- [43] BMW. (Web sayfası: <https://www.bmw.com.tr/tr/all-models/bmw-i3/2020/bmw-i3-teknik-veriler.html#tab-0.>), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
- [44] Dolu batarya. (Web sayfası: <https://www.dolubatarya.com/2021-hyundai-kona-elektrik-fiyati-ve-ozellikleri.>), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
- [45] Chargepoint. (Web sayfası: <https://www.chargepoint.com/blog/everything-you-need-know-about-charging-hyundai-kona-electric>), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
- [46] Electric vehicle database. (Web sayfası: <https://ev-database.org/car/1619/Tesla-Model-Y-Long-Range-Dual-Motor>), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
- [47] Electric vehicle database. (Web sayfası: <https://ev-database.org/car/1116/Porsche-Taycan-Turbo-S>), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
- [48] Kerem, A., Gürbak, H., 2020. Elektrikli araçlar için hızlı şarj istasyonu teknolojileri. **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji**, 8 (3): 644-661.
- [49] Vehicle to grid. (Web sayfası: <https://www.v2g-hub.com>), (Erişim tarihi: Nisan 2022).
- [50] Erhan, K., Ayaz, M., Ozdemir, E., 2013. Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Güç Kalitesi Üzerine Etkileri. *Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, Nisan 2013, Ankara, Türkiye.
- [51] Özcan, M., E., 2019. Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Entegrasyonu. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 187 s.
- [52] Ahmadi, M., Mithulananthan, N., Sharma, R., 2016. A review on topologies for fast charging stations for electric vehicles. *International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, 28 Sept.-1 Oct. 2016, Wollongong, NSW, Australia.
- [53] Sutopo, W., Nizam, M., Rahmawatie, B., Fahma, F., 2018. A review of electric vehicles charging standard development: study case in Indonesia. *2018 5th International*

Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT), 30-31 Oct. 2018, Surakarta, Indonesia.

[54] Briones, A., Francfort, J., Heitmann, P., Schey, M., Schey, S., Smart, J., 2012. Vehicle-to-Grid (V2G) Power Flow Regulations and Building Codes Review by the AVTA. *Idaho National Laboratory*. North America.

[55] Eşarj. (Web sayfası: <https://esarj.com>), (Erişim tarihi: Nisan 2022).

[56] Yilmaz, M., Krein, P., T., 2013. Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 28 (5): 2151-2169.

[57] Driving electric. What is CHAdeMO charging. (Web sayfası: <https://www.drivingelectric.com/your-questions-answered/114/what-chademo-charging>), (Erişim tarihi: Nisan 2022).

[58] Wikipedia. CHAdeMO. (Web sayfası: <https://en.wikipedia.org/wiki/CHAdeMO>), (Erişim tarihi: Nisan 2022).

[59] Battery industry. France writes-off ChaDeMo standard in new legislation. (Web sayfası: <https://batteryindustry.tech/france-writes-off-chademo-standard-in-new-legislation/>), (Erişim tarihi: Nisan 2022).

[60] Wikipedia. Combined charging system. (Web sayfası: https://en.wikipedia.org/wiki/Combined_Charging_System), (Erişim tarihi: Nisan 2022).

[61] Jones, L., Lucas-Healey, K., Sturmberg, B., Temby, H., Islam, M., 2021. The A to Z of V2G A comprehensive analysis of vehicle-to-grid technology worldwide. Battery Storage and Grid Integration Program, Australia, 169 s.

[62] TEHAD, 2017. Elektrikli araç şarj yöntem ve istasyon tipleri. (Web sayfası: <https://www.tehad.org/2017/07/15/elektrikli-arac-sarj-yontem-ve-istasyon-tipleri/>), (Erişim tarihi: Nisan 2022).

- [63] Jang, Y., J., 2018. Survey of the operation and system study on wireless charging electric vehicle systems. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, 95: 844-866.
- [64] Ashfaq, M., Butt, O., Selvaraj, J., Rahim, N., 2021. Assessment of electric vehicle charging infrastructure and its impact on the electric grid: A review. **International Journal of Green Energy**, 18 (7): 657-686.
- [65] Hussain, A., Bui, V.-H., Baek, J.-W., Kim, H.-M., 2019. Stationary energy storage system for fast EV charging stations: simultaneous sizing of battery and converter. **Energies**, 12 (23): 4516.
- [66] Subudhi, P., S., 2020. Wireless power transfer topologies used for static and dynamic charging of EV battery: A review. **International Journal of Emerging Electric Power Systems**, 21 (1): 20190151.
- [67] Wikipedia. Electric car charging methods. (Web sayfası: https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car_charging_methods#Battery_swap), (Erişim tarihi: Nisan 2022).
- [68] Trivedi, N., Gujar, N., S., Sarkar, S., Pundir, S., P., S., 2018. Different fast charging methods and topologies for EV charging. *2018 IEEMA Engineer Infinite Conference (eTechNxT)*, 13-14 March 2018, New Delhi, India.
- [69] Majid, N., Hafiz, S., Arianto, S., Yuono, R., Y., Astuti, E., T., Prihandoko, B., 2017. Analysis of effective pulse current charging method for lithium ion battery. *2nd International Symposium on Frontier of Applied Physics (ISFAP 2016)*, 3–5 October 2016, Jakarta, Indonesia.
- [70] Lemaire-Potteau, E., Perrin, M., Geniès, S., 2009. BATTERIES | charging methods, s. 413-423. In: *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources* (J. Garche). Elsevier Science.
- [71] TEHAD, 2020. Türkiye şarj istasyonu haritası. (Web sayfası: <https://www.tehad.org/2020/11/09/turkiye-sarj-istasyonu-haritasi-bolgeler-2020/>), (Erişim tarihi: Nisan 2022).

- [72] Resmî Gazete, 2022. Şarj hizmeti yönetmeliği. (Web sayfası: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/04/20220402-2.htm>), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
- [73] Han, S., Acquah, M., A., 2021. Grid-to-Vehicle (G2V) and Vehicle-to-Grid (V2G) Technologies. *Energies*, 112 pp.
- [74] Cenex, 2020. **A Fresh Look at V2G Value Propositions**, 40 s.
- [75] Kempton, W., Letendre, S., E., 1997. Electric vehicles as a new power source for electric utilities. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 2 (3): 157-175.
- [76] Sovacool, B., K., Hirsh, R., F., 2009. Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition. **Energy Policy**, 37 (3): 1095-1103.
- [77] Cenex, 2020. **Commercial Viability of V2G: Project Sciurus White Paper**, 6 s.
- [78] UK Power Networks, 2019. **Network Guidance for V2G connections**, 36 s.
- [79] Oldfield, F., Kumpavat, K., Corbett, R., Price, A., Aunedi, M., Strbac, G., O'Malley, C., Gardner, D., Pfeiffer, D., Kamphus, J.-T., 2021. The Drive Towards a Low-Carbon Grid: Unlocking the value of vehicle-to-grid fleets in Great Britain, 38 pp.
- [80] Bibak, B., Tekiner-Moğulkoç, H., 2021. A comprehensive analysis of Vehicle to Grid (V2G) systems and scholarly literature on the application of such systems. **Renewable Energy Focus**, 38: 1-20.
- [81] Shariff, S., M., Iqbal, D., Alam, M., S., Ahmad, F., 2019. A state of the art review of electric vehicle to grid (V2G) technology. *First International Conference on Materials Science and Manufacturing Technolog*, 12–13 April 2019, Tamil Nadu, India.
- [82] Sarker, M., R., Dvorkin, Y., Ortega- Vazquez, M., A., 2016. Optimal participation of an electric vehicle aggregator in day-ahead energy and reserve markets. **IEEE Transactions on Power Systems**, 31 (5): 3506-3515.

- [83] Schriewer, L., Reichert, D., 2021. Vehicle-to-Grid: Quo vadis? Readiness check of the technology landscape for integrating electric vehicles into the smart grid, 251-262. *In: Der Antrieb von morgen*. Springer Vieweg, Berlin.
- [84] Li, G., Wu, J., Li, L., Ye, T., Morello, R., 2017. Battery status sensing software-defined multicast for V2G regulation in smart grid. **IEEE Sensors Journal**, **17** (23): 7838-7848.
- [85] Kovacs, A., Schmidt, R., Marples, D., Morsztyn, R., 2015. End-to-End integration of the V2G interface with smart metering systems (Results of the EU co-funded FP7 Project “PowerUp”), 143-157. *In: Electric Vehicle Systems Architecture and Standardization Needs - Reports of the PPP European Green Vehicles Initiative* (B. Müller, G. Meyer.). Springer.
- [86] Market Watch. (Web sayfası: [https://www.marketwatch.com/press-release/vehicle-to-grid-v2g-market-share-sizegrowth-global-leading-players-industry-updates-future-business-prospects-forthcoming-developments-and-future-investments-by-forecast-to-2028-2022-02-09#:~:text=The%20global%20Vehicle%2DTo%2DGrid%20\(V2G\)%20market%20size,83.5%25%20during%202021%2D2027](https://www.marketwatch.com/press-release/vehicle-to-grid-v2g-market-share-sizegrowth-global-leading-players-industry-updates-future-business-prospects-forthcoming-developments-and-future-investments-by-forecast-to-2028-2022-02-09#:~:text=The%20global%20Vehicle%2DTo%2DGrid%20(V2G)%20market%20size,83.5%25%20during%202021%2D2027)), (Erişim tarihi: Nisan 2022).
- [87] Sovacool, B., K., Kester, J., Noel, L., de Rubens, G., Z., 2020. Actors, business models, and innovation activity systems for vehicle-to-grid (V2G) technology: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **131**: 109963.
- [88] Conti, S., Raiti, S., Tina, G., Vagliasindi, U., 2003. Distributed generation in LV distribution networks: voltage and thermal constraints. *2003 IEEE Bologna Power Tech Conference Proceedings*, 23-26 June 2003, Bologna, Italy.
- [89] Kuwalek, P., 2021. Estimation of parameters associated with individual sources of voltage fluctuations. **IEEE Transactions on Power Delivery**, **36** (1): 351-361.
- [90] Wang, C., Ju, P., Wu, F., Lei, S., Pan, X., 2021. Sequential steady-state security region-based transmission power system resilience enhancement. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **151**: 111533.

- [91] Khazali, A., Kalantar, M., 2014. Optimal power flow considering fault current level constraints and fault current limiters. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, **59**: 204-213.
- [92] Harmonics, P., S., 1983. Power system harmonics: An overview. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, **102** (8): 2455-2460.
- [93] Sousa, T., Morais, H., Soares, J., Vale, Z., 2012. Day-ahead resource scheduling in smart grids considering Vehicle-to-Grid and network constraints. **Applied Energy**, **96**: 183-193.
- [94] Mohamed, S., A., 2020. Design and control of V2G to enhance system voltage stability. **Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering**, **7** (1): 1-18.
- [95] Borne, O., 2019. Vehicle-to-Grid and Flexibility for Electricity Systems : From Technical Solutions to Design of Business Models. Université Paris Saclay (COMUE), Ph. D. Thesis, Paris, 132 pp.
- [96] Guo, J., Yang, J., Ivry, P., Serrano, C., 2020. Analysis of the impacts of V2G chargers on LV grid harmonics. *2020 9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)*, 27-30 Sept. 2020, Glasgow, UK.
- [97] Chukwu, U., Mahajan, S., 2018. The modeling of V2G component for power flow studies. *2018 Clemson University Power Systems Conference (PSC)*, 4-7 Sept. 2018, Charleston, SC, USA.
- [98] Hive Power, 2021. The Future of V2G Technology. (Web sayfası: <https://www.hivepower.tech/blog/the-future-of-v2g-technology-what-to-expect-in-the-next-ten-years>), (Erişim tarihi: Nisan 2022).
- [99] Andersen, P., B., Togholjerdi, S., H., Sørensen, T., M., Christensen, B., E., Hoj, J., C., M., L., Zecchino, A., 2019. *The Parker Project Final Report*, Denmark, 100 pp.
- [100] Turkey, M., 2006. Optimization Models and Solution Algorithms. **Gazi Publishing, Ankara**, 309-328.
- [101] Williams, H., P., 2013. Model Building in Mathematical Programming, 5th Edition. WILEY, 432 pp.

- [102] Dogan, A., Yalcınozt, T., Alcı, M., 2016. A comparison of heuristic methods for optimum power flow considering valve point effect. **Elektronika Ir Elektrotechnika**, 22 (5): 32-37.
- [103] Doğan, A., Alcı, M., 2011. Verimi artırmak için güç sistemlerinde kullanılan optimizasyon metotları ve uygulama alanları, 92-96. *IV. Enerji Verimliliği Ve Kalitesi Sempozyumu*, 12-13 Mayıs 2011, Kocaeli.
- [104] Lokman, D., 2018. Robot Yol Planlaması için Gri Kurt Optimizasyon Algoritması. Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik, 78 s.
- [105] Ateş, A., 2018. Sezgisel Algoritmalarla Çoklu Denetçi Parametrelerinin Optimizasyonu. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Malatya, 190 s.
- [106] Kumar, A., Bawa, S., 2020. A comparative review of meta-heuristic approaches to optimize the SLA violation costs for dynamic execution of cloud services. **Soft Computing** 24 (6).
- [107] Towards Data Science, 2017. Introduction to genetic algorithms — Including example code. (Web sayfası: <https://towardsdatascience.com/introduction-to-genetic-algorithms-including-example-code-e396e98d8bf3#:~:text=A%20genetic%20algorithm%20is%20a,offspring%20of%20the%20next%20generation>), (Erişim tarihi: Şubat 2022).
- [108] Chau, T., Burovskiy, P., Flynn, M., Luk, W., 2017. Chapter two - advances in dataflow systems, 107: 21-62. *In: Advances in Computers* (P. R. Chellaiah, K. Saini, C. Surianarayanan).
- [109] Georgioudakis, M., Plevris, V., 2020. A Comparative Study of Differential Evolution Variants in Constrained Structural Optimization. **Frontiers in Built Environment**, 6: art. 102.
- [110] Towards Data Science, 2021. Evolutionary computation. (Web sayfası: <https://towardsdatascience.com/evolutionary-computation-full-course-overview-f4e421e945d9>), (Erişim tarihi: Şubat 2022).

- [111] Saka, M., P., Dogan, E., Aydogdu, İ., 2013. 2 - Analysis of swarm intelligence–based algorithms for constrained optimization, 25-48. *In: Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation* (X.-S. Yang, R. Xiao, M. Karamanoglu, Z. Cui, A. H. Gandomi). Elsevier Insights.
- [112] Chakraborty, A., Kar, A., K., 2017. Swarm intelligence: A review of algorithms, 475-494. *In: Nature-Inspired Computing and Optimization* (S. Patnaik, I. K. Sethi, X. Li). Springer.
- [113] Dorigo, M., Montes de Oca, M., A., Oliveira, S., M., Stützle, T., 2011. Ant colony optimization. *In: Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*.
- [114] Özsağlam, M., Y., Çunkaş, M., 2008. Optimizasyon problemlerinin çözümü için parçaçık sürü optimizasyonu algoritması. **Politeknik Dergisi**, 11 (4): 299-305.
- [115] Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm Homepage, 2005. (Web sayfası: <https://abc.erciyes.edu.tr>), (Erişim tarihi: Şubat 2022).
- [116] Doğan, A., Alçı, M., 2011. Optimum Güç Akışının Yapay Arı Kolonisi ile Sağlanması, 56-60. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, 5-7 Ekim 2011, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [117] Jati, G., K., Manurung, R., Suyanto, S., 2013. Discrete firefly algorithm for traveling salesman problem, 295-312. *In: Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation* (X.-S. Yang, R. Xiao, M. Karamanoglu, Z. Cui, A. H. Gandomi). Elsevier Insights.
- [118] Yang, X.-S., Deb, S., 2009. Cuckoo search via Lévy flights. *2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, 9-11 Dec. 2009, Coimbatore, India.
- [119] Bir Yazılımcının Günlüğü, 2017. Guguk Kuşu Arama/Optimizasyon Algoritması. (Web sayfası: <https://biryazilimciningunlugu.wordpress.com/2017/05/17/guguk-kusu-aramaoptimizasyon-algoritmasi/>), (Erişim tarihi: Şubat 2022).
- [120] Alatas, B., Can, U., 2015. Physics based metaheuristic optimization algorithms for global optimization. **American Journal of Information Science and Computer Engineering**, 1 (3): 94-106.

- [121] Hatamlou, A., 2013. Black hole: A new heuristic optimization approach for data clustering. **Information Sciences**, **222**:175-184.
- [122] Hasim, F., A., Houssein, E., H., Mabrouk, M., S., Al-Atabany, W., Mirjalili, S., 2017. Henry gas solubility optimization: A novel physics-based algorithm. **Future Generation Computer Systems**, **101**: 646-667.
- [123] Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., Saryazdi, S., 2009. GSA: A gravitational search algorithm. **Information Sciences**, **179** (13): 2232-2248.
- [124] Mirjalili, S., Mirjalili, S., M., Lewis, A., 2014. Grey wolf optimizer. **Advances in Engineering Software**, **69**: 46-61.
- [125] Gupta, S., Deep, K., 2018. A novel random walk grey wolf optimizer. **Swarm and Evolutionary Computation**, **44**: 101-112.
- [126] Abualigah, L., Diabat, A., 2021. Advances in Sine Cosine Algorithm: A comprehensive survey. **Artificial Intelligence Review**, **54** (4): 2567-2608.
- [127] Mirjalili, S., 2016. SCA: A Sine Cosine Algorithm for solving optimization problems. **Knowledge-Based Systems**, **96**: 120-133.
- [128] Demir, G., Tanyıldızı, E., 2017. Optimizasyon problemlerinin çözümünde Sinüs Kosinüs Algoritması (SKA)'nın kullanılması. **Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **29** (1): 225-236.
- [129] Khishe, M., Nezhadshahbodaghi, M., Mosavi, M., R., Martin, D., 2021. A weighted Chimp Optimization Algorithm. **IEEE Access**, **9**: 158508-158539.
- [130] Jia, H., Sun, K., Zhang, W., Leng, X., 2022. An enhanced chimp optimization algorithm for continuous optimization domains. **Complex & Intelligent Systems** **8**: 65–82.
- [131] Su, C.-T., Chang, C.-F., Chiou, J.-P., 2005. Distribution network reconfiguration for loss reduction by ant colony search algorithm. **Electric Power Systems Research**, **75** (2-3): 190-199.
- [132] El-Ela, A., A., A., El-Sehiemy, R., A., Kinawy, A.-M., Mouwafi, M., T., 2015. Optimal capacitor placement in distributionsystems for power loss reduction and

voltageprofile improvement. **IET Generation, Transmission & Distribution**, **10** (5): 1209-1221.

[133] Sarıdağ, Ö., Doğan, A., 2021. V2G şarj istasyonlarının optimum konum ve kapasitelerinin Gri Kurt Optimizasyon Algoritması ile belirlenmesi. **Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, **8** (2): 622-635.

[134] Prakash, D., B., Lakshminarayana, C., 2017. Optimal siting of capacitors in radial distribution network using Whale Optimization Algorithm. **Alexandria Engineering Journal**, **56** (4): 499-509.

